	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(125)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Jhony Alejandro Becerra Illera Jose Alejandro Patiño Serrano		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería civil		
DIRECTOR	Dr. Nelson Afanador García		
TÍTULO DE LA TESIS	Evaluación de la resistencia a la compresión, tracción y flexión en vigas de concreto reforzado con fibras metálicas.		
TITULO EN INGLES	Evaluation of the resistance to compression, traction and flexion in concrete beams reinforced with metallic fibers.		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>La presente investigación tiene como objetivo principal analizar la resistencia del concreto en condiciones normales y con adición de distintos porcentajes de fibra metálica, para ello se estudia el comportamiento que genera la fibra metálica en el concreto, realizando ensayos de resistencia a la compresión flexión y tracción respectivamente. Donde se logra establecer que la adición de fibra metálica tiene un aporte significativo con respecto a las propiedades fiico-mecánicas del concreto.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The present investigation has as main objective to analyze the resistance of the concrete in normal conditions and with the addition of different percentages of metallic fiber, for this the behavior generated by the metallic fiber in the concrete is studied, carrying out tests of resistance to compression, flexion and traction. respectively. Where it is possible to establish that the addition of metallic fiber has a significant contribution with respect to the physical-mechanical properties of concrete.</p>			
PALABRAS CLAVES	Fibra metálica, resistencia, flexión, tracción, compresión, fisuras y concreto.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Metallic fiber, resistance, bending, traction, compression, cracks and concrete.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 125	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 61	CD-ROM: 1



**Evaluación de la resistencia a la compresión, tracción y flexión en vigas de concreto
reforzado con fibras metálicas**

Jhony Alejandro Becerra Illera

Jose Alejandro Paitño Serrano

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Ing. Nelson Afanador García

16 agosto del 2023

Índice

Capítulo 1. Evaluación de la resistencia a la compresión, tracción y flexión en vigas de concreto reforzado con fibras metálicas	9
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Formulación del problema	10
1.3 Objetivos	10
1.4 Justificación	11
1.5 Delimitaciones	13
Capítulo 2. Marco referencial.....	15
2.1 Marco histórico	15
2.2 Marco contextual	19
2.3 Marco conceptual.....	20
2.4 Marco teórico	30
2.5 Marco legal	34
Capítulo 3. Diseño metodológico	36
3.1 Tipo de investigación	36
3.2 Población y muestra.....	37
3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos	38
3.4 Análisis de información	38
Capítulo 4. Presentación de los resultados	40
4.1 Caracterización de las propiedades de los agregados pétreos.....	40
4.2 Diseño de mezclas por el método American concrete institute (ACI).....	42
4.3 Propiedades y características de la fibra metálica.....	43

4.4 Ensayo de resistencia del concreto a compresión (NTC 550-673)	44
4.5 Ensayo de resistencia del concreto a la tracción (NTC 722 -ASTM C-496).....	60
4.6 Ensayo de resistencia del concreto a la Flexión (NTC 2871).....	69
4.7 Ensayo de asentamiento del concreto (NTC 396).....	76
4.8 Análisis y comparación de resultados obtenidos de las muestras ensayadas a compresión tracción y flexión	79
4.9 Análisis de variación del costo del concreto de 28 MPA sin fibra metálica y con adición de fibra metálica	88
Conclusiones	93
Recomendaciones	95
Referencias.....	96
Apéndice.....	100
Apéndice A. Diseño de mezclas por el método american concrete institute (ACI)	100

Lista de figuras

Figura 1 Formato de resultado de ensayos.....	44
Figura 2 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de muestra sin fibra metálica a los 7 días	45
Figura 3 Grafica de esfuerzo de la muestra sin fibra metálica a los 7 días.....	46
Figura 4 Tipo de falla de la muestra sin fibra metálica a los 7 días.....	46
Figura 5 Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra sin fibra metálica a los 28 días	47
Figura 6 Grafica de esfuerzo de la muestra sin fibra metálica a los 28 días.....	47
Figura 7 Tipo de falla de la muestra sin fibra metálica a los 28 días.....	48
Figura 8 Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra 1% fibra metálica a los 7 días	49
Figura 9 Gráfico de esfuerzo de la muestra con 1% fibra metálica a los 7 días	49
Figura 10 Tipo de falla de la muestra con 1% fibra metálica a los 7 días	50
Figura 11 Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra 1% fibra metálica a los 28 días	51
Figura 12 Grafica de esfuerzo de la muestra con 1% fibra metálica a los 28 días	51
Figura 13 Tipo de falla de la muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días	52
Figura 14 Resultado de ensayo de resistencia a la compresión de muestra 3% de fibra metálica a los 7 días	53
Figura 15 Grafica de esfuerzo de la muestra con 3% de fibra metálica a los 7 días.....	53
Figura 16 Tipo de falla de la muestra con 3% de fibra metálica a los 7 días	54

Figura 17 Resultado de ensayo de resistencia a la compresión muestra 3% de fibra metálica a los 28 días	55
Figura 18 Grafica de esfuerzo de la muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días.....	55
Figura 19 Tipo de falla de la muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días	56
Figura 20 Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra 5% fibra metálica a los 7 días	57
Figura 21 Grafica de esfuerzo de la muestra con 5% de fibra metálica a los 7 días.....	57
Figura 22 Tipo de falla en la muestra con 5% de fibra metálica a los 7 días	58
Figura 23 Resultado de ensayo de resistencia a la compresión muestra de 5% fibra metálica a los 28 días	59
Figura 24 Grafica de esfuerzo de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días.....	59
Figura 25 Tipo de falla de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días	60
Figura 26 Resultado de ensayo de resistencia a la tracción en muestra sin fibra metálica a los 28 días	61
Figura 27 Grafica de muestra sin fibra metálica a los 28 días	62
Figura 28 Falla del ensayo a tracción de la muestra sin fibra metálica a los 28 días	62
Figura 29 Resultado del ensayo de resistencia a tracción de muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días	63
Figura 30 Grafico de muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días.....	64
Figura 31 Falla del ensayo a tracción de la muestra con 1% fibra metálica a los 28 días	64
Figura 32 Resultado del ensayo de tracción de muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días .	65
Figura 33 Grafica de ensayo a tracción de muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días	66
Figura 34 Falla del ensayo a tracción muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días.....	66

Figura 35 Resultado del ensayo a tracción de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días	67
Figura 36 Grafica de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días	68
Figura 37 Falla del ensayo de tracción de muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días	68
Figura 38 Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de muestra sin fibra metálica a los 28 días	69
Figura 39 Grafica del modulo de rotura en muestra sin fibra metálica a los 28 días.....	70
Figura 40 Falla de la viga con muestra sin fibra metálica a los 28 días	70
Figura 41 Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de muestra 1% de fibra metálica a los 28 días	71
Figura 42 Grafica del módulo de rotura de la muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días ..	72
Figura 43 Falla de la viga con muestra del 1% de fibra metálica	72
Figura 44 Resultado del ensayo de resistencia a la flexión muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días	73
Figura 45 Grafica de modulo de rotura de muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días	73
Figura 46 Falla en la viga con muestra de 3% de fibra metálica a los 28 días	74
Figura 47 Resultado del ensayo de resistencia a flexión de muestra con 5% fibra metálica a los 28 días	75
Figura 48 Grafica del modulo de rotura de muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días	75
Figura 49 Falla en la viga con adición de 5% fibra metálica a los 28 días	76
Figura 50 Asentamiento del concreto sin adición de fibra metálica	77
Figura 51 Asentamiento del concreto con adición de 1% de fibra metálica.....	78
Figura 52 Asentamiento del concreto con adición de 3% de fibra metálica.....	78

Figura 53 Asentamiento de concreto con adición de 5% de fibra metálica.....	79
Figura 54 Gráfico de resistencia a la compresión, resultados obtenidos a los 7 días (promedio)	80
Figura 55 Gráfico de resistencia a la compresión resultados obtenidos a los 7 días	81
Figura 56 Gráfico de resistencia a la compresión resultados obtenidos a los 28 días (promedio)	82
Figura 57 Grafico de resistencia a la compresión resultados obtenidos a los 28 días	82
Figura 58 Grafica de resistencia a la tracción resultados obtenidos a los 28 días (Promedio)	85
Figura 59 Grafica de resistencia a la tracción resultados obtenidos a los 28 días	85
Figura 60 Grafica de resistencia a la flexión resultados obtenidos a los 28 días (Promedio).....	87
Figura 61 Grafica de resistencia a la flexión resultados obtenidos a los 28 días	87

Lista de tablas

Tabla 1 Distribución de las muestras a ensayar	38
Tabla 2 Resumen del ensayo de asentamiento del concreto (Slump).....	77
Tabla 3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días	80
Tabla 4 Resultado del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.....	81
Tabla 5 Resumen de fallas obtenidas por el ensayo de resistencia a la compresión	83
Tabla 6 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción.....	84
Tabla 7 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión	86
Tabla 8 Resumen de fallas obtenidas en el ensayo de resistencia a la flexión	88
Tabla 9 Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa sin adición de fibra metálica.....	89
Tabla 10 Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa con adición de 1% de fibra metálica.....	89
Tabla 11 Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa con adición de 3% de fibra metálica.....	90
Tabla 12 Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa con adición de 5% de fibra metálica.....	91
Tabla 13 Resumen de resultado del análisis de precios unitarios.....	92
Tabla 14	92

Capítulo 1. Evaluación de la resistencia a la compresión, tracción y flexión en vigas de concreto reforzado con fibras metálicas

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los principales insumos utilizados en el sector de la construcción es el concreto. Debido a sus excelentes propiedades a la compresión dentro de los elementos estructurales. Pero, es importante resaltar la utilización del acero de refuerzo para controlar las posibles fallas en lo que respecta a la fisuración por efectos de flexión, siendo este parámetro negativo en el concreto; de allí surge el concepto de concreto reforzado. Este tipo de fallas son muy comunes dentro de los estructurales, lo que puede comprometer la funcionalidad y seguridad de una edificación, una vía o cualquier estructura a lo largo del tiempo.

Frente a lo mencionado, Silva (2017) establece que existen diversos tipos de fibras que no alteran el funcionamiento y manejabilidad del concreto, sino que estas contribuyen en la resistencia misma de los elementos y ayuda a prevenir futuras fallas en los elementos. Es importante precisar, que el contenido de estas partículas debe ser dosificadas en las proporciones adecuadas, para obtener resultados positivos dentro de la implementación.

Por ello, se hace necesaria la incorporación de nuevos elementos en formas de fibra, como una alternativa innovadora y basada en la tecnificación al momento de la elaboración de concretos. Donde se proporcionen una resistencia adicional a los elementos primarios que son el concreto y el acero de refuerzo.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo contribuirá la incorporación de fibras metálicas en el comportamiento mecánico en las vigas de concreto reforzado?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la resistencia a la compresión, tracción y flexión en vigas de concreto reforzado con fibras metálicas.

1.3.2 Objetivos específicos

Caracterizar las propiedades de los agregados pétreos utilizados en los ensayos de compresión simple con fibras metálicas.

Determinar la resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto antes y después de incorporar las fibras metálicas siguiendo la normativa colombiana.

Analizar los resultados de laboratorio de los elementos con la adicción de fibras metálicas y en condiciones normales, para la valoración de costos.

1.4 Justificación

Dentro de los materiales más utilizados en el desarrollo de las obras civiles se tiene la manipulación de cemento, grava, arena y el acero de refuerzo; siendo estos la materia prima más esencial en el desarrollo de los proyectos. La manejabilidad y durabilidad del producto final que es el concreto, ha sido uno de los grandes interrogantes dentro de los académicos e investigadores, debido a que se ha querido mejorar su calidad con la adicción de diversos materiales en aras de conseguir una mejor calidad del concreto, en lo que respecta en el comportamiento a flexión de los elementos estructurales. En base a lo mencionado, han surgido diversos productos o aditivos, que permiten mejorar ciertas propiedades de concreto como lo es el tiempo de fraguado, incorporación de aire, la manejabilidad, entre otras variables.

Con esta premisa, se ha venido trabajando y consultando sobre la incorporación de diversas fibras que contribuyan en el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto en las vigas. Frente a esto, la investigación estará enfocada en el estudio del comportamiento que presenta en concreto con la adicción de fibras metálicas, donde se experimentará diversas proporciones para determinar el porcentaje óptimo para un diseño de mezcla. Cada uno de los análisis estarán relacionado a los ensayos de laboratorio, donde se conocerán el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas del concreto reforzado.

Cada una de las nuevas iniciativas tiene como finalidad el mejoramiento de la calidad y resistencia del concreto, sin que sus propiedades se vean alteradas de manera negativa por la incorporación de otros materiales, como lo es las fibras metálicas. Todo ello, aportará a la reducción de futuras patologías como lo es la fisuración de los elementos estructurales.

Frente a ello, Caballero (2017) desarrolló una investigación orientada en la determinación de la influencia que genera la presencia de fibras metálicas dentro del concreto reforzado, donde se obtuvo una percepción positiva en lo referente a la resistencia a la flexión, siendo esta variable una de las más críticas dentro de los elementos de concreto.

Además, menciona la reducción de la cuantía de refuerzo en elementos que estén sometidos a altos esfuerzos; de modo que, se facilite las actividades constructivas como el vaciado del concreto en estos elementos en particular.

Por lo mencionado, en el proyecto se establecerán diversas dosificaciones de concretos para determinadas resistencias, utilizando materiales pétreos de la zona y con la adición de fibras metálicas que permitan mejorar las propiedades mecánicas del hormigón utilizado en vigas dentro de las edificaciones desarrolladas dentro del municipio.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Geográfica

El proyecto buscará beneficiar al sector constructivo que se desarrolla en el Municipio de Ocaña, debido a que los materiales pétreos a utilizar en el proyecto, se obtendrán de las canteras manejadas en la zona.

1.5.2 Temporal

El proyecto se desarrollará en un tiempo de cuatro (4) meses, contados a partir de la aprobación del anteproyecto por parte del comité curricular.

1.5.3 Conceptual

Para tener mayor claridad al momento de iniciar este proyecto es necesario conocer algunos conceptos tales como: fibras metálicas, flexión, propiedades mecánicas, esfuerzo, resistencia, concreto, diseño de mezclas.

1.5.4 Operativa

El proyecto se desarrollará en las instalaciones del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña. Donde se realizarán los diferentes ensayos a las muestras de concreto.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

A medida que ha venido evolucionado la ciencia y la tecnología, surge la necesidad de encontrar diversos materiales que contribuyan al mejoramiento de las propiedades del concreto hidráulico. Como sabemos, el concreto presenta excelentes propiedades ante esfuerzos de compresión, pero sigue siendo desfavorable para esfuerzos de flexión.

Por ello, se han iniciado múltiples investigaciones enfocadas en la incorporación de fibras de diferentes indoles, que buscan mejorar el comportamiento del concreto expuesto a múltiples cargas. Frente a esto, se presentan los siguientes tipos de fibras utilizadas en la actualidad.

2.1.1 Antecedentes a nivel mundial

De acuerdo con Caballero (2017) de la Universidad Tecnológica de Panamá, ubicada en Panamá, menciona en su artículo “Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas” que con la adicción de fibras metálicas a la mezcla de concreto, contribuye al aumento de la resistencia a la flexión. Pero, se hace claridad que la resistencia a la compresión se mantiene casi constante frente a las condiciones iniciales, siendo estas predisuestas en los ensayos de laboratorio. Además de lo mencionado, se considera que parte del acero de refuerzo transversal se puede reemplazar con la adicción de fibras metálicas, debido a que este material hace que disminuya la cuantía de acero.

Del mismo modo Ccopa y Soto (2018) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, ubicada en Perú, indican en su tesis de pregrado en Ingeniería Civil titulada “Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra metálica” que luego de realizados los ensayos de laboratorio del concreto en estado fresco con adicción de fibras metálicas, les permitió observar que la presencia de este material en el concreto le ayudaba a controlar la aparición de grietas por contracción plástica. Con esta premisa se hace evidente que la presencia de la fibra metálica contribuye al control de fisuras de los elementos de concreto, lo que genera una mayor durabilidad de los mismos.

Por último, se tiene el concepto emitido por Campoy, et al. (2021) de la Universidad Autónoma de Querétaro ubicada en México, mediante el artículo “Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros” donde indican que el desempeño de las fibras se ve afectado por la granulometría de los agregados, debido a que pueden afectar de manera directa el adecuado funcionamiento de las fibras dentro de la mezcla de concreto.

En adicción a lo mencionado, con la presencia de estas fibras, se disminuye la trabajabilidad del concreto; pero, al momento de fallar los especímenes se evidenció que las fibras se mantuvieron unidas a la viga por un periodo más largo, en comparación con las muestras que no las contenían.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

En primer lugar, se tiene el trabajo desarrollado por Amaya y Ramírez (2019) de la Universidad Católica de Colombia, con seccional en Bogotá D.C; siendo realizado para optar por el título de Ingeniero Civil, llamado “Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras” donde se realizaron diversas muestras de concreto reforzadas con macrofibras, en la que se obtuvieron resultados positivos en la tendencia de aumentar la resistencia a la flexión y a disminuir los problemas de fisuramiento. Dentro de las fibras utilizadas en esta investigación se analizaron las de acero, PET, vidrio y cáñamo. Las variables del estudio estuvieron en modificar las longitudes de cada una de ellas y medir su incidencia en la resistencia del concreto a la flexión.

Por otra parte, León (2020) de la Universidad Militar Nueva Granada, localizada en Bogotá D.C; menciona en su artículo enunciado como “Análisis en probetas de concreto con barras de refuerzo y fibras metálicas” que el modulo de elasticidad del elemento en concreto se ve aumentada por la adicción de fibras metálicas; por lo que el comportamiento sea hace favorable ante los esfuerzos a flexión. Esta incorporación podría permitir un gran complemento para el refuerzo del concreto con barras, debido a que se mejorará la deformación de los elementos ante las diversas cargas dinámicas y cíclicas.

