



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORIA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS

**EVALUACION DE CONCRETO DUCTIL A TRAVES DE LA
INCLUSION DE FIBRAS METALICAS Y SINTETICAS PARA
USO EN ESTRUCTURAS**

Darlin Yurani Virguez Mancera

Universidad Santo Tomas
Vicerrectoría De Universidad Abierta Y A Distancia
Construcción En Ingeniería Y Arquitectura
Centro De Atención Universitario Bogotá
Bogotá, Colombia
2018

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

Darlin Yurani Virguez Mancera

Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Constructor en Arquitectura e Ingeniería

Director:

Andrés Ramírez Gómez

Magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Estructuras

Universidad Santo Tomas
Vicerrectoría De Universidad Abierta Y A Distancia
Construcción En Ingeniería Y Arquitectura
Centro De Atención Universitario Bogotá
Bogotá, Colombia
2018

La tesis de pregrado titulada "Evaluación del concreto ductil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas para uso en estructuras", presentada por Darlin Yurani Virquez Mancera cumple con los requisitos para que se le otorgue el título de Constructor en Arquitectura e ingeniería

Andres Ramirez Gomez Ing Civil
Directora de la Tesis

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primera instancia a DIOS, a mis padres, a mi esposo y mi hijo, agradeciendo su apoyo incondicional en todo mi proceso de formación tanto personal, laboral como profesional.

"Si quieres ir rápido camina solo, si quieres llegar lejos ve acompañado"
Proverbio Africano

Agradecimientos

A mis padres, esposo y hermanos que a lo largo de mi vida han venido contribuyendo a mi formación personal y profesional

Al Ingeniero Andrés Ramírez, quien además de ser mi director de tesis, fue mí Profesor durante los estudios de pregrado, agradezco toda su colaboración orientación y consejos durante mi formación académica.

Al ingeniero Jorge Rendón de Sika Colombia S.A.S, por su apoyo a este trabajo de investigación y la donación de la fibra sintética y metálica para su desarrollo.

A mis profesores de la Universidad Santo Tomas, de quienes recibí los mejores conocimientos para mi formación profesional.

A mis compañeros Juan Granados y Cesar Steven Gutiérrez por su apoyo e interés en que este trabajo se culminara satisfactoriamente.

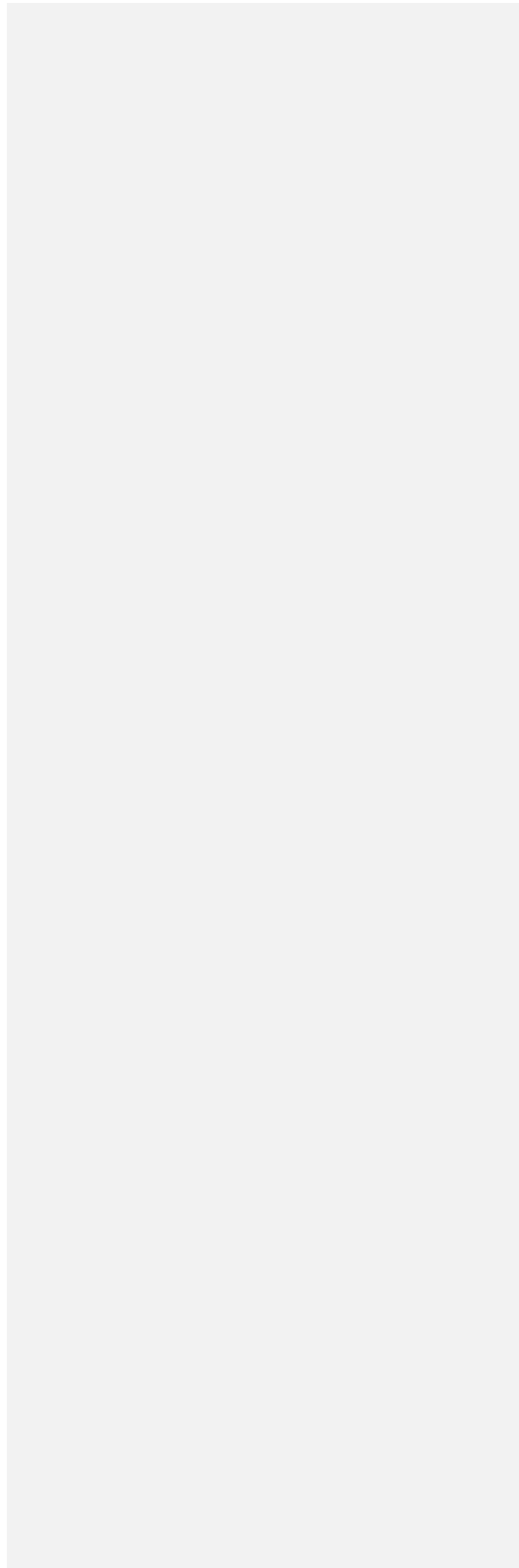


Tabla de contenido



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORIA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS

	I
Problema	9
Justificación	10
Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos	11
Metodología	12
1.3 Fases de la investigación.....	12
1.3.1 Fase I: Selección de materiales	12
1.3.2 Fase II: Ensayos de laboratorio	12
1.3.3 Fase III: Diseño de mezcla.....	12
1.3.4 Fase IV: Elaboración de la mezcla.....	13
1.3.5 Fase V: Análisis de resultados:.....	13
1.4 Objeto de estudio	13
1.5 Programación y presupuesto	13
1.5.1 Presupuesto:.....	13
1.5.2 Programación:	14
Marco Teórico	15
1.6 Ductilidad.....	15
1.6.1 Ductilidad por desplazamiento	15
1.6.2 Ductilidad por rotación.....	16
1.6.3 Ductilidad por curvatura	16
1.6.4 Ductilidad por deformación unitaria.....	16
1.7 Materiales	17
1.7.1 Concreto	17
1.7.2 Cemento	17
1.7.3 Agua.....	19
1.7.4 Agregados	19
1.7.5 Acero de refuerzo	20
1.7.6 Aditivo	21
1.7.7 Fibras:	22
• Fibra sintética PVA	22
1.8 Concreto reforzado con fibras - CRF	23
1.8.1 Tipos de fibras	24
1.8.2 Clasificación de las fibras:.....	24
1.8.3 Ventajas del CRF	25
1.9 Concreto flexible o dúctil	26

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

1.9.1 Propiedades.....	28
1.9.2 Tipos de concreto flexible o dúctil.....	30
Estado del Arte.....	33
1.10 Concreto avanzado.....	33
1.11 Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero.....	36
1.12 Influencia de los componentes del concreto reforzado con fibra en sus propiedades mecánicas.....	39
Normativa.....	49
1.13 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 Titulo C Concreto Estructural.....	49
1.13.1 Definiciones.....	49
1.14 Ensayos requeridos a los materiales.....	50
1.14.1 Cemento.....	50
1.14.2 Agregados.....	58
1.14.3 Ensayos de la mezcla de concreto en estado fresco.....	79
1.14.4 Ensayos al concreto en estado endurecido.....	81
Programa experimental.....	84
1.15 Diseño de Mezcla - ACI 211.....	84
1.15.1 Características de los materiales.....	84
1.15.2 Calculo.....	85
• Cantidad de ensayos requeridos:.....	91
1.16 Elaboración de especímenes.....	92
1.16.1 Mezcla 1: 13 de julio de 2017.....	92
1.16.2 Mezcla 2: 27 de julio de 2017.....	96
1.16.3 Mezcla 3: 10 de agosto de 2017.....	99
1.16.4 Mezcla 4 30 de agosto de 2017.....	101
1.16.5 Mezcla 5 11 de Octubre de 2017.....	102
1.16.6 Mezcla 6 25 de Octubre de 2017.....	104
1.16.7 Mezcla 7 25 de Octubre de 2017.....	105
1.17 Desencofrados especímenes.....	107
1.17.1 Mezcla 1 17 de julio de 2017.....	107
1.17.2 Mezcla 2 1 de agosto de 2017.....	109
1.17.3 Mezcla 3 14 de agosto de 2017.....	110
1.17.4 Mezcla 4 04 de septiembre de 2017.....	112
1.17.5 Mezcla 5 15 de octubre de 2017.....	113
1.17.6 Mezcla 6 y 7 29 de octubre de 2017.....	114
1.18 Ensayos a los especímenes de concreto en estado endurecido.....	115
Propiedades mecánicas.....	115
1.18.1 Resistencia a la compresión.....	115
1.18.2 Resistencia a la tracción.....	118
1.18.3 Resistencia a la flexión.....	119
1.19 Resultados ensayos de laboratorio.....	121
1.19.1 Especímenes fallados resistencia a la compresión.....	121
1.19.2 Especímenes fallados resistencia a la tracción indirecta.....	123

Tabla de Contenido

3

1.19.3 Especímenes fallados resistencia a la flexión	125
1.20 Análisis de resultados	127
1.20.1 Resistencia a la compresión	127
1.20.2 Resistencia al corte	129
1.20.3 Resistencia a la flexión.....	131
1.20.4 Equivalencias ensayos de compresión, corte y flexión	132
1.21 Modelo de un edificio de 3 pisos.	138
1.21.1 Dimensiones del edificio.....	139
1.21.2 Análisis económico.....	140
Conclusiones y recomendaciones	143
1.22 Conclusiones.....	143
1.23 Recomendaciones.....	144
Bibliografía	151

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Límites de composición aproximados para cemento Portland (Tipo 1)	18
Tabla 2 Propiedades del cordón de CFP.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3 Propiedades del pegante epóxico	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4 Especificaciones técnicas concreto avanzado	34
Tabla 5 Consideración de la geometría y anclaje de la fibra metálica.	44
Tabla 6 . Consideración del tipo y anclaje de la fibra de polipropileno.	45
Tabla 7 Requisitos físicos del cemento	51
Tabla 8 Requisitos físicos opcionales del cemento	51
Tabla 9 Requisitos químicos cemento portland	54
Tabla 10 Características del Agregado fino	58
Tabla 11 Clasificación del análisis granulométrico agregado fino	59
Tabla 12 masa de la muestra de agregado grueso	61
Tabla 13 Tamaño máximo de la muestra agregado grueso	69
Tabla 14 Calculo cantidad fibra sintética	85
Tabla 15 Dosificaciones de fibra metálica.....	86
Tabla 16 cantidad de material requerido mezclas 5 y 6	87
Tabla 17 Resistencia promedio a la comprensión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra NSR 10.	88
Tabla 18 Cantidades de dosificación de materiales en Kg por m3 de concreto	90
Tabla 19 cantidades de dosificación de materiales para cada mezcla	90
Tabla 20 Cantidad de ensayos requeridos	91
Tabla 21 propiedades en estado fresco del concreto	92
Tabla 22 dosificación de materiales mezcla 1	93
Tabla 23 especímenes mezcla 1	93
Tabla 24 Dosificación de materiales mezcla 2.....	97
Tabla 25 especímenes mezcla 2.....	98
Tabla 26 Dosificación de materiales mezcla 3.....	99
Tabla 27 especímenes mezcla 3.....	100
Tabla 28 Cantidades de materiales mezcla 4.....	101
Tabla 29 especímenes mezcla 4.....	101
Tabla 30 Cantidades de materiales mezcla 5.....	103
Tabla 31 especímenes mezcla 5.....	103
Tabla 32 Cantidades de materiales Mezcla 6 Fibra Metálica 40 kg/m3.....	105
Tabla 33 especímenes mezcla 6.....	105
Tabla 34 Cantidades de materiales Mezcla 6 Fibra Metálica 60 kg/m3.....	106
Tabla 35 especímenes mezcla 6.....	106
Tabla 36 especímenes desencofrados 17 de julio de 2017	108
Tabla 37 listado de especímenes curados el 1 de agosto de 2017	110

Tabla 38 listados de especímenes curados el 14 de Agosto de 2017	111
Tabla 39 Resultados ensayo resistencia a la compresión mezcla 1 sin adición de fibra	121
Tabla 40 Resultados ensayo resistencia a la compresión mezcla 2 Adición fibra sintética 4kg/m3	121
Tabla 41 Resultados ensayo resistencia a la compresión mezcla 3 Adición fibra sintética 8 kg/m3	121
Tabla 42 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 4 Adición de fibra Sintética 12 kg/m3	122
Tabla 43 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 5 Adición de fibra metálica 20 kg/m3.....	122
Tabla 44 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 6 Adición de fibra metálica 40 kg/m3.....	122
Tabla 45 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 7 Adición de fibra metálica 60 kg/m3.....	122
Tabla 46 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 1 sin adición de fibra	123
Tabla 47 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 2 adición de fibra sintética 4kg/m3.....	123
Tabla 48 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 3 adición de fibra sintética 8 kg/m3.....	123
Tabla 49 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 4 adición de fibra sintética 12 kg/m3.....	124
Tabla 50 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 5 adición de fibra metálica 20 kg/m3.....	124
Tabla 51 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 6 adición de fibra metálica 40 kg/m3.....	124
Tabla 52 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 7 adición de fibra metálica 60 kg/m3.....	125
Tabla 53 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 1 sin adición de fibra (10 de Agosto de 2017).....	125
Tabla 54 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 2 Fibra Sintética 4kg/m3	125
Tabla 55 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 3 Fibra sintética 8 kg/m3	126
Tabla 56 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 4 Fibra sintética 12 kg/m3 ...	126
Tabla 57 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 5 Fibra Metálica 20 kg/m3...	126
Tabla 58 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 6 Fibra Metálica 40 kg/m3...	126
Tabla 59 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 7 Fibra Metálica 60 kg/m3...	127
Tabla 60 Análisis de resultados ensayo resistencia a la compresión a los 14 días	127
Tabla 61 Análisis de resultados ensayo resistencia a la compresión a los 28 días	128
Tabla 62 Análisis de resultados ensayo resistencia al corte a los 14 días	129
Tabla 63 Análisis de resultados ensayo resistencia al corte a los 28 días	130
Tabla 64 Equivalencia de dosificación ensayo compresión a los 14 días.....	132
Tabla 65 Equivalencia de dosificación para ensayo a compresión a los 28 días	133
Tabla 66 Equivalencia de dosificación para ensayo al corte a los 14 días	133
Tabla 67 Equivalencia de dosificación para ensayo al corte a los 28 días	134

**Evaluación De Concreto Dúctil a través de la
inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso
En Estructuras**

Tabla 68 Equivalencia de dosificación para ensayo a flexión a los 28 días sin refuerzo	135
Tabla 69 Equivalencia de dosificación para ensayo a flexión a los 28 días con refuerzo	135
Tabla 70 Análisis económico estructural.....	141

Introducción

A medida que se hacen más y mejores edificios, la tecnología para su diseño y construcción avanza y por tal razón nos vemos obligados a acoplarnos a esta realidad de evolución cuyo único fin es facilitar la vida y el trabajo del ser humano.

El desarrollo de nuevas tecnologías es una necesidad tanto para el sector académico como para el industrial, por tal razón esta investigación se centró precisamente en esa necesidad de innovación al buscar la implementación de fibras sintéticas y metálicas como refuerzo estructural complementario del concreto en obras de construcción de vivienda de edificios.

El objetivo de desarrollo de la presente investigación fue evaluar las propiedades mecánicas, de manejabilidad y durabilidad que puede desarrollar el concreto a partir de la inclusión de fibras sintéticas y metálicas. Se evaluó la resistencia a la compresión, corte y flexión de estos concretos a edades de 14 y 28 días.

Se realizó el diseño de mezcla para la elaboración de los concretos con resistencia de 210kg/m³ de acuerdo a la reglamentación ACI 211 con la aplicación de dosificaciones para la fibra sintética llamada SIKA FIBER FORCE PP65 la cual es elaborada con fibras de polímero de poliolefina con recomendaciones de dosificación entre 3 kg/m³ a 10 kg/m³ para lo cual se tomaron rangos medios dosificación de 4kg/m³, 8 kg/m³ y 12 kg/m³ y para la fibra metálica se utilizó SIKA FIBER CHO/ 65 /35 la cual es una fibra de acero con longitudes de 35mm con extremos conformados, diámetro de 0.54mm con recomendaciones de dosificación según Anexo C de 25 kg/m³ a 50 kg/m³ para lo cual se tomaron las relaciones de dosificación de 20 kg/m³, 40 kg/m³ y 60 kg/m³. Para evaluar las propiedades de manejabilidad, durabilidad y resistencia mecánica del concreto, se realizaron los ensayos de compresión, módulo de elasticidad, asentamiento, para lo cual se elaboraron un total de 78 especímenes de los cuales 14 cilindros fueron ensayados a resistencia a la compresión a los 14 días, 14 especímenes fallados a resistencia a la compresión a los 28 días, 14 especímenes resistencia al corte a los 14

días, 14 especímenes resistencia la corte a los 28 días y 11 vigas sin refuerzo falladas a la resistencia a la flexión a los 28 días y 11 vigas con refuerzo con varillas de acero con diámetros de 3/4 " Transversal y flejes 1/4" .

Posteriormente se compararon los resultados del comportamiento resistencia Última, ductilidad y la rigidez de cada uno de los especímenes; determinando que el mejor comportamiento de los concreto lo obtuvo el concreto con adición de fibra sintética de 4kg/m³.

Se optó por diseñar 2 modelos para un edificio de 3 pisos, la primera estructura en concreto de 21 MPa equivalente al diseño de mezcla sin fibra y la segunda estructura en concreto de 26.3 MPa (25% adicional) equivalente al diseño de mezcla optimo con 4kg/m³ de fibra sintética.

Problema

En la ejecución de proyectos de obras civiles o de construcción, la materia prima más utilizada es el concreto hidráulico el cual debe cumplir con unas especificaciones, parámetros y características las cuales están establecidas según la Norma de Sismo Resistencia NSR -10 y las NTC; estas normas hacen referencia a la calidad del producto en su resistencia y durabilidad.

Debido al elevado costo en las construcciones civiles, donde el concreto ocupa el lugar más importante a la hora de invertir, planear e implementar los materiales de construcción, nace la necesidad de buscar nuevas soluciones en aras de óptimos desempeños y mayor economía sin amenazar la calidad del producto y la estabilidad y resistencia del proyecto.

Entorno a esta problemática y con el fin de buscar nuevas alternativas en la elaboración de mezclas de concreto, nos vemos en la necesidad de presentar una nueva opción en el diseño de mezcla de concreto a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas las cuales son una alternativa potencial, ya que por sus características pueden generar una solución para los concretos del futuro, haciendo más resistentes, económicos y durables.

De acuerdo al enunciado anterior nace un gran interrogante ¿evaluar el concreto dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas para uso en estructuras?

Justificación

En el campo de la Construcción y de la ingeniería, el concreto es uno de los materiales más utilizados en la ejecución de obras, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales: cemento, agua y agregados; el cual tiene como función resistir los esfuerzos.

Con el objetivo de estar a la vanguardia y los avances tecnológicos en el área de la construcción, nos vemos en la necesidad de buscar nuevas alternativas en la elaboración de concretos a través de la inclusión de nuevos componentes que mejoren su comportamiento y reduzcan el costo de los proyectos.

La aplicación de fibras metálicas y sintéticas es una nueva opción de mejorar las características del concreto, busca aumentar la resistencia y optimizar sus propiedades, la cual permite disminuir la sección de los elementos y ahorrar costos en la ejecución de las obras.

La finalidad de esta investigación es evaluar y estudiar el comportamiento del concreto dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas y determinar su efecto en los elementos estructurales con el fin de seleccionar la mejor alternativa económica, de durabilidad y resistencia para su uso en estructuras.

Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad ante de los esfuerzos de compresión, tensión y flexión del concreto dúctil elaborado con fibras sintéticas y metálicas para uso en estructuras

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar un número considerable de ensayos del laboratorio, con el fin de obtener datos tangibles que caractericen los concretos dúctiles evaluados bajo parámetros de resistencia, manejabilidad, ductilidad, deformaciones, patrones de figuración y disipación de energía
- Comparar los resultados experimentales de los diferentes especímenes con los teóricos.
- Analizar los resultados de laboratorio para cada uno de los especímenes elaborados con el fin de determinar cuál fue la mezcla que presentó mejor comportamiento ante esfuerzos de compresión, flexión y tracción.
- Cuantificar y comparar las variaciones en las propiedades mecánicas y de durabilidad en las mezclas estudiadas mediante la utilización de concreto dúctil elaborado con fibra sintética y fibra metálica.

Metodología

La investigación que se realizó es de tipo experimental, Lerna (2002: 61p.) "Su objetivo es explicar la relación causa-efecto entre dos o más variables o fenómenos. El investigador modifica intencionalmente el estado de algunos de los sujetos de estudio, introduciendo y manipulando un tratamiento o una intervención (variable independiente o factor casual) que desea estudiar o evaluar.

Las características principales de este tipo de estudio son las siguientes:

- Se requiere mínimo dos grupos: uno experimental y de control.
- Se aplica la variable independiente solamente al grupo experimental.
- Se comparan los resultados del efecto o resultado (variable dependiente) en los dos grupos.
- Se pueden hacer mediciones antes de aplicar la variable independiente (situación inicial) y al final en los dos grupos.
- Se pueden hacer mediciones solamente al final, en los grupos.

1.3 Fases de la investigación

1.3.1 Fase I: Selección de materiales

- Recolección de información
- Ubicación de fuente, recolección y clasificación de los materiales.

1.3.2 Fase II: Ensayos de laboratorio

- Ensayos del cemento: especificación de desempeños para cemento hidráulico, especificaciones químicas, Densidad y resistencia.
- Agregados: especificaciones, granulometría, densidad y absorción, peso específico, contenido de humedad.

1.3.3 Fase III: Diseño de mezcla

- Cálculos del diseño de mezcla

1.3.4 Fase IV: Elaboración de la mezcla

- Elaboración de mezcla
- Ensayo de asentamiento
- Vaciado de especímenes
- Desencofrado de especímenes
- Ensayos de laboratorio especímenes: compresión, tracción y flexión.

1.3.5 Fase V: Análisis de resultados:

- Análisis y comparación de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas.
- Emitir las conclusiones de la investigación

1.4 Objeto de estudio

El objeto de desarrollo de la presente investigación fue evaluar las propiedades mecánicas, de manejabilidad y durabilidad que puede desarrollar el concreto de 210 kg/cm² a partir de la inclusión de fibras sintéticas y metálicas. Se evaluó la resistencia a la compresión, corte y flexión de estos concretos a edades de 14 y 28 días.

1.5 Programación y presupuesto

1.5.1 Presupuesto:

Se estima un valor para la elaboración y ejecución de la presente investigación de \$1.500.000

1.5.2 Programación:

Tabla 1 Programación trabajo de investigación

ACTIVIDAD	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Presentación ante proyecto												
Recolección de Datos: Identificación del origen del material y las condiciones de almacenamiento. Análisis de laboratorio, estado del arte, marco teórico												
elaboración diseño de mezcla												
elaboración de especímenes												
Desencofrado especímenes												
Ensayos de laboratorio especímenes												
Análisis de Resultados												
modelación de edificio 3 pisos												
conclusiones												
corrección												
sustentación												

Fuente: elaboración propia

Marco Teórico

1.6 Ductilidad

Se define la ductilidad como la capacidad que tiene un material estructural de resistir, sin fallar, deformaciones que lleven al material estructural más allá del límite elástico, o límite donde las deformaciones son linealmente proporcionales al esfuerzo o fuerza aplicada (García Reyes, 1998).

Podemos definir también la ductilidad como la capacidad de los elementos de una estructura para deformarse sin colapsar. El análisis del comportamiento de las conexiones viga-columna en la carga cortante máxima y cerca de ella sirve para determinar las redistribuciones de momentos, fuerza cortante y fuerza axial que se pueden usar en el diseño según los códigos NSR-10 y ACI 318-14. A mayor ductilidad de una estructura, mayor capacidad de disipación de energía ante cargas sísmicas, dada por las deformaciones inelásticas. Una sección dúctil puede mantener la capacidad de momento cerca al valor máximo para curvaturas o rotaciones grandes, más allá de la curvatura dada en la primera cedencia; las provisiones de diseño del ACI 318 buscan, mediante los requisitos de diseño, asegurar la suficiente ductilidad para garantizar la redistribución de momentos antes de la falla parcial o total.

Dependiendo del parámetro que describe las deformaciones, la ductilidad puede ser los siguientes tipos:

1.6.1 Ductilidad por desplazamiento

Cuando la ductilidad se mide con respecto al desplazamiento o deflexión que tiene el elemento estructural. El desplazamiento se mide con respecto a la posición original del eje longitudinal del elemento. La ductilidad máxima está dada por:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta m}{\Delta y}$$

Dónde:

Δm es la deflexión lateral máxima en el rango inelástico; y

Δy es la deflexión lateral en la primera cedencia.

1.6.2 Ductilidad por rotación

Cuando la ductilidad se mide a la rotación que tiene un sector longitudinal del elemento estructural, rotación se define como la pendiente de la línea elástica del elemento medida con respecto a la posición original del eje longitudinal del elemento La ductilidad máxima es:

$$\mu_{\theta} = \frac{\theta m}{\theta y}$$

Ecuación 1-22

1.6.3 Ductilidad por curvatura

Cuando la ductilidad se mide con respecto a la curvatura de la sección del elemento estructural, la curvatura se define como el cociente entre el momento flector aplicado y la rigidez de la sección, en el cual la ductilidad máxima por curvatura es:

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi m}{\phi y}$$

Ecuación 1-23

1.6.4 Ductilidad por deformación unitaria

Cuando la ductilidad se mide con respecto a la deformación unitaria de una fibra paralela al eje neutro Se calcula a partir de la relación momento-deformación unitaria, cuyo valor máximo es:

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon m}{\epsilon y}$$

Ecuación 1-24

La ductilidad por desplazamiento es la más utilizada en los análisis de comportamiento tanto de elementos como de la estructura global, cuando se utilizan fuerzas horizontales en ensayos pseudo-dinámicos.

La ductilidad ha sido un concepto de gran utilidad en la ingeniería y puede analizarse junto a otros parámetros como el índice de daño y energía disipada para diseño (Mayorga, 2011).

