

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO
REFORZADO CON FIBRAS**

**SANTIAGO AMAYA ALARCÓN
MIGUEL ANGEL RAMIREZ ZAPATA**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2019**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO
REFORZADO CON FIBRAS**

**SANTIAGO AMAYA ALARCÓN
MIGUEL ANGEL RAMIREZ ZAPATA**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Directora
INGRID SILVA ROJAS
Ingeniera civil**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

**Directora de investigación
Ing. Ingrid Silva Rojas**

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 29, abril, 2019

Queremos agradecer a todos los docentes y profesionales de la Universidad Católica de Colombia, que a lo largo de la carrera estuvieron apoyándonos y enseñándonos muchas cosas valiosas que enriquecen nuestra formación profesional. A la ingeniera Ingrid Silva Rojas, quien nos asesoró, nos guio y ayudó para que este proyecto investigativo se llevara a cabo.

AGRADECIMIENTOS

Empezamos por agradecerle a la vida por habernos puesto en el camino correcto, al tomar la decisión de estudiar esta maravillosa carrera, por permitirnos aprender muchas cosas valiosas tanto a nivel profesional como personal. A nuestras familias, por su apoyo incondicional, saber que contamos con ellos para todo es gratificante. Queremos agradecerles a amigos y profesores que estuvieron a nuestro lado ayudándonos ante cualquier inconveniente o dificultad, a la ingeniera Ingrid Silva, por todo lo que como persona tiene para ofrecer, por asesorarnos y guiarnos en este proceso, al ingeniero Camilo Higuera por toda su ayuda y su calidad de persona. A todos muchas gracias por permitir que esto sea posible

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO.....	16
INTRODUCCION.....	20
1. GENERALIDADES	22
1.1. ANTECEDENTES.....	22
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	27
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	28
1.4. OBJETIVOS.....	30
1.4.1. Objetivo general.....	30
1.4.2. Objetivos específicos	30
1.5. ALCANCES	31
1.6. LIMITACIONES.....	31
1.7. DELIMITACIONES.....	32
1.7.1. Espacio	32
1.7.2. Tiempo.....	32
1.7.3. Contenido	32
1.8. MARCO REFERENCIA.....	33
1.8.1. Marco teórico	33
1.8.2. Marco conceptual.....	38
1.8.3. Marco normativo	42
1.8.4. Estado del arte.....	43
1.9. METODOLOGIA	45
2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	47
2.1. CEMENTO.....	47

2.2. AGREGADOS.....	47
2.3. FIBRAS.....	48
2.3.1. Acero	49
2.3.2. PET.....	50
2.3.3. Fibra de vidrio	51
2.3.4. Cáñamo	52
3. DISEÑO DE MEZCLA.....	54
4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....	57
5. RESULTADOS ENSAYOS	60
5.1. ENSAYOS A COMPRESIÓN	60
5.2. ENSAYOS A FLEXIÓN.....	65
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
7. CONCLUSIONES	82
8. RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFIA.....	85
ANEXOS.....	89

TABLA DE GRÁFICAS

<i>Grafica 1. Curva de esfuerzo de cilindros de concreto.</i>	61
<i>Grafica 2. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de acero.</i>	62
<i>Grafica 3. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de tereftalato de polietileno (PET).</i>	63
<i>Grafica 4. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de vidrio.</i>	64
<i>Grafica 5. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de cáñamo.</i>	65
<i>Grafica 6. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de acero vs concreto normal.</i>	70
<i>Grafica 7. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de acero vs concreto normal.</i>	71
<i>Grafica 8. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de PET vs concreto normal.</i>	72
<i>Grafica 9. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de PET vs el módulo de rotura del concreto normal.</i>	74
<i>Grafica 10. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de vidrio vs concreto normal.</i>	75
<i>Grafica 11. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de vidrio vs el módulo de rotura del concreto normal.</i>	76
<i>Grafica 12. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de cáñamo vs el concreto normal.</i>	77
<i>Grafica 13. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de cáñamo vs el módulo de rotura del concreto convencional.</i>	78
<i>Grafica 14. Comparación de las curvas de esfuerzo de los cilindros de concreto.</i>	79
<i>Grafica 15. Comparación del módulo de rotura de las muestras totales de vigas.</i>	81

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Ensayo a flexión en vigas a tercios medios de la luz</i>	37
<i>Ilustración 2. Muestra de fibras de acero.</i>	57
<i>Ilustración 3. Muestra de fibras de PET.</i>	57
<i>Ilustración 4. Muestra de fibras de vidrio.</i>	57
<i>Ilustración 5. Muestra de cáñamo virgen, sin ningún tipo de tratamiento.</i>	57
<i>Ilustración 6. Muestra de fibras de cáñamo tratadas con cal.</i>	57
<i>Ilustración 7. Ensayo de asentamiento.</i>	58
<i>Ilustración 9. Modelos de fractura típicos en cilindros de concreto.</i>	69