Al mismo tiempo, Urriago, et al. (2020) de la Universidad Piloto de Colombia, con seccional en Girardot; desarrollan una monografía cuyo título es “Evaluación del comportamiento a flexión del concreto reforzado con fibras de acero (Dramix) frente al reforzado con fibras de PET” donde se analizan los resultados obtenidos para la flexión en las dos condiciones descritas. En esta investigación se resalta la importancia que presenta la granulometría de los agregados dentro del diseño de mezcla, debido a que puede alterar los resultados y a su vez modifica el comportamiento de materiales anexos como las fibras. Con lo descrito anteriormente, se obtiene que las fibras de acero tienen un mejor comportamiento que las de PET; pero, se deja a consideración la continuidad de las investigaciones para consolidar un concepto más general.

2.1.3 Antecedentes a nivel regional

En cuanto a la investigación desarrollada por Rodríguez (2019) perteneciente a la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña; en su tesis de pregrado en Ingeniería Civil denominada “Análisis del comportamiento mecánico de adoquines bicapa de concreto con adición de cenizas volantes y viruta de acero como refuerzo”, indica que con la incorporación de este tipo de materiales se logra aumentar la resistencia a la compresión al cabo de 45 días en una proporción de 9 MPa aproximadamente. Además, se precisa que en estos tipos de ensayos es de suma importancia el conocimiento de la granulometría de los agregados; debido a que las dosificaciones pueden variar para lograr determinada resistencia. Las virutas de acero de refuerzo fueron obtenidas en diversos talleres metalúrgicos ubicados en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, donde se producen desechos de metales con los procesos de rectificación de

cilindros mecánicos, la empresa que suministró este material fue la Rectificadora “Toño Tecniculatas”.

Finalmente en el trabajo realizado por Quintero y Castro (2020) en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña; mediante su monografía enunciada como “Influencia de las fibras metálicas, naturales (Bagazo de caña de azúcar), sintéticas y de vidrio en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto” indican que las fibras más utilizadas en el mercado son las metálicas y sintéticas. Lo que permite variaciones significativas en cada una de las propiedades del concreto. Las fibras pueden variar su forma y tamaño, permitiendo mejorar la adherencia y trabajabilidad. Siendo claro, que el aporte ante el comportamiento del elemento sea positivo en cuanto a la durabilidad y mitigar su deformación. En esta recopilación documental se establece que las fibras metálicas pueden ser adquiridas mediante el producto generado por ciertas empresas, siendo estas macro fibras sintéticas. Una de estas empresas se denomina Toxement S.A.

2.2 Marco contextual

El proyecto investigativo se desarrollará dentro del municipio de Ocaña, Norte de Santander, debido a que los materiales pétreos a utilizar a lo largo de los ensayos de laboratorios, serán en base a los que se encuentran en las canteras manejadas en la zona. Por ello, se utilizará las instalaciones del laboratorio de suelos y de resistencia de materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña, donde se desarrollarán las diversas dosificaciones para la elaboración de los diferentes especímenes con la adición de fibras

metálicas. Dichas muestras serán falladas y comparadas con elementos que no presenten ningún tipo de fibras para comparar la influencia que presenta ante esfuerzos de flexión.

De acuerdo a lo anterior, es preciso indicar que la investigación es aplicable dentro del municipio de Ocaña, en los diferentes proyectos que utilicen concreto reforzado y sean elementos sometidos a flexión.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Concreto

El concreto hidráulico es la mezcla homogénea entre el agua, arena, grava, cemento y en algunos casos de aditivos. Estos últimos permiten modificar ciertas propiedades del concreto convencional. Este insumo es el material mas utilizado dentro de la industria de la construcción por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. (Gutiérrez, 2003)

Dentro de sus características más relevantes se encuentra su alta resistencia a la compresión; sin dejar de lado, que la resistencia a la tracción es baja (esta oscila entre el 10% de la resistencia a esfuerzos de compresión). Frente a esto surge el concepto de concreto reforzado, donde se implementa la utilización de varillas de acero, que permiten mitigar los esfuerzos generados por la flexión. (Gutiérrez, 2003)

A pesar de que el concreto es un excelente material en el sector constructivo, está expuesto a múltiples factores que pueden afectar su adecuado funcionamiento. Frente a esto, se han considerados más de 200 variables de las cuales unas son inherentes al diseño y otras al proceso de fabricación. Por lo mencionado, la dosificación y producción del hormigón es un proceso complejo, en el cual se debe seguir de manera cuidadosa cada una de las proporciones estipuladas en el diseño de mezclas, contando con una buena distribución de los agregados en obra. (Gutiérrez, 2003)

A continuación, se detallará cada uno de los principales componentes del concreto.

El cemento: Esta palabra es designada a toda sustancia que presente condiciones de pegante, indistintamente su origen. Para nuestro caso, en el que se utilizará concreto hidráulico, se definirá el cemento Portland. (Gutiérrez, 2003)

El cemento se origina del producto obtenido de la pulverización del Clinker con adicción de yeso. El Clinker resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos. Esto permite una variedad en la producción de cemento, entre las que se tiene:

Tipo UG-Usó general. Este hace referencia al tipo de cemento común que se vende en el comercio. Su uso se encuentra enfocado a la construcción de obras de concreto en general y a todas aquellas que no requiere de propiedades especiales en la mezcla. (Quintana, 2013)

Tipo MRS-Moderada resistencia de sulfatos. Posee características que le permite resistir ataques moderados de los sulfatos y a su vez desarrollar bajo calor de hidratación. Su empleabilidad se enfoca en construcciones subterráneas expuestas a nivel freático con bajas concentraciones de sulfatos; también son utilizada en obras de muros de contención, donde se identifique el desarrollo de moderados niveles de calor de hidratación. (Quintana, 2013)

Tipo ART-Alta Resistencia Temprana. Esta tipología alcanza altas resistencias iniciales, por lo que se sugiere que sean utilizados en proyectos en donde se requiera retirar las formaletas de manera rápida o cuando la estructura deba entrar en funcionamiento lo más pronto posible. Por otra parte, se presenta su uso en climas fríos debido a que las bajas temperaturas tienden a retrasar los procesos de hidratación; son ideales para la elaboración de estructuras prefabricadas y concretos pre-esforzados. (Quintana, 2013)

Tipo MCH-Moderado Calor de Hidratación. Es utilizado por requerimientos propios de la obra, en la que se requiere que el calor de hidratación se mantenga al mínimo. El desarrollo de la resistencia es muy lento en comparación con los demás tipos de cemento. Los principales usos están enfocados en estructuras de tipo masivo, como es el caso de las presas. (Quintana, 2013)

Tipo ARS- Alta Resistencia de Sulfatos. Se presenta alta resistencia frente al ataque de sulfatos, como es el caso de estructuras con suelos yesíferos (sulfato de calcio) o sujetas a la acción de residuos industriales o materia orgánica con concentraciones altas de sulfatos. (Quintana, 2013)

Los agregados: Estos tienen una presencia del 70 al 80% del volumen del concreto, esto hace que muchas de las propiedades del concreto estén relacionadas a las propiedades de los agregados. (Gutiérrez, 2003)

Por una parte, se tiene al agregado grueso, el cual debe poseer las siguientes características:

Una buena gradación con tamaños intermedios; la falta de dos o más tamaños sucesivos puede producir problemas de segregación.

Un tamaño máximo adecuado a las condiciones de la estructura.

Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica.

Las partículas con formas angulosas producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.

Una superficie rugosa, limpia, sin capa de arcilla.

Agregados con partículas esféricas y cúbicas son los más convenientes para concreto, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas, o sea mayor cantidad de material por unidad de volumen. (Gutiérrez, 2003)

Para el caso del agregado fino, el cual sirve como llénate y actúa a su vez como lubricante sobre los que se mueve los agregados gruesos, lo que le proporciona la manejabilidad al concreto. Se presenta las siguientes características generales:

Un buen agregado fino al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que pueda llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas.

La cantidad de agregado fino que pasa los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del concreto.

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se tienen mezclas ásperas.

La presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de concreto llega a interrumpir parcial o totalmente el proceso de fraguado del cemento. (Gutiérrez, 2003)

El agua: Para la utilización en el mezclado del concreto debe cumplir con las disposiciones de la norma NTC 3459. En lo posible debe ser agua potable, de modo que no altere las propiedades del cemento y de los agregados dentro de la mezcla. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

2.3.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple es la principal característica mecánica del concreto. Esta es definida como la capacidad para soportar una carga en una determinada área de influencia, a esto se le denomina esfuerzo y se mide en MPa, PSI o kg/cm². (CEMEX, 2019)

Con los resultados obtenidos en laboratorio nos permiten conocer la evolución que presentará el concreto al finalizar su estado de fraguado y permita alcanzar las resistencias

esperadas ($f'c$) en el diseño de mezclas. Para los ensayos se elaboran unas probetas cilíndricas cuyas dimensiones se encuentra con un diámetro de 15 cm y 30 cm de altura. Cada uno de los procesos mencionados se rigen con las normas NTC 550 y 673, enfocadas en la elaboración de cilindros y ensayo de resistencia a la compresión. (CEMEX, 2019)

2.3.3 Fibras metálicas

Estas son denominadas como un tipo de aditivo las cuales es agregado de forma distribuida en la mezcla para brindar un mejor control en la aparición de fisuras ya que aportan al concreto propiedades como ductilidad y resistencia al impacto. Son elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño, estos son utilizados para formar hilos del material para el refuerzo del concreto. (Soluciones en concreto, 2020)

Dentro de los beneficios de las fibras metálicas se pueden encontrar los siguientes:

Mejora la adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto.

Alta resistencia a la tracción.

Aumenta la resistencia al agrietamiento por contracción plástica y por asentamiento.

Provee un refuerzo para concreto uniforme y multidireccional.

Aumenta la resistencia al corte.

Nos da un diámetro equivalente y una deformación continua proveen un refuerzo superior que se traduce en juntas y grietas más resistentes. (Soluciones en concreto, 2020)

2.3.4 Resistencia a la flexión

Se trata de una medida de resistencia a la tracción por parte del concreto. Donde se obtiene el momento de una viga. Para desarrollar este ensayo es necesario elaborar una muestra prismática, cuyas dimensiones en su área transversal son de 6x6 pulgadas (15cmX15cm) y una luz de mínimo tres veces el espesor. Al momento de fallar la muestra, se ubicará la carga en la parte central de la luz o en los tercios medios del elemento. (National Ready Mixed Association, 2016)

Es importante mencionar que la resistencia a la flexión es denominada como el módulo de rotura (MR) y se mide en MPa o PSI. Este indicador oscila entre el 10 al 20 % de la resistencia a la compresión, parámetro que depende directamente del diseño de mezcla, granulometría y curado del espécimen a fallar. (National Ready Mixed Association, 2016)

2.3.5 Curva esfuerzo-deformación del concreto

Esta curva es obtenida en los laboratorios de resistencias de materiales, donde se reflejan las características generales de los especímenes. El comportamiento inicial es relativamente lineal aproximadamente hasta la mitad de la resistencia máxima a compresión, luego de superar esta primera fase, la curva tiende a presentar un comportamiento horizontal hasta que alcanza la resistencia máxima y falla la muestra. (Osorio, 2011)

En las curvas de concretos de altas resistencias tienden a ser puntiagudas cerca del valor de la resistencia máxima, mientras en los concretos de baja resistencia se presentan mesetas planas y amplias después de superar la zona elástica lineal. Tras los diversos experimentos se ha observado que la deformación unitaria asociada a la resistencia máxima (ϵ_{cmax}) es de aproximadamente 0.002. (Osorio, 2011)

2.3.6 Diseño de mezclas

Para el elaborar un diseño de mezcla, se debe tener en consideración diversos aspectos, entre los que se tiene la manejabilidad. Es importante que el concreto cuente con una trabajabilidad adecuada para su colocación, esta dependerá de las propiedades y características de los agregados y calidad del cemento. Frente a esto, se maneja el término de la relación agua-cemento, donde a mayor cantidad de cemento, mayor será la resistencia y menor su manejabilidad. (Osorio, 2011)

Otra variable importante es la resistencia y durabilidad de diseño que se espera alcanzar. Donde se estipulan las cantidades de los agregados, agua y cemento para lograr las solicitaciones del proyecto de construcción. Si los datos del diseño no cumplen con la expectativa de calidad, se procederá al reajuste de las cantidades y se corrige el diseño previo. (Osorio, 2011)

Para la elaboración del diseño de la mezcla es necesario conocer la siguiente información de los materiales:

- Granulometría.
- Módulo de finura de la arena.
- Densidad aparente de la grava y de la arena.
- Absorción del agrava y de la arena.
- Masa unitaria compacta de la grava.
- Humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas.
- Densidad del cemento.

Y para el diseño final de mezcla de concreto es pertinente tener lo siguiente:

- Estudio de las especificaciones de la obra.
- Definición de la resistencia Compresión/flexión.
- Elección del asentamiento.
- Estimación cantidad de aire.
- Estimación del contenido de agua.
- Definir relación agua/material cementante.
- Contenido de material cementante.
- Verificar las granulometrías de los agregados.
- Estimación de agregado grueso.
- Estimación de agregado fino.
- Ajuste por humedad.
- Ajuste del diseño de mezcla.

2.3.7 Módulo de elasticidad

Este parámetro representa la rigidez de los materiales ante la aplicación de cargas sobre si mismo. Para conocer el valor de esta variable es necesario aplicar las directrices de la NTC 4025 que se deriva de la ASTM 469, teniendo como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida. (Osorio, 2011)

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto. (Osorio, 2011)

Secuencialmente, en la segunda parte, representa una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interface agregado- pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto. (Osorio, 2011)

2.3.8 Clasificación del concreto

El concreto se puede clasificar de dos maneras:

Por Peso. Normal: 2240 a 2400 k/m³, Ligeros: menores a 1850kg/m³, Pesado: mayores a 3200kg/m³. (Quintana, 2013)

Por resistencia. Resistencia baja: menores a 20MPa, Resistencia Moderada: entre 20 y 40 MPa, Resistencia Alta: mayores a 40MPa. (Quintana, 2013)

2.4 Marco teórico

2.4.1 Incorporación de diversas fibras para mejorar el comportamiento a flexión del concreto

Fibras metálicas: Estas han sido utilizadas desde inicios del siglo XX, donde las macrofibras eran redondas y lisas. Actualmente se presentan superficies rugosas y con extremos de gancho, con diámetros de 0,15 a 2 mm y poseen longitudes de 60 a 75 mm. Lo que ha permitido generar altas resistencias a la tensión e incrementa el módulo de elasticidad. Sin embargo, la principal desventaja de estas fibras es que pueden presentar oxidación; su presencia en el concreto oscila entre el 0,25 al 2% del volumen total de la mezcla. (Fibrasplast Concreto, 2019)

Algunas de las ventajas y desventajas que presentan el uso de microfibras en el concreto.

Ventajas:

- Mejoran la tenacidad del concreto.
- Fácil de usar y puede ser adicionada a la mezcla de concreto en cualquier momento antes de la colocación.
- Reducen costos y tiempos de aplicación con la malla electrosoldada.
- Disipación de energía a comparación de la malla electrosoldada.
- Reducen el fisuramiento del concreto causado por retracción plástica.
- Reducen la segregación y la exudación.
- En el caso de las fibras de vidrio y sintéticas son químicamente inertes, resistentes a álcalis y áridos.

- Aumentan significativamente la resistencia al impacto.
- Trabajan tridimensionalmente en el concreto, reduciendo las tensiones y esfuerzos por dilataciones térmicas. (Juarez, 2002)

Desventajas: Reducen el asentamiento en el ensayo de cono, donde depende directamente de la cantidad y composición de las fibras.

En el estado fresco, el mezclado se torna más dificultoso y se puede incorporar cierta cantidad de aire. (Juarez, 2002)

Con todo lo mencionado, es importante destacar que las fibras mejoran la resistencia del concreto frente a las cargas desde edades tempranas de endurecido. Estos adicionales permite controlar el fisuramiento causado por la retracción plástica e hidráulica y mejora la resistencia al impacto. Las fibras permiten un mejor comportamiento del concreto a nivel estructural, mejorando la resistencia frente las cargas de forma distribuidas.

2.4.2 Influencia de los agregados pétreos en la resistencia del concreto

Chan, et al. (2003) menciona que los agregados influyen directamente en el comportamiento del concreto endurecido. Esto es atribuido a la cantidad y tamaño de las partículas, parámetro que es atribuido a la granulometría. Lo que contribuye a la adherencia entre las dos fases (matriz y agregados). Una de las características importantes de los agregados es la porosidad, que permita una mejor mezcla y homogeneidad entre los materiales.