1.7 Materiales

1.7.1 Concreto

Este término se refiere a la mezcla de cemento, agregado fino (arena), agregado grueso y grava

1.7.2 Cemento

Es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, cuya composición es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales, que contienen sílice, alúmina y óxido de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso (Guzman D. S., 2005) Para la fabricación del concreto estructural se utilizan exclusivamente los llamados cementos hidráulicos. Para completar el proceso químico (hidratación) mediante el cual el polvo de cemento fragua y endurece para convertirse en una masa sólida se requiere la adición de agua. De los diferentes cementos hidráulicos desarrollados, el cemento Portland, patentado por primera vez en Inglaterra en 1824, es el más común de todos. (Nilson, 2001)

- **Composición Química Del Cemento Portland**

(Rivera, n.f), expone que las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento Portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y hierro; estos elementos se presentan en forma de óxidos, como lo son el óxido de calcio (CaO) en mayor abundancia, seguido en menor proporción por el dióxido de sílice (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃) trióxido de di hierro (Fe₂O₃), Oxido de magnesio (MgO) y trióxido de azufre (SO₃); en la Tabla 1 se observa porcentualmente la proporción de cada uno de estos elementos en la composición del cemento portland.

Tabla 2 Límites de composición aproximados para cemento Portland (Tipo 1)

OXIDO	CONTENIDO(%)
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0,5 - 6,0
MgO	0,1 - 4,0
Álcalis	0,2 - 1,3
SO ₃	1 - 3

Fuente: Rodríguez S. (2016). Límites de composición aproximado para cemento portland, Recuperado: Evaluación de los efectos del curado interno en el concreto a partir de agregados ligeros pre humedecidos

• Clasificación del cemento

Hoy en día se fabrican diversos tipos de cemento para satisfacer diferentes necesidades y para cumplir con propósitos específicos. La norma NTC 30 estipula once clases de cemento que tienen la siguiente nomenclatura. (Guzman D. S., 2005).

Portland tipo 1	Normal
Portland tipo 1-A	Normal Includor de aire
Portland tipo 1-M	Normal de mayores resistencias
Portland tipo 1-M A	Normal de mayores resistencias, includor de aire
Portland tipo 2	De resistencia moderada a los sulfatos
Portland tipo 2-A	De resistencia moderada a los sulfatos, includor de aire
Portland tipo 3	De alta resistencia inicial
Portland tipo 3-A	De alta resistencia inicial, includor de aire
Portland tipo 4	De bajo calor de hidratación
Portland tipo 5	De resistencia elevada a los sulfatos
Portland Blanco	color blanco, normalmente tipo 1 o 3.

Para la presente investigación el cemento a utilizar es el tipo 1 a continuación se describe su definición:

- **Cemento portland tipo 1:**

De uso general, destinado a obras de concreto que no esté sujetas al contacto con factores agresivos, como el ataque de sulfatos existentes en el suelo o el agua, o a concretos que tengan aumento cuestionable de la temperatura debido al calor generado durante la hidratación. Entre sus usos se incluye: pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos, tubería, mampostería y otros productos de concreto reforzado, (Guzman D. S., 2005)

1.7.3 Agua

Por lo general se recomienda que el agua sea potable y no tenga un pronunciado sabor u olor, puede usarse como agua de mezcla o de curado de concreto o el mortero. Sin embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones sales, cítricos o azúcares entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto o el mortero. De otra parte, el agua que puede ser adecuada para el concreto debe ser buena para beber. En Colombia existe la norma NTC 3459 (agua para elaboración de concreto y mortero de cemento hidráulico) (Guzman D. S., 2006)

1.7.4 Agregados

Para concretos estructurales comunes, los agregados ocupan aproximadamente entre el 70 y el 75 por ciento del volumen de la masa endurecida. El resto está conformado por la pasta de cemento endurecida, agua no combinada (es decir, agua no utilizada en la hidratación del cemento) y vacíos de aire. Evidentemente, los últimos dos no contribuyen a la resistencia del concreto. En general, mientras más densamente pueda empaquetarse el agregado, mejor será el refuerzo, la resistencia a la intemperie y la economía del concreto. Por esta razón, resulta de fundamental importancia la gradación del tamaño de las partículas en los agregados, con el fin de producir este empaquetamiento compacto. También es importante que el agregado tenga buena resistencia, durabilidad y resistencia a la intemperie; que su superficie esté libre de impurezas como arcillas, limos o materia orgánica las cuales pueden debilitar la unión con la pasta de cemento; y que no se produzca una reacción química desfavorable entre éste y el cemento.

Los agregados naturales se clasifican generalmente en finos y gruesos. Un agregado fino o arena es cualquier material que pasa el tamiz No. 4, es decir, un tamiz con cuatro aberturas por Pulgada lineal. El material más grueso que éste se clasifica como agregado grueso o grava. (Nilson, 2001)

- **Agregado fino**

Aquel material granular fino generalmente menor de 6mm -1/4" de diámetro que resulta de la desintegración natural de la roca o de la trituración de areniscas.

Lo esencial en una buena arena para elaborar concreto es que sea limpia, que este bien granulada y que sus granos sean duros y resistentes. (Garza, 2007)

- **Agregado Grueso**

La selección de los agregados gruesos es importante porque de su dureza y resistencia depende la fatiga a la comprensión del concreto, el cemento en si no intenta añadir dureza al material porque su función solo consiste en unir. Muchas veces se atribuye al cemento el resultado de un mal trabajo, pero lo que es cierto es que un concreto de baja calidad siempre es el resultado de un agregado o mano de obra defectuosa.

Al conseguir el agregado grueso, debe tenerse cuidado de que sea un material bien graduado y que contenga una proporción de partículas de todos los tamaños desde el más grande permitido por la clase de obra a efectuar hasta el más pequeño, que será aproximadamente de 6mm de diámetro (tamaño más grueso de la arena).

Los agregados que se emplean son de rocas duras e inalterables, como granito, basalto, caliza y en general, toda piedra de río. (Garza, 2007)

1.7.5 Acero de refuerzo

Refuerzo corrugado: basado en el capítulo c.3.5.3 de la NSR 10 las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumplan con la norma NTC 2289 (ASTM A 706M) no se permite el uso de acero corrugado de refuerzo fabricado bajo la norma NTC 245, ni aceros trabajados en frío o trefilado

- **Estribo**

Barra o alambre que abraza el refuerzo longitudinal. Es aceptable una barra o alambre continuo doblado en forma de círculo, rectángulo u otra forma poligonal sin esquinas reentrantes

Refuerzo empleado para resistir esfuerzos de cortante y de torsión en un elemento estructural; por lo general barras, alambres o malla electro soldada de alambre (liso o corrugado) ya sea sin dobleces o doblados en forma de L, de U o formas rectangulares, y situados perpendicularmente o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal. (El término "estribo" se aplica normalmente al refuerzo transversal de elementos sometidos a flexión y el término "estribo" a los que están en elementos sometidos a compresión.)

- **Refuerzo corrugado**

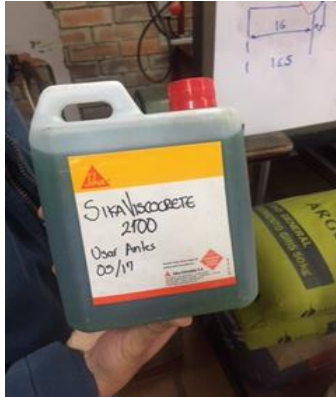
Barras de refuerzo corrugado, mallas de barras. Alambre corrugado, malla electro soldada de alambre liso.

1.7.6 Aditivo

Material distinto del agua, del agregado o del cemento hidráulico utilizado como componente del concreto, y que se añade antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades (ACI, 2002)

- **Sika viscocrete 2100**

Ilustración 1 Sika Viscocrete 2011



Fuente: Elaboración propia

Aditivo líquido reductor de agua de ultra alto rango y súper plastificante basado en policarboxilatos. No contiene cloruro. (Ver Anexo A)

1.7.7 Fibras:

- **Fibra sintética PVA**

Ilustración 2 Sika Fiber Force PP65



Fuente: Elaboración propia

Este tipo de fibras son utilizadas en el concreto para reforzar el mismo, las cuales son incorporadas a la mezcla en el momento del amasado, dando como resultado una mejor isotropía y aumentando de forma notoria las resistencias del material frente a la tracción, la flexión, el impacto y la fisura entre otras. (Ver Anexo B)

- **Fibra metálica:**

son fibras de acero de alta calidad para reforzamiento del concreto proyectado (shotcrete) especialmente encoladas para facilitar la homogenización en el concreto, evitando la aglomeración de las fibras individuales SikaFiber® CHO 65/35 son fibras de acero de alta relación largo/diámetro lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra. (ver Anexo C)

1.8 Concreto reforzado con fibras - CRF

El concreto reforzado con fibras es un elemento que contiene fibras cortas uniformemente distribuidas y orientadas al azar. Éstas pueden ser metálicas, sintéticas (polipropilenos o acrílicas), de vidrio y naturales, cada una de las cuales proporcionan propiedades diferentes al concreto.

Las fibras están disponibles en variedad de formas, tamaños y espesores, pudiendo ser redondas, planas, onduladas. Estos elementos se añaden al concreto durante la mezcla.

Los factores principales que controlan el rendimiento del material son: las propiedades físicas de las fibras y de la matriz; y la fuerza de la unión entre las fibras y la matriz. Hay varias diferencias entre la armadura convencional y sistemas de fibra:

- Las fibras se distribuyen generalmente a lo largo de una sección transversal dada, mientras que las barras de refuerzo o alambres se colocan sólo cuando sea necesario.
- La mayoría de las fibras son relativamente cortas y espaciadas estrechamente en comparación con las barras de refuerzo continuo o alambres.

1.8.1 Tipos de fibras

- **Microfibras:** Normalmente son fibras de plástico, polipropileno, polietileno nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las fibras multifilamento permiten obtener mejores resultados y sus longitudes oscilan entre los 12 y los 75 mm y se dosifican en el concreto entre 0,6 kg/m³ y 1 kg/m³.
- **Macro fibras:** Generalmente son de materiales como acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales (fique y otros), los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como malla electro soldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Entre los beneficios del uso de concreto reforzado con fibras -CRF- se encuentran el incremento de la resistencia al impacto y a la fatiga. Su diámetro oscila entre los 0,25 mm y 1,5 mm con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm.

1.8.2 Clasificación de las fibras:

- **Fibras de polipropileno, vidrio y nylon:** Estos materiales se usan como microfibras y macro fibras destinadas a prevenir la fisuración del concreto en estado fresco o durante edades tempranas debido a la retracción plástica. Están diseñados para ser compatibles con el ambiente altamente alcalino de la matriz del concreto; sin embargo, en su caso particular, las fibras de vidrio deben ser resistentes a los álcalis. Algunas fibras existentes en el mercado pueden contener aditivos destinados a combatir bacterias o aumentar el asentamiento. Normalmente se usan bajas dosificaciones en masa, de alrededor de 1 kg/m³.
- **Fibras de acero:** Dependiendo del sistema de fabricación, hay fibras de diferentes tamaños, secciones, rugosidad superficial y formas. Pueden ser trefiladas en frío, cortadas o maquinadas. Su forma puede ser variable, recta, ondulada o con aplastamientos. Normalmente tienen deformaciones a lo largo de la fibra o en sus extremos. Esta última modalidad es más eficaz para aumentar la adherencia en el concreto. Para comparar una fibra con otra se utilizan tres conceptos: relación de esbeltez, anclaje y resistencia a la tracción del alambre.

Una forma fácil de Comparar el desempeño de dos fibras, es revisando la relación de esbeltez (longitud/diámetro).

Las dosificaciones de fibras de acero oscilan normalmente entre 15 y 25 kg/m³ para pisos convencionales. En pisos sin juntas, normalmente se emplean dosificaciones mayores de 30 kg /m³ y para aplicaciones en concretos lanzados como los utilizados en túneles la dosificación es de 40 kg/m³. (TANIGUCHI, 2007)

- **Fibras sintéticas:** Investigaciones realizadas en Estados Unidos, Canadá y Australia han comprobado que las fibras sintéticas (polietilenos y polipropilenos densos, entre otras) debidamente diseñadas, pueden usarse exitosamente como alternativa tradicional a la malla electro soldada.

En este caso, las fibras sintéticas se clasifican dentro del grupo de las macro fibras, cuyo efecto principal dentro del concreto es asegurar una tenacidad acorde con las necesidades del diseño estructural.

Al igual que las fibras metálicas, las fibras sintéticas están diseñadas para mejorar las características mecánicas del concreto y se suministran en longitudes y diámetros distintos. La proporción de la mezcla depende de la longitud y el diámetro, pero las dosificaciones usualmente empleadas están comprendidas entre 1 y 2% en volumen (9 a 18 kg/m³), si bien existen aplicaciones con contenidos mínimos del 0,1%, o máximos del 8%, en volumen (asocreto, 2007).

- **Fibras naturales:** Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%. Al adicionar una fibra natural, se potencia el desempeño del concreto ante una carga o una fisura, pues se genera una resistencia residual para que la estructura no colapse de inmediato. Por lo tanto, estos materiales la hacen más elástica y de mayor soporte a la fractura. Este tipo de concreto se usa en paneles, vías, andenes o en elementos que no estén sometidos a grandes esfuerzos de tracción o compresión, pero que sí están sometidos al desgaste o al impacto. (TANIGUCHI, 2007)

1.8.3 Ventajas del CRF

Cuando las cargas impuestas sobre el hormigón se acercan al colapso del elemento, las grietas se propagan, a veces rápidamente, las fibras en el hormigón proporcionan medios de detener el crecimiento de la grieta. En consecuencia, la ventaja real del uso de fibras

en el hormigón se puede ver después de la fisuración de la matriz. Estos tipos de materiales son útiles si se requiere una gran cantidad de capacidad de absorción de energía para evitar fallos. Las barras de acero de refuerzo en el hormigón tienen el mismo efecto beneficioso porque actúan como fibras continuas largas. Sin embargo, las fibras discontinuas cortas tienen la ventaja de ser uniformemente mezcladas y dispersadas en todo el hormigón. Las fibras se añaden a una mezcla de hormigón que normalmente contiene cemento, agua y agregado fino y grueso. Entre las fibras más comunes usadas están el acero, el vidrio, el asbesto y el polipropileno.

Si el módulo de elasticidad de la fibra es alto con respecto al módulo de elasticidad del aglomerante de hormigón o de mortero, tal como las fibras de acero, las fibras ayudan a transportar la carga, aumentando así la resistencia a la tracción del material.

Por regla general, las fibras están generalmente distribuidas aleatoriamente en el hormigón; sin embargo, el procesado del hormigón para que las fibras se alineen en la dirección de la tensión aplicada dará como resultado resistencias a la tracción o flexión aún mayores (TANIGUCHI, 2007).

Tenacidad se define como el área bajo una curva carga-deflexión (o esfuerzo-deformación). Se estima que al agregar fibras al concreto se incrementa en forma importante la tenacidad del material; es decir, el concreto reforzado con fibras es capaz de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones mucho mayores que aquellas a las cuales aparece el primer agrietamiento en la matriz.

1.9 Concreto flexible o dúctil

Se trata de un material de aspecto externo muy parecido al concreto convencional, aunque con 500 veces más resistencia a roturas por sobrecarga. Por otra parte, su peso es un 40% más ligero. Estas propiedades están conseguidas mediante la inclusión en la mezcla de un 2% de fibras especiales. Para su elaboración se utilizan también los componentes habituales del concreto, excepto áridos gruesos, tratados o producidos de forma sintética para contribuir a la flexibilidad del compuesto.

Tanto el material como los compuestos especiales han sido diseñados por la Universidad de Michigan y reciben el nombre de ECC's (Engineered Cement Composites). Por el momento estos materiales serán más caros que el concreto tradicional, aunque sus

largas duraciones hacen que su coste disminuya si se tiene en cuenta el gasto a largo plazo debido a la mayor duración de las estructuras construidas con dicho material.

En condiciones normales el concreto ECC se comporta como el concreto convencional, pero cuando es sometido a grandes tensiones, la red de fibras integradas en el compuesto se estira y se desliza ligeramente con respecto al componente rígido, evitando así la fragilidad y rotura total del elemento.

El compuesto de cemento de ingeniería (ECC), también llamado hormigón plegable, es un compuesto basado en mortero, fácilmente moldeado y reforzado con fibras al azar cortas especialmente seleccionadas, usualmente Fibras de polímero, ECC tiene una capacidad de deformación en el rango de 3-7%, comparado con el 0.01% para cemento portland ordinario (OPC). Por lo tanto, ECC actúa más como un metal dúctil que como un vidrio frágil (como lo hace el hormigón OPC), dando lugar a una amplia variedad de aplicaciones.

ECC, a diferencia del hormigón armado de la fibra común, es una familia del material diseñado. El diseño de los compuestos de cemento para las aplicaciones de ingeniería civil para lo cual se desarrolla un material cementoso basado en micro mecánica y fractura La teoría de la mecánica para presentar gran ductilidad a la tracción, se puede llamar un ECC. Por lo tanto, ECC no es un diseño de material fijo, sino una amplia gama de temas en diferentes etapas de investigación, desarrollo e implementaciones. La familia de materiales ECC se está expandiendo. El desarrollo de un diseño de mezcla individual de ECC requiere esfuerzos especiales mediante la ingeniería sistemática del material en las escalas nano, micro, macro y compuestas. (Terremotos, 1993)

ECC se asemeja al cemento portland ordinario a base de cemento, a excepción de que puede deformarse (o doblarse) bajo tensión. Un número de grupos de investigación están desarrollando ciencia ECC, Michigan, University of California, Irvine, Universidad Tecnológica de Delft, Universidad de Tokio, Universidad Técnica Checa, Universidad de Columbia Británica, Y Universidad de Stanford. La falta de durabilidad y la fractura del hormigón tradicional, que se derivan de un comportamiento quebradizo, han sido un factor de empuje en el desarrollo de ECC. (Maz, 2006)

1.9.1 Propiedades

ECC tiene una variedad de propiedades únicas, incluyendo propiedades de tracción superiores a otros compuestos reforzados con fibra, compuestos fáciles de procesar a la par con el cemento convencional, el uso de sólo una pequeña fracción de volumen de fibras (~ 2%) para fibras sintéticas, Ancho de fisura estrecho y falta de planos anisotrópicamente débiles. Estas propiedades se deben en gran parte a la interacción entre las fibras y la matriz de cementación, Diseño de la micro mecánica. Esencialmente, las fibras crean muchas micro fisuras con un ancho muy específico, en lugar de algunas grietas muy grandes (como en el hormigón convencional). Esto permite que ECC se deforme sin fallas catastróficas.

Este comportamiento de micro fisura conduce a una resistencia superior a la corrosión (las grietas son tan pequeñas y numerosas que es difícil que los medios agresivos penetren y ataquen el acero de refuerzo, así como a la auto curación.

Normalmente en el concreto convencional algunas partículas del cemento se han quedado sin reaccionar, una vez el concreto es expuesto y este entra en contacto con el agua (durante una tormenta o lluvia) las partículas de cemento sin reaccionar, reaccionan debido al agrietamiento del hidrato y forman una serie de productos que se expanden y llenan la grieta como material blanco de "cicatriz". Este comportamiento de auto curación no sólo sella la grieta para evitar el transporte de fluidos, sino que las propiedades mecánicas se recuperan. Esta auto curación se ha observado en una variedad de cementos y hormigones convencionales; Sin embargo, por encima de un cierto ancho de fisura auto curación se vuelve menos eficaz. Se trata de los anchos de fisura estrechamente controlados que se ven en ECC que aseguran que todas las grietas sanan completamente cuando se exponen al medio ambiente natural. (ARQHYS, 2012)

El uso de fibras de metálicas incrementa las propiedades a flexión, tensión, cortante, fatiga, impacto y desgaste, y controlan la figuración del concreto. Por tanto, la adición de fibras de acero promueve concretos con mejores desempeños y con mayor durabilidad. Usualmente, las fibras de acero producen ligeras modificaciones de la resistencia a compresión del concreto. (Arciniegas, 2013)

Las fibras metálicas han demostrado incrementos notables del comportamiento dúctil del concreto, que es la capacidad de redistribuir esfuerzos en la masa. Esta absorción de energía prácticamente ofrece una mayor capacidad de carga al concreto, por lo que en

muchos casos el incorporar fibras metálicas permite disminuir el espesor de los pisos de concreto.

El incremento del comportamiento dúctil del concreto se puede medir a través del método de prueba normalizado ASTM C 1018 4. Esta prueba consiste en aplicar tres puntos de esfuerzo a una viga; la ductilidad o absorción de energía que ofrecen las fibras metálicas al concreto corresponde al área debajo de la curva carga-deflexión; la primera falla corresponde a lo que normalmente se conoce como módulo de ruptura del concreto, a partir de este punto se calcula el área debajo de la curva en distintos intervalos. La realización de esta prueba requiere un deflectómetro para evaluar la deflexión de la viga. Reforzar el concreto con fibras metálicas ofrece a los constructores la posibilidad de eliminar el habilitado y la colocación de mallas o varillas; las fibras metálicas se incorporan directamente al concreto como si se tratara de un agregado o aditivo más.

Resistencia a la fatiga.

Gracias a la redistribución de esfuerzos en la masa de concreto que se logra con la incorporación de fibras metálicas, se observa un incremento significativo a la resistencia a la fatiga. El concreto reforzado con fibras metálicas asegura resistencia a un mayor número de repeticiones de carga, de 1.2 a 2 veces más de las que el concreto simple soporta.

Resistencia al cortante.

Las fibras metálicas brindan resistencia al cortante, que es primordial en la construcción de pisos, tanto de uso industrial como comercial. Esta ventaja permite prescindir de elementos como canastillas con pasa juntas en las juntas aserradas o de control. Las fibras metálicas, gracias a su capacidad de anclaje y resistencia, ofrecen transferencia de carga a través de las juntas de contracción, primordial cuando van a circular vehículos pesados o montacargas

Resistencia al impacto.

Las fibras metálicas son el único elemento de refuerzo que brinda al concreto un incremento de la resistencia al impacto que va de 15 a 100 veces más de lo que el concreto simple soporta. (Hop, 2003)

1.9.2 Tipos de concreto flexible o dúctil

Hay un número de diversas variedades de ECC, incluyendo:

- **Ligeros**

Se han desarrollado ECC ligeros (es decir, de baja densidad) mediante la adición de vacíos de aire, burbujas de vidrio, esferas de polímero y / o agregado ligero. Comparado con otros hormigones ligeros, el ECC ligero tiene ductilidad superior. Las aplicaciones incluyen casas flotantes, barcas y canoas.

- **Autocompactante**

El "concreto autocompactante" se refiere a un concreto que puede fluir bajo su propio peso. Por ejemplo, un material de auto compactación podría llenar un molde que contiene un refuerzo de acero pre-posicionado elaborado sin necesidad de vibración o agitación para asegurar una distribución uniforme. El ECC de auto compactación se desarrolló mediante el uso de aditivos químicos para disminuir la viscosidad y mediante el control de las interacciones de las partículas con la mezcla proporcional.

- **Pulverizable**

El ECC pulverizable, que se puede pulverizar neumáticamente desde una manguera, se ha desarrollado usando varios agentes súper plastificantes y aditivos reductores de la viscosidad. En comparación con otros composites reforzados con fibra reforzada con fibra, el ECC pulverizable ha mejorado la capacidad de bombeo además de sus propiedades mecánicas únicas. El ECC pulverizable se ha utilizado para trabajos de reequipamiento, reparación y revestimientos de túneles y alcantarillado.

- **Extraíble**

El ECC extraíble para uso en cubiertas con el fin de extruir tuberías se desarrolló por primera vez en 1998. Las tuberías ECC extruidas tienen tanto una mayor capacidad de carga como una deformabilidad más alta que cualquier otra tubería de material compuesto reforzado con fibra extruida, suministrada en sitio en camiones mezcladores estándar. Debido a las propiedades mecánicas únicas de ECC, está cubierta también utilizó menos material que una cubierta propuesta hecha del cemento ordinario de Portland. Tanto la Universidad de Michigan como el Departamento de Transporte de Michigan están monitoreando el puente en un intento de verificar la durabilidad teórica

superior de ECC; Después de cuatro años de monitoreo, el desempeño permaneció sin disminuir.

- **Alta resistencia temprana**

La primera auto-consolidación y la reparación de parche ECC de alta resistencia temprana se colocó en Ellsworth Road Bridge sobre US-23 en noviembre de 2006. La ECC de alta resistencia inicial puede alcanzar una resistencia a la compresión de $23,59 \pm 1,40$ MPa ($3422,16 \pm 203,33$ psi) en cuatro horas y $55,59 \pm 2,17$ MPa (8062.90 ± 315.03 psi) en 28 días, permitiendo la reparación rápida y reabrir la sesión al tráfico. La reparación ECC de alta resistencia temprana ha demostrado una durabilidad a largo plazo superior en condiciones de campo en comparación con materiales de reparación de concreto típicos.

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

Estado del Arte

En este capítulo se exponen los estudios más relevantes tanto a nivel nacional como internacional respecto a la elaboración e implementación de concreto dúctil de diferente tipo de materiales para uso en estructuras.

1.10 Concreto avanzado

Implementación de un nuevo tipo de concreto elaborado por la empresa ARGOS. Ficha técnica versión 2 enero 2017.

El concreto avanzado de Argos es un producto de última tecnología que ofrece alta resistencia a la compresión y muy buena manejabilidad, lo que permite romper la barrera de los concretos convencionales, y así alcanzar ventajas significativas estructurales y estéticas.

Este concreto de ultra alto desempeño está compuesto por una mezcla de materiales especiales que permiten lograr una alta compacidad, lo que se traduce en un concreto particularmente innovador. Su comportamiento es sobresaliente en aspectos como resistencia a compresión, flexión, tracción y durabilidad.

Aplicaciones: puentes vehiculares y peatonales, sobre carpetas, puertos y muelles, tuberías y conducciones, cerchas, túneles, estructuras edificaciones y mobiliario.

Características mecánicas:

Resistencia a compresión: $f'_c = 150$ MPa (7 veces más que el concreto convencional)

Resistencia a Flexión: 18 MPa (5 veces más que el concreto convencional)

Resistencia a tracción directa: $f_t = 5$ MPa (50 veces más que el concreto convencional)

Módulo Elástico: $E = 38$ GPa (el doble de un concreto convencional)

Especificaciones técnicas:

A continuación, en la Tabla 2, Se pueden evidenciar algunas de las especificaciones técnicas que presenta el concreto avanzado.

Tabla 3 Especificaciones técnicas concreto avanzado

ESPECIFICACION	VALOR	OBSERVACIONES
Fluidez.	200 mm a 260 mm.	Evaluado de forma estática bajo la metodología NTC 5784.
Resistencia a compresión a 28 días.	17.000 psi (120 MPa) Sacos 21.000 psi (150 MPa) Premezclado	Evaluado siguiendo la metodología NTC 673 (ASTM C 39).
Resistencia a flexión a 28 días.	18 MPa.	Evaluado siguiendo la metodología ASTM C 947.
Resistencia a tracción a 28 días.	5 MPa.	Evaluado con la metodología recomendada HPRCC-JSCE.
Modulo de elasticidad.	38 GPa.	Evaluado siguiendo la metodología NTC 4025 (ASTM C 469).
Permeabilidad al agua.	Baja: profundidad de penetración < 30 mm.	Evaluado siguiendo la metodología NTC 4483.
Resistencia a la penetración del ión	Menor a 1000 Coulombs.	Evaluado siguiendo la metodología ASTM C 1202.

Fuente: <https://www.argos.co/Media/Colombia/images/FT%20CONCRETO%20AVANZADO2.pdf>

Ventajas

Altas prestaciones mecánicas que lo hacen competitivo frente a materiales como el acero.

Permite diseñar elementos livianos con secciones mecánicamente eficientes.

Apto para estructuras expuestas a agentes agresivos, garantizando una larga vida útil de las estructuras.

Desempeño sísmico sobresaliente, gracias a su capacidad de absorción de energía.

Sus características mecánicas a tracción permiten reducir el acero de refuerzo pasivo.

(Argos, 2017)

Primera estructura y aplicación en Latinoamérica

Ilustración 3 Puente peatonal Universidad EAFIT



Fuente: <https://www.argos.co/Media/Colombia/images/FT%20CONCRETO%20AVANZADO2.pdf>

¿Cómo se desarrolló este producto dentro del centro argos para la innovación?

El desarrollo del producto comenzó con una etapa de investigación en el área de I+D, en esta etapa se evaluaron diseños de mezclas, materiales y tecnologías hasta llegar al Concreto Avanzado. Posteriormente se realizaron trabajos en conjunto con universidades para validar características del material y posibles aplicaciones. La universidad EAFIT entra a respaldar el uso de este nuevo producto con la construcción del puente peatonal que conecta el campus actual con el edificio de idiomas, esta es la primera aplicación de este tipo en Latinoamérica.

Características de la obra

Es una pasarela peatonal con doble curvatura (horizontal y vertical), 110 metros lineales y una luz principal de 43 metros, soportado por 5 apoyos (4 columnas y una viga cabezal vaciadas en concreto autocompactante Argos de 42 MPa). Conformando la primera aplicación en concreto avanzado Argos en Colombia y Latinoamérica. Ver ilustración 3

El proceso constructivo que se utilizó en este caso se conoce como puente segmentado o dovelado con pos tensionamiento no adherido. Consiste en armar el puente con 29 piezas prefabricadas individuales llamadas dovelas y posteriormente hilarlas con cables de acero que se tensionan con ayuda de gatos hidráulicos para conformar el sistema estructural.

Cada dovela tiene unas dimensiones aproximadas de 3,60 m x 3,10 m x 2,00 m y pesa alrededor de 10 toneladas. Estos elementos fueron fabricados con Concreto Avanzado Argos, un concreto de ultra alto desempeño que por sus altas prestaciones mecánicas y versatilidad permitió materializar la visión de los arquitectos, logrando geometrías poco convencionales

La sección del puente tiene una geometría asimétrica, está conformado por una viga cajón principal de la cual se desprende un voladizo que junto con las pre losas configura la pasarela por la que transitan las personas. Estas condiciones geométricas generan esfuerzos que no podrían ser soportadas por un concreto convencional. (Argos, 2017)

1.11 Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero

Información extraída del libro Ingeniería, Investigación y Tecnología, Vol.14(3), pp.435-450[Revistas arbitradas], Julián, Carrillo; Giovanni, González; William, Aperador año 2013

La resistencia a tensión y la capacidad de deformación post-agrietamiento que exhibe el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA), impulsan su uso en elementos controlados por deformaciones de cortante. Con el propósito de desarrollar ayudas de diseño que promuevan la utilización de CRFA como refuerzo a cortante en el alma de muros de concreto para vivienda de interés social (VIS), se llevó a cabo un estudio experimental para caracterizar las propiedades mecánicas del CRFA. El programa experimental incluyó el ensayo de 128 especímenes en forma de cilindros y vigas. De acuerdo con los lineamientos especificados por ACI-318, con el espesor de los muros utilizados en VIS, y con los resultados de investigaciones previas, se seleccionaron tres fibras Dramix con relaciones longitud-diámetro de 55, 64 y 80. La dosificación de las fibras se expresó como porcentaje de la dosificación mínima que se especifica en ACI-318, cuando se desea sustituir el refuerzo mínimo convencional por cortante en vigas (60 kg/m³). De esta manera, se utilizaron cinco dosificaciones: 0, 40, 45, 60 y 75 kg/m³. En el estudio se determinaron las propiedades mecánicas del CRFA sometido a esfuerzos de compresión, tensión y flexión. A partir de las tendencias de los resultados experimentales, se proponen correlaciones numéricas para estimar las propiedades

mecánicas básicas, y las propiedades que caracterizan el desempeño a flexión del CRFA.

Conclusiones

Para desarrollar ayudas de diseño que promuevan el uso del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) en muros de concreto de vivienda de interés social (VIS), en el artículo se han presentado los resultados de un extenso programa experimental que incluyó el ensayo de 88 especímenes en forma de cilindros y 40 especímenes en forma de vigas. A partir de las tendencias de los resultados experimentales, se propusieron correlaciones numéricas para estimar las propiedades mecánicas básicas del CRFA (resistencia máxima y deformación en compresión, módulo de elasticidad, relación de Poisson y resistencia a tensión indirecta), y las propiedades que caracterizan el desempeño a flexión (resistencia de agrietamiento, capacidad de deformación y capacidad de disipación de energía o tenacidad). Las principales conclusiones de la investigación se presentan a continuación:

Características básicas

La manejabilidad del concreto disminuyó significativamente a medida que incrementó la cantidad de fibras en el concreto, especialmente cuando se utilizan fibras tipo con longitud igual a 60 mm.

El peso específico en estado endurecido no varía significativamente al aumentar el contenido de fibras, pues la disminución de agregado grueso se equilibra con la adición de fibras de acero.

Comportamiento en compresión y en tensión

A medida que se incrementa el contenido de fibras de acero, la resistencia a compresión del concreto disminuye a un valor casi constante ($f_c/f_{co} = 0.87$) y su capacidad de deformación en compresión aumenta.

El módulo de elasticidad disminuye a medida que se incrementa el contenido de fibras de acero. Esta tendencia se genera por la disminución de agregado grueso (sustitución de agregado grueso por fibra de acero), y por el aumento del contenido de aire en la mezcla, el cual crea menor adherencia entre el matriz cementante y la fibra. El aumento de aire se origina porque éste queda atrapado por la disminución de revenimiento del concreto o porque se introduce en el momento del mezclado de las fibras.

En general, la fibra de acero le proporciona un efecto de confinamiento al concreto en compresión y, por tanto, a medida que incrementa el contenido de fibras de acero, la relación de Poisson disminuye a un valor casi constante ($\nu = 0.15$).

En términos generales, la fibra de acero genera que el concreto se vuelva ligeramente menos resistente, pero más dúctil cuando éste se somete a fuerzas axiales de compresión.

En cuanto al ensayo de compresión diametral, tal como se esperaba, la resistencia a tensión indirecta del concreto aumenta proporcionalmente con la cantidad de fibras de acero.

Desempeño en flexión

La prueba de flexión es considerada como una de las más representativas para el CRFA, pues a partir de ella se puede estimar la capacidad de deformación que la fibra le proporciona al concreto después de alcanzar el agrietamiento inicial por flexión. Adicionalmente, a partir de los resultados medidos durante esta prueba, se determina la tenacidad del CRFA; es decir, la capacidad de absorción de energía del material.

Tal como se esperaba, la resistencia al agrietamiento de tensión por flexión o módulo de ruptura y la deformación unitaria asociada, no varían significativamente al incrementar el contenido de fibras de acero, pues a partir de este esfuerzo inicia la contribución de las fibras al concreto. Sin embargo, la resistencia máxima a tensión por flexión y su deformación unitaria asociada, así como la tenacidad, sí aumentan proporcionalmente con el contenido de fibras de acero.

De forma similar, se observó que las resistencias residuales aumentaron significativamente a medida que se incrementó la cantidad de fibras de acero.

El endurecimiento por deformación se observó en CRFA con valores del producto $V_f \times (I_f/df)$ mayores que aproximadamente 50. Este comportamiento demuestra un mejor trabajo de la matriz cementante-fibra, el cual está asociado principalmente a una mejor adherencia entre ambos componentes.

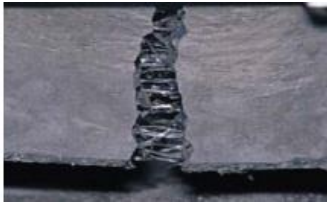
1.12 Influencia de los componentes del concreto reforzado con fibra en sus propiedades mecánicas

A continuación, se presenta el estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, Profesor Luis Octavio González, Palmira, 2013

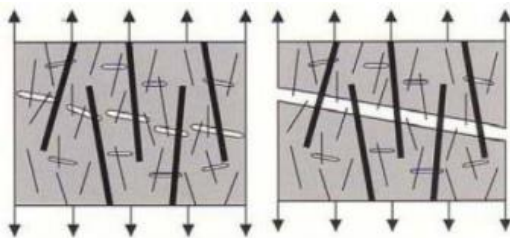
El concreto es un material de construcción y estructural por excelencia, elaborado con cemento, agua, agregados, adiciones minerales y aditivos químicos. Sin embargo, es conocido también como un material quebradizo, característica que es contrarrestada con la incorporación de un volumen de fibra como reforzamiento de su matriz basada en cemento. La incorporación de fibra hace que se denomine como concreto reforzado con fibra, o simplemente fibro reforzado, y se caracteriza como un material cuasi-dúctil, con una ganancia en el aumento de la mayoría de sus propiedades mecánicas, y de la capacidad de resistir cargas más allá de la aparición de la primera grieta, capacidad que llamada tenacidad. En el presente documento, se hace una revisión investigativa de las principales características del concreto reforzado con fibras, a partir de los diferentes aportes que realizan sus componentes (cemento, agregados, adiciones en general, y fibra) sobre sus propiedades mecánicas.

Efecto de la fibra

La fibra ejerce un mecanismo de puenteo, con el fin de transmitir esfuerzos en el concreto agrietado y proporcionarle capacidad de seguir recibiendo carga aun en una condición agrietada, sin fallar; además de este mecanismo de puenteo, la longitud de la fibra tiene una acción diferenciada en el control de la micro fisura y la macro fisura (ilustración 4) [Pujadas 2008; Plaza 2010]. Las fibras hacen poco para aumentar la resistencia a compresión, con incrementos del orden del 25%, incluso en elementos estructurales con reforzamiento convencional, la adición de fibras tiene poco efecto sobre la resistencia a compresión; sin embargo, las fibras hacen sustancialmente un incremento de la ductilidad post-agrietamiento o absorción de energía del material [Van Chanh 2005].

Ilustración 4 Efecto del reforzamiento de la matriz cementicia con fibras, en el concreto

Fuente: (plaza, 2010), Efecto del reforzamiento de la matriz cementicia con fibras, en el concreto

Ilustración 5 Control de la micro fisura y la macro

Fuente:

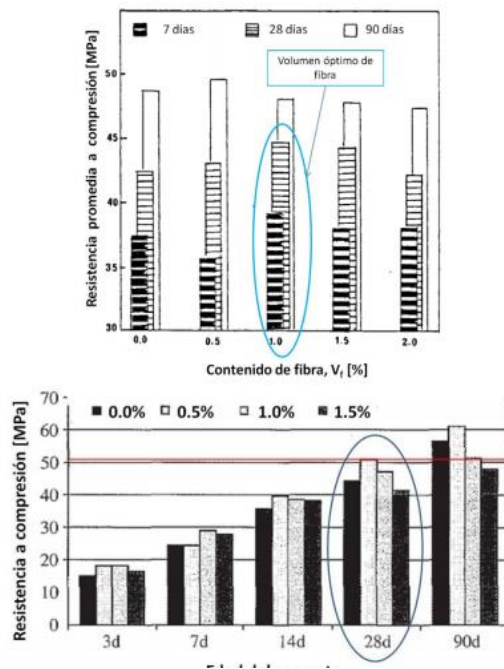
<http://www.bdigital.unal.edu.co/9327/1/influencia%20de%20los%20componentes%20del%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20en%20sus%20propiedades%20mecanicas.pdf>

Con respecto a los esfuerzos de tracción, las fibras alineadas en la dirección del esfuerzo de tensión pueden brindar un incremento alto en el esfuerzo a tracción directa, con valores hasta del 150%; para distribuciones aleatorias, el incremento es menor, pero puede alcanzar valores importantes del 60%, y cuyos resultados son similares para la tracción indirecta [Van Chanh 2005]. Un aporte importante en esta acción mecánica, es la tenacidad mostrada en el comportamiento pos agrietamiento; es en la flexión desde el punto de vista mecánico donde las fibras tienen un efecto agregado mayor que en la compresión y la tracción, donde han sido reportados incrementos mayores al 100% [Van Chanh 2005].

Para las diferentes acciones mecánicas, los incrementos de resistencia son sensibles al volumen de fibra, y en particular para las resistencias a tracción y flexión, son influyentes también la relación de aspecto (longitud de la fibra/diámetro de la fibra) y la geometría y morfología de la fibra (rectitud de su longitud, rugosidad en su longitud, y anclajes en los extremos) [Miao 2003].

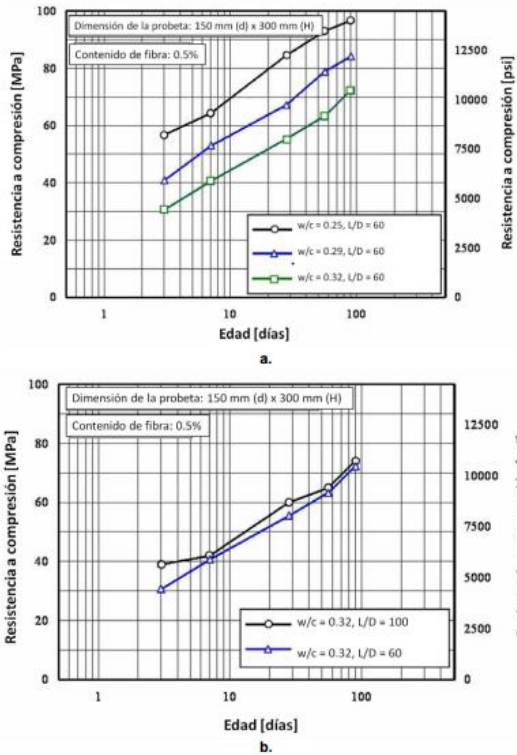
Diversos reportes de investigación [Wafa 1990; Miao 2003], en ensayos a compresión, muestran que a partir de cierta cantidad de fibra se obtiene un valor máximo de resistencia (denominado volumen óptimo de fibra), y partir de allí se experimenta una caída en dicho valor, como se aprecia en la ilustración 6; sin embargo, para una cantidad, y características geométricas y morfológicas fijas de la fibra, como es de esperarse, la resistencia a compresión es influenciada por la relación agua/cementante (figura 14-a), mientras que para una cantidad y características morfológicas fijas de la fibra, la resistencia es influenciada por la relación de aspecto (ilustración 7) [Tsai et al. 2009].

Ilustración 6 Ejemplos del comportamiento de la resistencia a compresión del concreto



Fuente:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/9327/1/influencia%20de%20los%20componentes%20del%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20en%20sus%20propiedades%20mecanicas.pdf>

Ilustración 7 8 Influencia de la relación agua/cemento y de la relación de aspecto L/D, sobre la resistencia a compresión [Tsai et al. 2009]: a.- Influencia de la relación agua/cemento; b.- Influencia de la relación de aspecto L/D.



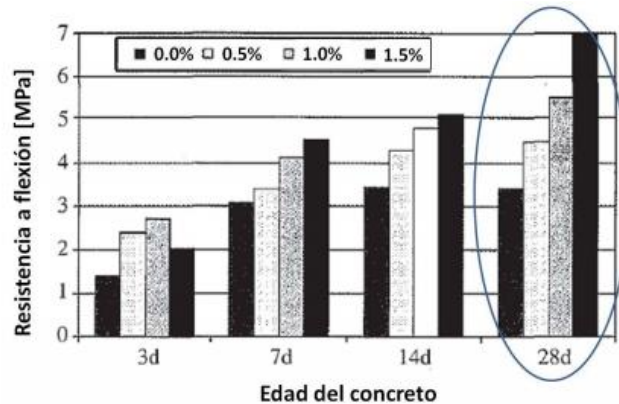
Fuente:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9327/1/influencia%20de%20los%20componentes%20del%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20en%20sus%20propiedades%20mecanicas.pdf>

Con respecto a las resistencias de tracción y de flexión, éstas se incrementan con el incremento de la cantidad de fibra (ilustración 8), sin embargo, valores cercanos al 2% como fracción de volumen de fibra, generan una caída de los valores de resistencia, para cantidades y características geométricas y morfológicas fijas de la fibra [Miao 2003]. Diversas investigaciones [Van Chanh 2005; Holschemacher & Müller 2007; Plaza 2010] reportan que altas relaciones de aspecto, proporcionan altos incrementos de las resistencias, y también, es reportado que las fibras deformadas muestran los mismos

tipos de incrementos con bajos volúmenes debido a las características de adherencia, como se muestra en la ilustración 9

Ilustración 8 Comportamiento de la resistencia a flexión del concreto, para diferentes edades



Fuente:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9327/1/influencia%20de%20los%20componentes%20del%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20en%20sus%20propiedades%20mecanicas.pdf>

Con respecto a la morfología de la fibra metálica, Holschemacher & Müller (2007) manifiestan que las propiedades mecánicas del concreto, principalmente la resistencia a flexión se ve afectada por la variación de la geometría (longitud, diámetro), forma (recta o deformada, con o sin anclajes en sus extremos), y las propiedades de la superficie (lisa, rugosa o deformada); de igual manera, expresan que hay una amplia variación en dichas propiedades geométricas en las fibras metálicas comerciales disponibles, pudiéndose encontrar una variedad de alrededor de once tipos [Holschemacher & Müller 2007; Martínez 2008; Haamed 2010, Mármol 2010]. A partir de una recopilación y revisión de alrededor de 60 catálogos comercialmente disponibles para fibra metálica [Benavides & González 2012a], se puede observar que la variedad de la fibra puede ser agrupada de manera resumida en clases, como se muestra la ilustración 10, y que ha sido propuesta con anterioridad en diferentes reportes [Martínez 2008; Pujadas 2008; Mármol 2010]. De igual manera, la ASTM A 820 provee una clasificación en cuatro tipos de acuerdo con su fabricación, y la JSCE las clasifica en tres grupos de acuerdo con la forma de su sección transversal [ACI Committee 544 2002].

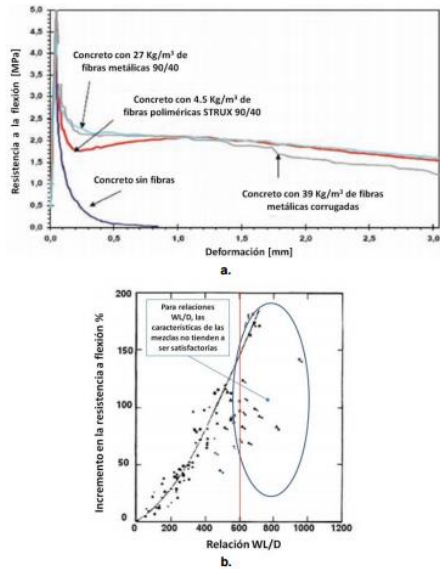


Ilustración 9 Efecto del tipo de fibra en la resistencia a flexión del concreto: a.- influencia del tipo de fibra (metálica o plástica), la dosificación y la relación de aspecto [Plaza 2010]; b.- influencia del parámetro WL/D (W peso en %, y L/D relación de aspecto de la fibra), en la ganancia de resistencia a flexión [Van Chanh 2005].

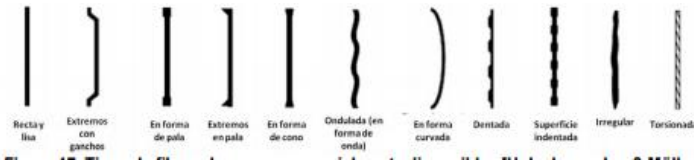


Ilustración 10 Tipos de fibras de acero, comercialmente disponibles [Holschemacher & Müller 2007; Martínez 2008; Pujadas 2008; Haamed 2010; Mármol 2010].

Entonces para representar la geometría y anclaje de la fibra, se adaptan cuatro grupos como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4 Consideración de la geometría y anclaje de la fibra metálica.

Variable	Descripción
Tipo 1	Recta con ganchos en los extremos (<i>end-hooks</i>).
Tipo 2	Recta con anclajes en los extremos, diferente a <i>end-hooks</i> (<i>paddles, end-knobs, coned</i>).
Tipo 3	De superficie ondulada o rugosa (<i>crimped o wave shaped, toothed, surface indented, irregular, twisted</i>).
Tipo 4	De superficie lisa, sin anclajes en los extremos (<i>straight o smooth, bow shaped</i>).

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9327/1/influencia%20de%20los%20componentes%20del%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20en%20sus%20propiedades%20mecanicas.pdf>

Con respecto a la morfología de la fibra de polipropileno, en diversos reportes [ACI Committee 544 2002; Pujadas 2008; Mármol 2010] se establece que de acuerdo con su proceso de fabricación se clasifican en dos tipos principales, monofilamentos extruidos y láminas fibriladas (formando mallas), y también ha aparecido con gran aceptación en el mercado en reemplazo de las variedades de monofilamentos, la fibra multifilamento (disponible en cintas) debido a su mayor adherencia dentro de la matriz [Pujadas 2008; Mármol 2010]. A partir de una recopilación y revisión de alrededor de 50 catálogos comercialmente disponibles para fibra de polipropileno [Benavides & González 2012b], se puede observar que la variedad de la fibra puede ser agrupada como se muestra la figura 18, y que ha sido propuesta con anterioridad en diferentes reportes [ACI Committee 544 2002; Pujadas 2008; Mármol 2010]. Adicionalmente, las fibras de polipropileno pueden ser lisas o de forma ondulada, y diversos estudios reportan la influencia de esta característica en las propiedades mecánicas [Richardson 2006; Myers et al. 2008; Richardson & Landless 2009]. Entonces para representar el tipo y anclaje de la fibra se adaptan cinco grupos, como se muestra en la tabla 6

Tabla 5 . Consideración del tipo y anclaje de la fibra de polipropileno.

Variable	Descripción
Tipo de fibra	Monofilamento
	Fibrilada
	Multifilamento
Anclaje de la fibra	Lisa
	Ondulada

Fuente:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9327/1/influencia%20de%20los%20componentes%20del%20concreto%20reforzado%20con%20fibras%20en%20sus%20propiedades%20mecanicas.pdf>

Conclusiones

La revisión de información para la definición de variables que influyen en la resistencia de diseño del concreto (compresión, tensión, cortante, y flexión), muestra cómo cada una de estas variables influyen en la propiedad mecánica, pero la influencia se hace en compañía de otras variables consideradas; esto demuestra una alta dependencia entre ellas, lo cual hace compleja una modelación gobernada por una función o expresión matemática. La ilustración 11, muestra esquemáticamente, las diferentes interrelaciones entre las variables que influyen en las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras.