Por otra parte, se tiene que la función de los agregados dentro del concreto es reducir los costos en la producción de la mezcla. Además, permite el control de los cambios volumétricos generados en los procesos de fraguado, curado y secado de la mezcla de hormigón. Teniendo como fin último el aporte a la resistencia final del material. (Silva, 2020)

De igual modo, la forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier tipo de agregado, tiene influencia directa en la manejabilidad del concreto en su estado fresco y en diversas características físicas de su estado sólido. Por ello, se hace necesario el adecuado diseño de mezclas en función a las solicitaciones de determinado proyecto, teniendo en cuenta las características propias de las canteras de la zona de influencia del proyecto, donde se considere las particularidades que presenta los agregados. (Silva, 2020)

2.4.3 Fisuración en los elementos de concreto

En primera instancia, se recordará que el concreto es un material que soporta los esfuerzos de compresión, pero no es bueno cuando se somete a fuerzas de tensión. Por ello, se genera la incorporación de las barras de acero, siendo las encargadas de soportar dichos esfuerzos y le da al concreto la capacidad de deformarse bajo cualquier carga. (SIKA, 2019)

Es claro que al momento de aplicar una fuerza de tensión superior a la que estaba diseñada, se presentarían las fisuras de elemento. Para minimizar estos efectos, se hace necesaria la adecuada colocación del acero de refuerzo, cumpliendo con los recubrimientos según sea el caso. (SIKA, 2019)

Las fisuras presentan ciertas características en función a cómo este cargado el elemento estructural. Dentro de los casos más comunes se tiene que cuando la viga esta apoyada en ambos extremos, las fisuras se presentaran en la parte inferior, debido a que es la zona que está en flexión. Para el segundo caso, cuando la carga es uniforme se presentarán fisuras a lo largo del elemento. (SIKA, 2019)

El concreto se puede fisura en dos momentos, el primero de ellos es cuando se trata de una estructura nueva. Donde se atribuye al exceso de agua en la mezcla de concreto, falta de curado del concreto, retiro de formaletas antes de tiempo, secciones insuficientes de los elementos estructurales, acero insuficiente y la mala ubicación de los aceros de refuerzo. (SIKA, 2019)

En el segundo caso, se presenta cuando se trata de una estructura existente, donde la causa más común para que se presente fisuramiento es el incremento de las cargas de servicio para las cuales fue diseñada. Estas cargas de servicio corresponden a cargas verticales (muerta y viva) y a cargas eventuales como la sísmica. (SIKA, 2019)

2.4.4 Propiedades de las fibras metálicas

Dentro de las principales características se tienen las siguientes:

Ductilidad: Las fibras metálicas han demostrado favorables comportamientos dúctiles dentro del concreto. Lo que proporciona cierta capacidad de redistribuir esfuerzos dentro de la masa. Esta absorción de energía ofrece una mayor capacidad de carga al concreto. Esto lleva a

que en muchos casos al incorporar este tipo de materiales permite reducir el espesor de los pisos de concretos. (Hop & Tatnall, 2018)

Resistencia a la fatiga: Este parámetro se ve mejorado por la redistribución de esfuerzos en la masa de concreto, esto se logra con la incorporación de las fibras. Permite observar el incremento considerable a la resistencia a la fatiga. Los concretos que tiene la adicción de estas fibras permite incrementar el número de repeticiones de carga entre 1.2 a 2 veces más que las que soporta normalmente el concreto. (Hop & Tatnall, 2018)

Resistencia al cortante: La incorporación de estas fibras aportan en la resistencia al cortante. Dicha propiedad contribuye a la capacidad de anclaje y resistencia, ofreciendo la adecuada transferencia de carga entre las diferentes juntas de contracción. (Hop & Tatnall, 2018)

Resistencia al impacto: La adicción de estas fibras permite incrementar la resistencia al impacto, que van desde 15 a 100 veces más de lo que proporciona un concreto simple. (Hop & Tatnall, 2018)

2.5 Marco legal

Para el desarrollo de este proyecto se tendrá en cuenta diversas normativas a nivel nacional. Cada una de ellas avala el desarrollo de los diferentes ensayos de laboratorios que se tienen estipulados realizar. Para ello se tienen las siguientes:

Norma Técnica Colombiana 396. Método de ensayo para determinar el asentamiento en el concreto. En este documento se detalla cada una de las pautas para calcular el asentamiento del concreto en campo.

Norma Técnica Colombiana 2871. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión. Este ensayo de laboratorio parte de la construcción de una viga simple que será fallada a flexión.

Norma Técnica Colombiana 1377. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Esta directriz nos indica los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto.

Norma Técnica Colombiana 673. Concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión en cada una de las muestras elaboradas.

Norma Técnica Colombiana 5541. Concretos reforzados con fibra. Esta norma se aplica en cada una de las formas de concreto reforzado con fibras.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

Al momento de iniciar todo tipo de investigación es importante delimitar el campo de acción y el alcance que presentará el mismo. Debido a que el objetivo final es obtener resultados enfocados en la resolución de problemas. Por ello. La investigación será de tipo aplicada.

En relación a lo mencionado, se tiene que el proyecto presentará un enfoque experimental, descriptivo, exploratorio y cuantitativo. Se tendrá un enfoque experimental, debido a que la base de la investigación es el desarrollo de los laboratorios para medir la resistencia a la compresión y a la flexión. En lo referente al ámbito descriptivo, se realizará la caracterización de los materiales, en la fase previa a la elaboración de las muestras, también se definirá la proporción o dosificación a utilizar de las fibras metálicas, que permita mejorar la calidad del concreto a la flexión.

Por otra parte, el enfoque exploratorio estará enfocado en la identificación de la proporción que se debe añadir a la mezcla de concreto, lo cual permita mejorar su comportamiento a la flexión. Por último, se manejará los datos de tipo cuantitativo, mediante los resultados obtenidos en laboratorios, lo que facilitará los cálculos y elaboración de las gráficas pertinentes para su posterior análisis.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población para esta investigación estará enfocada a las vigas de concreto reforzado en su estado normal y con la adicción de fibras metálicas.

3.2.2 Muestra

Para el desarrollo de esta investigación se elaborarán diversos especímenes con concreto en condiciones normal y otros elementos de concreto reforzado con la adicción de fibras metálicas. Estos especímenes serán sometidos a ensayos de compresión, flexión y torsión, distribuidos de la siguiente manera:

Se tendrá en cuenta la resistencia de diseño de $f'c=21,1$ MPa y $f'c=24,5$ MPa, donde se elaborarán 5 elementos sin fibras metálicas y 9 con fibras metálicas para cada uno de los tres diferentes tipos de pruebas. Además de ello, se elaborarán 2 probetas para ambas resistencias para ser falladas a los 7, 14 y 15 días, en la que se tendrá en cuenta 2 tipos de dosificaciones diferentes. Con esto, se tendrá la elaboración de 108 elementos a fallar; adicionalmente, en la Tabla 1 se muestra la distribución de los ensayos.

Tabla 1*Distribución de las muestras a ensayar*

DISTRIBUCION DE LA MUESTRA A ENSAYAR									
PRUEBA	Concreto sin fibra metálica		Concreto con 1% de Fibra metálica		Concreto con 3% de Fibra metálica		Concreto con 5% de Fibra metálica		NUMERO DE MUESTRAS
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días	
Compresión	2	3	2	6	2	6	2	6	29
Flexión	0	6	0	6	0	6	0	6	24
Tracción	0	5	0	5	0	5	0	5	20
Total	2	14	2	17	2	17	2	17	73

3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos

Las técnicas e instrumentos que se implementarán para la recolección de la información estarán direccionadas en una primera fase (fuente primaria) en la caracterización de los materiales, diseño de mezclas y los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio. En segunda instancia (fuente secundaria) se tendrá en cuenta la revisión documental de las investigaciones similares que aporten en el desarrollo de la investigación.

3.4 Análisis de información

Luego de obtenidos los diversos resultados de laboratorio, se procederá a la comparación de las condiciones presentadas entre las muestras de concreto normal y del concreto con adicción

de fibras en lo que respecta al mejoramiento de las propiedades mecánicas. Esto se realizará mediante la tabulación de la información y el análisis de las diversas graficas obtenidas.

A partir de estas comparaciones, se obtendrá la incidencia del factor económico al momento de aplicar nuevas estrategias como la adicción de fibras metálicas dentro de una obra, de manera que se presente una técnica innovadora y aplicable dentro del municipio.

Capítulo 4. Presentación de los resultados

4.1 Caracterización de las propiedades de los agregados pétreos

Las características y la calidad de los agregados son muy importantes en todo tipo de proyecto, por esta razón es necesario realizarle todos los estudios necesarios para poder determinar si cumplen con los criterios para realizar un buen diseño de mezcla.

Para este proyecto de investigación, se realizaron los ensayos pertinentes para determinar las propiedades mecánicas de los agregados los cuales nos permiten evidenciar que los agregados están en buenas condiciones para ser utilizados en obra, ya que los ensayos así lo demuestran. De igual manera, realizando un análisis visual se puede apreciar que los materiales presentan uniformidad y estos se encuentran sin impurezas lo que los hace materiales idóneos para realizar el diseño de mezclas.

4.1.1 Ensayo de Granulometría (Especificaciones técnicas del INVIAS para los agregados, sección 200, ensayo E-213

Este ensayo se realizó para determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino. Dando como resultado un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " y un módulo de finura de 3.8, los cuales fueron verificados con respecto a la norma NTC 174 la cual nos determinó que no cumplían con la gradación y módulo de finura respectivamente.

4.1.2 Masa Unitaria Compacta (Especificaciones técnicas del INVIAS para los agregados, sección 200, ensayo E 217-9)

La muestra se seleccionó aleatoriamente del material para el proyecto, se redujo la muestra según lo estipulado en la norma específicamente en el ensayo E-202. Al terminar el ensayo nos arrojó un resultado para la masa unitaria compactada de 1570 Kg/m³

4.1.3 Gravedad específica de los agregados gruesos (I.N.V. E-128-07; I.N.V.E -223-07)

Para el ensayo se trabajó con la cantidad mínima teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado que es de 3000 gr. Después de realizado el ensayo nos arrojó los siguientes resultados: gravedad específica del agregado grueso = 2437.7 kg/m³ y porcentaje de absorción del agregado grueso = 1.3 %

4.1.4 Gravedad específica de los agregados finos, método de vacío (NTC 1974; I.N.V. E-129-07; I.N.V. E-222-07)

Para este ensayo de igual manera se determinaron la gravedad específica del agregado fino y su respectivo porcentaje de absorción los cuales fueron los siguientes: gravedad específica del agregado fino = 2650.0 kg/m³ y porcentaje de absorción del agregado grueso = 1.84 %

4.2 Diseño de mezclas por el método American concrete institute (ACI)

Una vez hecha la caracterización y sus respectivos ensayos a los materiales se procede a realizar el diseño de mezclas para una resistencia de 28 MPa el cual se hizo por el método ACI articulado con la normativa colombiana, en la tabla se puede ver las cantidades por metro cubico obtenidas en el diseño, para poder apreciar el procedimiento completo remitirse al apéndice A.

Tabla 2

Dosificación obtenida por el diseño de mezcla

MATERIAL	PESO (KG/M3)	DENSIDAD (KG/M3)	VOLUMEN (M3/M3)	AJUSTES POR HUMEDAD (KG/M3)
CEMENTO	385.4	2700	0.120	385.4
AGUA	185.0	1000	0.185	195.5
AIRE	0.00	0.00	0.020	0.00
GRAVA	833.8	2437.7	0.370	837.3
ARENA	833.8	2650.0	0.370	846.0
TOTAL	2237.9		1	2264.2

4.3 Propiedades y características de la fibra metálica

La fibra metálica es un compuesto de alambre de acero hilado con contenido de carbono. Tiene distintas presentaciones y se clasifican de dos maneras según su forma o su origen, esto depende del uso para el cual vaya a ser utilizado el material. En el campo de la construcción tiene diversos usos, principalmente se emplea en pisos industriales donde se necesitan gran resistencia para soportar el tráfico pesado, razón por la que también se ha implementado en pavimentos para pistas de aterrizaje de aviones, túneles y en taludes. Esto se debe a la capacidad que tiene este material (fibra metálica) de proporcionar al concreto mayor resistencia a la fatiga, al impacto y de mejorar sus propiedades dúctiles la cual ayuda a absorber energía antes de que se presenten fallas y minimiza la aparición de grietas en la estructura, también cuenta con gran adherencia debido a su forma, proporciona mayor resistencia a la torsión, la flexión y a la tracción y cuando es usada para losas puede llegar a reemplazar el uso de malla electrosoldada. (PSI Concreto, 2020)



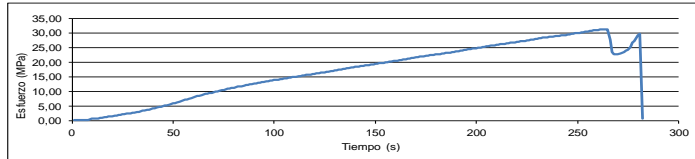

La forma de uso de la fibra metálica es muy sencilla y no necesita mano de obra especializada. Para realizar la mezcla de concreto con adición de fibra metálica, se debe hacer lo siguiente: Se debe agregar la fibra de forma directa a la mezcladora y se debe esperar aproximadamente de 3 a 5 minutos, para que se una de manera homogénea al concreto, proporcionando un refuerzo multidireccional. (PSI Concreto, 2020)

4.4 Ensayo de resistencia del concreto a compresión (NTC 550-673)

El ensayo para determinar la resistencia a compresión se realizó en las instalaciones de la universidad Francisco de Paula Santander (laboratorio de resistencia de materiales), los resultados fueron suministrados en un formato como el que se puede observar en la figura 1, el cual se desglosó para observar los resultados con mayor claridad y realizar un mejor análisis de la información. Para ello, se tendrán en cuenta el resultado del ensayo (resistencia de la muestra), la gráfica de esfuerzo-deformación y el tipo de falla.

Figura 1

Formato de resultado de ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha
	FORMATO DE SERVICIO	F-AC-LRE-001	10-11-2011
Dependencia	Aprobado	Revisión	
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SISMICA	DIRECTOR DE DEPARTAMENTO	A 1(1)	
COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO (NTC 550-673)			
CLIENTE: JHONY BECERRA, JOSE PATIÑO		Ensayo No.: <u>3</u>	
EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, OBRA: TRACCIÓN Y FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS.		Fecha de Ensayo: <u>2023-06-23</u>	
TIPO DE MEZCLA: 1:2:2:2		Muestra número: <u>3</u>	
DESCRIPCION: DISEÑO DE MEZCLA		F. Muestreo: <u>26-05-2023</u>	
LOCALIZACION: LABORATORIO UFPSSO		F. Recepción: <u>23-06-2023</u>	
		Stump (cm): <u>8</u>	
Resistencia Esperada: <u>28</u> MPa		Vel Ensayo: <u>0.25</u> MPa/s	
Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,20		
Densidad (kg/m ³)	2388,92		
Altura (mm)	307,33		
Diametro (mm)	151,30		
Area (mm ²)	17979,08		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	560,7		
Resistencia Real (MPa)	31,19		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)	n/a		
Resistencia (psi)	31,19		
Desarrollo (%)	111,38		
Tipo de Falla	E		
			
Tipo de fallas			
			
Observaciones: CEMENTO: Cemex estructural			
ARENA: Planta guayabal			
TRITURADO: Planta guayabal			
Nota: El laboratorio solo se limita a dar resultado de resistencia a la compresión de la muestra sometida a ensayo.			
Laborarista: <u>Iván Darío Bustos Arias Trnigo.</u>		Jefe de Laboratorio: <u>Nelson Afanador García Dr.</u>	
Máquina de ensayos: Pinzuar Ltda.		Rango: <u>1000</u> kN	No. de serie: <u>109</u>
		Fecha de Calibración: <u>09/09/2021</u>	
			
Via Andorom, Torre de Vigilancia, Ocaña, Colombia - Código postal 548552 Línea gratuita nacional 01 8690 121 023 - PER: (+57) 01 669 00 88 e-mail: rcd@ucd@ufps.edu.co - www.ufps.edu.co			

4.4.1 Concreto sin adición de fibra metálica

Concreto realizado con el fin de obtener una muestra representativa de concreto sin incluirle fibra metálica, el cual está diseñado para obtener una resistencia de 28 MPa, evaluándose la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras

Ensayos a 7 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 2, con un valor obtenido de 23,5 MPa.

Figura 2

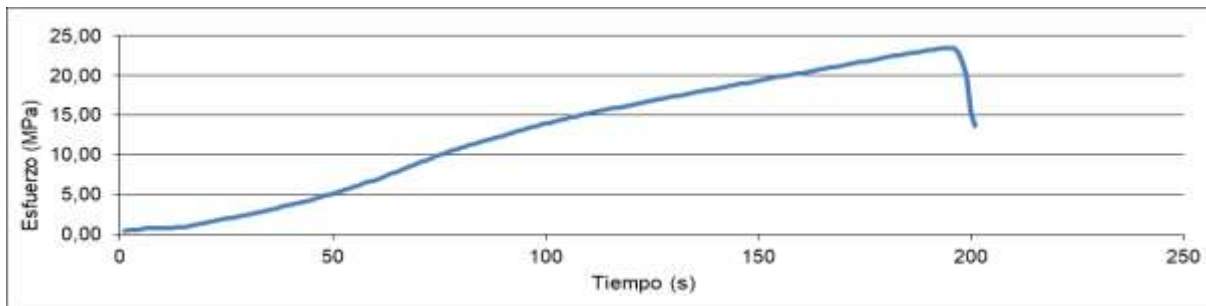
Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de muestra sin fibra metálica a los 7 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,91		
Densidad (kg/m³)	2280,01		
Altura (mm)	304,90		
Diametro (mm)	153,77		
Area (mm²)	18570,89		
Edad (días)	7		
Carga (kN)	436,4		
Resistencia Real (MPa)	23,50		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)	34,87		
Resistencia (psi)			
Desarrollo (%)	83,93		
Tipo de Falla	D		

Este ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra durante el tiempo del ensayo vs el esfuerzo, y el comportamiento de la muestra al aplicar carga.

Figura 3

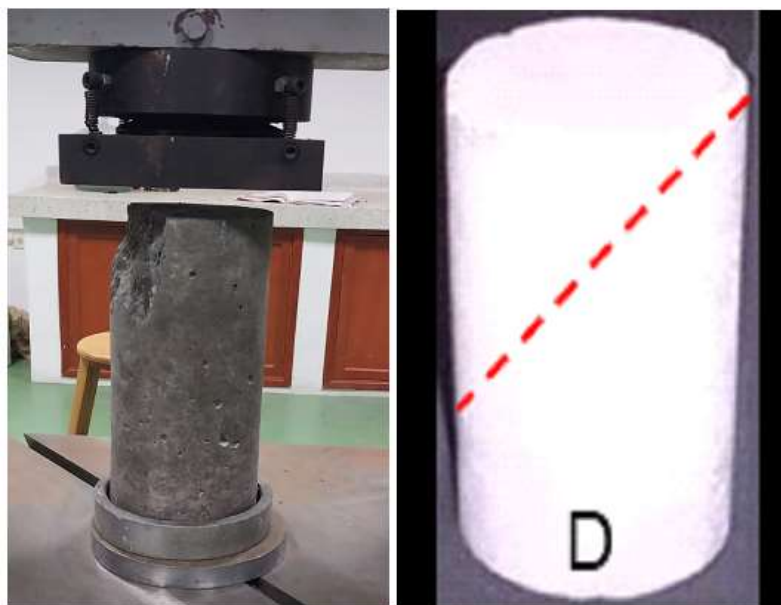
Grafica de esfuerzo de la muestra sin fibra metálica a los 7 días



De igual manera nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, la cual podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante.

Figura 4

Tipo de falla de la muestra sin fibra metálica a los 7 días



Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 5, con un valor obtenido de 32,99 MPa.