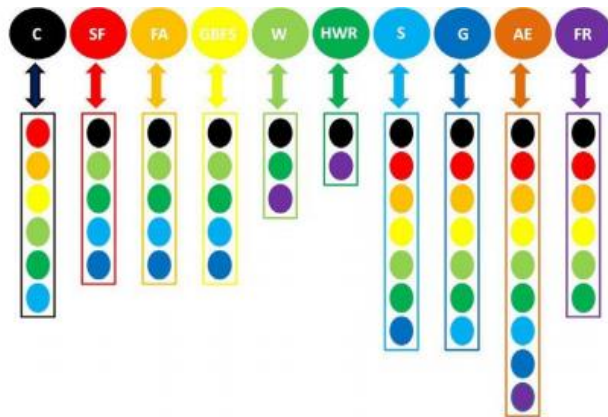
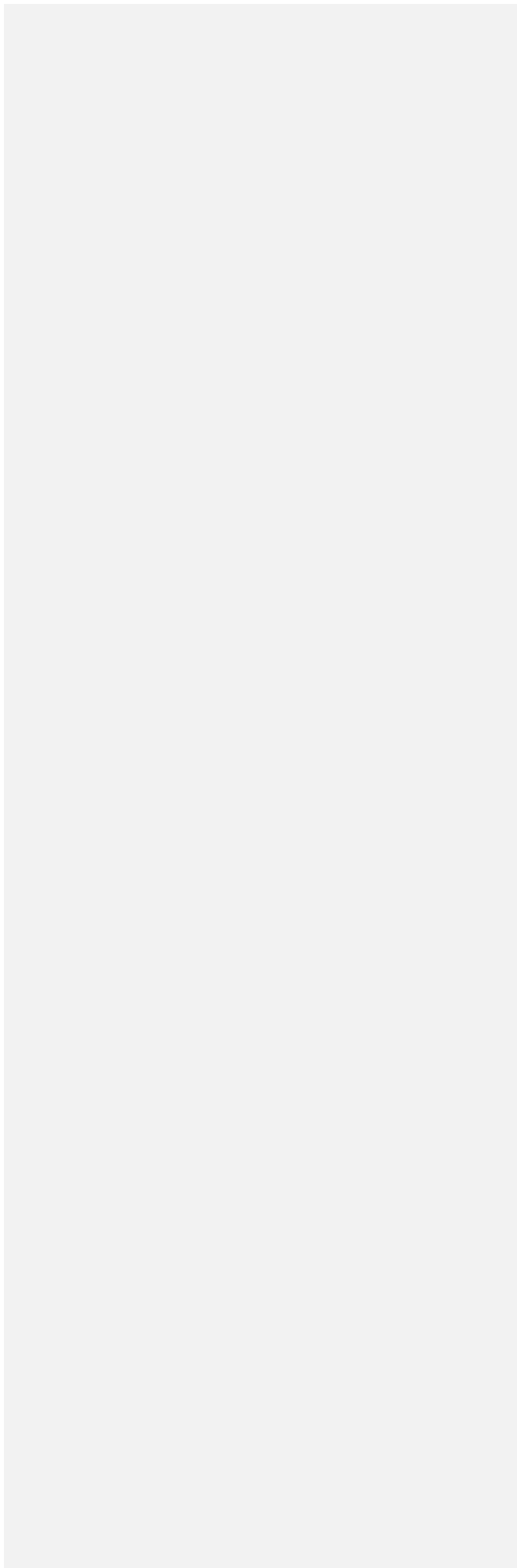


Ilustración 11 Esquema de interrelación de las variables que influyen en las propiedades mecánicas en el concreto reforzado con fibras: cemento, humo de sílice, cenizas volantes, escoria, agua, reductor de agua, arena, grava, inclusor de aire, y fibra, respectivamente [Elaboración propia].



Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

Normativa

1.13 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 Titulo C Concreto Estructural

A continuación, se describe los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos de la NSR 10 del cual el Titulo C forma parte, el titulo C también cubre la evaluación de resistencia de las estructuras existentes.

De acuerdo a esta normativa la resistencia a la comprensión mínima del concreto estructural no debe ser inferior a f_c 17,5MPa, no se establece un valor máximo para f_c salvo y cuando se encuentre restringido para alguna disposición específica del título C.

1.13.1 Definiciones

- Resistencia de diseño (Design strength) — Resistencia nominal multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ .
- Módulo de elasticidad (Modulus of elasticity) — Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad de material.
- Capacidad de disipación de energía (Energy dissipation capacity o toughness) - Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural, o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia. Se cuantifica por medio de la energía de deformación que el sistema, elemento o sección es capaz de disipar en ciclos histeréticos consecutivos. Cuando hace referencia al sistema de resistencia sísmica de la edificación como un todo, se define por medio del coeficiente de capacidad de disipación de energía R. El grado de capacidad de disipación de energía se clasifica como especial (DES), moderado (DMO) y mínimo (DMI).

- Resistencia nominal (Nominal strength) — Resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia del Título C del Reglamento NSR-10, antes de aplicar cualquier factor de reducción de resistencia.
- Resistencia requerida (Required strength) — Resistencia que un elemento, o una sección transversal del mismo, debe tener para resistir las cargas mayoradas o los momentos y fuerzas internas correspondientes combinadas según lo estipulado en el Título C del Reglamento NSR-10.

1.14 Ensayos requeridos a los materiales

1.14.1 Cemento.

Debe cumplir con la norma NTC-121 y 321. Se deben conocer los siguientes datos: Condiciones de exposición Tipo de estructura, Densidad (NTC 221) (Relación entre el asa sólida del cemento y su volumen sólido ocupado a una temperatura de 21+/- 2°C. Por lo general este valor para los cementos Portland es de 3.15 Mg/m³. Resistencia del cemento (NTC 220)

Se realizó la determinación de la densidad y modo de finura en el laboratorio de materiales y estructuras en la Universidad Santo Tomas.

- **NTC 121 especificación de desempeños para cemento hidráulico**

Objeto

Esta norma establece los requisitos físicos y mecánicos que deben cumplir los siguientes tipos de cementos portland 1,1M, 2.2, 4 Y 5

Requisitos

Todos los cementos tipo portland a los que se refiere esta norma, deberán cumplir con los siguientes requisitos de la tabla; los requisitos indicados en la tabla 2 sería opcionales La resistencia de cemento tipo 3 a cualquier edad, deberá ser mayor que su resistencia a la edad inmediatamente anterior, el comprador exige ensayos de resistencia a la comprensión para cemento tipo 3, distintos a los especificados en la tabla 3: la resistencia a los 7 d deberá ser mayor que la obtenida a los 3d.

Tabla 6 Requisitos físicos del cemento

	Tipo 1	Tipo 1M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Finura, superficie específica en m ² /kg						
- Ensayo por medio de permeabilidad	280	280	280	-	280	280
Al aire, mínimo.						
Estabilidad	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Expansión en autoclave, máximo, %						
Tiempo de fraguado (Métodos alter-Nativos).						
- Ensayo por agujas de Vicat:						
Tiempo inicial, en minutos, no debe ser menor de	45	45	45	45	45	45
Tiempo final, en horas, no debe ser mayor de	8	8	8	8	8	8
Resistencia a la compresión en Mpa (aprox. kgf/cm ²).						
La resistencia a la compresión de cubos de mortero hechos con una parte de cemento y 2,75 partes de un arena gradada normalizada para este ensayo, preparados y probados de acuerdo con la NTC 220, no debe ser menor que , los valores indicados abajo, para cada Edad.						
1 d		-	-	10,0		
				(100)		
3 días	8,0	12,5	10,5	21,0	-	8,5
	(80)	(125)	(105)	(210)		(85)
7 Días	15,0	19,5	17,5	-	7,0	15,5
	(150)	(195)	(175)		(70)	(155)
2 Días	24,0	-	-	-	17,5	21,0
8	(240)				(175)	(210)

Fuente: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/NTC%20121%20de%201982.pdf>

Tabla 7 Requisitos físicos opcionales del cemento

--	--	--	--	--	--	--

	Tipo 1	Tipo 1 M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Tiempo de fraguado (Métodos Alternativos).						
- Ensayos por agujas de Gillmore :						
Tiempo inicial, en minutos, no debe ser menor de	60	60	60	60	60	60
Tiempo final, en horas, no debe ser mayor de	10	10	10	10	10	10
Falso fraguado, penetración final mínimo %	50	50	50	50	50	50
Calor de hidratación						
7 días máximo kJ/kg (aprox. cal/g)	-	-	290 (70)	-	250 (60)	-
28 días, máximo kJ/kg (aprox. cal/g)			330 (80)	-	290 (70)	
Resistencia a la compresión	-	28,0 (280)	24 (240)	-	-	-
28 días, MPa (aprox. kgf/cm ²)						
Expansión a los sulfatos	-	-	-	-	-	0,045
14 días , máximo %						

Fuente: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/NTC%20121%20de%201982.pdf>

Aceptación o Rechazo

El cemento será rechazado si no cumple con alguno de los requisitos físicos, establecidos en la tabla 3. Para este efecto, se muestreará conjuntamente entre las partes, utilizando tres laboratorios conocidos: se aceptará el criterio de los dos más acordes en sus resultados.

El cemento que después de haber sido ensayado permanezca almacenado a granel por más de seis meses, o empacado por más de tres meses en las bodegas del vendedor, podrá ser ensayado nuevamente por el comprador antes de su despacho y podrá ser rechazado si no cumple con los requisitos de esta norma.

Los bultos cuya masa varíe en más el 5% por debajo de la especificada, podrán ser rechazados.

Si al tomar el 5% de los bultos de un pedido y su masa promedio sea menor del 2% de la especificada, el pedido podrá ser rechazado

Si el cemento no cumple con los requisitos de estabilidad, podrá aceptarse siempre que, al ensayar una nueva muestra dentro de los 28 d siguientes al primer ensayo, esta cumpla con la especificación correspondiente.

- **NTC 321 cemento portland especificaciones químicas**

Ilustración 12 cemento Argos



Fuente: Elaboración Propia

Objeto

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los siguientes tipos de cemento Portland 1, 1M, 2, 3, 4 Y 5.

Requisitos

Todos los tipos de cemento portland a los que se refiere esta norma, deberán cumplir con los correspondientes requisitos de la tabla 1.

El siguiente requisito es opcional: el cemento cuyo contenido de álcalis sea inferior al 0.60%, calculado como porcentaje de Na_2O , más 0,658 veces el porcentaje de K_2O , podrán especificarse para el uso de hormigón con agregados que probablemente produzcan reacciones dañinas de acuerdo con las especificaciones NTC 174

Para los cementos en los cuales se indique restricciones en la composición potencial, el consumidor podrá solicitar al fabricante el suministro de una muestra de Clinker o de un análisis del mismo. Debido a que la posible presencia de materiales diferentes de Clinker Portland y el sulfato de calcio puede desvirtuar el cálculo de los compuestos potenciales en el cemento, se recomienda efectuar el análisis del Clinker del cemento y calcular sus compuestos potenciales determinado, con base en estos compuestos y en el contenido de Clinker en el cemento, la composición potencial del mismo. Para los efectos de este cálculo se deberá mantener tres muestras distribuidas así: una para el consumidor, una

para el fabricante una muestra testigo debidamente sellada. En la Tabla 5 se especifican los requisitos químicos mínimos que debe presentar el cemento portland.

Tabla 8 Requisitos químicos cemento portland

	Tipo 1	Tipo 1M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4a)	Tipo 5a)
Dióxido de silicio (SiO_2), mín %	-	-	21,0	-	-	-
Óxido de aluminio (Al_2O_3), máx %	-	-	6,0	-	-	-
Óxido de hierro (Fe_2O_3), máx %	-	-	6,0	-	6,5	-
Óxido de magnesio (MgO), máx %	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Trióxido de azufre (SO_3), máx %	3,5	3,5	-	4,5	-	-
Pérdida al fuego, máx %	-	5,0	4,0	4,0	3,5	4,0
Residuo insoluble, máx %	-	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Silicio tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ^{b)} , máx %	-	-	-	-	35,0	-
Silicato dicálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ^{b)} , mín %	-	-	-	-	40,0	-
Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ^{b)} , máx %	-	-	8,0	15,0 ^{c)}	7,0	5,0
($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) + ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), máx %	-	-	58,0 ^{d)}	-	-	-
Ferrialuminato tetracálcico más el doble de aluminato tricálcico ^{b)} ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) + 2 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), o solución sólida ($4\text{C}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ + 2 $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) el que es aplicable, máx %	-	-	-	-	-	20,0

Notas.

- Se hace notar que los cementos que se adaptan a los requisitos de los tipos 4 y 5 no se tienen generalmente en almacenamiento. Antes de especificar su uso, los compradores o sus representantes determinarán si esos tipos de cemento se encuentran disponibles.
- El expresar las limitaciones químicas por medio de supuestos compuestos calculados no significa necesariamente que los óxidos estén presentes como tales compuestos.

Cuando la relación de porcentaje de óxido de aluminio a óxido férrico sea 0,64 o más, los porcentajes de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferrialuminato tetracálcico serán calculados con base en el siguiente análisis:

$$\text{Silicato tricálcico} = (4,07 \times \% \text{CaO}) - (7,6 \times \% \text{SiO}_2) - (6,718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,430 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3)$$

$$\text{Silicato dicálcico} = (2,867 \times \% \text{SiO}_2) - (0,7544 \times \% \text{C}_3\text{S})$$

$$\text{Aluminato tricálcico} = (2,650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{Ferrialuminato tetracálcico} = 3,043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Cuando la relación entre la alúmina y el óxido férrico sea menor de 0,64 se formará una solución sólida de ferrialuminato cálcico (expresada como ss (C₄AF + C₂F)). Los contenidos de esta solución sólida y de silicato tricálcico se calcularán por las siguientes fórmulas:

$$\text{ss (C}_4\text{AF + C}_2\text{F)} = (2,1 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) + (1,702 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{Silicato tricálcico} = (4,071 \times \% \text{CaO}) - (7,6 \times \% \text{SiO}_2) - (4,479 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (2,859 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3)$$

Ningún aluminato tricálcico estará presente en los cementos de esta composición. El silicato dicálcico se calculará como se mostró anteriormente.

En el cálculo de C₃A se usarán los valores de Al₂O₃ y Fe₂O₃ determinados al 0,01%. En el cálculo de otros compuestos se usarán los óxidos determinados al 0,1%.

Los valores de C₃A y los de la suma de C₄AF + 2C₃A se calcularán con aproximación del 0,1%. Los valores de otros compuestos se calcularán con aproximación del 1%.

- c) Cuando se requiera una resistencia moderada a los sulfatos para el cemento Tipo 3, el aluminato tricálcico debe limitarse al 8% . Cuando se requiera una alta resistencia a los sulfatos, el aluminato tricálcico debe limitarse al 5% .
- d) El límite de las una de silicato tricálcico y aluminato tricálcico para el cemento Tipo 2 se aplicará cuando se requiera un moderado calor de hidratación y no se requieran ensayos para determinarlo.

Fuente: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/NTC%20321%20de%201982.pdf>

Aceptación y Rechazo

El cemento será rechazado si no cumple con alguno de los requisitos químicos establecidos en la tabla 5, para este efecto, se muestreará conjuntamente entre las partes utilizando laboratorios reconocidos; se aceptará el criterio de los más acordes en sus resultados.

El cemento que después de haber sido ensayado permanezca almacenado a granel por más de seis meses. O empacado por más de tres meses en las bodegas del vendedor, podrá ser ensayado nuevamente por el comprador antes de su despacho y podrá ser rechazado si no cumple con alguno de los requisitos de esta norma.

Los bultos cuya masa varíe en más del 5% por debajo de la especificación, podrá ser rechazado. Si al tomar el 5% de los bultos en un pedido y su masa promedio sea menor del 2% de la especificada, el pedido podrá ser rechazado.

Empaque y rotulado

Ilustración 13 cemento empacado y rotulado



Fuente: elaboración propia

Los empaques deberán llevar marcas legibles con la siguiente información:

- Las palabras “Cemento Portland”
- La marca del cemento y el lugar de fabricación
- El tipo de cemento
- La masa en bultos en Kg

- **I.N.V.E 307 densidad del cemento hidráulico**

Objeto

Esta norma tiene por objeto establecer un método para determinar la densidad del cemento hidráulico

Resumen del método

Empleando kerosene deshidratado o nafta, se llena el frasco de Le Chatelier hasta un punto determinado y se toma la lectura inicial del volumen. Luego se agrega una masa conocida de cemento y se toma lectura del volumen que alcanza el líquido en el frasco debido al desplazamiento que sufre. Se divide la masa de cemento añadida por la

diferencia de las lecturas de volumen. La prueba debe realizarse a temperatura constante.

Cálculos

La diferencia entre la lectura inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por la masa de cemento usado en el ensayo

La densidad del cemento se calcula como sigue:

$$\rho \left(\frac{Mg}{m^3} \right) \text{ o } \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \text{masa de cemento, g/volumen desplazado, cm}^3$$

$$\text{Gravedad Especifica} = \text{Densidad del cemento} / \text{Densidad del agua a } 4^\circ\text{C}$$

La densidad del agua a 4°C ES 1Mg/m³

- **NTC 220 determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm o 50,8mm de lado**

Procedimiento

Se toma una muestra de mortero, se llenan los moldes (moldes en forma cuadrada con área de 50 x 50 mm), en dos capas de 25 mm aproximadamente la mitad de la profundidad del molde, cada capa se debe apisonar con 32 golpes con el compactador, se alisa la superficie de los cubos con ayuda del palustre, se coloca la muestra envasada en la cámara húmeda por un periodo de 24 horas, para luego su posterior desmoldado, se toma una selección de la muestra y se coloca en tanques de almacenamiento. La parte restante se somete a compresión a través de una prensa con aplicación de carga hasta que la muestra falle.

La resistencia a compresión es determinada a través de la siguiente formula

$$FM = P/A$$

Donde,

FM= Resistencia a la compresion

P= carga o fuerza maxima registrada

A= area de aplicación de la carga

1.14.2 Agregados

- **NTC-174 especificaciones de los agregados para concreto**

Objeto

Esta norma establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, (excepto los agregados livianos y pesados) para uso en concreto, adicionalmente La información que se presenta en esta norma la puede utilizar el contratista, el proveedor o el comprador, como parte del documento de compra que describe el material por suministrar.

Requisitos

El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una combinación de éstas. Las características generales se pueden apreciar en la Tabla 6

Tabla 9 Características del Agregado fino

Material	Máximo porcentaje del peso total de la muestra
Terrones de arcilla y partículas delezables	3,0
Material que pasa el tamiz 75 µm (No. 200):	
Concreto sujeto a abrasión	3,0 (a)
Todos los demás concretos	5,0 (a)
Carbón o lignito:	
Donde la apariencia superficial del concreto sea de importancia.	0,5
Todos los demás concretos	1,0

Fuente: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%20174%20de%202000.pdf>

En el caso de la gradación se hace un análisis granulométrico para el agregado fino el cual especifica que este debe estar clasificado dentro de los límites de la Tabla.7

Tabla 10 Clasificación del análisis granulométrico agregado fino

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Fuente: <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%20174%20de%202000.pdf>

Resumen

Esta norma es adecuada para asegurar materiales satisfactorios para uso en la mayoría de concretos. Se pueden necesitar mayores o menores restricciones para ciertas obras o regiones. Por ejemplo, en donde la estética es importante, se pueden considerar límites más restrictivos en relación con las impurezas que puedan manchar la superficie de concreto. Es conveniente que quien establece las especificaciones sobre los agregados, indique en el área de trabajo la disponibilidad de ellos en relación con su gradación, propiedades físicas, químicas o una combinación de ellas, a continuación, se presenta una foto tomada al agregado fino con el que se realizaran los especímenes.

Ilustración 14 Agregado fino



Fuente: elaboración propia

- **NTC-77 Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.**

Objeto

Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado; Algunas especificaciones para agregados que se referencian en esta norma contienen requisitos de gradación que abarcan tanto la fracción gruesa como la fina. Se incluyen, por tanto, las instrucciones para el análisis por tamizado de estos agregados.

Requisitos

En el laboratorio se deben recibir cantidades de muestra que cumplan con lo descrito en la NTC 129 o cuatro veces la cantidad descrita abajo:

Agregado Fino - La muestra de ensayo del agregado fino debe tener una masa, luego de ser secada, aproximadamente las siguientes cantidades:

- Agregado Fino - La muestra de ensayo del agregado fino debe tener una masa, luego de ser secada, aproximadamente las siguientes cantidades:
- Agregado con por lo menos 85% del material que pasa el tamiz No 4 (4,75 mm) y más del 5% retenido en el tamiz No 8 (2,36 mm) 500 gr.
- Agregado Grueso - La masa de la muestra de agregado grueso debe conformarse a partir de los siguientes valores.

Tabla 11 masa de la muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas (mm)	Muestra de Ensayo(Kg. Masa Mínima)
9,5	1
12,5 19,0	2
25,0	5
37,5	10
50,0	15
63,0 75,0	20
90,0	35
100,0	60
112,0	100
125,0	150
150,0	200
	300
	500

Fuente: <https://vdocuments.mx/norma-ntc-176.html>**Procedimiento.**

Se seca la muestra hasta que alcance una masa constante a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Se deben seleccionar los tamaños adecuados de los tamices, encajando los tamices en forma descendente, el proceso se puede hacer en forma manual o mecánica siguiendo los procedimientos descritos en la norma.

Se pesa la cantidad necesaria, el material tiene que estar seco y tamiza mecánicamente o manualmente usando la serie de tamices ensamblados en forma decreciente, luego determine la masa retenida en cada tamiz, a continuación, se presentan fotos tomadas en el laboratorio de suelos de la universidad Santo Tomas donde se muestra este procedimiento.

Ilustración 15 Agregado Grueso que pasa por el Tamiz 4

Fuente: elaboración propia

Ilustración 16 Ensayo Granulometría

Fuente: Elaboración propia

- **NTC-237 método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino**

Objeto

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad aparente y nominal, a una condición de temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la absorción del agregado fino; Este método de ensayo determina (después de 24 h en agua) la densidad aparente, la densidad nominal y la absorción según se define en la NTC 385 Terminología del Cemento y Concreto; Los valores se registrarán de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000 "Metrología"; Esta norma no pretende señalar todos los problemas de

seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud.

Procedimiento

Se determinan todas las masas y se registran con una aproximación de 0,1 g luego Se llena el picnómetro parcialmente con agua. Inmediatamente se introduce dentro del picnómetro 500 g \pm 10 g de agregado saturado y superficialmente seco preparado como se describe en la Sección 6, y se llena con agua adicional hasta aproximadamente el 90 % de la capacidad. Se gira, invierte y agita el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire (véase la Nota 3). Se ajusta su temperatura hasta 23 °C \pm 2 °C, si es necesario por inmersión en agua en circulación, y se lleva el nivel del agua en el picnómetro hasta su capacidad calibrada. Se determina la masa total del picnómetro, con la muestra y el agua.

Definiciones

La densidad es la masa por unidad de volumen. Los calificativos nominal o aparente se refieren a la forma de tomar el volumen del cuerpo, puesto que las partículas de los agregados para el concreto tienen porosidad; esa porosidad puede ser saturable o no saturable. Si se toma el volumen externo, el aparente, la densidad calculada será aparente; si del volumen aparente se elimina la porosidad saturable, la densidad se llama nominal, y si además de la porosidad saturable se elimina la porosidad no saturable, el volumen resultante es de material puro, y por lo tanto el cociente de la masa y ese volumen será la masa, sin calificativos, a continuación, se presentan fotos tomadas de este procedimiento.

Ilustración 17 Ensayo absorción de humedad agregado fino

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18 agregado fino estado SSS

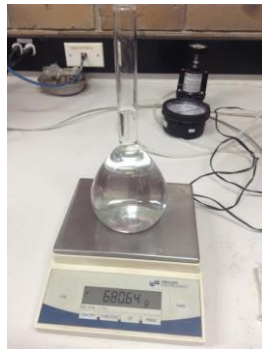
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19 Verificación estado SSS agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20 peso agua en el picnómetro



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21 prueba densidad

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22 muestra de agregado fino sumergido en agua

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23 desairacion de la muestra



Fuente: Elaboración propia

- **calculo densidad relativa fino NTC 237**

A= 486,79gr

B= 680,64 gr

S= 500 gr

C= 935 gr

$$D = 0.9975 X \frac{A}{B + S - C}$$

$$D = 0.9975 X \frac{486,79gr}{680.64gr + 500gr - 935 gr}$$

$$D= 1,97gr$$

Donde;

A= masa en el aire de la muestra secada al horno gr

B= masa del picnómetro lleno con agua gr

S= masa de la muestra saturada y superficialmente seca, gr

C= masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración, gr

- **calculo para determinar la absorción agregado fino NTC 385**

A= 500gr

B= 486,79gr

$$A\% = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$A\% = \frac{500gr - 486,79gr}{486,79gr} \times 100$$

$$A\% = 2,71\%$$

Donde;

A= masa en el aire de la muestra seca en gramos

B= masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca en gramos

- **NTC-1776 método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados**

Objeto

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado; Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las primordiales regulaciones al usar; Los valores se regirán de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. (Véase la NTC 1000. Metrología)

Resumen

Esta norma es específicamente precisa para los propósitos usuales, como el ajuste de los pesos de los ingredientes para una batchada de concreto. Generalmente, la determinación de la humedad en la muestra de ensayo es más confiable de lo que puede ser la toma de la muestra para representar el agregado suministrado. Cuando el agregado es alterado por el calor, o cuando se requieren mediciones más precisas, se debe llevar a cabo el ensayo utilizando un horno ventilado de temperatura controlada.

El tamaño de la muestra para agregados de peso normal se relaciona en la tabla 9

Tabla 12 Tamaño máximo de la muestra agregado grueso

Tamaño máximo nominal del agregado (mm) ^A	Masa mínima de la muestra (kg) ^B
4,75	0,5
9,50	1,5
12	2
19	3
25	4
37	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

Fuente: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC1776.pdf>

Procedimiento

Primero se pesa la muestra con una precisión del 0,1; luego se seca completamente la muestra en el recipiente que la contiene, por medio de la fuente de calor seleccionada, teniendo el cuidado de evitar pérdida de partículas. Un calentamiento muy acelerado puede hacer estallar algunas partículas produciendo su pérdida. Se usa un horno de temperatura controlada, cuando el calor excesivo pueda alterar las características del agregado o cuando se requieran mediciones más precisas. Si se utilizan fuentes de calor diferentes a los hornos de temperaturas controlables, se agita la muestra durante el secado, para acelerar la operación y así evitar el sobrecalentamiento en un solo punto. La operación de agitado es opcional cuando se utiliza un horno microondas; finalmente se pesa la muestra seca, con una precisión del 0,1 %, luego de haberla enfriado lo suficiente para no producir daños en la balanza.

Ilustración 24 secado en horno de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25 peso muestra inicial

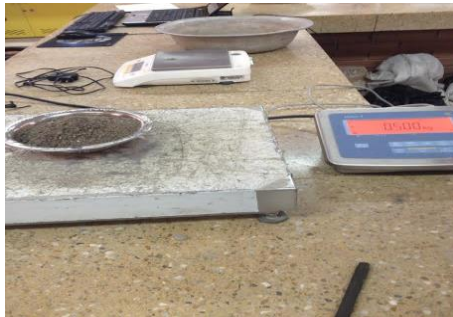
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26 secado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27 muestra seca



Fuente: Elaboración propia

- **Calculo porcentaje de humedad NTC 1776 ARENA**

Peso húmedo= 6.585 gr

Peso seco = 6.165gr

$$\% \text{ de humedad} = 100 \times \frac{(ph - Ps)}{Ps}$$

Dónde:

PH: peso Húmedo

Ps: seco

$$\% \text{ de humedad} = 100 \times \frac{(6.585\text{gr} - 6.165\text{gr})}{6.165\text{gr}}$$

$$\% \text{ de humedad} = 6,81\%$$

- **Calculo porcentaje de humedad NTC 1776 GRAVA**

Ilustración 28 muestra agregado grueso sumergida en agua



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29 muestra agregado grueso seco



Fuente: Elaboración propia

Peso húmedo= 6.580gr

Peso seco = 6.250gr

$$\% \text{ de humedad} = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Dónde:

PH: peso Húmedo

Ps: seco

$$\% \text{ de humedad} = \frac{6.580gr - 6.250gr}{6.250gr} \times 100$$

$$\% \text{ de humedad} = 5,28\%$$

- **NTC 176 método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso**

Objeto

Este método de ensayo tiene por objeto determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. La densidad se puede expresar como densidad aparente, densidad aparente (SSS) lo cual corresponde, cuando el agregado se encuentra saturado y superficialmente seca, o densidad nominal.

De acuerdo a lo anterior la densidad nominal (SSS) y la absorción se basan en el humedecimiento en agua del agregado después de 24 h.

Ilustración 30 muestra agregado grueso sumergido

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 31 peso muestra sumergida

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 32 peso agregado grueso estado SSS

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 33 Agregado grueso estado SSS

Fuente: Elaboración Propia

Requisitos:

Para la determinación de la densidad y absorción de tener en cuenta que cada una de ellas está basada en un proceso de ejecución diferente, de acuerdo a los comportamientos del agregado, donde allí estipula diferentes datos según su estado durante el proceso.

- Absorción

La absorción es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. Así mismo el agregado se considera

como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $11^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

- Densidad

Como bien se conoce es definida como la masa (en el aire) y el volumen del material, donde ella se descompone en densidad nominal, densidad aparente, densidad aparente (SSS).

- Densidad nominal

La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

- Densidad aparente

La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

- Densidad aparente (SSS)

La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 h), pero sin incluir los vacíos entre partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

Calculo

Peso grava SSS: 1892,4 gr

Peso sumergido: 1075,5gr

$$D = \frac{P_{SSS}}{P_s - p_{SSS}}$$

Donde;

P_{SSS}: Peso grava SSS

P_s: Peso sumergido

$$D = \frac{1892,4gr}{1075,5gr - 1892,4gr}$$

$$D = 2,31$$

- **NTC 385 Absorción agregado fino**

A= 500gr

B= 486,79gr

$$A\% = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$A\% = \frac{500gr - 486,79gr}{486,79gr} \times 100$$

$$A\% = 2,71\%$$

Donde;

A= masa en el aire de la muestra seca en gramos

B= masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca en gramos

- **INVIAS E -223 densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado grueso**

Objeto

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir vacío entre ellos, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del método utilizado, la densidad, en kg/cm³, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.

El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra.

Descripción

Se sumerge la mezcla del agregado durante 24 ± 4 h para llenar sus poros permeables. Una vez retiradas del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente y se determina su masa. Posteriormente se determina el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa seca. Usando los valores de masa obtenidos y las formulas incluidas en esta norma, es posible calcular la densidad, densidad relativa y la absorción del agregado.

Calculo

A= 1892,4gr

B= 1833,66 gr

$$A\% = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$A\% = \frac{1892,4\text{gr} - 1833,66\text{ gr}}{1833,66\text{ gr}} \times 100$$

$$A\% = 3,20 \%$$

Donde;

A= masa en el aire de la muestra seca en gramos

B= masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca en gramos

Tabla 13 Resultado ensayos de laboratorio

Material	Ensayo	Resultado
Agregado Fino	NTC 237	Densidad= 1,97gr
	NTC 237	%Absorción = 6,81%
	NTC 1776	% Humedad = 6,81%
Agregado Grueso	NTC 176	Densidad = 2,31gr
	NTC 1776	% Humedad= 5,28%
	INIVIAS E 223	% Absorción = 3,20%

Fuente: Elaboración Propia

1.14.3 Ensayos de la mezcla de concreto en estado fresco

- **Ensayo de asentamiento al concreto en estado fresco**

Uno de los métodos más populares para la medición indirecta de la manejabilidad de aceptación universal, es el ensayo de asentamiento con el cono o slump (NTC 396). Este método determina la consistencia o fluidez de la mezcla a partir de un procedimiento estandarizado de fácil montaje. Para el procedimiento es necesario la utilización de un molde metálico en forma de tronco de cono, con medidas estándar de 30 cm de altura, diámetro menor de 10 cm y diámetro superior de 20 cm; el procedimiento inicia con el humedecimiento de la cara interna del tronco; posteriormente, el tronco de cono es dispuesto sobre una superficie plana con la cara de menor diámetro hacia arriba; el cono es llenado en tres capas de concreto de igual cantidad, cada capa debe ser apisonada 25 veces con una barra de 16mm antes de la aplicación de la capa continua superior o el enrazado de la última capa. Finalmente, el molde es levantado lentamente y ubicado a un lado de la mezcla medida, el concreto empezara a deformarse por la falta de encofrado, disminuyendo su altura inicial, esta disminución de altura es llamada asentamiento, y es una medida indirecta de la manejabilidad. En las siguientes ilustraciones se visualiza la forma en la cual se debe realizar este ensayo.

Ilustración 34 ensayo de asentamiento



Fuente: elaboración propia

Ilustración 35 retiro cono abrams

Fuente: elaboración propia

Ilustración 36 validación asentamiento de la mezcla

Fuente: elaboración propia

Ilustración 37 medición asentamiento de la mezcla



Fuente: elaboración propia

1.14.4 Ensayos al concreto en estado endurecido

- **NTC 673 concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto**

Objeto

Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m^3 [50 lb/ft^3].

Descripción

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

El procedimiento se realizó sobre 28 cilindros de 0,15m de diámetro por 0.30m de alto, los primeros ensayos fueron realizados a la mezcla 1 el día 27 de julio

- **NTC 722 método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto**

El método de ensayo presentado aquí consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en la longitud de un espécimen de concreto cilíndrico a una velocidad que se encuentra dentro del intervalo prescrito hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Ocurre falla por tensión, no por compresión, debido a que las áreas de aplicación de carga se encuentran en estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial.

Se usan listones de apoyo delgados, fabricados en madera contrachapada, de manera que la carga se aplique uniformemente en toda la longitud del cilindro.

Para obtener la resistencia a la tensión indirecta, la carga máxima soportada por el espécimen se divide entre los factores geométricos apropiados

- **INV E 415 resistencia la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada cargada en el punto central**

Objeto

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en el punto central

Procedimiento

Los ensayos de flexión sobre especímenes curados en húmedo se deben realizar tan pronto como sea posible de su remoción del sitio de curado. El secado de la superficie del espécimen se traduce en una reducción de la resistencia a la flexión medida.

Se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de soporte, se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada, se pone el bloque de aplicación de carga en contacto con la superficie del

espécimen en el punto medio entre los bloques de soporte y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada, utilizando calibradores normalizados de 0 lamina de 0,1mm (0,004") y de 0.40mm (0,015"), se determina si se presenta algún vacío sobre el espécimen y los bloques de carga o el soporte, mayor o menor al espesor de los calibradores, en una longitud de 25 mm (1") o mayor. Mediante esmerilado, refrentando la colocación de láminas de cuero sobre la superficie del espécimen, se elimina cualquier vacío mayor de 0,1mm (0,004"). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6mm (1/4") y un ancho de 25 a 20mm (1 a 2"), y se debe extender a través del ancho total del espécimen. Los vacíos mayores de 0,40mm (0,015") se debe eliminar solo por refrentado o esmerilado de la superficie. El esmerilado de las superficies laterales del espécimen se debe minimizar, ya que puede variar sus características físicas y afectar los resultados de ensayos

La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad a una rata que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión entre 0,9 y 1,2MPa /Min hasta que ocurra la rotura

Calculo

El módulo de rotura se calcula con la ecuación:

$$R = \frac{3PL}{2b d^2}$$

Donde;

R: Modulo de rotura, MPa (lbf/pg²)

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo N (lbf)

L: luz libre entre apoyos, mm (pg)

B: ancho promedio del espécimen en el sitio de fractura mm (pg)

D: altura promedio de la muestra en el sitio de fractura mm (pg)

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

Programa experimental

1.15 Diseño de Mezcla - ACI 211

1.15.1 Características de los materiales

- **Cemento**

Tipo de cemento: uso general (Argos)

Peso específico: 3

- **Agua**

Potable

- **Agregado fino**

Arena de Rio

Peso específico: 2500 kg/m³

Absorción: 2,7136 (NTC 385)

Humedad: 6,81 (NTC 1776)

Módulo de finura: 2.62

Densidad: 1.97 gr/m³ (NTC 237)

- **Agregado grueso:**

Grava

Tamaño máximo: ¾"

Peso Específico: 1600 kg

Absorción: 3,20% (INIVIAS E 223)

Cantidad de humedad: 5,28% (NTC 1776)

Densidad: 2,31 gr/m³ (NTC 176)

- **Aditivos**

Sika Viscocrete 2100, para su dosificación adecuada se tomó en cuenta la dosificación recomendada por el fabricante y se realizaron mezclas de prueba para ajustar la dosis adecuada.

- **Fibra sintética**

SIKA fiber Force PP65

- **Fibra metálica**

SIKA Fiber CHO/ 65/35

El diseño de mezcla se realiza bajo la estimación de Resistencia a la compresión $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días

Aire contenido: 2%

Asentamiento: 100 mm (4")

1.15.2 Cálculo

Para el diseño de mezclas se siguió la metodología de diseño de mezclas ACI 211.1 del American Concrete Institute (ACI), en total se realizaron seis diseños de mezclas, todas con A/C de 0.59, el porcentaje de aditivo empleado fue del 1.5% de la masa del cemento. Las cantidades de cemento utilizado, agregados no varió entre una mezcla y otra, para la dosificación de la fibra sintética se tomaron las siguientes 4 mezclas las cuales se relacionan en la tabla 14,

Tabla 14 Cálculo cantidad fibra sintética

NOMBRE DE LA MEZCLA	DE LA	Fecha de elaboración	de Fibra Sintética	Cantidad de especímenes
Mezcla 1		13 de julio de 2017	0 kg/m ³	8 cilindros 2 vigas con refuerzo 3/4" Transversal y flejes 1/4" y 2 vigas sin

			refuerzo
Mezcla 2	27 de Julio de 2017	4 kg/m ³	8 cilindros 2 vigas con refuerzo 3/4 " Transversal y flejes 1/4" y 2 vigas sin refuerzo
Mezcla 3	10 de Agosto de 2017	8 kg/m ³	8 cilindros 2 vigas con refuerzo 3/4 " Transversal y flejes 1/4" y 2 vigas sin refuerzo
Mezcla 4	17 de Agosto de 2017	12 kg/m ³	8 cilindros 2 vigas con refuerzo 3/4 " Transversal y flejes 1/4" y 2 vigas sin refuerzo

Fuente: elaboración propia

- Para la fibra metálica se tomaron las mismas dosificaciones de cemento, agregados, agua y aditivos que en las mezclas anteriores más el uso de fibra metálica **SIKA FIBER CHO/65/35** en la tabla 11 se evidencian las diferentes cantidades utilizadas de fibra metálica para cada una de las mezclas

Tabla 15 Dosificaciones de fibra metálica

NOMBRE DE LA MEZCLA	Fecha de elaboración	de Fibra Metálica	Cantidad de especímenes
Mezcla 5	10 de octubre 2017	20 kg/m ³	6 cilindros 1 vigas con refuerzo 3/4 " Transversal y flejes 1/4" y 1 vigas sin refuerzo
Mezcla 6	18 de Octubre de 2017	40 kg/m ³	6 cilindros 1 vigas con refuerzo 3/4 "

			Transversal y flejes 1/4" y 1 vigas sin refuerzo
Mezcla 7	25 de Octubre de 2017	60 kg/m ³	6 cilindros 1 vigas con refuerzo 3/4 " Transversal y flejes 1/4" y 1 vigas sin refuerzo

Fuente: elaboración propia

Tabla 16 cantidad de material requerido mezclas 5 y 6

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
Sika Fiber Cho/65/35	Kg	7
Sika Wrap FX 50C	M	14
Sikadur 300	kg	4
Arena finas de cuarzo sikadur 510 / 520	Kg	6

Fuente: elaboración propia

- **Cantidad de agua para mezclado:**

De acuerdo a la norma ACI 211,1 Tabla 11,7 Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto son aire incluido, se toma en cuenta 207 Kg/m³ un asentamiento de 100, mm (4") con tamaño máximo del agregado ¾"

- **Desviación estándar:**

De acuerdo a lo estipulado en la NSR 10 Titulo C capitulo C 5, debido a que no se cuenta con registros de pruebas de resistencia en donde se usaron los materiales y en condiciones similares a aquellas que serán empleadas, la resistencia del diseño de mezcla f'_{cr} en Kg/cm² se debe determinar de acuerdo a la siguiente tabla: 12

Tabla 17 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra NSR 10.

TABLA C.5.3.2.2 — RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: NSR 10, Título c (2010)

$$F'_{cr} = F'_c + 8.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 8.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'_{cr} = 293 \text{ Kg/cm}^2$$

- **Calculo de contenido de cemento por m3**

De acuerdo a la Tabla 11.13 Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua cemento para los cementos colombianos Portland Tipo 1 en concretos sin aire incluido; de la norma ACI 211,1, se toma referencia el límite superior de la relación agua cemento para una resistencia de **293 kg/cm²** de **0.59**

$$cemento = \frac{A}{A/C}$$

$$cemento = \frac{244 \frac{Kg}{cm^3}}{0,59}$$

$$Cemento = 413,55 \text{ kg/m}^3$$

- **Agregado Grueso:**

De acuerdo a la Tabla 11.15 volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto, se toma como referencia para un agregado ¾" 0.64; para un módulo de finura de la arena de 2,60

Peso específico = 1115,90 kg/m³

Cantidad de agregado grueso= 0,64 x 1115,90kg /cm³ = 714,18 kg

- **Agregado Fino:**

Calculo a través del método de valor absoluto:

Cemento

$$cemento = \frac{413,55 \frac{kg}{m^3}}{3 \times 1000}$$

cemento = 0,137 m³

Agua

$$Agua = \frac{207 \frac{kg}{m^3}}{1 \times 1000}$$

Agua = 0,207 m³

Aire:

0.02 m³

Agregado Grueso:

$$Grueso = \frac{714,18 \frac{kg}{m^3}}{2,31 \times 1000}$$

Grueso = 0,309,17m³

Valor absoluto por metro cubico = 0,137 m³ + 0.02 m³ + 0,309m³ + 0.207m³ = 0.673 m³

Agregado fino= 1 m³ - 0,673m³ = 0.327 m³

- **Dimensiones de los especímenes**

Ilustración 38 Formaletas utilizadas elaboración especímenes



Fuente: Elaboración propia

En la elaboración de especímenes se utilizaron formaletas cilíndricas con las siguientes dimensiones de \varnothing 0,15 m x 0,30m y 2 vigas de 0,15 m x 0,15 m x 0,60 m. y 2 vigas de 0,15 m x 0,15 m x 0,55 m.

VOLUMEN TOTAL:

Cilindros de \varnothing 0,15 m x 0,30m = 0,0053m³

Vigas de 0,15 m x 0,15 m x 0,60 m = 0,0135 m³

Tabla 18 Cantidades de dosificación de materiales en Kg por m3 de concreto

CANTIDADES DE DOSIFICACION DE MATERIALES EN KG POR METRO CUBICO DE CONCRETO	
Cemento	137,66 kg
Agua	207 kg
Grava	309,17 kg
Arena	346,17kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 cantidades de dosificación de materiales para cada mezcla

CANTIDADES DE DOSIFICACION DE MATERIALES PARA CADA UNA DE LAS MEZCLAS	
Cemento	41 kg
Agua	10 LT
Grava	77 kg

Arena	75 kg
Aditivo	90 ml

Fuente: Elaboración propia

- **Cantidad de ensayos requeridos:**

Tabla 20 Cantidad de ensayos requeridos

ESPECIMEN	CLASE DE ENSAYO	FALLAR A LOS 14 DIAS	FALLAR A LOS 28 DIAS
0Kg/m3 de fibra	Comprensión	2	2
	Flexión	0	2 sin refuerzo y 2 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2
4 Kg/m3 de fibra sintética	Comprensión	2	2
	Flexión	0	2 sin refuerzo y 2 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2
8 Kg/m3 de fibra sintética	Comprensión	2	2
	Flexión	0	2 sin refuerzo y 2 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2
12 Kg/m3 de fibra sintética	Comprensión	2	2
	Flexión	0	2 sin refuerzo y 2 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2
20 Kg/m3 de fibra Metálica	Comprensión	2	2
	Flexión	0	1 sin refuerzo y 1 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2
40 Kg/m3 de fibra Metálica	Comprensión	2	2
	Flexión	0	1 sin refuerzo y 1 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2
60 Kg/m3 de fibra	Comprensión	2	2

Metálica	Flexión	0	1 sin refuerzo y 1 con acero de refuerzo
	Tracción indirecta	2	2

Fuente: Elaboración propia

TOTAL, CANTIDAD DE ENSAYOS: 78 ENSAYOS

1.16 Elaboración de especímenes

De acuerdo al diseño de mezcla establecido se requiere un asentamiento máximo de 4", para lo cual se realiza el ensayo a la mezcla en estado fresco bajo la norma NTC 396 con el objetivo de medir la consistencia del concreto para cada una de las mezclas. En la Tabla 18 se pueden evidenciar los diferentes asentamientos para las mezclas realizadas

Tabla 21 propiedades en estado fresco del concreto

PROPIEDAD	MEZCLA 1	MEZCLA 2	MEZCLA 3	MEZCLA 4	MEZCLA 5	MEZCLA 6	MEZCLA 7
Asentamiento (")	2,8	2,5	2,5	2"	4,5"	3,8"	4"
Aditivo (ml)	120	120	120	120	120	120	120

Fuente: Elaboración propia

1.16.1 Mezcla 1: 13 de julio de 2017

Se funden 7 cilindros de los cuales 3 son para ensayar a tracción indirecta y 4 para comprensión, así mismo se funde 4 viguetas 2 con refuerzo longitudinal de 3/4" y flejes de 1/4" y 2 viguetas sin refuerzo para ensayos a flexión, asentamiento de la mezcla 2,8" para los cuales se calculan las siguientes cantidades de materiales, ver tabla 18:

Ilustración 39 asentamiento mezcla 1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 dosificación de materiales mezcla 1

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Sintética
Mezcla 1	40,12 kg	20,8 Lt	71,4 kg	68,2 kg	120 ml.	0 kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 especímenes mezcla 1

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTETICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	13 de Julio de 2017
CC2-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	13 de Julio de 2017
CC3-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	13 de Julio de 2017
CC4-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	13 de Julio de 2017
TI1-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	13 de Julio de 2017
TI2-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	13 de Julio de 2017
TI3-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	13 de Julio de 2017
TI4-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	13 de Julio de 2017
V1-13072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	0 Kg	0	Flexión	13 de Julio de 2017

V2-13072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	0 Kg	0	Flexión	13 de Julio de 2017
V1 Rf-13072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	0 Kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	13 de Julio de 2017
V2 Rf-13072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	0 Kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	13 de Julio de 2017

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 40 peso agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41 mezcla materiales



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 42 elaboración mezclas





Fuente: Elaboración propia

1.16.2 Mezcla 2: 27 de julio de 2017

Se funden 8 cilindros de los cuales 4 son para ensayar a tracción indirecta y 4 para compresión, así mismo se funde 4 viguetas 2 con refuerzo longitudinal de $\frac{3}{4}$ " y flejes de $\frac{1}{4}$ " y 2 viguetas sin refuerzo para ensayos a flexión con inclusión de Fibra sintética 4 kg/m³ con asentamiento de mezcla de 2,5" mediante la siguiente dosificación de materiales

Ilustración 43 asentamiento mezcla 2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Dosificación de materiales mezcla 2

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Sintética
Mezcla 1	40,12 kg	20,8 Lt	71,4 kg	68,2 kg	120 ml.	432 gr



Fuente: Elaboración propia



Tabla 25 especímenes mezcla 2

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTETICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	27 de julio de 2017
CC2-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	27 de julio de 2017
CC3-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	27 de julio de 2017
CC4-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	27 de julio de 2017
TI1-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	27 de julio de 2017
TI2-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	27 de julio de 2017
TI3-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	27 de julio de 2017
TI4-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	27 de julio de 2017
V1-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	4 kg	0	Flexión	27 de julio de 2017
V2-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	4 kg	0	Flexión	27 de julio de 2017
V1 Rf-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	4 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	27 de julio de 2017

V2 Rf – 27072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	4 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	27 de julio de 2017
-----------------------------	-------	--------------------------	------	------------------------------------	---------	------------------------

Fuente: Elaboración propia

1.16.3 Mezcla 3: 10 de agosto de 2017

Se funden 8 cilindros de los cuales 4 son para ensayar a tracción indirecta y 4 para compresión, así mismo se funde 4 viguetas 2 con refuerzo longitudinal de 3/4" y flejes de 1/4" y 2 viguetas sin refuerzo para ensayos a flexión con inclusión de Fibra sintética 8 kg/m³ con asentamiento de mezcla de 2,5" para los cuales se calculan las siguientes cantidades de materiales:

Ilustración 44 asentamiento mezcla 3



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Dosificación de materiales mezcla 3

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Sintética
Mezcla 1	40,12 kg	20,8 Lt	71,4 kg	68,2 kg	120 ml.	864 gr



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 especímenes mezcla 3

NOMBRE	ELEM ENTO	DIMENSIO NES (cm)	FIBRA SINTETICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresió n	10 de Agosto de 2017
CC2- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresió n	10 de Agosto de 2017
CC3- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresió n	10 de Agosto de 2017
CC4- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresió n	10 de Agosto de 2017
TI1- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	10 de Agosto de 2017
TI2- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	10 de Agosto de 2017
TI3- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	10 de Agosto de 2017
TI4- 10082017	CILIND RO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	10 de Agosto de 2017
V1- 10082017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	8 kg	0	Flexión	10 de Agosto de 2017
V2-	VIGAS	15cm x	8 kg	0	Flexión	10 de Agosto de

10082017		15cm x60cm				2017
V1 Rf-10082017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	8 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	10 de Agosto de 2017
V2 Rf-10082017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	8 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	10 de Agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.16.4 Mezcla 4 30 de agosto de 2017

Se funden 8 cilindros de los cuales 4 son para ensayar a tracción indirecta y 4 para comprensión, así mismo se funde 4 viguetas 2 con refuerzo longitudinal de 3/4" y flejes de 1/4" y 2 viguetas sin refuerzo para ensayos a flexión con inclusión de Fibra sintética 12kg/ m³ con asentamiento de mezcla de 2," para los cuales se calculan las siguientes cantidades de materiales:

Tabla 28 Cantidades de materiales mezcla 4

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Gruoso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Sintética
Mezcla 1	40,12 kg	20,8 Lt	71,4 kg	68,2 kg	120 ml.	1.296 gr

Tabla 29 especímenes mezcla 4

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTÉTICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1-30082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Compresión	23 de Agosto de 2017
CC2-30082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Compresión	23 de Agosto de 2017
CC3-30082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Compresión	23 de Agosto de 2017
CC4-30082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Compresión	23 de Agosto de 2017
TI1-30082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Tracción Indirecta	23 de Agosto de 2017

Comentado [AHAT1]: FECHA DE FUNDIDA FIBRA METALICA 20 KG 11 DE OCTIUBRE 40 Y 60 KG 25 DE OCTIUBRE

T12- 3008201 7	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Tracción Indirecta	23 de Agosto de 2017
T13- 3008201 7	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Tracción Indirecta	23 de Agosto de 2017
T14- 3008201 7	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Tracción Indirecta	23 de Agosto de 2017
V1- 3008201 7	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	12kg	0	Flexión	23 de Agosto de 2017
V2- 3008201 7	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	12kg	0	Flexión	23 de Agosto de 2017
V1 Rf- 3008201 7	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	12kg	3/4 Transversa l y flejes ¼	Flexión	23 de Agosto de 2017
V2 Rf – 3008201 7	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	12kg	3/4 Transversa l y flejes 1/5	Flexión	23 de Agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.16.5 Mezcla 5 11 de Octubre de 2017

Se funden 6 cilindros de los cuales 3 son para ensayar a tracción indirecta y 3 para compresión, así mismo se funde 2 viguetas 1 con refuerzo longitudinal de ¾" y flejes de ¼" y 1 viguetas sin refuerzo para ensayos a flexión con inclusión de Fibra Metálica 20kg/m³, con asentamiento de mezcla de 4,5" para los cuales se calculan las siguientes cantidades de materiales:

Comentado [AHAT2]: FECHA DE FUNDIDA FIBRA METALICA 20 KG 11 DE OCTIUBRE 40 Y 60 KG 25 DE OCTIUBRE

Ilustración 45 Asentamiento de mezcla 5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Cantidades de materiales mezcla 5

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Metálica
Mezcla 1	40,12 kg	20,8 Lt	71,4 kg	68,2 kg	120 ml.	1,176 gr

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 especímenes mezcla 5

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA METALICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Compresión	11 de Octubre de 2017
CC2-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Compresión	11 de Octubre de 2017
CC3-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Compresión	11 de Octubre de 2017
TI1-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Tracción Indirecta	11 de Octubre de 2017
TI2-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Tracción Indirecta	11 de Octubre de 2017

7						
T13-1110201	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Tracción Indirecta	11 de Octubre de 2017
V1-1110201	VIGAS	15cm x 15cm x 60cm	20 kg	0	Flexión	11 de Octubre de 2017
V1 Rf-1110201	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	20kg	3/4	Flexión Transversal y flejes ¼	11 de Octubre de 2017
7						

Fuente: Elaboración propia

1.16.6 Mezcla 6 25 de Octubre de 2017

Se funden 4 cilindros de los cuales 2 son para ensayar a tracción indirecta y 2 para compresión, así mismo se funde 1 vigueta sin refuerzo para ensayos a flexión con inclusión de Fibra Metálica 40 kg/ m³. con asentamiento de mezcla de 3,8" para los cuales se calculan las siguientes cantidades de materiales:

Comentado [AHAT3]: FECHA DE FUNDIDA FIBRA METALICA 20 KG 11 DE OCTIUBRE 40 Y 60 KG 25 DE OCTIUBRE

Ilustración 46 Asentamiento Mezcla 6



Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Cantidades de materiales Mezcla 6 Fibra Metálica 40 kg/m³

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Metálica
Mezcla 1	20,5 kg	10,4 Lt	35,7 kg	34,1 kg	60 ml.	1388gr

Tabla 33 especímenes mezcla 6

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA METÁLICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40kg	0	Compresión	25 de Octubre de 2017
CC2-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40kg	0	Compresión	25 de Octubre de 2017
TI1-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40 kg	0	Tracción Indirecta	25 de Octubre de 2017
TI2-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40kg	0	Tracción Indirecta	25 de Octubre de 2017
V1-25102017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	40 kg	0	Flexión	25 de Octubre de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.16.7 Mezcla 7 25 de Octubre de 2017

Se funden 4 cilindros de los cuales 2 son para ensayar a tracción indirecta y 2 para comprensión, así mismo se funde 1 vigueta sin refuerzo para ensayos a flexión con inclusión de Fibra Metálica 60 kg/ m³ con asentamiento de mezcla de 4" para los cuales se calculan las siguientes cantidades de materiales:

Comentado [AHAT4]: FECHA DE FUNDIDA FIBRA METALICA 20 KG 11 DE OCTIUBRE 40 Y 60 KG 25 DE OCTIUBRE

Ilustración 47 Asentamiento Mezcla 7



Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Cantidades de materiales Mezcla 6 Fibra Metálica 60 kg/m³

Mezcla	Cemento	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Aditivo	Fibra Metálica
Mezcla 1	20,5 kg	10,4 Lt	35,7 kg	34,1 kg	60 ml.	2082gr

Tabla 35 especímenes mezcla 6

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA METÁLICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ELABORACION
CC1-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60kg	0	Compresión	25 de Octubre de 2017
CC2-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60kg	0	Compresión	25 de Octubre de 2017
T11-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60 kg	0	Tracción Indirecta	25 de Octubre de 2017
T12-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60 kg	0	Tracción Indirecta	25 de Octubre de 2017

7

V1- 2510201	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	60 kg	0 Flexión	25 de Octubre de 2017
----------------	-------	----------------------	-------	-----------	--------------------------

7

Fuente: Elaboración propia

1.17 Desencofrados especímenes

1.17.1 Mezcla 1 1 17 de julio de 2017

Se desencofran y se dejan curando los especímenes elaborados el día 13 de julio, se dejan curando en la piscina de curado ubicada en los laboratorios de la Universidad por 4 días, posteriormente son transportados a la instalación de Asocreto en donde se termina su proceso de curado mediante el método de cámara de vapor, se realizan los ensayos de los especímenes a los 14 y 28 días de curado.