Figura 5

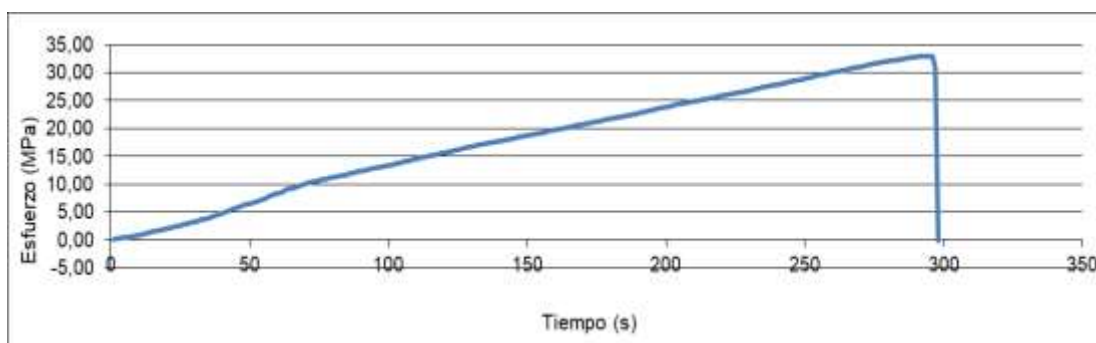
Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra sin fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,06		
Densidad (kg/m ³)	2381,87		
Altura (mm)	305,90		
Diametro (mm)	151,07		
Area (mm ²)	17924,46		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	591,3		
Resistencia Real (MPa)	32,99		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)			
Resistencia (psi)	32,99		
Desarrollo (%)	117,81		
Tipo de Falla	E		

Igualmente, dentro de los resultados, se encuentra una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que puede soportarla hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Grafica de esfuerzo de la muestra sin fibra metálica a los 28 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo E generada por una falla a compresión.

Figura 7

Tipo de falla de la muestra sin fibra metálica a los 28 días



4.4.2 Concreto con adición del 1% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 1% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 7 días y 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 7 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 8 con un valor obtenido de 15,79 MPa.

Figura 8

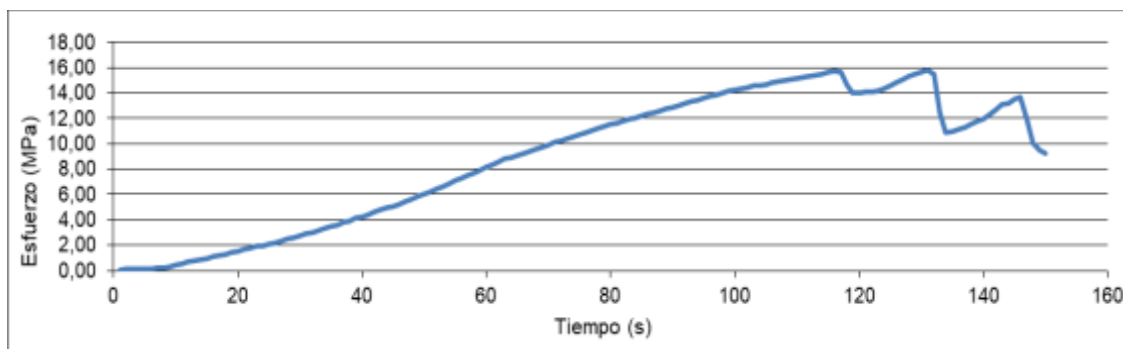
Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra 1% fibra metálica a los 7 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,23		
Densidad (kg/m³)	2382,63		
Altura (mm)	307,58		
Diametro (mm)	151,61		
Area (mm²)	18052,83		
Edad (días)	7		
Carga (kN)	285,1		
Resistencia Real (MPa)	15,79		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)	25,11		
Resistencia (psi)	15,79		
Desarrollo (%)	56,40		
Tipo de Falla	D		

Así mismo, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica de esfuerzo en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 9.

Figura 9

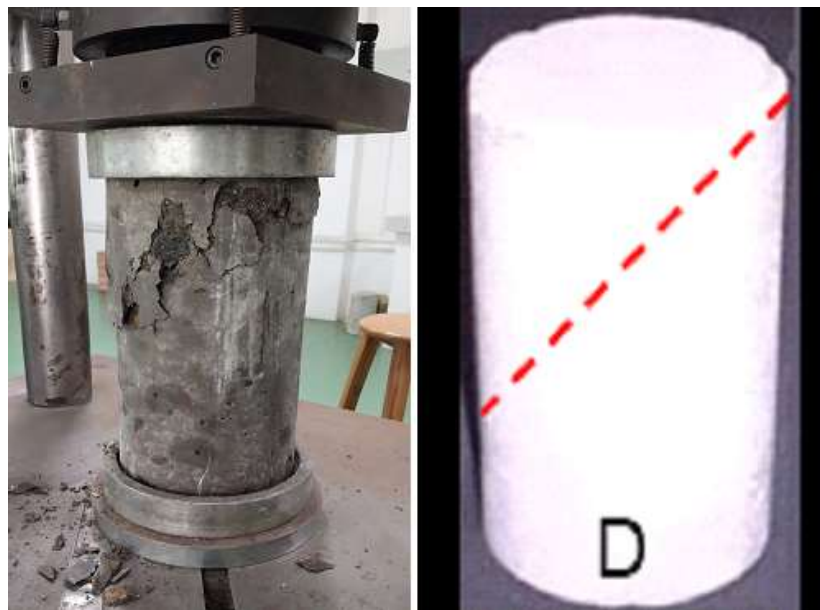
Gráfico de esfuerzo de la muestra con 1% fibra metálica a los 7 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante, y se puede ver que cambia debido al plano de falla que genera la fibra metálica

Figura 10

Tipo de falla de la muestra con 1% fibra metálica a los 7 días



Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 11 con un valor obtenido de 24,36 MPa.

Figura 11

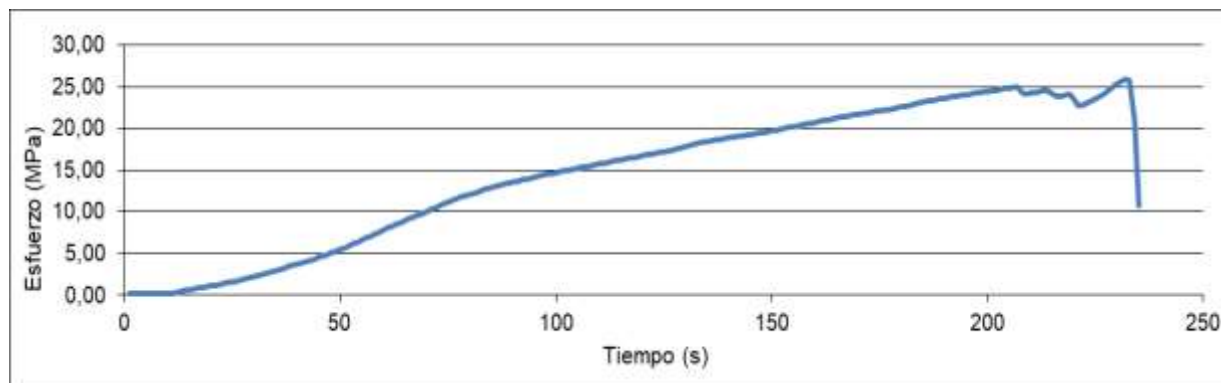
Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra 1% fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,88		
Densidad (kg/m³)	2375,67		
Altura (mm)	300,32		
Diametro (mm)	151,61		
Area (mm²)	18052,83		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	439,8		
Resistencia Real (MPa)	24,36		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)			
Resistencia (psi)	24,36		
Desarrollo (%)	87,01		
Tipo de Falla			

Así mismo el resultado del laboratorio arroja una la gráfica de esfuerzo en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 12.

Figura 12

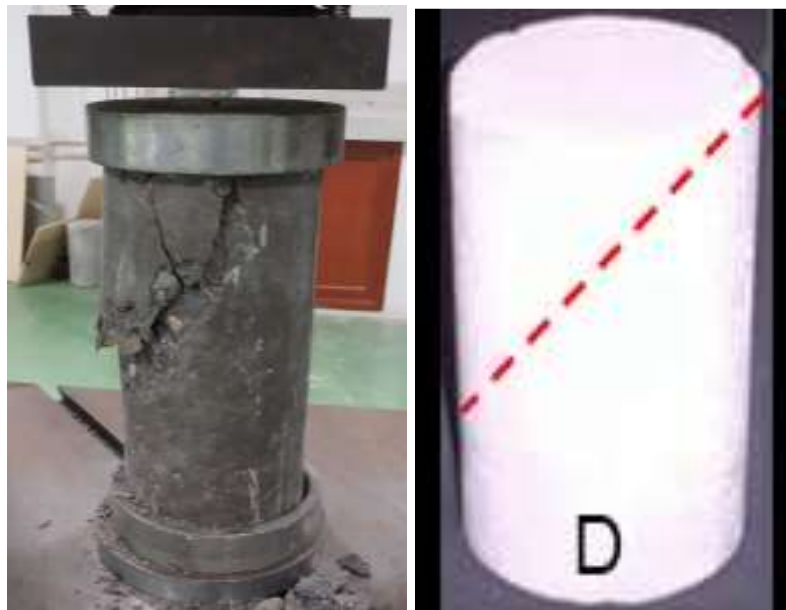
Gráfica de esfuerzo de la muestra con 1% fibra metálica a los 28 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante, y se puede ver que cambia debido al plano de falla que genera la fibra metálica

Figura 13

Tipo de falla de la muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días



4.4.3 Concreto con adición del 3% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 3% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 7 días y 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 7 días. El resultado de este ensayo de resistencia a la compresión se puede observar en la figura 14, con un valor obtenido de 24,33 MPa.

Figura 14

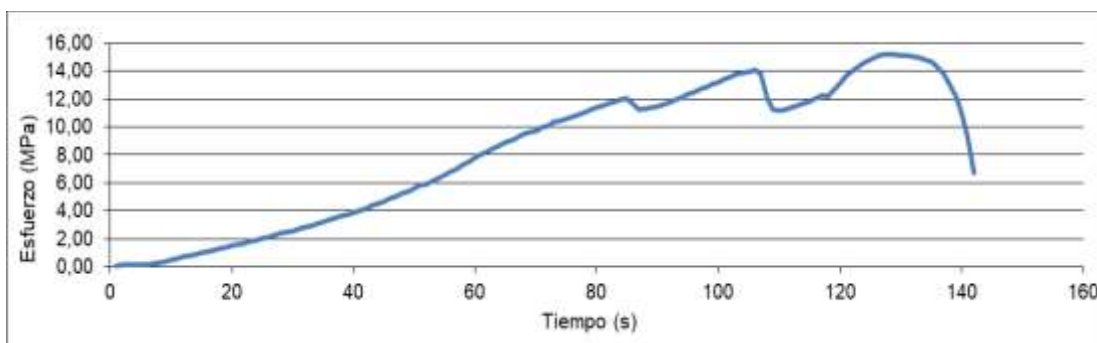
Resultado de ensayo de resistencia a la compresión de muestra 3% de fibra metálica a los 7 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,50		
Densidad (kg/m ³)	2341,16		
Altura (mm)	307,22		
Diametro (mm)	154,59		
Area (mm ²)	18769,48		
Edad (días)	7		
Carga (kN)	285,4		
Resistencia Real (MPa)	15,21		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)	24,33		
Resistencia (psi)	15,21		
Desarrollo (%)	54,31		
Tipo de Falla	D		

Así mismo, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica de esfuerzo, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 15.

Figura 15

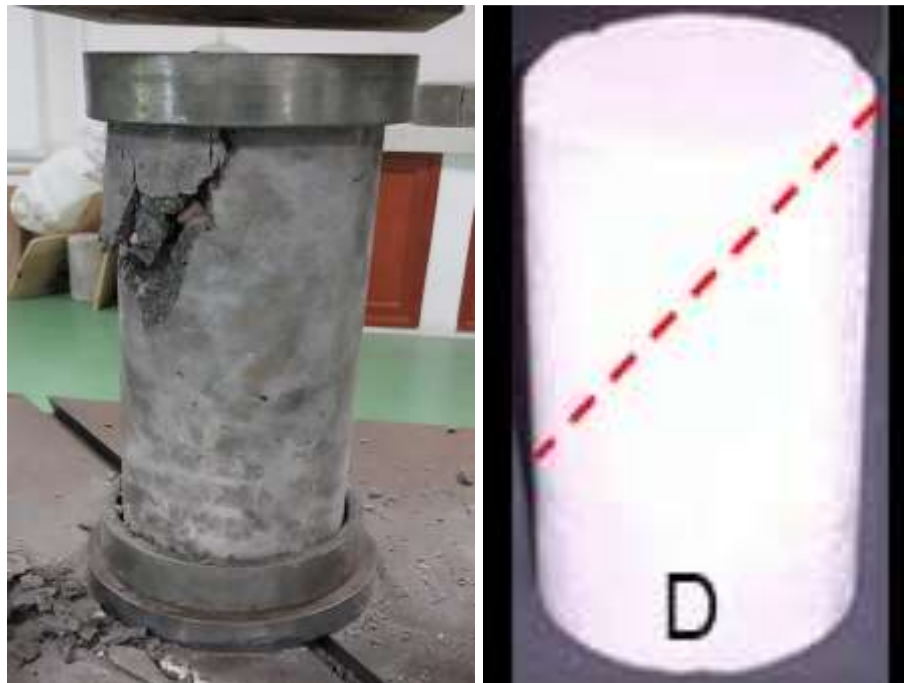
Grafica de esfuerzo de la muestra con 3% de fibra metálica a los 7 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante, y se puede ver que cambia debido al plano de falla que genera la fibra metálica

Figura 16

Tipo de falla de la muestra con 3% de fibra metálica a los 7 días



Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 17, con un valor obtenido de 23,48 MPa.

Figura 17

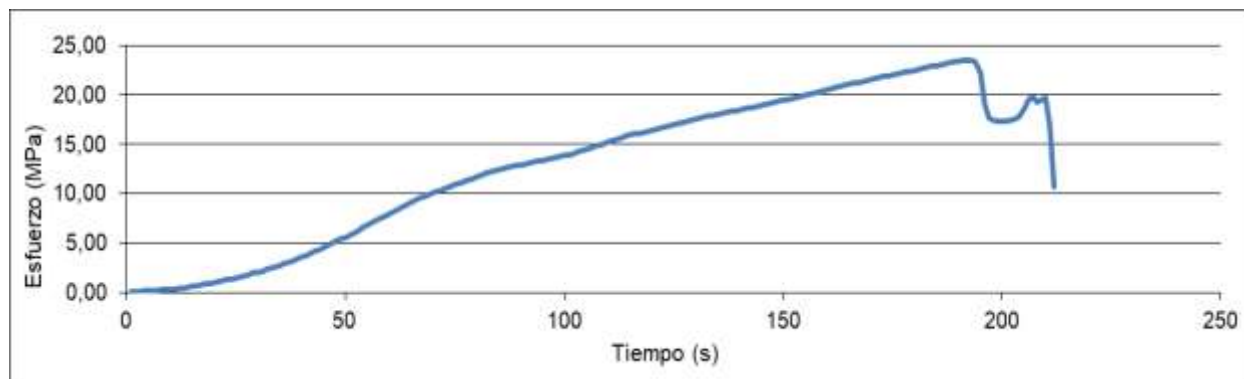
Resultado de ensayo de resistencia a la compresión muestra 3% de fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,61		
Densidad (kg/m³)	2365,88		
Altura (mm)	304,24		
Diametro (mm)	155,16		
Area (mm²)	18908,15		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	443,9		
Resistencia Real (MPa)	23,48		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)			
Resistencia (psi)			
Desarrollo (%)	83,85		
Tipo de Falla	D		

Así mismo, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica de esfuerzo, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 18.

Figura 18

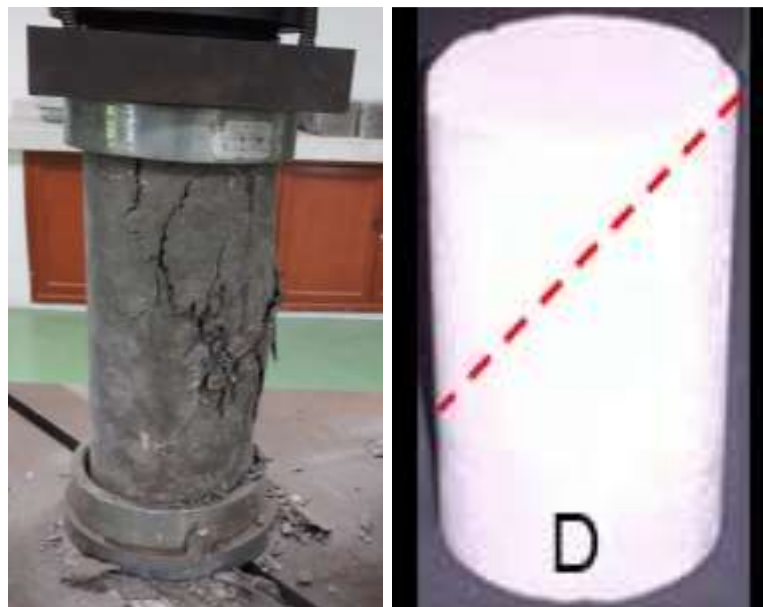
Grafica de esfuerzo de la muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante, y se puede ver que cambia debido al plano de falla que genera la fibra metálica

Figura 19

Tipo de falla de la muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días



4.4.4 Concreto con adición del 5% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 5% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 7 días y 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 7 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 20, con un valor obtenido de 26,04 MPa.