Ilustración 48 curado especímenes mezcla 1

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 49 Desencofrado especímenes mezcla 1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 especímenes desencofrados 17 de julio de 2017

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTÉTICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DESENCOFRADO Y CURADO
CC1-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	17 de Julio de 2017
CC2-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	17 de Julio de 2017
CC3-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	17 de Julio de 2017
CC4-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Compresión	17 de Julio de 2017
TI1-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	17 de Julio de 2017
TI2-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	17 de Julio de 2017
TI3-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	17 de Julio de 2017
TI4-13072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	0 Kg	0	Tracción Indirecta	17 de Julio de 2017
V1-	VIGAS	15cm x	0 Kg	0	Flexión	17 de Julio de 2017

13072017		15cm x60cm				
V2-13072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	0 Kg	0	Flexión	17 de Julio de 2017
V1 Rf-13072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	0 Kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	17 de Julio de 2017
V2 Rf – 13072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	0 Kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	17 de Julio de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.17.2 Mezcla 2 1 de agosto de 2017

Se desencofran y se dejan curando los especímenes elaborados el día 1 de agosto, se dejan curando en la piscina de curado ubicada en los laboratorios de la Universidad por 4 días, posteriormente son transportados a la instalación de Asocreto en donde se termina su proceso de curado mediante el método de cámara de vapor, se realizan los ensayos de los especímenes a los 14 y 28 días de curado.



Ilustración 50 curado especímenes mezcla 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 listado de especímenes curados el 1 de agosto de 2017

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTÉTICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ENCOFRADO Y CURADO
CC1-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	01 de Agosto de 2017
CC2-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	01 de Agosto de 2017
CC3-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	1 de Agosto de 2017
CC4-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Compresión	1 de Agosto de 2017
T11-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	1 de Agosto de 2017
T12-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	1 de Agosto de 2017
T13-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	1 de Agosto de 2017
T14-27072017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	4 kg	0	Tracción Indirecta	1 de Agosto de 2017
V1-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	4 kg	0	Flexión	1 de Agosto de 2017
V2-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	4 kg	0	Flexión	1 de Agosto de 2017
V1 Rf-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	4 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	1 de Agosto de 2017
V2 Rf-27072017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	4 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	1 de Agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.17.3 Mezcla 3 14 de agosto de 2017

Se desencofran y se dejan curando los especímenes elaborados el día 14 de agosto, se dejan curando en la piscina de curado ubicada en los laboratorios de la Universidad por 4 días, posteriormente son transportados a la instalación de Asocreto en donde se termina

su proceso de curado mediante el método de cámara de vapor, se realizan los ensayos de los especímenes a los 14 y 28 días de curado.



Ilustración 51 Desencofrado especímenes mezcla 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38 listados de especímenes curados el 14 de Agosto de 2017

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTETICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DESENCOFRADO Y CURADO
CC1-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresión	14 de Agosto de 2017
CC2-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresión	14 de Agosto de 2017
CC3-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresión	14 de Agosto de 2017
CC4-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Compresión	14 de Agosto de 2017
TI1-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	14 de Agosto de 2017
TI2-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	14 de Agosto de 2017

T13-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	14 de Agosto de 2017
T14-10082017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	8 kg	0	Tracción Indirecta	14 de Agosto de 2017
V1-10082017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	8 kg	0	Flexión	14 de Agosto de 2017
V2-10082017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	8 kg	0	Flexión	14 de Agosto de 2017
V1 Rf-10082017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	8 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	14 de Agosto de 2017
V2 Rf-10082017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	8 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	14 de Agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.17.4 Mezcla 4 04 de septiembre de 2017

Se desencofran y se dejan curando los especímenes elaborados el día 04 de septiembre, se dejan curando en la piscina de curado ubicada en los laboratorios de la Universidad por 4 días, posteriormente son transportados a las instalaciones de Asocreto en donde se termina su proceso de curado mediante el método de cámara de vapor, se realizan los ensayos de los especímenes a los 14 y 28 días de curado.

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA SINTÉTICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DE ENCOFRADO Y CURADO
CC1-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12 kg	0	Compresión	08 de Septiembre de 2017
CC2-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12 kg	0	Compresión	08 de Septiembre de 2017
CC3-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Compresión	08 de Septiembre de 2017
CC4-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Compresión	08 de Septiembre de 2017
T11-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Tracción Indirecta	08 de Septiembre de 2017
T12-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12 kg	0	Tracción Indirecta	08 de Septiembre de 2017

7						
TI3-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12 kg	0	Tracción Indirecta	08 de Septiembre de 2017
TI4-04092017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	12kg	0	Tracción Indirecta	08 de Septiembre de 2017
V1-04092017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	12 kg	0	Flexión	08 de Septiembre de 2017
V2-04092017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	12 kg	0	Flexión	08 de Septiembre de 2017
V1 Rf-04092017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	12 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	08 de Septiembre de 2017
V2 Rf-04092017	VIGAS	15cm x 15cm x 55cm	12 kg	3/4 " Transversal y flejes 1/4"	Flexión	08 de Septiembre de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.17.5 Mezcla 5 15 de octubre de 2017

Se desencofran y se dejan curando los especímenes elaborados el día 11 de octubre, se dejan curando en la piscina de curado ubicada en los laboratorios de la Universidad por 4 días, posteriormente son transportados a las instalaciones de Asocreto en donde se termina su proceso de curado mediante el método de cámara de vapor, se realizan los ensayos de los especímenes a los 14 y 28 días de curado.

NOMBRE	ELEM ENTO	DIMENSION ES (cm)	FIBRA METALICA (KG)	REFUERZO	ENSAYO/ ESFUERZO	FECHA DESENCOFRADO Y CURADO
CC1-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Compresión	15 de Octubre de 2017
CC2-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Compresión	15 de Octubre de 2017
CC3-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Compresión	15 de Octubre de 2017
TI1-11102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Tracción Indirecta	15 de Octubre de 2017
TI2-	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	20kg	0	Tracción	15 de Octubre de 2017

11102017	RO	30cm				Indirecta	2017
T13- 11102017	CILINDRO	Ø15cm x 20kg	0			Tracción	15 de Octubre de 2017
V1- 11102017	VIGAS	15cm x 20 kg	0			Flexión	15 de Octubre de 2017
V1 Rf- 11102017	VIGAS	15cm x 20kg	3/4			Flexión	15 de Octubre de 2017
		15cm x 55cm				Transversal y flejes ¼	

Fuente: Elaboración propia

1.17.6 Mezcla 6 y 7 29 de octubre de 2017

Se desencofran y se dejan curando los especímenes elaborados el día 25 de octubre fibra Metálica de 40kg/m³ y 60kg/m³, se dejan curando en la piscina de curado ubicada en los laboratorios de la Universidad por 4 días, posteriormente son transportados a la instalación de Asocreto en donde se termina su proceso de curado mediante el método de cámara de vapor, se realizan los ensayos de los especímenes a los 14 y 28 días de curado.

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA METALICA (KG)	REFUE RZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DESENCOFRADO Y CURADO
CC1-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40kg	0	Compresión	29 de Octubre de 2017
CC2-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40kg	0	Compresión	29 de Octubre de 2017
T11-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40 kg	0	Tracción Indirecta	29 de Octubre de 2017
T12-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	40kg	0	Tracción Indirecta	29 de Octubre de 2017
V1-25102017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	40 kg	0	Flexión	29 de Octubre de 2017

Fuente: Elaboración propia

NOMBRE	ELEMENTO	DIMENSIONES (cm)	FIBRA METALICA (KG)	REFUE RZO	ENSAYO/ESFUERZO	FECHA DESENCOFRADO Y CURADO
CC1-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60kg	0	Compresión	29 de Octubre de 2017
CC2-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60kg	0	Compresión	29 de Octubre de 2017
T11-25102017	CILINDRO	Ø15cm x 30cm	60 kg	0	Tracción Indirecta	29 de Octubre de 2017

T12- 25102017	CILINDR O	Ø15cm x 30cm	60 kg	0	Tracción Indirecta	29 de Octubre de 2017
V1- 25102017	VIGAS	15cm x 15cm x60cm	60 kg	0	Flexión	29 de Octubre de 2017

Fuente: Elaboración propia

1.18 Ensayos a los especímenes de concreto en estado endurecido

Los ensayos de laboratorio realizados son:

1. Flexión
2. Compresión
3. Tracción indirecta

Los especímenes de concreto endurecido se evaluarán a edades de 14 y 28 días, después del fundido de los especímenes, Se realizaron un total de 8 especímenes semanales en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas, pero debido a las adecuaciones que se están realizando a lo largo de este año en la planta física de la misma los ensayos se realizaron en las instalaciones de Asocreto, la programación está diseñada para optimizar los costos y el tiempo de realización de los ensayos, dando espacio al fraguado y tiempo prudente para desencofrado del concreto.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del concreto se estudian para evaluar la capacidad que este presenta ante diferentes esfuerzos, cuando el concreto este conformando un elemento estructural, de un sistema estructural. Estas propiedades dependen de la resistencia individual de los agregados, de la pasta de cemento y de la unificación que se genere entre ellos. (A Neville, 1999); en el presente capitulo se expone las propiedades de resistencia medidas en estado endurecido de las mezclas de concreto para cada edad de ensayo evaluada.

1.18.1 Resistencia a la compresión

El ensayo de compresión de concreto, o de compresión simple; es una de las propiedades mecánicas más importantes en el diseño de concreto; este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados

o a núcleos a una velocidad que está dentro de un intervalo prescrito hasta que ocurra la falla.

¿Para qué sirve este ensayo?

El objetivo principal del ensayo consiste en determinar la máxima resistencia a la compresión de un cilindro de muestra de un concreto frente a una carga aplicada axialmente.

Los lineamientos utilizados para la ejecución de este ensayo fueron los expuestos en la norma NTC 673 *CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO*



Ilustración 52 ensayo cilindros resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 53 resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 54 aplique de carga resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

1.18.2 Resistencia a la tracción

Este método de ensayo permite determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, tales como los cilindros moldeados y núcleos. La resistencia a la tensión indirecta se usa para evaluar la resistencia a la corte alcanzada por el concreto en elementos de concreto reforzado, fabricados con agregado liviano.

¿Para qué sirve este ensayo?

La importancia de la resistencia al corte es evidente a partir del hecho de que los cilindros estándar de hormigón probados en la compresión axial suelen fallar por corte a lo largo de un plano inclinado. En realidad, la falla se debe a una combinación de esfuerzos normales y de corte sobre el plano. La falla en diagonal en el alma de una viga de hormigón es a causa de un esfuerzo de tracción que resulta de una combinación de esfuerzos de tracción y de corte.

Los lineamientos utilizados para la ejecución de este ensayo fueron los expuestos en la norma *NTC 722 CONCRETOS MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO*



Ilustración 55 ensayo tracción indirecta



Ilustración 56 ensayo tracción indirecta

Fuente: Elaboración propia

1.18.3 Resistencia a la flexión

¿Para qué sirve este ensayo?

La capacidad a la flexión del concreto se representa por el módulo de ruptura, el módulo de ruptura es esencial para el diseño y control de calidad de estructuras como los de los pisos y pavimentos de concreto.

Los ensayos para determinar la resistencia a la compresión fueron basados en la norma INV E 415: 2013 Resistencia a la flexión del concreto (Método de la viga simple cargada en el punto central

El procedimiento se realizó sobre 2 vigas sin refuerzo longitudinal de 0,15m x 0,15m x 0,60m y 2 vigas con refuerzo longitudinal de 0,15m x 0,15m x 0,55m, los primeros ensayos fueron realizados a la mezcla 1 el día 27 de julio

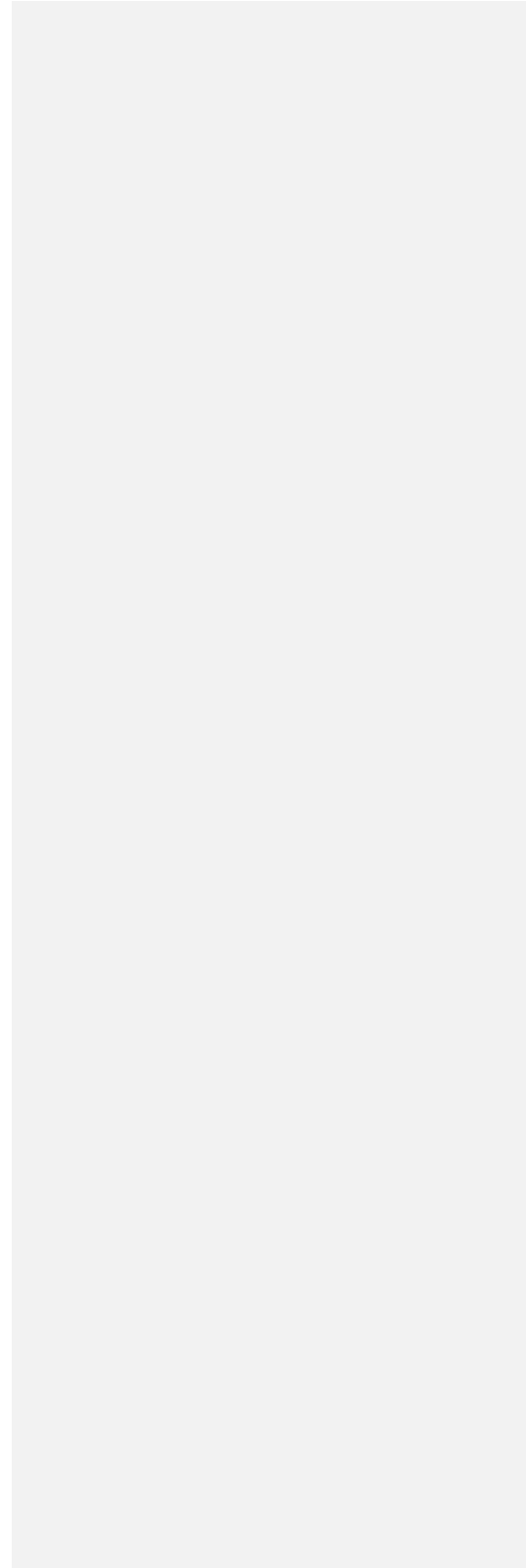


Ilustración 57 ensayo viga a flexión



Ilustración 58 ensayo viga a flexión

Fuente: Elaboración propia



1.19 Resultados ensayos de laboratorio

1.19.1 Especímenes fallados resistencia a la compresión

Tabla 39 Resultados ensayo resistencia a la compresión mezcla 1 sin adición de fibra

LABORATORIO DEL CONCRETO																
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Corrección L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tipo de Fractura
1	CC2 - 130720 17	304	153,0	1838 5,4	12,5 16	2240	2017-07-13	2017-07-27	14	371,91	1,99	1,00	206,3	210,9	98	2
2	CC1 - 130720 17	302	153,7	1856 6,1	12,5 51	2240	2017-07-13	2017-07-27	14	365,38	1,96	1,00	200,7	210,9	95	2
3	CC3 - 130720 17	303	154,2	1868 7,0	11,5 47	2040	2017-07-13	2017-08-10	28	324,48	1,97	1,00	177,1	210,9	84	5
4	CC4 - 130720 17	304	154,5	1874 7,7	11,6 95	2050	2017-07-13	2017-08-10	28	330,28	1,96	1,00	179,6	210,9	85	2

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 40 Resultados ensayo resistencia a la compresión mezcla 2 Adición fibra sintética 4kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO																
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Corrección L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tipo de Fractura
1	CC1 270720 17	306	153,75	1856 6,1	12,4 41	2190	2017-07-27	2017-08-10	14	412,76	1,99	1,00	226,7	210,9	107	2
2	CC2 270720 17	306	153,50	1850 5,7	12,3 48	2180	2017-07-27	2017-08-10	14	393,46	1,99	1,00	216,8	210,9	103	2
3	CC3 270720 17	305	153,50	1850 5,7	12,3 51	2190	2017-07-27	2017-08-24	28	504,91	1,99	1,00	278,2	210,9	132	5
4	CC4 270720 17	307	154,25	1868 7,0	12,4 54	2170	2017-07-27	2017-08-24	28	524,61	1,99	1,00	286,3	210,9	136	1

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 41 Resultados ensayo resistencia a la compresión mezcla 3 Adición fibra sintética 8 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO																
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Corrección L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tipo de Fractura
1	CC1 100820 17	305	154,75	1880 6,1	12,2 84	2140	2017-08-10	2017-08-24	14	302,82	1,97	1,00	164,2	210,9	78	2
2	CC2 100820 17	308	153,50	1850 5,7	12,2 85	2150	2017-08-10	2017-08-24	14	277,65	2,01	1,00	153,0	210,9	73	2
3	CC3 100820 17	306	153,25	1844 5,5	12,2 62	2170	2017-08-10	2017-09-07	28	323,07	2,00	1,00	178,6	210,9	85	3
4	CC4 100820 17	306	154,50	1874 7,7	12,2 99	2140	2017-08-10	2017-09-07	28	318,16	1,98	1,00	173,0	210,9	82	3

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 42 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 4 Adición de fibra Sintética 12 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO																		
Cil indr o N°	Identificación - Localización	I	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Correción L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tip o de Fractura	
1	C1- 30082 017		308	15 4,00	1862 6,5	12,1 95	21 30	2017- 08-30	2017- 09-13	14	281, 51	2,00	1,00	1 5,1	154,1	210,9	73	5
2	C2- 30082 017		309	15 4,75	1880 8,4	12,2 44	21 10	2017- 08-30	2017- 09-13	14	294, 56	1,99	1,00	1 5,7	159,7	210,9	76	5
3	C3- 30082 017		308	15 4,00	1862 6,5	12,2 51	21 40	2017- 08-30	2017- 09-27	28	315, 14	2,00	1,00	1 6,9	172,5	210,9	82	5
4	C4- 30082 017		306	15 4,50	1874 7,7	12,0 84	21 00	2017- 08-30	2017- 09-27	28	331, 99	1,98	1,00	1 7,7	180,6	210,9	86	5

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 43 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 5 Adición de fibra metálica 20 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO																		
Cil indr o N°	Identificación - Localización	I	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Correción L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tip o de Fractura	
1	CC1- 11102 017		307	15 3,25	1844 5,5	12,7 50	22 50	2017- 10-11	2017- 10-25	14	523, 73	2,00	1,00	2 8,4	289,5	210,9	137	5
2	CC2- 11102 017		306	15 4,50	1874 7,7	12,9 39	22 60	2017- 10-11	2017- 11-08	28	667, 82	1,98	1,00	3 5,6	363,2	210,9	172	2
3	CC3- 11102 017		307	15 3,50	1850 5,7	12,8 63	22 70	2017- 10-11	2017- 11-08	28	711, 25	2,00	1,00	3 8,4	391,9	210,9	186	3

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 44 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 6 Adición de fibra metálica 40 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO																		
Cil indr o N°	Identificación - Localización	I	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Correción L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tip o de Fractura	
2	CC1- 25102 017		309	15 3,50	1850 5,7	12,9 69	22 70	2017- 10-25	2017- 11-08	14	480, 46	2,01	1,00	2 6,0	264,7	210,9	126	5
4	CC2- 25102 017		307	15 3,75	1856 6,1	12,9 55	22 70	2017- 10-25	2017- 11-22	28	509, 21	2,00	1,00	2 7,4	279,7	210,9	133	3

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 45 Resultado ensayo resistencia a la compresión mezcla 7 Adición de fibra metálica 60 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO																	
Cil indr	Identificación	I	Dimensiones (mm)		Área (mm ²)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Relación L/D	Factor de Correción L/D	Resistencia de Rotura (MPa)	Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Tip o de Fractura

N°	Identificación - Localización	Longitud	Diámetro (mm)	Diámetro (mm)	(kg)	d (kg/m ²)	Vaciado	Ensayo	(Días)	(kN)	L/D	Corrección L/D	(MPa)	(kg/cm ²)	Nominal (kg/cm ²)	(%)	Fractura
1	CC1-25102017	310	15	1880	12,8	22	2017-10-25	2017-11-08	14	491,33	2,00	1,00	26,1	266,4	210,9	126	5
5	CC2-25102017	308	15	1802	12,9	23	2017-10-25	2017-11-22	28	484,00	2,03	1,00	26,8	273,8	210,9	130	3

1.19.2 Especímenes fallados resistencia a la tracción indirecta

Tabla 46 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 1 sin adición de fibra

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kPa)	(kg/cm ²)						
1	TI1-13072017	302,0	153,0	2017-07-13	2017-07-27	14	143,5	197,7	20,2	210,9	10	91	Húmedo	Ninguno	Longitudinal
2	TI2-13072017	299,9	153,5	2017-07-13	2017-08-10	28	127,6	176,4	18,0	210,9	9	92	Húmedo	Ninguno	Longitudinal
3	TI3-13072017	306,9	152,7	2017-07-13	2017-08-10	28	173,0	235,1	24,0	210,9	11	95	Húmedo	Ninguno	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 47 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 2 adición de fibra sintética 4kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kPa)	(kg/cm ²)						
1	TI1-27072017	304,9	153,8	2017-07-27	2017-08-10	14	161,0	218,6	22,3	210,9	11	83	Húmedo	Ninguno	Longitudinal
2	TI2-27072017	304,2	154,4	2017-07-27	2017-08-10	14	75,5	237,9	24,3	210,9	12	85	Húmedo	Ninguno	Longitudinal
3	TI3-27072017	305,8	153,1	2017-07-27	2017-08-24	28	21,2	300,8	30,7	210,9	15	63	Húmedo	Ninguno	Longitudinal
4	TI4-27072017	306,6	153,6	2017-07-27	2017-08-24	28	11,7	286,2	29,2	210,9	14	73	Húmedo	Ninguno	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 48 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 3 adición de fibra sintética 8 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kPa)	(kg/cm ²)						
1	TI1-100820	304,5	153,7	2017-07-	2017-08-	14	109,	149,1	15,2	210,9	7	84	Húmedo	Ninguno	Longitudinal