Figura 20

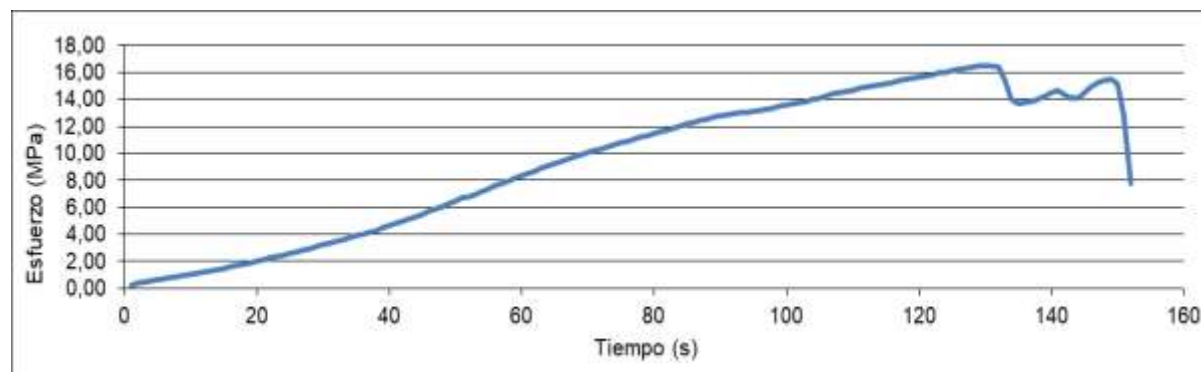
Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de muestra 5% fibra metálica a los 7 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,31		
Densidad (kg/m³)	2399,87		
Altura (mm)	308,64		
Diametro (mm)	151,26		
Area (mm²)	17969,57		
Edad (días)	7		
Carga (kN)	296,6		
Resistencia Real (MPa)	16,51		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)	26,04		
Resistencia (psi)	16,51		
Desarrollo (%)	58,95		
Tipo de Falla	D		

El resultado del laboratorio arroja una la gráfica, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla.

Figura 21

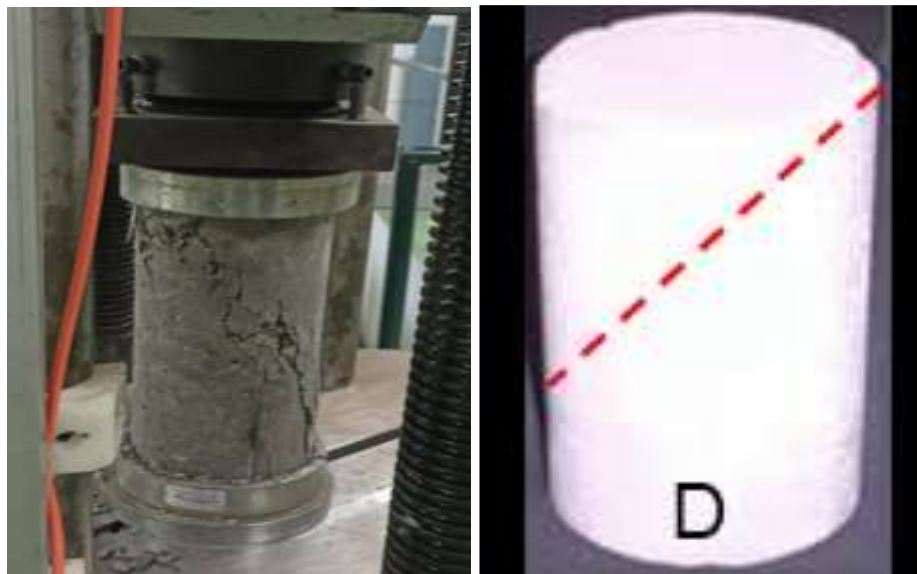
Gráfica de esfuerzo de la muestra con 5% de fibra metálica a los 7 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante, y se puede ver que cambia debido al plano de falla que genera la fibra metálica

Figura 22

Tipo de falla en la muestra con 5% de fibra metálica a los 7 días



Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a compresión se puede observar en la figura 23, con un valor obtenido de 27,1 MPa. Además, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica de esfuerzo, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 24. Por último, en la figura 25, se evidencia que el cilindro presenta una falla tipo E.

Figura 23

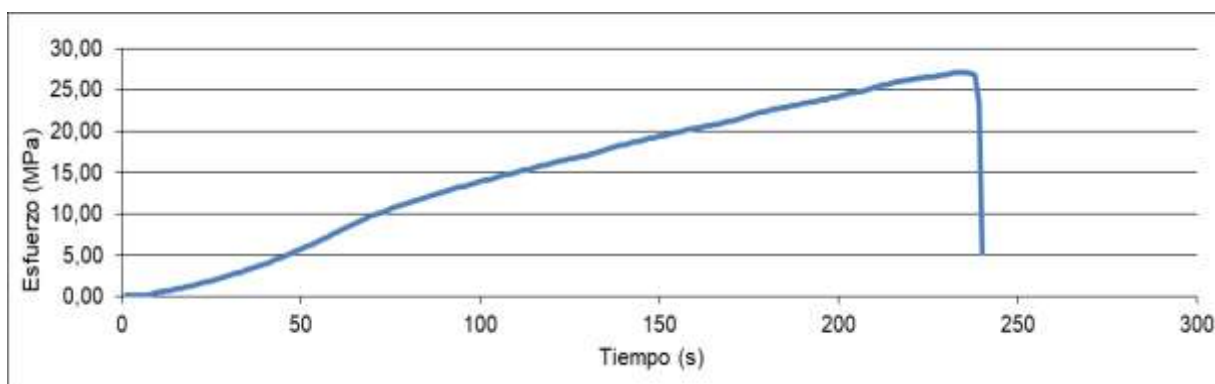
Resultado de ensayo de resistencia a la compresión muestra de 5% fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,28		
Densidad (kg/m³)	2385,08		
Altura (mm)	306,32		
Diametro (mm)	152,13		
Area (mm²)	18176,88		
Edad (días)	28		
Carga (kN)	492,5		
Resistencia Real (MPa)	27,10		
Resistencia proyectada a los 28 días (MPa)			
Resistencia (psi)			
Desarrollo (%)	96,77		
Tipo de Falla			

Este ensayo arroja una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra durante el tiempo del ensayo vs el esfuerzo, y el comportamiento de la muestra al aplicar carga.

Figura 24

Grafica de esfuerzo de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días



A los 28 días del ensayo nos arrojó el tipo de falla presentada por el cilindro, la cual esta especificada en el formato de laboratorio, en esta podemos apreciar que fue falla tipo D generada por una falla a cortante, y se puede ver que cambia debido al plano de falla que genera la fibra metálica

Figura 25

Tipo de falla de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días



4.5 Ensayo de resistencia del concreto a la tracción (NTC 722 -ASTM C-496)

El ensayo para determinar la resistencia a la tracción se realizó en las instalaciones de la universidad Francisco de Paula Santander (laboratorio de resistencia de materiales). Los resultados fueron suministrados en un formato como el que se puede observar en la figura 1, el cual se desglosó para observar los resultados con mayor claridad y realizar un mejor análisis de la información.

4.5.1 Concreto sin adición de fibra

Concreto realizado con el fin de obtener una muestra representativa de concreto sin incluirle fibra metálica, el cual está diseñado para obtener una resistencia de 28 MPa, evaluándose a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras

Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a tracción se puede observar en la figura 26 con un valor obtenido de 2,55 MPa.

Figura 26

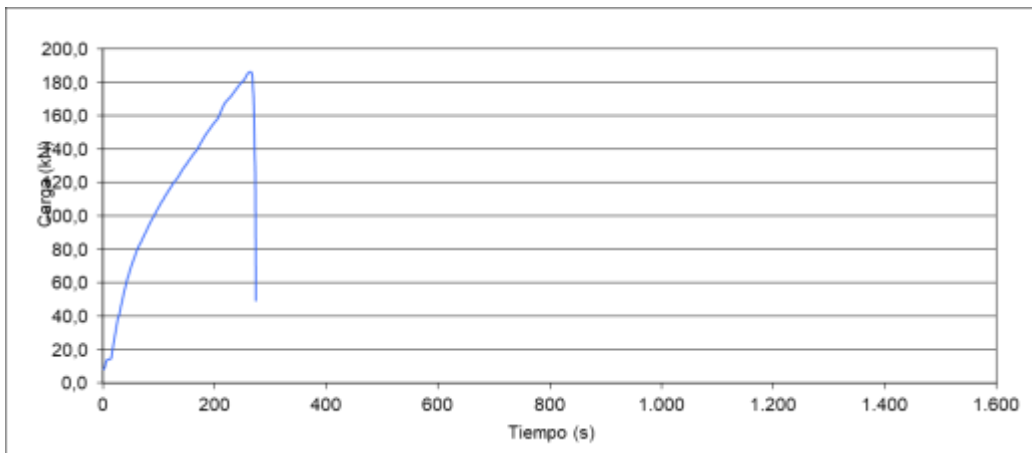
Resultado de ensayo de resistencia a la tracción en muestra sin fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,02		
Densidad (kg/m³)	2 356		
Altura (mm)	305,47		
Diametro (mm)	151,76		
Area (mm²)	72819		
Edad (días)	28		
Carga máxima (kN)	186,4		
Resistencia a la tracción (kPa)	2559,76		
Desarrollo	9142,00		
Tipo de Falla			

Adicionalmente, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 27.

Figura 27

Grafica de muestra sin fibra metálica a los 28 días



Podemos observar la falla a tracción con la cual se hará relación con los respectivos ensayos con adición de fibra metálica

Figura 28

Falla del ensayo a tracción de la muestra sin fibra metálica a los 28 días



4.5.2 Concreto con adición del 1% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 1% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a tracción se puede observar en la figura 29 con un valor obtenido de 2,67 MPa.

Figura 29

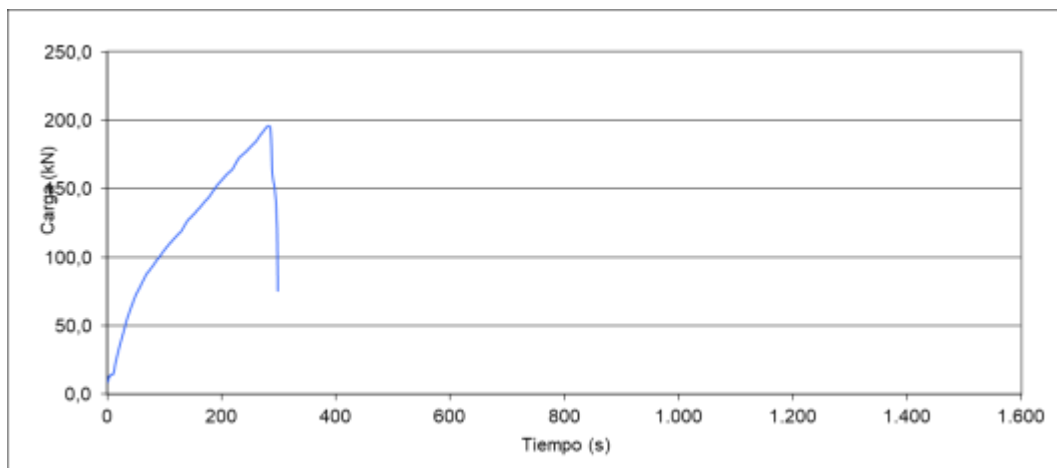
Resultado del ensayo de resistencia a tracción de muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,05		
Densidad (kg/m³)	2 322		
Altura (mm)	304,31		
Diametro (mm)	153,36		
Area (mm²)	73308		
Edad (días)	28	28	28
Carga máxima (kN)	196,0		
Resistencia a la tracción (kPa)	2673,66		
Desarrollo	9548,80		
Tipo de Falla			

Adicionalmente, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 30.

Figura 30

Grafico de muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días



Finalmente, con respecto a la falla presentada por tracción podemos observar como la fisura empieza a disminuir con respecto al ensayo sin adición de fibra

Figura 31

Falla del ensayo a tracción de la muestra con 1% fibra metálica a los 28 días



4.5.3 Concreto con adición del 3% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 3% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a tracción se puede observar en la figura 32, con un valor obtenido de 2,63 MPa.

Figura 32

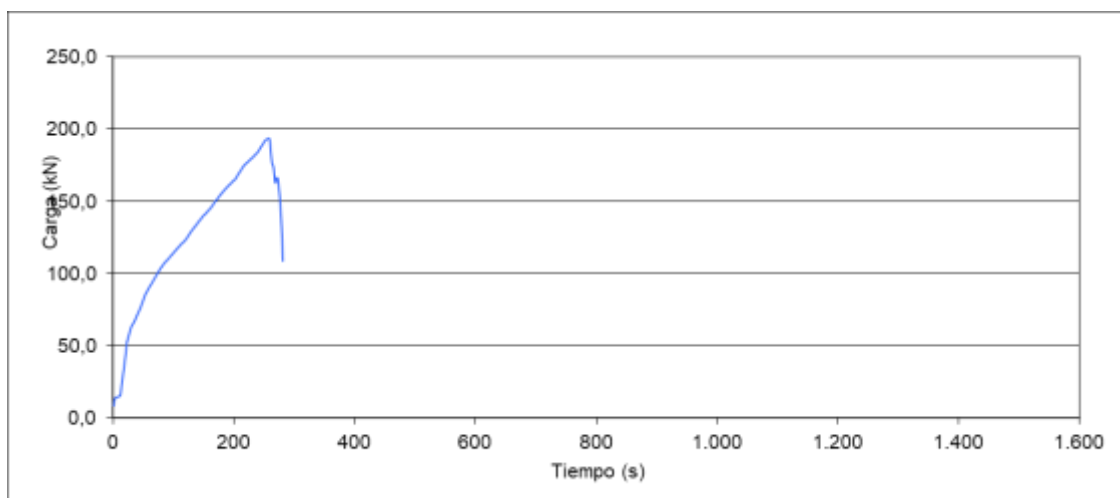
Resultado del ensayo de tracción de muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	13,19		
Densidad (kg/m³)	2 368		
Altura (mm)	306,5		
Diametro (mm)	152,11		
Area (mm²)	73233		
Edad (días)	28		
Carga máxima (kN)	193,1		
Resistencia a la tracción (kPa)	2636,78		
Desarrollo	9417,05		
Tipo de Falla			

Adicionalmente, el resultado del laboratorio arroja una la gráfica, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Grafica de ensayo a tracción de muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días



Y la falla presentada por tracción podemos observar como la fisura sigue disminuyendo con respecto a los ensayos anteriores sin adición de fibra y con adición del 1%

Figura 34

Falla del ensayo a tracción muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días



4.5.4 Concreto con adición del 5% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 5% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 28 días de fraguado. El resultado de este ensayo a tracción se puede observar en la figura 35 con un valor obtenido de 2,76 MPa.

Figura 35

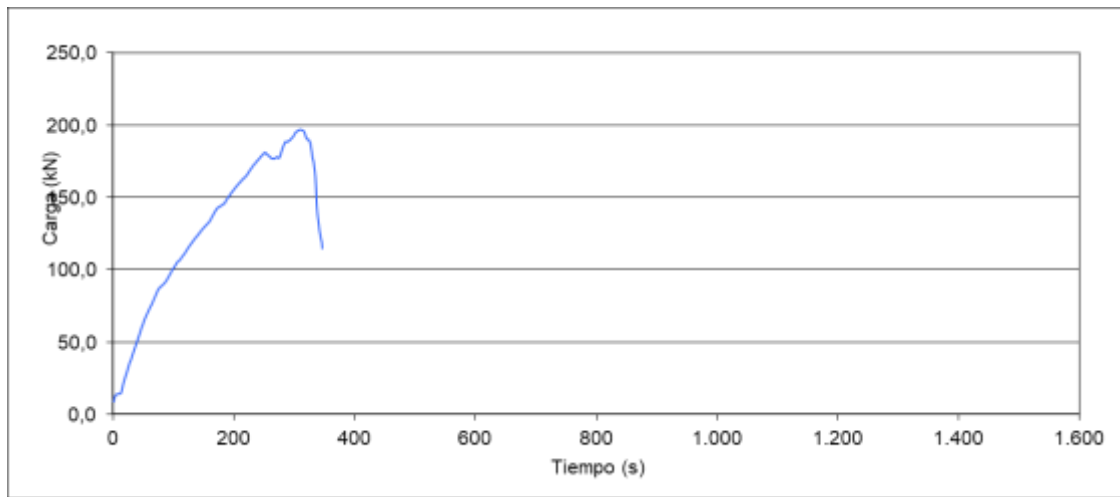
Resultado del ensayo a tracción de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo			
No. Del Cilindro	1	2	3
Peso (kg)	12,93		
Densidad (kg/m³)	2 402		
Altura (mm)	300,23		
Diametro (mm)	151,08		
Area (mm²)	71250		
Edad (días)	28		
Carga máxima (kN)	197,2		
Resistencia a la tracción (kPa)	2767,74		
Desarrollo	9884,78		
Tipo de Falla			

El resultado del laboratorio arroja una la gráfica, en la cual se observa el comportamiento de la muestra al aplicar una carga externa y el tiempo que la soporta hasta llegar a la falla, como se muestra en la figura 36

Figura 36

Grafica de la muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días



En la falla presentada por tracción podemos observar como la fisura sigue disminuyendo con respecto a los ensayos anteriores, esto quiere decir que a medida que se aumenta el contenido de fibra disminuye la fisuración

Figura 37

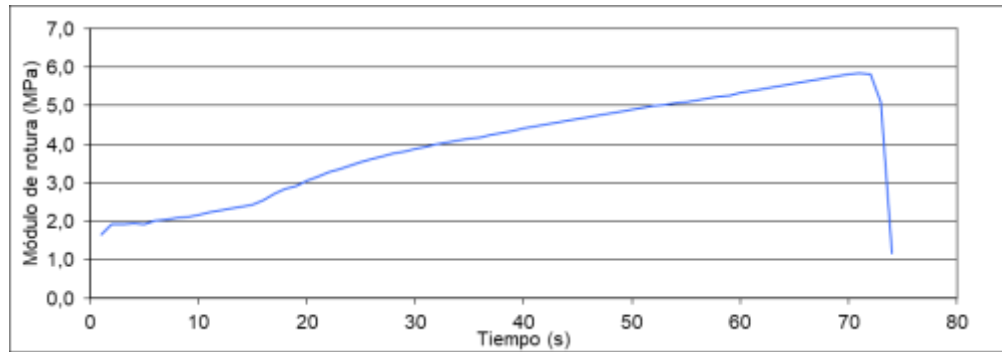
Falla del ensayo de tracción de muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días



Este ensayo arroja una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra durante el tiempo del ensayo vs esfuerzo, y el comportamiento de la muestra al aplicar carga externa.

Figura 39

Gráfica del módulo de rotura en muestra sin fibra metálica a los 28 días



En la imagen podemos observar la falla presentada en la muestra sin adición de fibra metálica, esta se encuentra localizada en el tercio medio de la viga, lo que nos indica que sufrió una falla por flexión.

Figura 40

Falla de la viga con muestra sin fibra metálica a los 28 días



4.6.2 Concreto con adición del 1% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 1% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a flexión se puede observar en la figura 41, con un valor para el módulo de rotura de 4,64 MPa.

Figura 41

Resultado del ensayo de resistencia a la flexión de muestra 1% de fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	158,00									
Ancho 'b' (mm)	152,32									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490,00									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7760,24									
Carga Máxima (kN)	36,00									
Módulo de rotura (MPa)	4,64									

Este ensayo arroja una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra durante el tiempo del ensayo vs esfuerzo, y el comportamiento de la muestra al aplicar carga externa.

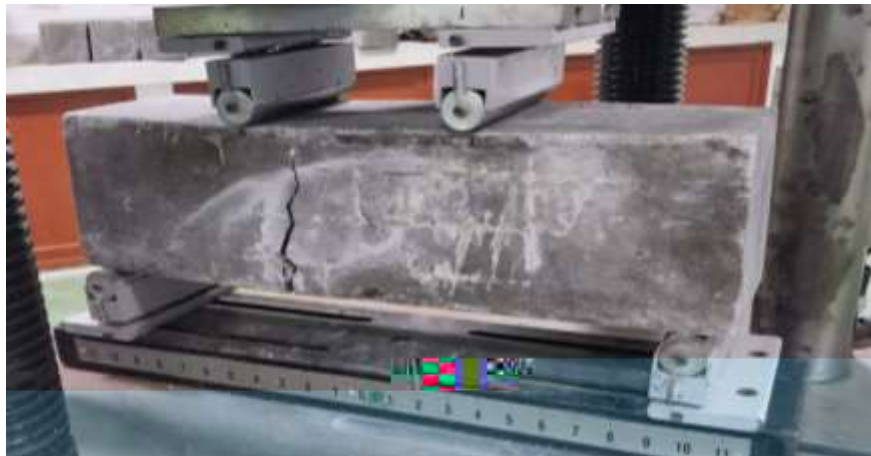
Figura 42

Grafica del módulo de rotura de la muestra con 1% de fibra metálica a los 28 días

En la imagen podemos observar la falla presentada en la muestra con adición de fibra metálica del 1%, esta se encuentra localizada en el borde del tercio medio de la viga, lo que nos indica que sufrió una producida por cortante.

Figura 43

Falla de la viga con muestra del 1% de fibra metálica



4.6.3 Concreto con adición del 3% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 3% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 Mpa. y se evaluó a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a flexión se puede observar en la figura 44, con un valor para el módulo de rotura de 5,34 MPa.

Figura 44

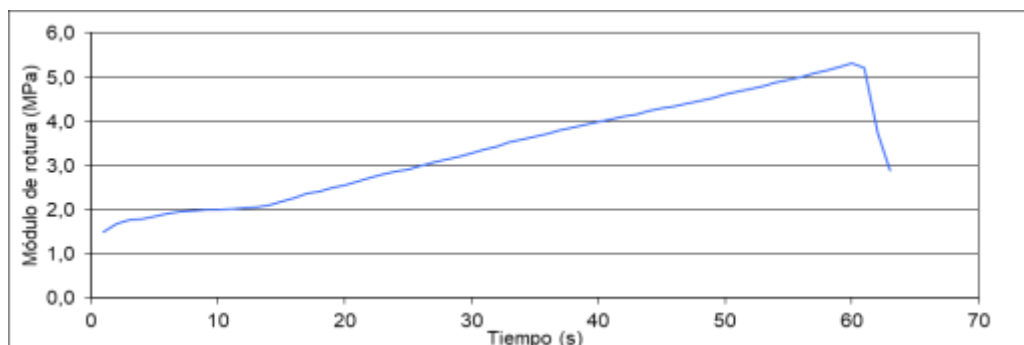
Resultado del ensayo de resistencia a la flexión muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	153,28									
Ancho 'b' (mm)	154,66									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490,00									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7415,71									
Carga Máxima (kN)	39,60									
Módulo de rotura (MPa)	5,34									

Este ensayo arrojó una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra durante el tiempo del ensayo vs esfuerzo, y el comportamiento de la muestra al aplicar carga.

Figura 45

Grafica de módulo de rotura de muestra con 3% de fibra metálica a los 28 días



En la imagen podemos observar la falla presentada en la muestra con adición de fibra metálica del 3%, esta se encuentra localizada en el tercio medio de la viga, lo que nos indica que sufrió una falla por flexión, también se puede apreciar una disminución en la longitud y el espesor de la fisura.

Figura 46

Falla en la viga con muestra de 3% de fibra metálica a los 28 días



4.6.4 Concreto con adición del 5% de fibra metálica

Este concreto se realizó con un porcentaje de 5% de fibra metálica respecto al peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla, el cual se realizó para una resistencia de 28 MPa. y se evaluó a los 28 días de curado a partir del día de elaboración de las muestras.

Ensayo a 28 días. El resultado de este ensayo a flexión se puede observar en la figura. con un valor para el módulo de rotura de 5,52 MPa.

Figura 47

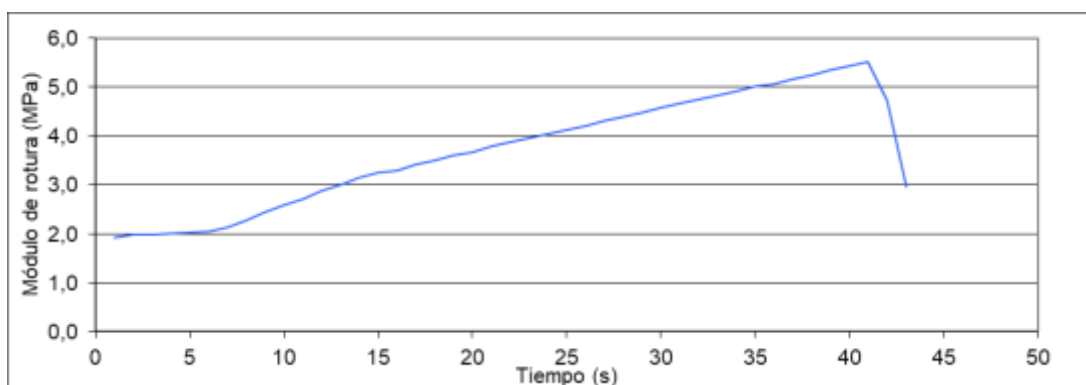
Resultado del ensayo de resistencia a flexión de muestra con 5% fibra metálica a los 28 días

Resultados de ensayo										
No. De la Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dimensiones										
Altura 'd' (mm)	153,44									
Ancho 'b' (mm)	154,68									
Dist. Apoyos 'l' (mm)	490,00									
Área Transv. Efect.(mm ²)	7432,16									
Carga Máxima (kN)	41,00									
Módulo de rotura (MPa)	5,52									

Este ensayo arrojo una gráfica donde se observa el comportamiento de la muestra durante el tiempo del ensayo vs esfuerzo, y el comportamiento de la muestra al aplicar carga.

Figura 48

Gráfica del módulo de rotura de muestra con 5% de fibra metálica a los 28 días



En la imagen podemos observar la falla presentada en la muestra con adición de fibra metálica del 5%, esta se encuentra localizada en el tercio medio de la viga, lo que nos indica que sufrió una falla por flexión, también se puede apreciar como la fisura se hace cada vez menor con

respecto a los porcentajes del 1% y 3% siendo este en porcentaje que mejores resultados dio con respecto a la fisuración.

Figura 49

Falla en la viga con adición de 5% fibra metálica a los 28 días



4.7 Ensayo de asentamiento del concreto (NTC 396)

Para verificar si la mezcla cumple con la consistencia y fluidez requerida, se realizó el ensayo de asentamiento, el cual se encuentra estipulado en la Norma Técnica Colombiana (NTC 396). Siguiendo lo descrito por la norma se procedió a realizar los ensayos pertinentes para los concretos realizados con o sin adición de fibras metálicas. Se determinaron los asentamientos correspondientes a cada porcentaje de fibra los cuales se muestran a continuación en la tabla 3.

Tabla 3

Resumen del ensayo de asentamiento del concreto (Slump)

Ensayo de asentamiento del concreto (Slump) NTC 396		
Muestra	Rango de cumplimiento	Resultado del ensayo
Sin fibra	5cm - 10cm	8cm
1% fibra	5cm - 10cm	9cm
3% fibra	5cm - 10cm	9cm
5% fibra	5cm - 10cm	8cm

Figura 50

Asentamiento del concreto sin adición de fibra metálica



Figura 51

Asentamiento del concreto con adición de 1% de fibra metálica

**Figura 52**

Asentamiento del concreto con adición de 3% de fibra metálica



Figura 53

Asentamiento de concreto con adición de 5% de fibra metálica



4.8 Análisis y comparación de resultados obtenidos de las muestras ensayadas a compresión tracción y flexión

Para establecer una relación sobre las propiedades mecánicas del concreto se realizaron comparativos de los resultados arrojados en el laboratorio, esto se realizó con concreto sin fibra y con las diferentes dosificaciones con adición de fibra (1%, 3% y 5%), todos estos ensayos se realizaron siguiendo los criterios establecidos por la norma técnica colombiana.

4.8.1 Resultado del ensayo de resistencia a compresión

Este ensayo realizado a compresión nos permite evidenciar una reducción considerable en la resistencia con respecto al concreto sin adición de fibra lo que puede ser un aspecto desfavorable según el elemento para el cual se vaya a implementar este concreto, ver tabla 4.

Tabla 4

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días

Resistencia a la compresión con y sin fibra metálica (MPa) 7 días			
Muestra	Cilindro 1	Cilindro 2	Promedio
Sin fibra	23,5	21,61	22,56
1%	15,79	15,43	15,61
3%	15,21	14,46	14,84
5%	16,51	17,7	17,11

En la siguiente grafica se observa claramente el comportamiento generado por las diferentes adiciones de fibra al concreto, evidenciando la disminución de la resistencia a la compresión con respecto a nuestro concreto patrón.

Figura 54

Gráfico de resistencia a la compresión, resultados obtenidos a los 7 días (promedio)

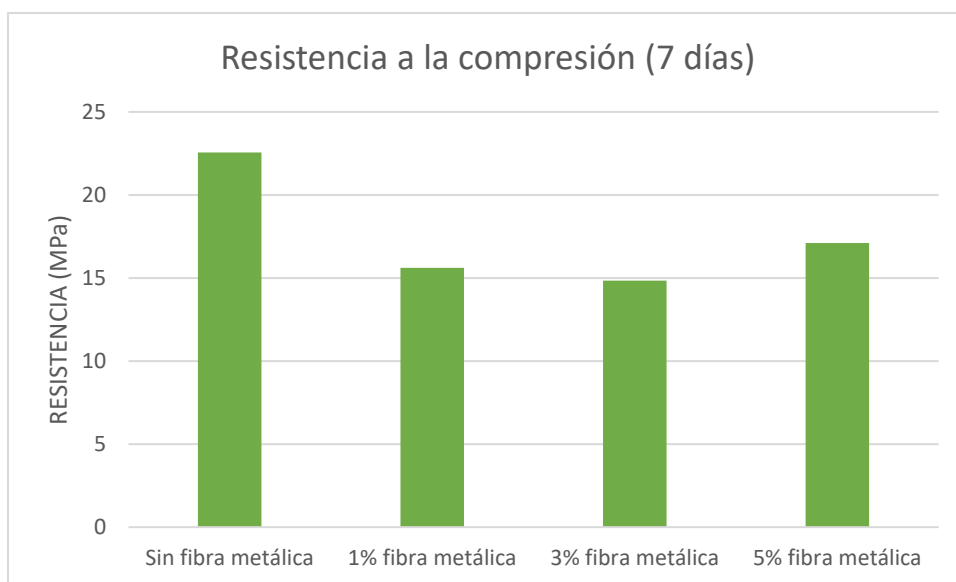
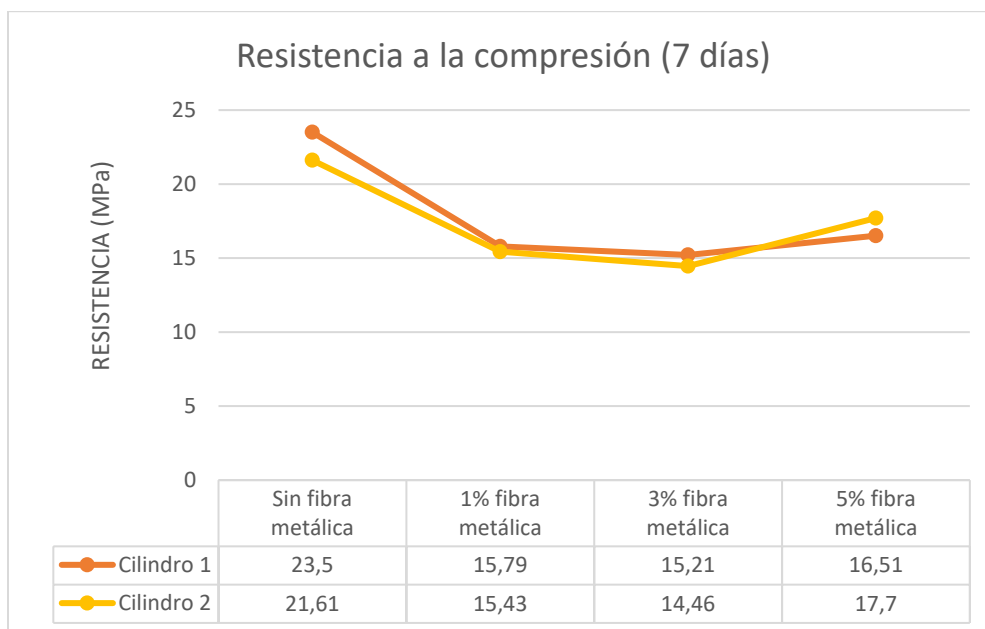


Figura 55

Gráfico de resistencia a la compresión resultados obtenidos a los 7 días



Evaluando la resistencia a la compresión a los 28 días podemos observar como la resistencia sigue dando menor en los concretos con las diferentes adiciones de fibra como sucedió con ensayos realizados a los 7 días.

Tabla 5

Resultado del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días

Resistencia a la compresión con y sin fibra metálica (MPa) 28 días							
Muestra	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6	Promedio
Sin fibra	34,31	32,99	29,73				32,34
1%	25,86	24,36	26,04	27,34	24,88	26,48	25,83
3%	23,48	25,38	25,63	24,67	25,08	28,12	25,39
5%	27,1	26,96	23,43	26,31	25,11	27,52	26,07

En la figura 56 se observa claramente el comportamiento generado por las diferentes adiciones de fibra al concreto, evidenciando la disminución de la resistencia a la compresión con respecto a nuestro concreto patrón, y analizando el concreto con adición de fibra el que mejor comportamiento presento es el del 5%.

Figura 56

Gráfico de resistencia a la compresión resultados obtenidos a los 28 días (promedio)

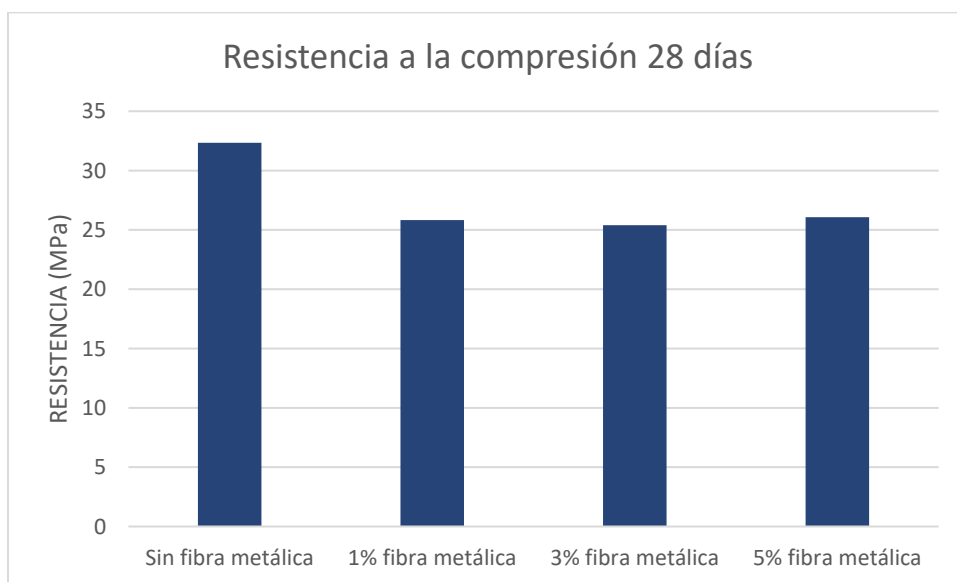
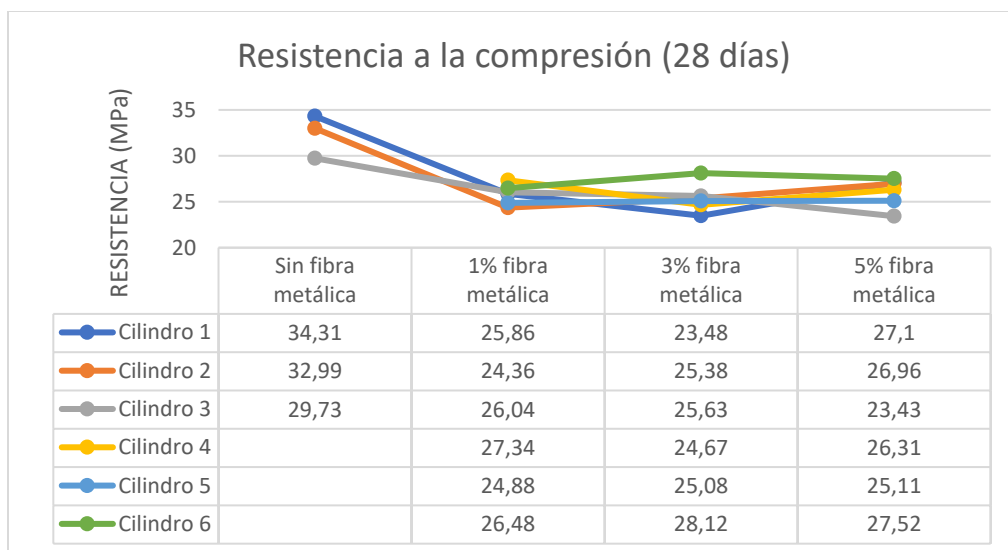


Figura 57

Gráfico de resistencia a la compresión resultados obtenidos a los 28 días



El resumen de fallas presentado en la tabla 6 nos permite ver con mas claridad el cambio que se presenta en el concreto sin fibra vs los concretos con adición de fibras, pasando de ser falla tipo E a falla tipo D, esto debido a que se genera un plano de falla en la sección transversal de la muestra el cual produce que se genere una falla por cortante.