	17	27	10	6											
2	T12-100820-17	306,8	154,2	2017-07-27	2017-08-10	14	1	164,22,1	16,8	210,9	8	83	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
3	T13-100820-17	307,3	154,3	2017-07-27	2017-08-24	28	1	155,15,8	15,9	210,9	8	64	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
4	T14-100820-17	306,9	154,3	2017-07-27	2017-08-24	28	1	163,21,7	16,7	210,9	8	73	Húmedo	Ninguna	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 49 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 4 adición de fibra sintética 12 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kPa)	(kg/cm ²)						
1	T11-300820-17	309,1	154,1	2017-08-30	2017-09-13	-14	1	175,31,2	17,9	210,9	8	21	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
2	T12-300820-17	308,6	154,0	2017-08-30	2017-09-13	-14	1	181,35,4	18,5	210,9	9	14	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
3	T13-300820-17	306,5	154,0	2017-08-30	2017-09-27	-28	1	200,48,8	20,5	210,9	10	3	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
4	T14-300820-17	307,9	153,8	2017-08-30	2017-09-27	-28	1	196,46,3	20,1	210,9	10	18	Húmedo	Ninguna	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 50 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 5 adición de fibra metálica 20 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kPa)	(kg/cm ²)						
1	T11-111020-17	305,9	153,3	2017-10-11	2017-10-25	14	2	272,01,0	27,8	210,9	1	48	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
3	T12-111020-17	307,1	153,6	2017-10-11	2017-11-08	28	2	325,41,2	33,2	210,9	1	33	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
4	T13-111020-17	307,1	153,2	2017-10-11	2017-11-08	28	2	289,13,5	29,5	210,9	1	33	Húmedo	Ninguna	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 51 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 6 adición de fibra metálica 40 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kPa)	(kg/cm ²)						
2	T11-251020-17	304,8	154,1	2017-10-25	2017-11-08	14	2	276,04,0	28,2	210,0	1	23	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
4	T12-251020-17	308,3	154,3	2017-10-25	2017-11-22	28	1	267,99,6	27,2	210,0	1	16	Húmedo	Ninguna	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 52 Resultados ensayos resistencia a la tracción indirecta Mezcla 7 adición de fibra metálica 60 kg/m³

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Cilindro N°	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (kN)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Agregado Grueso Fracturado (%)	Tipo de Curado	Defectos del Especimen	Tipo de Fractura
		Longitud	Diámetro					(kP)	(kg/cm ²)						
1	T11-25102017	305,3	153,8	2017-10-25	2017-11-08	14	295,4	400,4	40,8	210,0	19	13	Húmedo	Ninguna	Longitudinal
3	T12-25102017	308,8	154,1	2017-10-25	2017-11-22	28	187,2	250,5	25,5	210,0	12	33	Húmedo	Ninguna	Longitudinal

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

1.19.3 Especímenes fallados resistencia a la flexión

Tabla 53 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 1 sin adición de fibra (10 de Agosto de 2017)

LABORATORIO DEL CONCRETO																
Vigilante N°	Identificación - Localización	I (mm)	Dimensiones (mm)			Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (N)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Condición Superficial del Especimen	Tipo de Contacto Especimen - Apoyos	Tipo de Obtención del Especimen
			Distancia Entre Apoyos	Ancho	Altura					(MPa)	(kg/cm ²)					
1	1 - RF13072017	450	140	150	2017-07-13	2017-08-10	28	63910	9,15	93,3	210,9	44,2	Húmedo	Cuñas	Fundido	
2	3 - RF13072017	450	153	150	2017-07-13	2017-08-10	28	70448	9,20	93,8	210,9	44,5	Húmedo	Cuñas	Fundido	
3	2 - 13072017	465	155	155	2017-07-13	2017-08-10	28	24115	3,00	30,6	210,9	14,5	Húmedo	Cuñas	Fundido	
4	4 13072017	450	150	150	2017-07-13	2017-08-10	28	22364	3,00	30,6	210,9	14,5	Húmedo	Cuñas	Fundido	

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 54 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 2 Fibra Sintética 4kg/m³

LABORATORIO DEL CONCRETO																
Vigilante N°	Identificación - Localización	I (mm)	Dimensiones (mm)			Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	Carga (N)	Resistencia de Rotura		Resistencia Nominal (kg/cm ²)	Evolución (%)	Condición Superficial del Especimen	Tipo de Contacto Especimen - Apoyos	Tipo de Obtención del Especimen
			Distancia Entre Apoyos	Ancho	Altura					(MPa)	(kg/cm ²)					
1	1 - RF13072017	450	140	150	2017-07-13	2017-08-10	28	63910	9,15	93,3	210,9	44,2	Húmedo	Cuñas	Fundido	
2	3 - RF13072017	450	153	150	2017-07-13	2017-08-10	28	70448	9,20	93,8	210,9	44,5	Húmedo	Cuñas	Fundido	
3	2 - 13072017	465	155	155	2017-07-13	2017-08-10	28	24115	3,00	30,6	210,9	14,5	Húmedo	Cuñas	Fundido	
4	4 13072017	450	150	150	2017-07-13	2017-08-10	28	22364	3,00	30,6	210,9	14,5	Húmedo	Cuñas	Fundido	

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 55 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 3 Fibra sintética 8 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Vig ueta Nº	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)			Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	E dad (Días)	C arg (N)	Resistencia de Rotura		Resisten cia Nominal (kg/cm ²)	Evoluc ión (%)	Condi ción Superfi cial del Espéci men	Tipo de Contac to Espéci men - Apoyos	Tipo de Obtenc ión del Espéci men
		Distan cia Entre Apoyo s	Anc ho	Al tura					(MP a)	(kg/c m ²)					
1	V1 RF 100820 17	476	153	159	2017- 07-27	2017- 08- 24	28	692 41	8,55	87,2	210,9	41,3	Húmed o	Cuñas	Fundido
2	V2 RF 100820 17	456	150	152	2017- 07-27	2017- 08- 24	28	569 46	7,50	76,5	210,9	36,3	Húmed o	Cuñas	Fundido
3	V1 100820 17	454	153	151	2017- 07-27	2017- 08- 24	28	157 46	2,05	20,9	210,9	9,9	Húmed o	Cuñas	Fundido
4	V2 100820 17	456	153	152	2017- 07-27	2017- 08- 24	28	162 86	2,10	21,4	210,9	10,2	Húmed o	Cuñas	Fundido

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 56 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 4 Fibra sintética 12 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Vig ueta Nº	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)			Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	E dad (Días)	C arg (N)	Resistencia de Rotura		Resiste ncia Nomina l (kg/cm ²)	Evoluc ión (%)	Condi ción Superfi cial del Espéci men	Tipo de Contac to Espéci men - Apoyos	Tipo de Obtenc ión del Espéci men
		Distan cia Entre Apoyo s	Anc ho	Al tura					(MP a)	(kg/c m ²)					
1	V1- 300820 17	465	155	155	2017- 08-30	2017- 09-27	28	599 74	7,5 0	76,5	210,0	36,41 786	Húmed o	Cuñas	Fundid o
2	V2- 300820 17	455	150	152	2017- 08-30	2017- 09-27	28	557 67	7,3 5	74,9	210,0	35,68 95	Húmed o	Cuñas	Fundid o
3	V1 RF- 300820 17	450	150	150	2017- 08-30	2017- 09-27	28	734 46	9,8 0	99,9	210,0	47,58 6	Húmed o	Cuñas	Fundid o
4	V2 RF - 300820 17	450	150	150	2017- 08-30	2017- 09-27	28	126 59	1,7 0	17,3	210,0	8,254 714	Húmed o	Cuñas	Fundid o

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 57 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 5 Fibra Metálica 20 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Vig ueta Nº	Identificación - Localización	Dimensiones (mm)			Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	E dad (Días)	C arg (N)	Resistencia de Rotura		Resiste ncia Nomina l (kg/cm ²)	Evoluc ión (%)	Condi ción Superfi cial del Espéci men	Tipo de Contac to Espéci men - Apoyos	Tipo de Obtenc ión del Espéci men
		Distan cia Entre Apoyo s	Anc ho	Al tura					(MP a)	(kg/c m ²)					
1	V1- 111020 17	492	161	164	2017- 10-11	2017- 11-08	28	266 21	3,0 5	31,1	210,9	14,7	Húmed o	Cuñas	Fundid o
2	V1 RF- 111020 17	465	155	155	2017- 10-11	2017- 11-08	28	951 03	11, 85	120,8	210,9	57,3	Húmed o	Cuñas	Fundid o

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 58 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 6 Fibra Metálica 40 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Vig ueta	Identificac ión	Dimensiones (mm)			Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	E dad	C arg	Resistencia de Rotura		Resiste ncia	Evoluc ión	Condi ción	Tipo de Contac	Tipo de Obtenc
		Distan cia	Anc ho	Al tura					(MP a)	(kg/c m ²)					

N°	ión - Localización	Distan- cia Entre Apoyos	Anc ho	Al tura		(Días)	a (N)	(MP a)	(kg/c m ²)	Nomina l (kg/cm ²)	(%)	Superfi- cial del Espé- cimen	to Espé- cimen - Apoyos	ión del Espé- cimen	
2	V1- 251020 17	451	154	1 50	2017- 10-25	2017- 11-22	28	240 06	3,1 0	31,6	210,0	15,1	Húmed o	Cuñas	Fundid o

Fuente: Laboratorios Asocreto. 2018

Tabla 59 Resultado ensayo resistencia a flexión Mezcla 7 Fibra Metálica 60 kg/m3

LABORATORIO DEL CONCRETO															
Vig ueta N°	dentificac ión - Localización	l (mm) Distan- cia Entre Apoyos	Dimensiones		Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	E dad (Días)	C arg a (N)	Resistencia de Rotura (MP a) (kg/c m ²)	Resiste ncia Nomina l (kg/cm ²)	Evolua ción (%)	Condi- ción Superfi- cial del Espé- cimen	Tipo de Contac to Espé- cimen - Apoyos	Tipo de Obtenc ión del Espé- cimen	
1	V1- 251020 17	466	160	1 55	2017- 10-25	2017- 11-22	28	255 19	3,1 0	31,6	210,0	15,1	Húmed o	Cuñas	Fundid o

1.20 Análisis de resultados

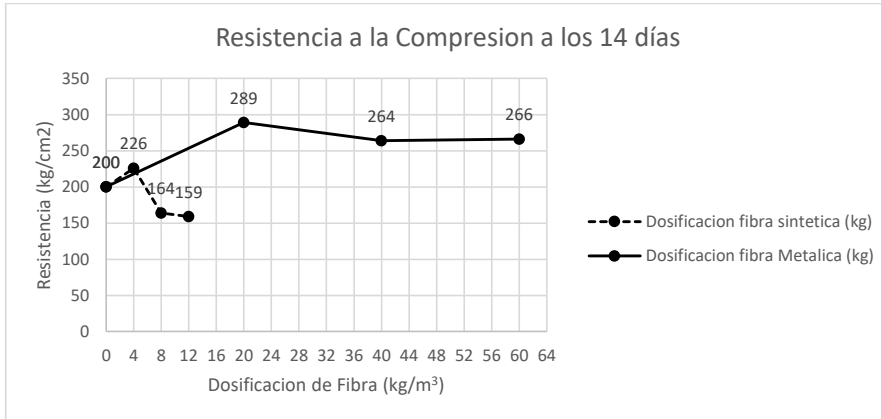
1.20.1 Resistencia a la compresión

- Comportamiento de los especímenes a los 14 días.

Tabla 60 Análisis de resultados ensayo resistencia a la compresión a los 14 días

Dosificación fibra sintética (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)	Dosificación fibra Metálica (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)
0	200	0	200
4	226	20	289
8	164	40	264
12	159	60	266

Fuente: Elaboración propia



Grafica 1 Resistencia a la compresión a los 14 días

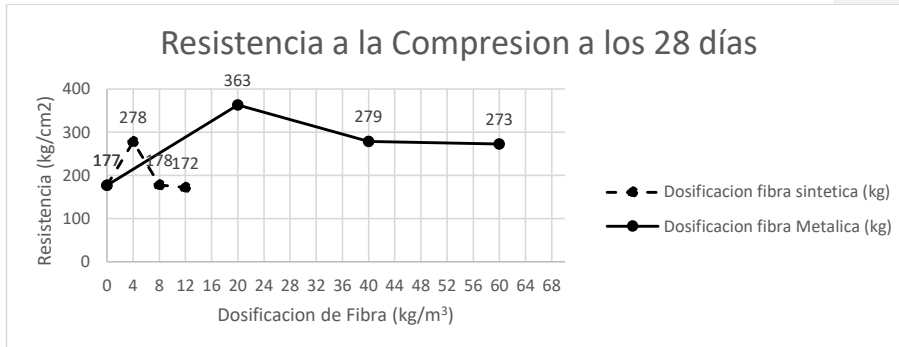
Fuente: Elaboración propia

- Comportamiento de los especímenes a los 28 días.

Tabla 61 Análisis de resultados ensayo resistencia a la compresión a los 28 días

Dosificación fibra sintética (kg)/m³	resistencia (kg/cm²)	Dosificación fibra Metálica (kg/m³)	resistencia (kg/cm²)
0	177	0	177
4	278	20	363
8	178	40	279
12	172	60	273

Fuente: Elaboración propia



Grafica 2 resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

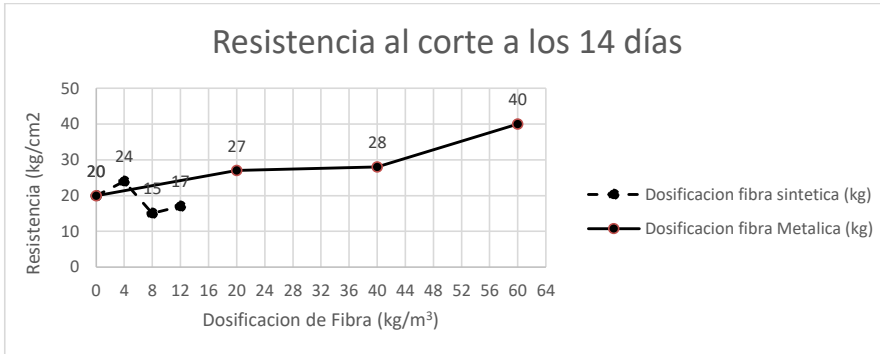
1.20.2 Resistencia al corte

- Comportamiento de los especímenes a los 14 días.

Tabla 62 Análisis de resultados ensayo resistencia al corte a los 14 días

Dosificación fibra sintética (kg/m³)	resistencia (kg/cm²)	Dosificación fibra Metálica (kg/m³)	resistencia (kg/cm²)
0	20	0	20
4	24	20	27
8	15	40	28
12	17	60	40

Fuente: Elaboración propia



Grafica 3 Resistencia al corte a los 14 días

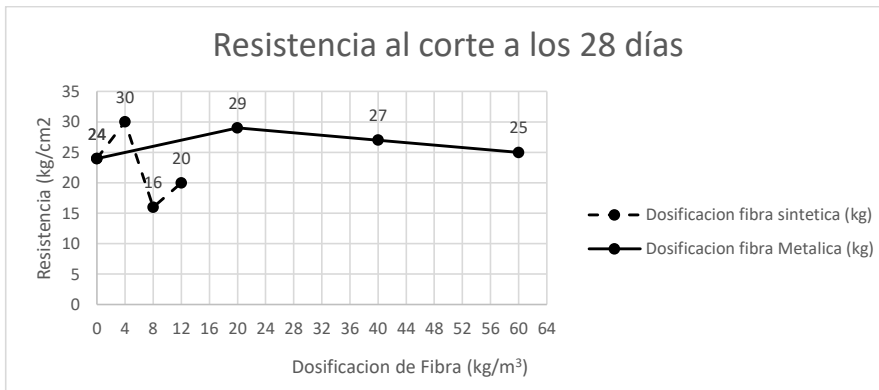
Fuente: Elaboración propia

• Comportamiento de los especímenes a los 28 días.

Tabla 63 Análisis de resultados ensayo resistencia al corte a los 28 días

Dosificación fibra sintética (kg/m³)	resistencia (kg/cm²)	Dosificación fibra Metalica (kg/m³)	resistencia (kg/cm²)
0	24	0	24
4	30	20	29
8	16	40	27
12	20	60	25

Fuente: Elaboración propia

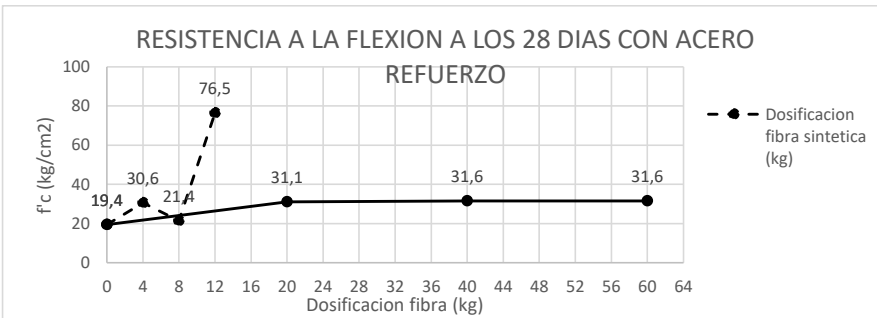


Grafica 4 Resistencia al corte a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

1.20.3 Resistencia a la flexión

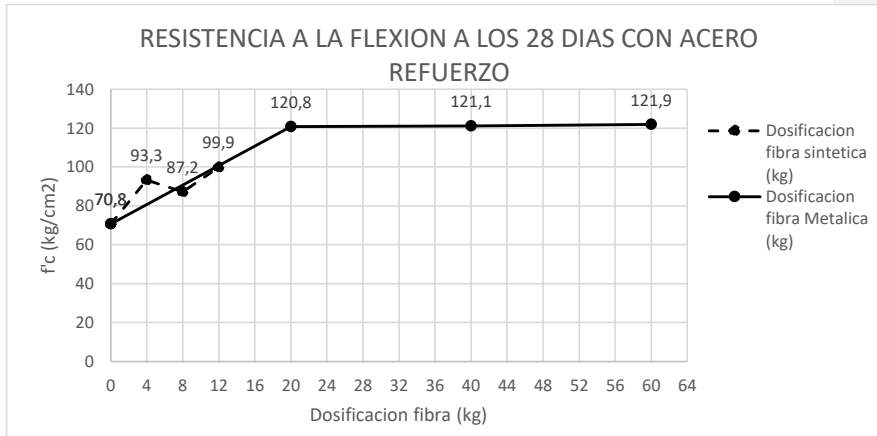
- Resistencia a la flexión a los 28 días sin acero de refuerzo



Grafica 5 Resistencia a la flexión a los 28 días sin acero de refuerzo

Fuente: Elaboración propia

- Resistencia a la flexión a los 28 días con acero de refuerzo



Grafica 6 Resistencia a la flexión a los 28 días con acero de refuerzo

Fuente: Elaboración propia

1.20.4 Equivalencias ensayos de compresión, corte y flexión

Tomando los resultados ensayos de laboratorio realizados descritos en las tablas 39, 40 y 41, se realizó un comparativo por dosificación (kg/m³) para la misma resistencia tanto a compresión, corte y flexión, para lo cual se tomó como base la resistencia dosificación de 4kg/m³ de fibra sintética vrs los resultados de la resistencia más alta para la fibra metálica realizando su respectiva conversión teniendo en cuenta la misma resistencia como se evidencia en las siguientes gráficas.

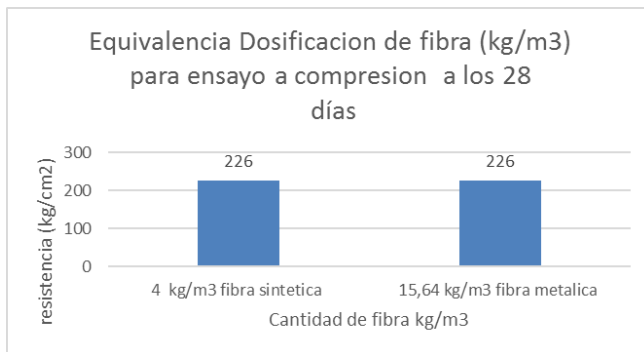
- **Resistencia a la compresión a los 14 días**

Tabla 64 Equivalencia de dosificación ensayo compresión a los 14 días

Dosificación (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)
4 kg fibra sintética	226
15,64 kg fibra metálica	226

*se toma como referencia el resultado de resistencia a la compresión a los 14 días para 20 kg/m³ de fibra metálica

Fuente: Elaboración propia



Grafica 7 comparativo de fibra 4kg/m³ para ensayo a la compresión a los 14 días

Fuente: Elaboración propia

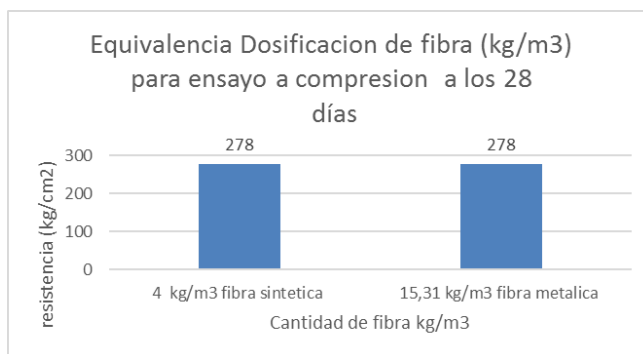
- **Resistencia a la compresión a los 28 días**

Tabla 65 Equivalencia de dosificación para ensayo a compresión a los 28 días

Dosificación (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)
4 fibra sintética	278
15,31 fibra Metálica	278

*se toma como referencia el resultado de resistencia a la compresión a los 28 días para 20 kg/m³ de fibra metálica

Fuente: Elaboración propia



Grafica 8 comparativo de fibra 4kg/m³ para ensayo a la compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

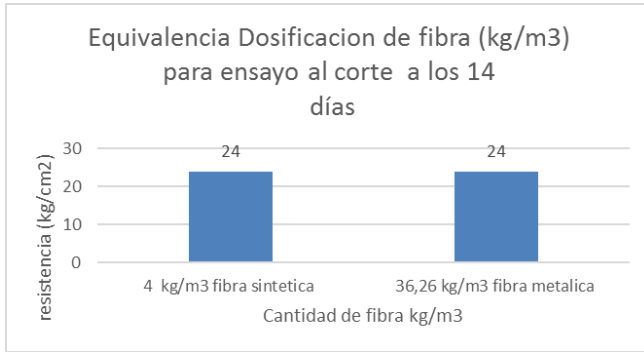
- **Resistencia a la corte a los 14 días**

Tabla 66 Equivalencia de dosificación para ensayo al corte a los 14 días

Dosificación (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)
4 fibra sintética	24
36,26 fibra metálica	24

*se toma como referencia el resultado de resistencia a la corte a los 14 días para 60 kg/m³ de fibra metálica

Fuente: Elaboración propia



Grafica 9 comparativo de fibra 4kg/m3 para ensayo al corte a los 14 días

Fuente: Elaboración propia

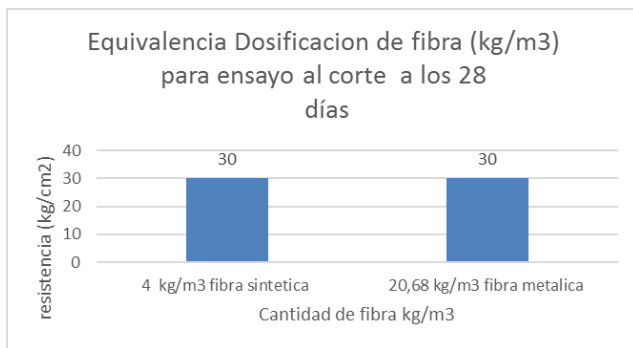
- **Resistencia a la corte a los 28 días**

Tabla 67 Equivalencia de dosificación para ensayo al corte a los 28 días

Dosificación (kg/m3)	resistencia (kg/cm2)
4 fibra sintética	30
20,68 fibra metálica	30

*se toma como referencia el resultado de resistencia al corte a los 28 días para 20 kg/m3 de fibra metálica

Fuente: Elaboración propia



Grafica 10 comparativo de fibra 4kg/m3 para ensayo al corte a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

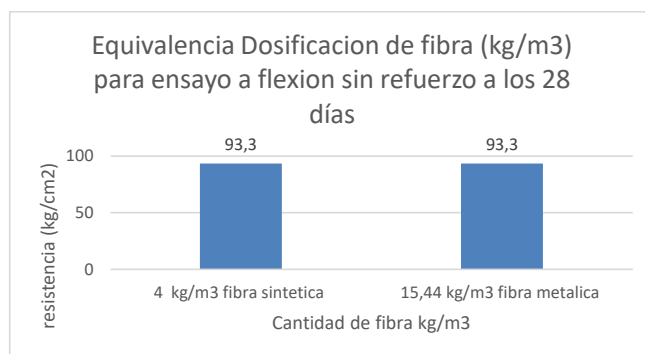
- **Resistencia a la flexión sin refuerzo**

Tabla 68 Equivalencia de dosificación para ensayo a flexión a los 28 días sin refuerzo

Dosificación (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)
4 kg/m ³ fibra sintética	30,6
19,74 kg/m ³ fibra metálica	30,6

*se toma como referencia el resultado de resistencia a flexión a los 28 días sin refuerzo para 20 kg/m³ de fibra metálica

Fuente: Elaboración propia



Grafica 11 comparativo de fibra 4kg/m³ para ensayo a flexión 28 días sin refuerzo

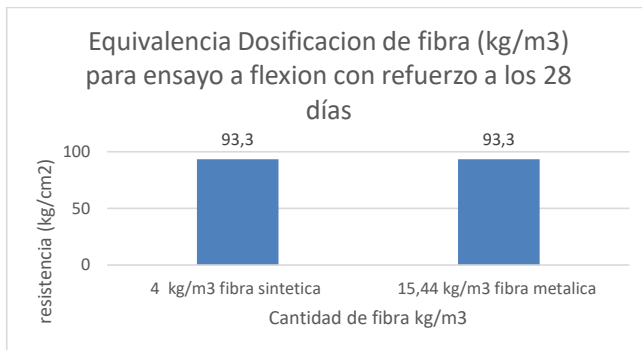
Fuente: Elaboración propia

- **Resistencia a la flexión con refuerzo**

Tabla 69 Equivalencia de dosificación para ensayo a flexión a los 28 días con refuerzo

Dosificación (kg/m ³)	resistencia (kg/cm ²)
4 kg/m ³ fibra sintética	93,3
15,44 kg/m ³ fibra metálica	93,3

*se toma como referencia el resultado de resistencia a flexión a los 28 días con refuerzo para 20 kg/m³ de fibra metálica



Grafica 12 comparativo de fibra 4kg/m3 para ensayo a flexión 28 días con refuerzo

Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la compresión

- De acuerdo a los ensayos realizados se evidencia que la fibra que obtuvo mejor comportamiento de acuerdo a dosificación y resistencia para cada uno de los ensayos realizados fue la fibra sintética de 4kg/m3
- Para el ensayo de compresión a los 14 días el mejor comportamiento lo obtuvieron la fibra sintética con dosificación de 4 kg/m3 el cual aumento la resistencia en un 33% y la fibra metálica de 20 kg/m3 con un incremento de 44.5% con respecto al concreto convencional.
- De acuerdo a los resultados de los ensayos de compresión a los 28 días de evidenció un incremento del 57% de la resistencia para la fibra sintética de 4 kg/m3 y del 205% para la fibra metálica de 20 kg/m3, las demás dosificaciones presentan resistencias inferiores para el diseño de mezcla elaborado.
- Realizando comparativo entre la entre las resistencias a la compresión a los 14 días y 28 días para la fibra sintética con dosificación de 4 kg/m3 se evidencia un aumento del 587% para la fibra con edades a los 28 días

- Para los ensayos de compresión en edades de 14 días y 28 días aumento la resistencia para la dosificación de fibra metálica de 20 kg/m³ en un 25% para edades de 28 días.
- Se observa una reducción de la resistencia a la compresión para los diseños de mezcla con fibra sintética con respecto a 8 y 12 kg/m³ donde se demuestra que la dosificación optima es de 4 kg/m³.
- La Resistencia máxima a la compresión alcanzada con el diseño de mezcla de 20 kg/m³ de fibra metálica a los 28 días es de 363 kg/cm² (36. MPa) superior a los valores alcanzados por los otros diseños.