Tabla 6

Resumen de fallas obtenidas por el ensayo de resistencia a la compresión

Fallas del ensayo de resistencia a la compresión 28 días				
Muestra	Sin fibra	1% fibra	3% fibra	5% fibra
Cilindro 1	E	E	D	E
Cilindro 2	E	D	D	D
Cilindro 3	E	D	D	D
Cilindro 4	-	D	D	D
Cilindro 5	-	D	D	E
Promedio	E	D	D	D

4.8.2 Resultado de ensayo de resistencia a tracción

Al contrario del ensayo a compresión en este se puede evidenciar un aumento en la resistencia a la tracción con un porcentaje de adición de fibra metálica del 5%, lo cual nos da viabilidad para poder contemplar el uso de esta fibra como refuerzo.

Tabla 7

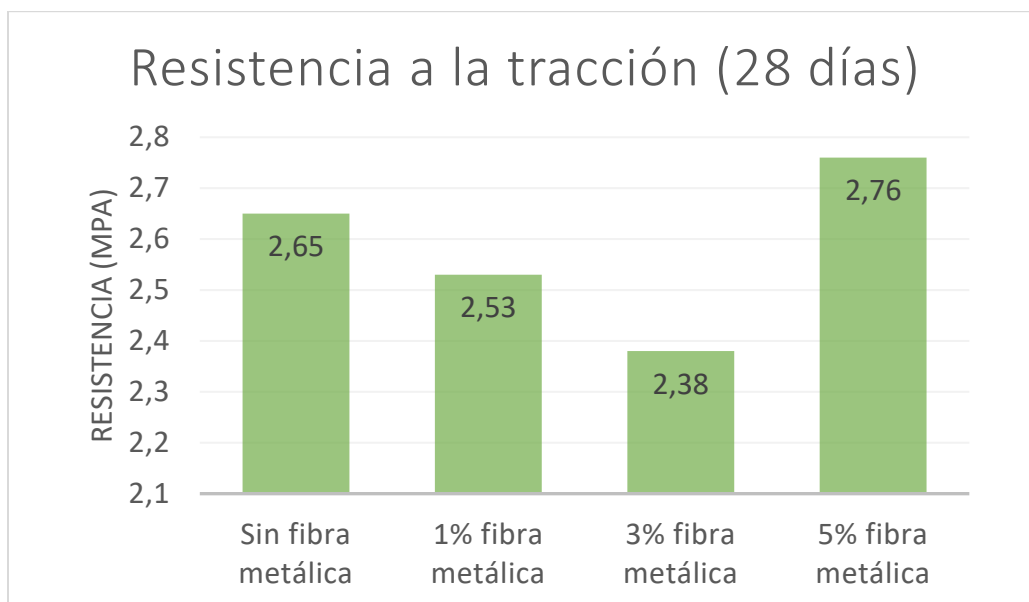
Resultados del ensayo de resistencia a la tracción

Resistencia a la tracción con y sin fibra metálica (MPa) 28 días						
Muestra	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Promedio
Sin fibra	2,56	2,87	2,42	2,41	2,98	2,65
1%	2,67	2,13	2,48	2,48	2,89	2,53
3%	2,64	2,29	2,44	2,27	2,28	2,38
5%	2,77	2,75	2,58	2,85	2,83	2,76

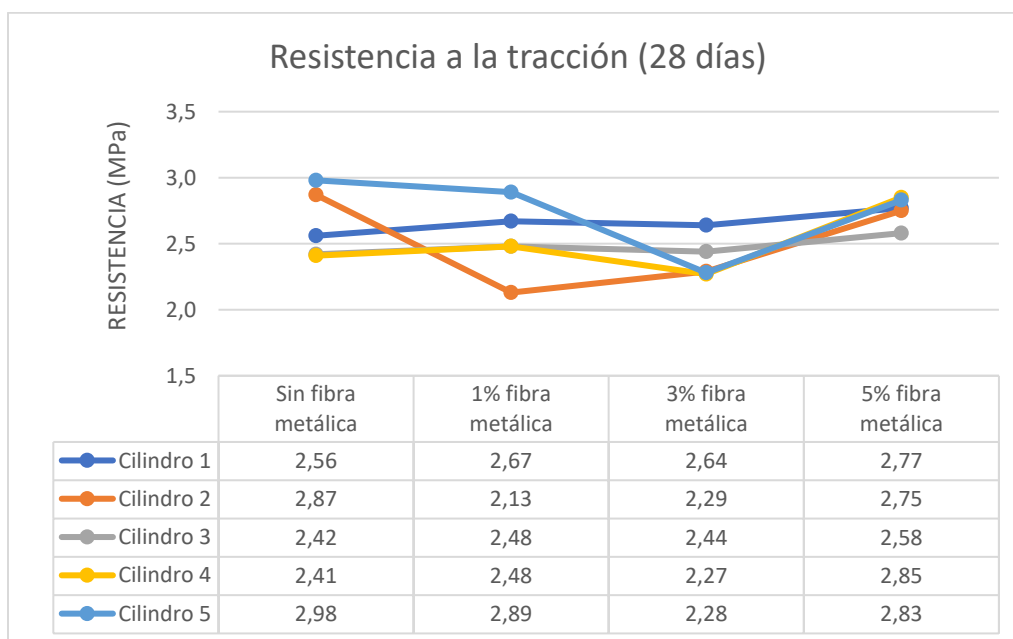
En la figura 58 se puede apreciar como la resistencia a la tracción con adición del 5% nos da mayor que la resistencia del concreto sin adición de fibra y muestra un comportamiento con respecto a la resistencia a la compresión, al aumentar el contenido de fibra la resistencia a la tracción sube y la resistencia a la tracción baja.

Figura 58

Grafica de resistencia a la tracción resultados obtenidos a los 28 días (Promedio)

**Figura 59**

Grafica de resistencia a la tracción resultados obtenidos a los 28 días



4.8.3 Ensayo a flexión

Al igual que el ensayo a tracción este tuvo un impacto positivo, ya que tuvo una disminución en la resistencia a la flexión del 2,7% lo cual es relativamente baja y está dentro del rango de margen de error de realización de los ensayos. Esto quiere decir que la fibra no tuvo un impacto negativo en cuanto a resistencia a la flexión y se puede implementar para mejorar las propiedades mecánicas del concreto usado en vigas.

Tabla 8

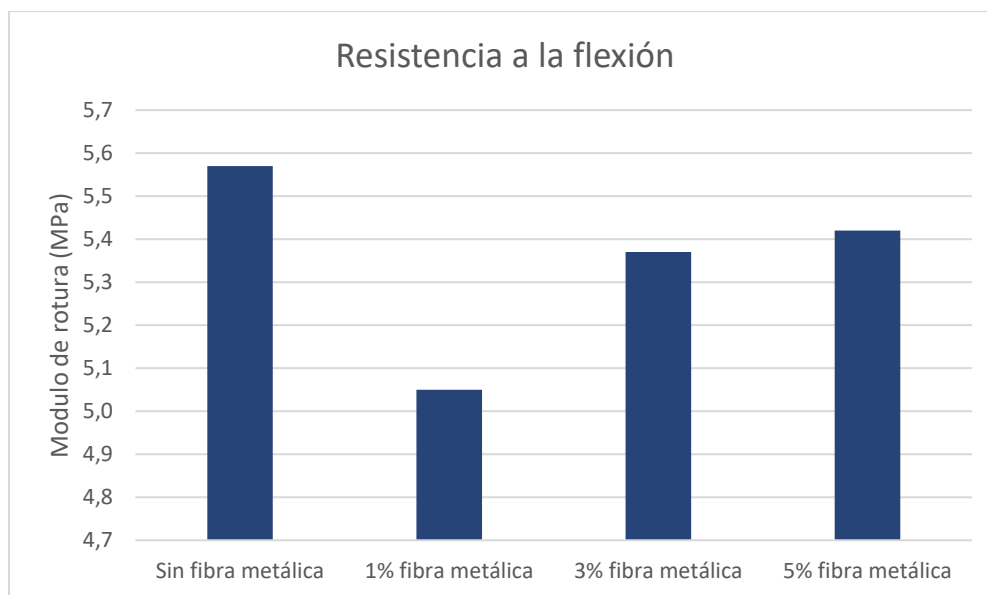
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión

Resistencia a la flexión con y sin fibra metálica (MPa) 28 días							
Muestra	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5	Viga 6	Promedio
Sin fibra	5,87	5,15	5,79	5,77	5,48	5,36	5,57
1%	5,05	4,97	4,78	5,1	5,19	5,2	5,05
3%	5,34	5,38	5,74	5,31	5,29	5,15	5,37
5%	5,52	6,06	5,25	5,67	5,11	4,9	5,42

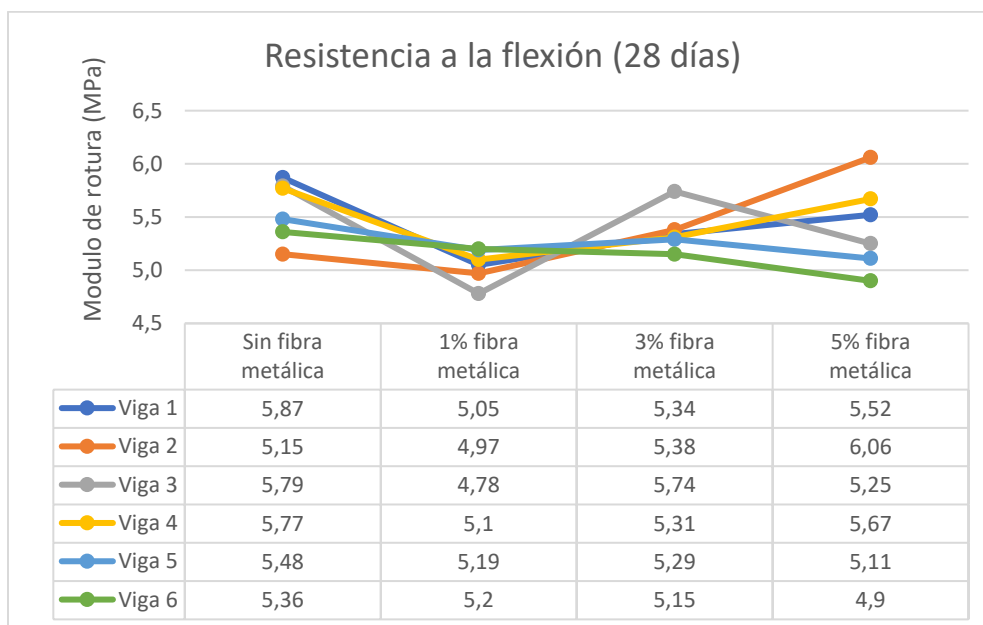
En la figura 60 se muestra el comportamiento en los resultados obtenidos de los ensayos a flexión, el cual nos muestra una pequeña reducción en el modulo de rotura, esto sumado a los efectos positivos con respecto a la fisuración.

Figura 60

Grafica de resistencia a la flexión resultados obtenidos a los 28 días (Promedio)

**Figura 61**

Grafica de resistencia a la flexión resultados obtenidos a los 28 días



En el resumen de fallas del ensayo a flexión se puede apreciar que se mantuvo una tendencia hacia la falla en el tercio medio de la viga, el cual es producido por esfuerzos de flexión, dando así un único cambio en las vigas que fue el mejoramiento en la fisuración ya que la fibra evita que estas fisuras se propaguen por todo el elemento.

Tabla 9

Resumen de fallas obtenidas en el ensayo de resistencia a la flexión

Fallas del ensayo de resistencia a la flexión 28 días				
Muestra	Sin fibra	1% fibra	3% fibra	5% fibra
Viga 1	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio
Viga 2	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio
Viga 3	Tercio medio	Tercio medio	B. Tercio medio	B. Tercio medio
Viga 4	Tercio medio	Tercio medio	B. Tercio medio	B. Tercio medio
Viga 5	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio
Viga 6	Tercio medio	B. Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio
Promedio	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio	Tercio medio

4.9 Análisis de variación del costo del concreto de 28 MPA sin fibra metálica y con adición de fibra metálica

Para evaluar la variación en el costo de producción para un metro cúbico de concreto, se realizó el estudio por medio del análisis de precios unitarios (A.P.U), para este análisis se tomó como referencia los precios actuales en el mercado de local. Para el análisis se tuvo en cuenta las dosificaciones de fibra metálica que se le adicionaron a la mezcla de concreto. El resultado del estudio se puede ver a continuación de la tabla 9 a la 12.

Tabla 10*Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa sin adición de fibra metálica*

APU CONCRETO DE 28 MPa SIN ADICION DE FIBRA METALICA				
1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Vr. Unitario
Cemento	UND	9	\$ 27.900,00	\$ 251.100,00
Arena	M3	0,54	\$ 55.000,00	\$ 29.700,00
Grava	M3	0,54	\$ 85.000,00	\$ 45.900,00
Agua	M3	0,195	\$ 1.170,00	\$ 228,15
				\$ 326.928,15
2. EQUIPO				
Descripción	Tipo	tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Mezcladora	Diesel 1 Bulto	\$ 9.875,00	1	\$ 9.875,00
H, menor	Global	\$ 2.000,00	1	\$ 2.000,00
				\$ 11.875,00
3. MANO DE OBRA				
Descripción	Jornal	Jornal + prest	Rendimiento	Vr. Unitario
1 Oficial	\$ 54.000,00	\$ 68.828,40	0,12	\$ 8.259,41
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
				\$ 0.495,57
TOTAL				\$ 359.298,72

Tabla 11*Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa con adición de 1% de fibra metálica*

APU CONCRETO DE 28 MPa CON ADICION DE 1% FIBRA METALICA				
1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Vr. Unitario
Cemento	UND	9	\$ 27.900,00	\$ 251.100,00
Arena	M3	0,54	\$ 55.000,00	\$ 29.700,00
Grava	M3	0,54	\$ 85.000,00	\$ 45.900,00
Agua	M3	0,195	\$ 1.170,00	\$ 228,15

Fibra 1%	KG	3,85	\$ 19.000,00	\$ 73.150,00
				\$ 400.078,15
2. EQUIPO				
Descripción	Tipo	tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Mezcladora	Diesel 1 Bulto	\$ 9.875,00	1	\$ 9.875,00
H. menor	Global	\$ 2.000,00	1	\$ 2.000,00
				\$ 11.875,00
3. MANO DE OBRA				
Descripción	Jornal	Jornal + prest	Rendimiento	Vr. Unitario
1 Oficial	\$ 54.000,00	\$ 68.828,40	0,12	\$ 8.259,41
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
				\$ 20.495,57
COSTO TOTAL				\$ 432.448,72

Tabla 12

Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa con adición de 3% de fibra metálica

APU CONCRETO DE 28 MPa CON ADICION DE 3% FIBRA METALICA				
1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Vr. Unitario
Cemento	UND	9	\$ 27.900,00	\$ 251.100,00
Arena	M3	0,54	\$ 55.000,00	\$ 29.700,00
Grava	M3	0,54	\$ 85.000,00	\$ 45.900,00
Agua	M3	0,195	\$ 1.170,00	\$ 228,15
Fibra 3%	KG	11,6	\$ 19.000,00	\$ 220.400,00
				\$ 547.328,15
2. EQUIPO				
Descripción	Tipo	tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Mezcladora	Diesel 1 Bulto	\$ 9.875,00	1	\$ 9.875,00
H. menor	Global	\$ 2.000,00	1	\$ 2.000,00
				\$ 11.875,00
3. MANO DE OBRA				
Descripción	Jornal	Jornal + prest	Rendimiento	Vr. Unitario
1 Oficial	\$ 54.000,00	\$ 68.828,40	0,12	\$ 8.259,41
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08

	\$ 20.495,57
COSTO TOTAL	\$ 579.698,72

Tabla 13

Análisis de precios unitarios para concreto de 28Mpa con adición de 5% de fibra metálica

APU CONCRETO DE 28 MPa CON ADICION DE 5% FIBRA METALICA				
1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Vr. Unitario
Cemento	UND	9	\$ 27.900,00	\$ 251.100,00
Arena	M3	0,54	\$ 55.000,00	\$ 29.700,00
Grava	M3	0,54	\$ 85.000,00	\$ 45.900,00
Agua	M3	0,195	\$ 1.170,00	\$ 228,15
Fibra 5%	KG	19,3	\$ 19.000,00	\$ 366.700,00
				\$ 693.628,15
2. EQUIPO				
Descripción	Tipo	tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
Mezcladora	Diesel 1 Bulto	\$ 9.875,00	1	\$ 9.875,00
H. menor	Global	\$ 2.000,00	1	\$ 2.000,00
				\$ 11.875,00
3. MANO DE OBRA				
Descripción	Jornal	Jornal + prest	Rendimiento	Vr. Unitario
1 Oficial	\$ 54.000,00	\$ 68.828,40	0,12	\$ 8.259,41
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
1 Ayudante	\$ 40.000,00	\$ 50.984,00	0,12	\$ 6.118,08
				\$ 20.495,57
				\$ 725.998,72
				\$ 725.998,72

Una vez analizado los costos de producción por metro cubico de concreto podemos observar el aumento progresivo a media que se adiciona más fibra al concreto, en las tablas 14 y 15 podemos apreciar con mas detalle estos valores, con los cuales podemos formar un criterio con respecto al costo beneficio.