Resistencia al corte:

- En cuanto a la resistencia la corte la dosificación de fibra que obtuvo el mejor comportamiento fue la fibra sintética de 4 kg/m³ a edad de 28 días.
- el comportamiento de los especímenes fallados a los 14 días aumento en 20% para la fibra sintética de 4 kg/m³ versus el concreto convencional, y un 200% para dosificación de fibra de 60kg/m³ versus el concreto convencional.
- los especímenes fallados a los 28 días aumentaron un 25% de su resistencia al corte para fibra de 4 kg/m³ y 20 % de fibra metálica de 20kg/m³ comparado contra el concreto convencional.
- Se realizó comparativo de los ensayos efectuados a la fibra sintética a edades de 14 y 28 días, donde se evidencio que la que mejor comportamiento obtuvo fue a la edad de 28 días donde su resistencia fue de 30 kg/m³ aumentando así en 25%.
- en cuanto a la fibra metálica el mejor comportamiento de resistencia al corte es para el concreto con dosificación de fibra metálica de 60kg/m³ a edad de 14 días

donde su resistencia equivale a 40 kg/m³, pero comparada con la edad de 28 días pierde resistencia en un 41%.

Resistencia a la flexión:

- las resistencias a la flexión de las vigas sin refuerzo fueron falladas a edades de 28 días donde se evidencia un incremento del 52% para el concreto con fibra sintética de 4kg/m³ y 68% para concreto con fibra metálica de 20 kg/m³ comparado con el concreto convencional.
- Se realizó comparativo de las vigas reforzadas falladas a los 28 días y se evidenció que el mejor comportamiento para la resistencia a la flexión fue la viga elaborada con concreto con adición de fibra metálica de 20 kg/m³ donde su resistencia incrementó el 58%.
- En cuanto a la fibra sintética, la de mejor comportamiento fue el concreto con dosificación de 4 kg/m³ donde su resistencia aumento el 17% comparado con el concreto convencional.

1.21 Modelo de un edificio de 3 pisos.

De acuerdo a los análisis realizados a los ensayos de laboratorio para cada una de las dosificaciones de fibra se optó por diseñar tres opciones de estructuras reforzadas ; la primera en concreto convencional de 21 MPa equivalente al diseño de mezcla sin fibras, y la segunda Estructura en concreto de 26.3 MPa (25% más) equivalente al diseño de mezcla optimo con 4kg/m³ de fibra sintética y la tercera opción en concreto de 26.3 Mpa(25% más) equivalente al diseño de mezcla optimo con 4kg/m³ de fibra sintética con dosificación de fibra metálica de 15kg/m³ para la resistencia deseada

La estructura es un edificio de 3 pisos en concreto reforzado de uso habitacional típico de dos apartamentos de 80 m² por piso, estrato 3, el cual fue diseñado de acuerdo a la reglamentación y lineamientos del "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente" NSR-10, vigente en Colombia.

1.21.1 Dimensiones del edificio

Ejes A-B-C-D cada 4 m para un ancho de 12 m.

Ejes 1-2-3-4 cada 5 m para un total de fondo de 15 m

Área por piso: 180 m².

La altura de cada piso es de 3 m.

Peso de la estructura

Opción 1, edificio en concreto de 21 MPa (3000 psi) SIN FIBRA 151.7 Toneladas

Opción 2, edificio en concreto de 26.3 MPa (3750 psi) CON FIBRA SINTETICA
DOSIFICACION DE 4KG/M3 122.1 Toneladas

Opción 3, edificio en concreto de 26.3 MPa (3750 psi) CON FIBRA METALICA
DOSIFICACION DE 15KG/M3 122.1 Toneladas

La reducción en peso de la estructura reforzada tanto con fibra sintética como metálica es del 20%, con respecto al edificio diseñado sin refuerzo en fibra sintética.

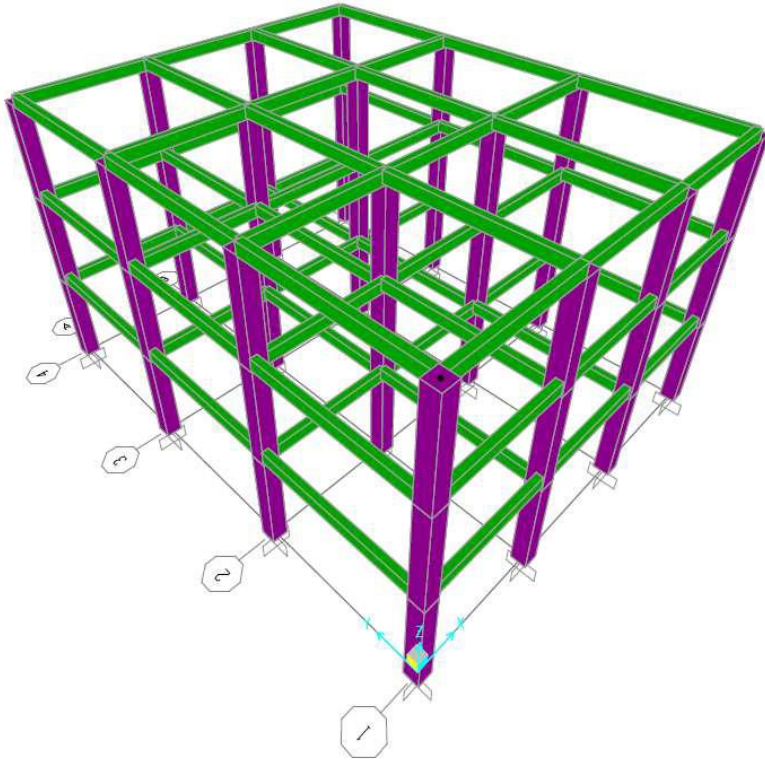


Ilustración 59 Modelo del edificio de tres pisos en el programa de análisis estructural

Fuente: Elaboración propia

1.21.2 Análisis económico

En la tabla 70 se realizó el análisis económico para las tres opciones de acuerdo a modelo estructural y las dimensiones de los cada uno de los elementos de acuerdo a cada una de las dosificaciones de fibra estimadas para la resistencia esperada

Tabla 70 Análisis económico estructural

Dosificación de fibra	Resistencia del concreto	Elemento estructural	Valor M3	Cantidad de m3	Valor por elemento estructural	Valor total Estructura
sin fibra	21 Mpa	Viga	\$ 630.000	27,2	\$ 17.136.000	\$ 36.936.000
		Columna	\$ 550.000	36	\$ 19.800.000	
fibra sintética SIKA FIBER FORCE PP65 4 Kg/m3	26,3Mpa	Viga	\$ 750.000	21,69	\$ 16.267.500	\$ 35.804.700
		Columna	\$ 670.000	29,16	\$ 19.537.200	
fibra metálica SIKA FIBER CHO/65/35 15 Kg/m3	26,3Mpa	Viga	\$ 756.675	21,69	\$ 16.412.281	\$ 36.144.124
		Columna	\$ 676.675	29,16	\$ 19.731.843	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los diseños estructurales planteados se evidencia una disminución del 25% en las dimensiones para las vigas y columnas del 23% para el concreto con adición de fibra sintética y metálica versus el diseño con concreto convencional.

La estructura con mejor desempeño económico corresponde al diseño de mezcla de 26.3Mpa con dosificación de fibra sintética de 4 kg/m3 en la cual se ve un ahorro del 3.3% con respecto al concreto convencional de 21Mpa y del 1.2% con respecto al diseño de mezcla con adición de 15kg/m3 de fibra metálica.

En cuanto al peso del edificio, se evidencia una disminución del 24% de su peso con la adición de fibras, debido a que los diseños de mezcla con adición de fibras sintéticas y metálicas presentan mayores resistencias tanto a la compresión, corte y flexión con relación al concreto convencional.

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

Conclusiones y recomendaciones

1.22 Conclusiones

- Para un edificio de 3 pisos de uso habitacional se evidencio mediante el diseño estructural con el programa SAP 2000 una reducción en el peso de la estructura reforzada con fibra sintética y metálica del 24% con respecto a la estructura en concreto convencional
- Se evidencia la reducción de las fuerzas sísmicas, reducción del tamaño de la Cimentación, disminución del área de los elementos estructurales, aumento de la ductilidad, y de la durabilidad del concreto Reforzado con fibra sintética y metálica gracias a la reducción de la probabilidad de fisuras.
- En cuanto a la dosificación de fibra para un concreto de 26.3Mpa se necesitan 4kg/m3 de fibra sintética y 15 kg/m3 de fibra metálica.
- Se observa una reducción del 3.3% en el costo directo de construcción de la estructura en concreto reforzado con fibra sintética con respecto a la estructura en concreto convencional y del 1.2% con respecto al diseño de mezcla con adición de 15kg/m3 de fibra metálica.
- Se limita el uso del micro refuerzo con fibra metálica debido a su menor resistencia a la corrosión con respecto al uso de micro refuerzo con fibra sintética.
- De acuerdo a los análisis realizados se evidencia que la fibra sintética en dosificación de 4kg/m3 obtuvo mejor comportamiento en los ensayos realizado a compresión, corte y flexión.
- En cuanto a la fibra metálica el diseño de mezcla con dosificación del 20 kg/m3 obtuvo el mejor comportamiento con respecto a las dosificaciones de 40kg/m3 y 60kg/m3 los cuales presentan disminución en las propiedades del concreto.
- Se concluye que el diseño de mezcla con mejor comportamiento en sus propiedades, resistencia, manejabilidad es el diseño elaborado con adición de

fibra sintética SIKA FIBER FORCE PP65 4kg/m³, por lo tanto, se recomienda su uso en estructuras reforzadas siguiendo los lineamientos y regulaciones de la NSR10.

- Para obtener la misma resistencia del concreto con adición de fibra sintética de 4 kg/m³ es necesario aumentar considerablemente la dosificación de kg/m³ de fibra metálica para todos los especímenes, edades y ensayos realizados, por esta razón una vez más se ratifica que la mejor opción de mezcla es la fibra sintética de 4 kg/m³, la cual permite reducir costos notoriamente a su vez mejorando significativamente las propiedades del concreto.

1.23 Recomendaciones

- Realizar nuevas investigaciones encaminadas a determinar la estabilidad de la mezcla de concreto reforzada con fibra sintética y metálica a lo largo del tiempo.
- Investigar el comportamiento de los elementos estructurales al fuego y de acuerdo con la normativa colombiana vigente.
- Hacer estudios de durabilidad y patologías de las mezclas de concreto reforzadas con fibras sintéticas y metálicas en diferentes ambientes.

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

A. Anexo: SIKA VISCOCRETE 2100

HOJA TECNICA DE PRODUCTO

Sika®ViscoCrete®2100

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ULTRA ALTO PODER

DESCRIPCION	Sika ViscoCrete 2100 es un aditivo líquido, reductor de agua de ultra alto rango y súper plastificante basado en policarboxilatos. No contiene cloruros.
USOS	Sika ViscoCrete 2100 puede ser usado tanto para concretos premezclados como prefabricación, al agregar el aditivo en las plantas brinda una excelente plasticidad. Los tiempos de fraguado controlados hacen del Sika ViscoCrete 2100 ideal para aplicaciones horizontales y verticales.
VENTAJAS	<p>Reducción de agua: Sika ViscoCrete 2100 puede ser dosificado en pequeñas cantidades para obtener una reducción de agua de 10% al 15% y se logran reducciones de agua por encima del 45% para dosis altas.</p> <p>Sika ViscoCrete 2100 es adecuado para todos los niveles de reducción de agua.</p> <p>Alta Plasticidad: La acción súper plastificante del Sika ViscoCrete 2100 brinda un alto asentamiento, se obtienen concretos fluidos que mantienen una excelente manejabilidad y pueden ser colocado con un mínimo de vibración incluso con una relaciones a/c de hasta 0.25.</p> <p>El concreto plastificado con Sika ViscoCrete 2100 es altamente fluido y mantiene completamente la cohesión de la matriz de cemento eliminando la excesiva exudación y segregación.</p> <p>Manejabilidad con fraguados controlados: Sika ViscoCrete 2100 ha sido formulado para proveer tiempos de manejabilidad extendidos de una forma controlada y predecible sin afectar los tiempos de fraguados.</p> <p>La combinación de la reducción de agua y la acción plastificante del Sika ViscoCrete 2100 brinda los siguientes beneficios al concreto endurecido.</p> <ul style="list-style-type: none">• Altas resistencias finales, permitiendo diseños estructurales flexibles y económicos.• Reducción de la relación a/c, produciendo concretos más densos y durables al reducir la permeabilidad.• El alto efecto plastificante reduce los defectos en la superficie en los elementos de concreto y mejora la apariencia estética. <p>Sika ViscoCrete 2100 ha sido formulado para brindar máxima reducción de agua a bajas dosis.</p>
MODOS DE EMPLEO	<p>Dosis: las dosis pueden variar dependiendo de los materiales usados, las condiciones ambientales y los requerimientos específicos del proyecto. Sika recomienda dosis de 0.15 % a 0.40% del material cementante para aplicaciones de concreto convencional. Cuando se requieran altos asentamientos o concretos auto compactantes (CAC) se pueden usar dosis de 0.40% a 0.80% del material cementante.</p> <p>Dosis por fuera del rango recomendado pueden ser usadas donde materiales especiales como la microsílca sean especificados. Condiciones ambientales extremas o proyectos especiales requieren consideraciones adicionales, en estos casos contactar a nuestro departamento técnico.</p> <p>Mezclado: Para obtener los mejores resultados como plastificante, adicionar Sika ViscoCrete 2100 directamente a la mezcla fresca de concreto en la mezcladora al final del ciclo de la batchada.</p>

	<p>Sika ViscoCrete 2100 también puede ser integrado al concreto en el ciclo regular del aditivo en la bachada o en el concreto fresco en el camión mezclador.</p> <p>Para optimizar el efecto superplastificante, después de la adición del Sika ViscoCrete 2100, se recomienda hacer un mezclado a 80 - 100 RPM en la mezcladora o en el camión mezclador.</p> <p>Combinaciones con otros aditivos: Sika ViscoCrete 2100 es altamente efectivo sólo o mezclado con otros aditivos, si se utiliza en combinación con ciertos reductores del rango del tipo Sikament el efecto plastificante puede ser afectado.</p> <p>Combinación con microsilica: Sika ViscoCrete 2100 es particularmente adecuado para usar con microsilice por su capacidad de reducción de agua y su control adecuado del asentamiento.</p>
DATOS TÉCNICOS	<p>Sika ViscoCrete 2100 cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 Tipos A y F.</p> <p>Densidad: 1,078 kg/l ± 0,03 kg/l</p>
MEDIDAS DE SEGURIDAD	<p>Contiene soluciones poliméricas acuosas. Puede causar irritación en la piel, ojos o vías respiratorias. Evitar el contacto y usar en áreas ventiladas, lavar con jabón después de su uso. Consultar la hoja de seguridad del producto.</p>
PRESENTACIÓN	<p>Tambores de 230 kilos</p> <p>Granel</p>
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	<p>1 año en su embalse original y bien cerrado en bodegas secas a temperaturas entre 10°C y 27°C. Sika ViscoCrete 2100 debe permanecer almacenado a temperaturas por encima de 2°C. Transportese con las precauciones normales para productos químicos.</p>
CODIGOS R/S	<p>R:22</p> <p>S:26</p>

B. Anexo: SIKA FIBER FORCEPP65

SikaFiber[®] Force PP 65

FIBRA MACRO SINTÉTICA DE POLIOLEFINA PARA REFORZAMIENTO DE CONCRETO PROYECTADO Y CONCRETO CONVENCIONAL.

DESCRIPCIÓN	SikaFiber Force PP 65 es una fibra estructural macro sintética fabricada a partir de polipropileno, especialmente creada para el refuerzo del concreto. Fibra diseñada para satisfacer requerimientos que demandan los trabajos en concreto lanzado y convencional. Estas fibras presentan características definidas de comportamiento dúctil, con excelentes niveles de rendimiento en hormigón proyectado.	
USOS	Se utiliza en las siguientes aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Soporte y estabilización con concreto proyectado en túneles y galerías. • Rehabilitación estructural. • Prefabricados. • Revestimiento de canales. • Estabilización de taludes. • Reparación y protección de estructuras marinas. • Losas sobre terreno y pavimentos rígidos. 	
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa la tenacidad del concreto y la resistencia al impacto. • Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido. • Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto. • Incrementa ductilidad y resistencia residual. Bajo costo en fibra por julio de absorción de energía. • Reduce rebote en el concreto lanzado. • Es más eficiente que la malla electrosoldada para prevenir la fisuración en estado plástico. • Reduce el desgaste en bombas y tuberías. • No es magnética, ni se oxida. • Mejora la durabilidad del concreto reforzado. • Resistencia química y a álcalis. • Segura y fácil de aplicación en la mezcla. • Ahorro de tiempo y espacio de almacenamiento en comparación con malla tradicional. • Disminución de desperdicios gracias a su envoltura soluble en agua que permite una fácil dosificación. • Su empaquetamiento y envoltura hidrosoluble ayuda a una mejor distribución de las fibras en la matriz de concreto, por lo cual no se genera problemas en el bombeo por la creación de erizos o bolas. 	
DATOS TÉCNICOS	Material:	Polímero de poliolefina
	Fibras por Kg:	26.000 ± 3%
	Punto de Fusión:	170°C
	Gravedad específica:	0,92 Kg/lt
	Longitud de fibra:	65 mm
	Resistencia a Tracción:	550 Mpa

	<p>Resistencia a álcalis: Excelente Conductividad Eléctrica: Baja Absorción: 0%</p> <p>Consumo: Depende de aplicación, diseño de mezcla y resistencias requeridas. Normalmente se utiliza en un rango entre 3 a 10 kg de SikaFiber Force PP 65 por m³ de concreto.</p>
MODO DE EMPLEO	<p>La dosificación del SikaFiber Force PP 65 preferiblemente debe adicionarse en el camión mezclador previo a los otros componentes del concreto o junto con los agregados. Cuando se adiciona a concreto ya preparado, se debe buscar aplicar gradualmente y deberá ser mezclado por tiempo suficiente (mínimo 5 minutos) para asegurar una distribución uniforme de las fibras en el concreto.</p> <p>SikaFiber Force PP 65 es compatible con todos los aditivos y productos químicos que mejoran el desempeño del concreto.</p>
PRECAUCIONES	<p>La adición del SikaFiber Force PP 65 al concreto puede generar una disminución en la fluidez de la mezcla. No se debe utilizar agua para corregir la pérdida de asentamiento, para esto se debe utilizar un aditivo superplastifi cante del tipo SikaPlast o SikaViscocrete.</p>
MEDIDAS DE SEGURIDAD	<p>No es necesaria la protección para el manejo de estas fibras. Para información y consejos sobre seguridad en la manipulación, almacenamiento disposición de productos químicos, los usuarios deben referirse a la ficha de seguridad vigente, la cual contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros datos relativos a seguridad.</p>
PRESENTACION	<p>Cajas de 5 Kg - Fibras organizadas y envueltas en plástico hidrosoluble.</p>
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	<p>Las cajas de SikaFiber Force PP 65, pueden almacenarse por tiempo indefinido protegido de la intemperie y en su empaque original. Transportar con las precauciones normales para productos químicos</p>

C. ANEXO: SIKA FIBER CHO /65/35

Sikafiber CHO/65/35

FIBRAS DE ACERO PARA REFORZAMIENTO DE CONCRETO

DESCRIPCION	<p>Sikafiber CHO/65/35 son fibras de acero de alta calidad para reforzamiento del concreto proyectado (shotcrete) especialmente encoladas para facilitar la homogenización en el concreto, evitando la aglomeración de las fibras individuales. Sikafiber CHO/65/35 son fibras de acero de alta relación largo/diámetro lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.</p> <p>NORMAS Sikafiber CHO/65/35, cumple con las normas ASTM A820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete" y DIN 17140-D9 para acero bajo contenido de carbono.</p>
USOS	Sikafiber CHO/65/35, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones y especialmente concreto proyectado(shotcrete) reduciendo tiempo y costos asociados al tradicional reforzamiento con mallas de acero.
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa la resistencia del concreto al impacto y a la fisuración • Incrementar la ductilidad y absorción de energía • Reducción de la fisuración por retracción • No afecta los tiempos de fraguado • Su condición de encolada asegura una distribución uniforme en el concreto • Relación largo/diámetro igual a 65, máximo rendimiento • Extremos conformados para obtener máximo anclaje en el concreto
DATOS TÉCNICOS	<p>Longitud 35 mm con extremos conformados</p> <p>Diámetro de la fibra 0.54 mm</p> <p>Relación largo/diámetro 65</p> <p>Resistencia a tracción 1200 Mpa min</p>
MODO DE EMPLEO	<p>Método de aplicación</p> <p>Sikafiber CHO/65/35, se puede agregar en la báscula de pesaje en la correa de alimentación ó en el camión mixer, como a continuación se indica en cada caso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la báscula de pesaje abra las bolsas y vacíe las fibras directamente entre los áridos; no agregue las bolsas sin abrir porque pueden bloquear las compuertas de descarga. Mezcla en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso. • En la correa de alimentación, si hay acceso, las fibras pueden adicionarse durante o después de agregar los áridos. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso. • En el camión mixer, una vez que todos los ingredientes se han incorporados, agregar las fibras mientras el mixer está rotando a alta velocidad (12 rpm o más). Vaciar un máximo de 60 kg de fibras por minuto. Una vez terminado el vaciado de las fibras, mezclar 5 minutos adicionales y chequear visualmente su distribución; mezclar ½ minuto adicional si la distribución no es uniforme. • No aplique Sikafiber CHO/65/35, al mezclador antes de los áridos. • Las bolsas con papel degradable pueden agregarse directamente al concreto.

Evaluación De Concreto Dúctil a través de la inclusión de fibras metálicas y sintéticas Para Uso En Estructuras

Bibliografía

- ACI, 3. (2002). *REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL ACI 318S-02*. ACI.
- Arciniegas, L. P. (2013). *Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP 306 Sometido a esfuerzo de compresion*.
- Argos. (2017). *Concreto Avanzado*. Obtenido de <https://www.archdaily.co/catalog/co/products/9210/concreto-avanzado-argos>
- ARQHYS, R. (2012). *Propiedades del cemento compuesto*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/construccion/propiedades-cemento-compuesto.html>
- asocreto. (2007). edicion No 84 . *Noticreto*.
- Garcia Reyes, L. E. (1998). *DINAMICA ESTRUCTURAL APLICADA AL DISEÑO SISMICO*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Garza, G. d. (2007). *Materiales y Construcción 2a ed*. Mexico: Trillas.
- Guzman, D. S. (2005). *Tecnología y Propiedades*. Bogotá: Asocreto.
- Guzman, D. S. (2006). *Concretos y Morteros*. Bogota: ASOCRETO.
- Hop, J. (2003). *Mitos y realidades sobre el concreto reforzado con fibras metálicas*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/cyt/agosto03/metálicas.htm>
- Mayorga, C. A. (2011). *Caracterización Mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostramiento de pandeo restringido*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Maz, L. (2006). *Mundo Civil*. Obtenido de <http://mundocivil.blogspot.com.co/2006/05/concreto-flex>
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Bogotá: Mc Graw Hill Interamericana S.A.
- TANIGUCHI, S. E. (2007). *Estudio numérico de reforzamiento de hormigón con fibras cortas de acero* .

Terremotos. (1993). *Ingeniería Estructural*.

<https://www.argos.co/Media/Colombia/images/FT%20CONCRETO%20AVANZADO2.pdf>

<http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-concreto-reforzado-confibras/>

<http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/materia.htm>

<https://col.sika.com/es/produccion-de-concreto/sika-oncretetechnology/noticias/concreto-reforzado-con-fibras.html>

<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/files/FibrasSinteticas.pdf>

<https://es.slideshare.net/Carlos42770095/concreto-reforzado-fibras>

<http://www.ehu.eus/ehusfera/epdzabaldy/2014/11/06/efecto-de-la-fibra-en-elconcreto-reforzado/>

<http://www.construsolmedellin.com/fibras-para-concreto.html>

<https://prodac.bekaert.com/es-MX/la-empresa/noticias/losas-de-concretoreforzado-con-fibras-de-acero-para-infraestructura-minera>

<http://www.revistacyt.com.mx/pdf/julio2015/tecnologia.pdf>