Tabla 14*Resumen de resultado del análisis de precios unitarios*

Resultados del análisis de precios unitarios con y sin fibra metálica.	
Tipo de Muestra	Precio por metro cubico
Sin fibra	\$ 359,298
1%	\$ 432,438
3%	\$ 579,698
5%	\$ 725,998

Tabla 15*Relación de costo y resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, tracción y flexión*

Relación de resultados con y sin fibra metálica.				
Muestra	Costo m ³	R. Compresión	R. Tracción	R. Flexión
Sin fibra	\$ 359,298	32.34	2.65	5.57
1%	\$ 432,438	25.83	2.53	5.05
3%	\$ 579,698	25.39	2.38	5.37
5%	\$ 725,998	26.07	2.76	5.42

Conclusiones

En la actualidad el concreto es uno de los materiales más usados en el mundo de la construcción, es por esta razón que se ha venido desarrollado tecnologías que nos permiten elevar los estándares de calidad. Con nuevas tecnologías nos referimos a la adición de subproductos que permiten mejorar las características físico mecánicas del concreto.

Los agregados provenientes de la zona poseen buenas características mecánicas las cuales son ideales para proyectos de gran exigencia, además de esto presentan buen comportamiento al adicionarle este tipo de fibras ya que poseen uniformidad en su tamaño y cumplen las expectativas esperadas.

Los ensayos realizados con los diferentes porcentajes de fibra utilizados nos arrojaron disminuciones en la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión esto debido a que el uso principal de la fibra es para prevenir el agrietamiento, es esta una de la razón por la cual se ve un aumento considerable en la resistencia a la tracción.

Los precios para un metro cubico de concreto en comparación con sus respectivas dosificaciones con adición de fibra mostraron una diferencia progresiva a medida que se aumentaba el contenido de fibra, esto debido al alto costo de la fibra en el mercado, por esta razón se establece una relación beneficio costo la cual nos permite establecer un criterio para

escoger el porcentaje de fibra que se va a adicionar, buscando las características deseadas esto con el fin de mantener un equilibrio entre calidad y economía.

Recomendaciones

Adicionar las fibras junto con el agregado al interior de la mezcladora y dejar que esta se mezcle bien por un minuto aproximadamente.

Realizar una inspección visual para verificar que las fibras se hayan soltado correctamente y mezclado de una manera uniforme.

Para darle un uso correcto a este tipo de fibra se debe primero revisar las especificaciones técnicas del fabricante para evitar posibles errores.

Seguir con la investigación, probar su comportamiento aumentando los porcentajes de adición de fibra hasta alcanzar el porcentaje óptimo de uso.

Referencias

- Amaya, S., & Ramirez, M. (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23923/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ENTREGA%20FINAL.pdf>
- Caballero , K. (2017). Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas. *Prisma Tecnológico*, 18-24. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234019838.pdf>
- Campoy, et al. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. *Ingeniería, investigación y tecnología*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432021000100007&script=sci_arttext
- Ccopa, R., & Soto, E. (2018). *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra metálica*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8155>
- CEMEX. (2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?* Obtenido de [https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%C3%ADstica%20mec%C3%A1nica,por%20pulgada%20cuadrada%20\(psi\)](https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%C3%ADstica%20mec%C3%A1nica,por%20pulgada%20cuadrada%20(psi))).

Chan, et al. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto.

Ingeniería 7-2, 39-46. Obtenido de

<https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>

Fibrasplast Concreto. (2019). *Macrofibras sintéticas para el concreto*. Obtenido de

https://www.abacol.co/assets/fibraplas-concreto_libro_baja.pdf

Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Bogotá D.C:

Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

Hop, J., & Tatnall, P. (2018). *Mitos y realidades sobre el concreto reforzado con fibras*

metálicas. Obtenido de <http://www.imcyc.com/cyt/agosto03/metalias.htm>

Juarez, C. (2002). *Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave*

lecheguilla), como materiales para construcción en México. México: Universidad

Autónoma de Nuevo León.

León, M. (2020). *Análisis en probetas de concreto con barras de refuerzo y fibras metálicas*.

Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/39439/BONETLEONMIGUELANGEL2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Reglamento colombiano de construcción Sismo Resistente*. Bogotá: Asociación colombiana de ingeniería sísmica.

Obtenido de

<https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/3titulo-c-nsr-100.pdf>

National Ready Mixed Association. (2016). *resistencia a la flexión del concreto*. Colorado:

NRMCA. Obtenido de <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>

Osorio, J. (2011). *Blog 360 grados en Concreto*. Obtenido de

<http://blog.360gradosenconcreto.com/que-es-el-modulo-de-elasticidad-en-el-concreto/>

PSI Concreto. (26 de Junio de 2020). *PSI*. Obtenido de <https://psiconcreto.com/fibra-de-acero/>

Quintana, C. (2013). *Generalidades del concreto*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/chechojacomemanzano/clase-2-generalidades-sobre-el-concreto>

Quintero, Y., & Castro, H. (2020). *Influencia de las fibras metálicas, naturales (Bagazo de caña de azúcar), sintéticas y de vidrio en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander. Obtenido de

<http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/361>

Rodríguez, D. (2019). *Análisis del comportamiento mecánico de adoquines bicapa de concreto con adicción de cenizas volantes y viruta de acero como refuerzo*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander.

SIKA. (2019). *Fisuras en el concreto reforzado*. Obtenido de

[https://col.sika.com/dms/getdocument.get/50ba5246-de4a-3dbe-8662-](https://col.sika.com/dms/getdocument.get/50ba5246-de4a-3dbe-8662-918382523e35/BROCHURE%20FISURAS%20EN%20EL%20CONCRETO%20REFORZADO.pdf)

[918382523e35/BROCHURE%20FISURAS%20EN%20EL%20CONCRETO%20REFORZADO.pdf](https://col.sika.com/dms/getdocument.get/50ba5246-de4a-3dbe-8662-918382523e35/BROCHURE%20FISURAS%20EN%20EL%20CONCRETO%20REFORZADO.pdf)

Silva, O. (2020). *Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla del concreto*.

Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

Soluciones en concreto. (2020). *Usos de la Fibra de Acero / Metálica*. Obtenido de

<https://www.ctres.mx/blog/usos-de-la-fibra-de-acero-slash-metalica/>

Urriago, et al. (2020). *Evaluación del comportamiento del concreto reforzado con fibras de*

acero (Dramix) frente al reforzado con fibras PET. Girardot: Universidad Piloto de

Colombia. Obtenido de

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/7457/Monografia%20Fibral%202020..pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Apéndice

Apéndice A. Diseño de mezclas por el método American concrete institute (ACI)

DATOS:

- Resistencia a la compresión a los 28 días de 28 MPa
- TMN: $\frac{3}{4}$ " (19mm).
- Masa unitaria compacta agregado grueso: MUC: 1570 Kg/m³
- Densidad aparente del agregado grueso: 2437.7 Kg/m³
- Absorción del agregado grueso: 1.3%
- Humedad del agregado grueso: 0.42%
- Módulo de finura del agregado fino: 3.68
- Densidad aparente del agregado fino: 2650 Kg/m³
- Absorción del agregado fino: 1.84%
- Humedad del agregado fino: 1.47%
- Tipo de cemento: Portland tipo 1 con una densidad de 2700 Kg/m³

1. Elección de asentamiento (tabal 11.1) = 5-10 (cm)
2. Elección del TMN=3/4". (19mm)
3. Estimación del contenido de aire=2.0
4. Estimación de cantidad de agua de mezclado (tabla 11.2) =185 lts
5. Estimación de relación agua /cemento = 0.48

6. Cálculo del contenido de cemento=

$$C = \frac{185}{0.48} = 385.41 \text{Kg/m}^3$$

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{385.41}{2700} = 0.14 \text{ m}^3$$

7. Verificación de los agregados (NTC 174)

Los agregados no cumplen

8. De acuerdo al método gráfico, la mezcla estará compuesta por la siguiente proporción de agregados, 50 % arena y 50 % grava

El volumen de los agregaos por metro cubico es:

$$V_{\text{agregado}} = 1 - (0.14 + 0.185 + 0.02) = 0.655 \text{m}^3$$

9. Densidad promedio

$$D_{prom} = (\%f) * (df) + (\%g) * (dg)$$

$\%f$ = porcentaje de agregado fino

df = densidad aparente agregado fino

$\%g$ = porcentaje agregado grueso

dg = densidad aparente agregado grueso

$$D_{prom} = (0.51 * 2650) + (0.49 * 2437.7) = 2545.9 \text{ Kg/m}^3$$

10. Pesos de agregado grueso y fino

Peso agregado grueso.

$$Wg = (d_{prom}) * (vt) * (\%g)$$

$$Wg = (2545.9) * (0.655) * (0.50) = 833.78 \text{ Kg/m}^3$$

Peso agregado fino.

$$Wf = (d_{prom}) * (vt) * (\%f)$$

$$Wf = (2545.9) * (0.655) * (0.50) = 833.78 \text{ Kg/m}^3$$

Ajuste por humedad

$$Wg = (833.78) * (1 + 0.0042) = 837.28 \text{ Kg/m}^3$$

$$Wf = (833.78) * (1 + 0.0147) = 846.04 \text{ Kg/m}^3$$

Agua en exceso

Para el agregado grueso:

$$837.528 * (0.0042 - 0.013) = -7.36 \text{ Kg}$$

Para el agregado fino:

$$846.04 * (0.0147 - 0.0184) = -3.13 \text{ Kg}$$

$$A = -7.36 - 3.13 = -10.49 \text{ Kg}$$

La cantidad de agua total para la mezcla será de:

$$185 \text{ Lt} - (-10.49) \text{ Lt} = 195.49 \text{ Lt}$$

CANTIDADES PARA 1 M3

MATERIAL	PESO (KG/M3)	DENSIDAD (KG/M3)	VOLUMEN (M3/M3)	AJUSTES POR HUMEDAD (KG/M3)
CEMENTO	385.4	2700	0.120	385.4
AGUA	185.0	1000	0.185	195.5
AIRE	0.00	0.00	0.020	0.00
GRAVA	833.8	2437.7	0.370	837.3
ARENA	833.8	2650.0	0.370	846.0
TOTAL	2237.9		1	2264.2

Dosificación para masa seca.

Cemento (Kg)	Arena (Kg)	Triturado (Kg)
1.0	2.2	2.2

FIBRA METALICA:

Estos pesos para la cantidad de fibra son tomados de los porcentajes 1%, 3%, 5% del peso total del cemento producto del diseño de mezcla.

$$1\% = 0.52 \text{ Kg}$$

$$3\% = 1.57 \text{ Kg}$$

$$5\% = 2.61 \text{ Kg}$$

Volumen vigas y cilindros

Cilindros

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 0.075^2 * 0.3$$

$$V = 0.0053 \text{ m}^3$$

Vigas

$$V = 0.54 * 0.15 * 0.15$$

$$V = 0.01215 \text{ m}^3$$

1. Ensayo de Granulometría (Especificaciones técnicas del INVIAS para los agregados, sección 200, ensayo E-213)

1.1 Agregado Grueso

Equipos:

- Balanza
- Tamices
- Horno

Muestra:

La muestra se seleccionó aleatoriamente del material para el proyecto, se redujo la muestra según lo estipulado en la norma específicamente en el ensayo E-202.





Según las especificaciones técnicas del INVIAS la masa mínima del agregado grueso para el análisis granulométrico depende el tamaño máximo nominal. Como se indica en la siguiente tabla

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS MM (PG)	MASA MINIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO Kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 ½)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2 ½)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3 ½)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
125.0 (5)	300 (660)

Después de hacer el cuarteo la muestra se procede a tamizar (manualmente) determinando la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando la balanza.



Del anterior procedimiento se obtuvo los siguientes datos:

- ✓ Peso de la muestra: 5000 gr

Tamiz	Peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1"	190	3.8	3.8	96.2
¾"	4045	80.9	84.7	11.3
½"	751	15.02	99.72	0.28
3/8"	13	0.26	99.98	0.02
N° 4	1	0.02	100	0
5000				

Con los valores se determinó:

- ✓ TMN del agregado es ¾"

1.1. Agregado Fino

Equipos:

- ✓ Balanza
- ✓ Tamices
- ✓ Horno

Muestra:

La masa mínima para realizar el ensayo debe ser de 300 gr





Al igual que con el agregado grueso se procede a tamizar (manualmente) determinando la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando la balanza.

Del anterior procedimiento se obtuvo los siguientes datos:



✓ Peso muestra: 999.99 gr

Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
N° 4	167.13	16.71	16.71	3.4
N° 8	174.58	17.46	34.17	65.83
N° 16	192.46	19,25	53.42	46.58
N° 30	225.43	22.54	75.96	24.04
N° 50	150.20	15.02	90.98	9.02
N° 100	65.69	6.57	97.55	2.45
Fondo	24.5	2.45	100	0

- Módulo de finura:

$$MF = \frac{16.71 + 34.17 + 53.42 + 75.96 + 90.98 + 97.55}{100} = 3.68$$

2. Masa Unitaria Compacta (Especificaciones técnicas del INVIAS para los agregados, sección 200, ensayo E 217-9)

Equipos

- ✓ Balanza
- ✓ Varilla compactadora
- ✓ Recipiente de medida
- ✓ Pala o cucharón

Muestra:

La muestra se seleccionó aleatoriamente del material para el proyecto, se redujo la muestra según lo estipulado en la norma específicamente en el ensayo E-202.

Después de haber cuarteado la muestra se selecciona la masa mínima para realizar el ensayo, esta debe ser aproximadamente 125% a 200% la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida. Y se debe manejar evitando la segregación



Obtenida la muestra, el agregado de debe colocar en el recipiente, en tres capas aproximadamente iguales, hasta colmarlo. Cada capa se debe apisonar con 25 golpes de la varilla teniendo cuidado de no tocar el fondo de recipiente con la varilla, se enraza la superficie y se determina la masa del recipiente lleno y vacío.



Del anterior procedimiento se obtuvieron los siguientes datos:

- ✓ Masa del recipiente de medida: 5963 gr
- ✓ Masa del agregado + el recipiente de medida: 9211 gr
- ✓ Diámetro del recipiente: 15 cm
- ✓ Altura del recipiente: 11.7 cm
- ✓ Volumen del recipiente de medida: $\pi * r * h = \pi * (7.5^2) * 11.7 = 2067.6 \text{ cm}^3$

Se calcula la masa unitaria compacta (MUC) con la siguiente expresión:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M: Masa unitaria compacta

G: Masa del agregado + el recipiente de medida.

T: Masa del recipiente de medida.

V: Volumen del recipiente de medida.

$$M = \frac{9211 - 5963}{2067.6} = 1.57 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$1.57 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * \left(\frac{1 \text{Kg}}{1000 \text{gr}} \right) * \left(\frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} \right)^3 = 1570 \text{ Kg/m}^3$$

$$MUC = 1570 \text{ Kg/m}^3$$

**3. GRAVEDA ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS (I.N.V. E-128-07;
I.N.V.E -223-07).**

La cantidad mínima de muestra a utilizar se define en la siguiente tabla No. 9, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del suelo.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	MASA MINIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO Kg (lb)
Hasta 12.5	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50.0 (2)	8 (17.6)
63.0 (2 ½)	12 (26.4)
75.0 (3)	18 (39.6)
90.0 (3 ½)	25 (55)
100.0 (4)	40 (88)
112.0 (4 ½)	50 (110)
125.0 (5)	75 (165)
150.0 (6)	125(275)

EQUIPOS DE LABORATORIO

- Tamiz #4 o #8
- Balanza mecánica
- Recipiente metálico (tara)

- Paño absorbente
- Balanza digital

Realizamos el cuarteo de la muestra



Después de pasarla por el tamiz #4 limpiamos impurezas y la dejamos sumergida en agua por +- 24 horas





Después de pasadas las 24 horas secamos superficialmente la muestra y la pesamos



Peso sumergido agregado grueso



Secamos la muestra en el horno por 24 horas



Cálculos gravedad específica aparente

$$Gsb = \frac{A}{A - C}$$

$$\% \text{ absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

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

C= masa sumergida en agua de la muestra saturada

$$A = 1841.2 \text{ gr}$$

$$B = 1865.1 \text{ gr}$$

$$C = 1085.9 \text{ gr}$$

$$G_{sb} = \frac{1841.2}{1841.2 - 1085.9} * 1000 = 2437.7 \text{ Kg/m}^3$$

$$\% \text{ absorción} = \frac{1865.1 - 1841.2}{1841.2} * 100 = 1.3\%$$

4. GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS FINOS, METODO DE VACIO (NTC1974; I.N.V. E-129-07; I.N.V. E-222-07)

EQUIPOS DE LABORATORIO

- Balanza con sensibilidad a 0.01 gr
- Recipiente para depositar la muestra (tara)
- Equipo para vacío (mesa vibratoria, bomba y recipiente de vacío)
- Espátula
- Tamiza de 4.76 mm (#4)
- 3 picnómetros
- Agua destilada
- Embudo
- Manguera

La gravedad específica para la fracción fina deberá calcularse para cada picnómetro de tal forma que la gravedad del suelo sea el promedio de estos valores

$$G_s = \frac{W_s * K}{W_s + W_a - W_b}$$

Donde:

W_a = masa del picnómetro mas agua a la temperatura del ensayo de gravedad especifica (g)

W_s = masa del suelo seco (g)

W_b = masa del picnómetro + agua + suelo (g), a la temperatura del ensayo

K = factor de corrección basado en la densidad del agua a 20C, para expresar la gravedad especifica a 20C.



$$G_s = 2650$$

$$\% \text{absorción} = 1.84 \%$$

5. Humedad de los agregados

5.1. Agregado Grueso:

Equipos:

✓ Balanza

✓ Horno

Muestra:

La masa mínima para realizar el ensayo debe ser de 1000 gr.

Datos:

- Peso tara: 34.57



- Peso muestra húmeda : 1000.02



- Peso muestra seca al horno por ± 24 h + tara: 1030.42 gr



- Peso muestra húmeda- tara: 1000 gr
- Peso muestra seca al horno- tara: 995.85 gr

$$\%W = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

$$\% W = \frac{1000 - 995.85}{995.85} * 100 = 0.42$$

6. Agregado Fino:

Equipos:

- Balanza
- Horno

Muestra:

La masa mínima para realizar el ensayo debe ser de 300 gr.

Datos:

- Peso tara: 196.12 gr



- Peso muestra húmeda : 1000gr



- Peso muestra seca al horno por $\pm 24h$ + tara: 1157 gr



- Peso muestra húmeda- tara: 1000 gr
- Peso muestra seca al horno- tara: 985.49 gr

$$\%W = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

$$\% W = \frac{1000 - 985.49}{985.49} * 100 = 1.47$$