TABLA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Normatividad para ensayos técnicos e implementación de materiales.</i> ...	42
<i>Tabla 2. Información técnica para un cemento Súper resistente.</i>	47
<i>Tabla 3. Información general de los agregados utilizados.</i>	48
<i>Tabla 4. Cálculo de peso requerido para cada fibra.</i>	49
<i>Tabla 5. Especificaciones técnicas de los tipos de fibras Dramix.</i>	50
<i>Tabla 6. Información técnica comparativa para fibraplas concrete.</i>	51
<i>Tabla 7. Información técnica comparativa para fibraplas concrete.</i>	53
<i>Tabla 8. Especificaciones necesarias para el diseño de mezcla por el método ACI</i>	55
<i>Tabla 9. Pesos y volúmenes para 1 m³ de concreto.</i>	55
<i>Tabla 10. Volumen de concreto para 35 cilindros y 10 vigas.</i>	55
<i>Tabla 11. Volumen de concreto para 7 cilindros y 2 vigas.</i>	56
<i>Tabla 12. Pesos y volúmenes para 7 cilindros y 2 vigas.</i>	56
<i>Tabla 13. Asentamiento obtenido en laboratorio.</i>	59
<i>Tabla 14. Densidades de macrofibras y peso utilizado.</i>	59
<i>Tabla 15. Especificaciones de los cilindros sin reforzamiento.</i>	60

<i>Tabla 16. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros sin reforzamiento ..</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 17. Especificaciones cilindros con reforzamiento de fibras de acero</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 18. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de acero</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 19. Especificaciones cilindros con reforzamiento de fibras de PET</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 20. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de PET</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 21. Especificaciones cilindros con reforzamiento de fibras de fibra de vidrio</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 22. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de fibras de fibra de vidrio</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 23. Especificaciones cilindros reforzados con fibras de cáñamo</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 24. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de fibras de cáñamo</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 25. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas de concreto</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 26. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de acero</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 27. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de PET</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 28. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de vidrio</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 29. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de cáñamo</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 30. Comparación de resultados de compresión.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 31. Comparación de resultados de flexión.</i>	<i>80</i>


TABLA DE ANEXOS

<i>Figura 1. Prueba del cono de Abrams para concreto convencional.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 2. Prueba del cono de Abrams para concreto reforzado con fibras de PET.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3. Prueba del cono de Abrams para concreto reforzado con fibras de vidrio.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 4. Prueba del cono de Abrams para concreto reforzado con fibras de cáñamo.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 5. Adición de fibras de PET en la mezcla de concreto.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6. Adición de fibras de vidrio en la mezcla de concreto.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 7. Adición de fibras de cáñamo en la mezcla de concreto.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 8. Muestra de concreto. C5 - 28 días.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 9. Muestra de concreto. C6 - 28 días.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 10. Viga de concreto. VC2 - 28 días.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 11. Muestras de concreto reforzado con fibras de acero. FA5 - 28 días. ...</i>	<i>91</i>
<i>Figura 12. Muestras de concreto reforzado con fibras de acero. FA6 - 28 días. ...</i>	<i>91</i>
<i>Figura 13. Viga de concreto reforzado con fibras de acero VA2 - 28 días.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 14. Muestra de concreto reforzado con fibras de PET. FP5 - 28 días.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 15. Muestra de concreto reforzado con fibras de PET. FP6 - 28 días.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 16. Viga de concreto reforzado con fibras de PET. VFP2 - 28 días.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 17. Muestra de concreto reforzado con fibras de vidrio. FV5 - 28 días.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 18. Muestra de concreto reforzado con fibras de vidrio. FV6 - 28 días.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 19. Viga de concreto reforzado con fibras de vidrio. VFV2 - 28 días.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 20. Muestra de concreto reforzado con fibras de cáñamo. FC5 - 28 días. .</i>	<i>94</i>
<i>Figura 21. Muestra de concreto reforzado con fibras de cáñamo. FC6 - 28 días. .</i>	<i>94</i>
<i>Figura 22. Viga de concreto reforzado con fibras de cáñamo. VFC2 - 28 días.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 23. Muestras de concreto sumergidas en tanque para curado.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 24. Cilindro de concreto convencional C1 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>95</i>

<i>Figura 25. Cilindro de concreto convencional C2 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 26. Cilindro de concreto convencional C3 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 26. Cilindro de concreto convencional C4 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 27. Cilindro de concreto convencional C5 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 28. Cilindro de concreto convencional C6 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 29. Viga de concreto convencional después de ensayo a flexión. VC1 - 14 días.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 30. Viga de concreto convencional después de ensayo a flexión. VC2 - 28 días.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 31. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA1</i>	<i>97</i>
<i>Figura 32. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA2</i>	<i>97</i>
<i>Figura 33. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA3</i>	<i>98</i>
<i>Figura 34. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA4</i>	<i>98</i>
<i>Figura 35. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA5</i>	<i>98</i>
<i>Figura 36. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA6</i>	<i>98</i>
<i>Figura 37. Viga de concreto reforzada con fibras de acero después de ensayo a flexión. VA1 - 14 días.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 38. Viga de concreto reforzada con fibras de acero después de ensayo a flexión. VA2 - 28 días.....</i>	<i>99</i>

<i>Figura 39. Cilindro de concreto reforzado con fibras de PET. FP1 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 40. Cilindro de concreto reforzado con fibras de PET. FP2 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 41. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP3 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 42. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP4 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 43. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP5 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 44. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP6 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 45. Viga de concreto reforzado con fibras de PET. VFP1 - 14 días</i>	<i>101</i>
<i>Figura 46. Viga de concreto reforzado con fibras de PET. VFP2 - 28 días</i>	<i>101</i>
<i>Figura 47. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV1 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 48. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV2 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 49. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV3 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 50. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV4 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 51. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV5 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 52. Cilindro de concreto reforzado con fibra de vidrio FV6 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 53. Viga de concreto reforzado con fibras de vidrio. VFV1 - 14 días.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 54. Viga de concreto reforzado con fibras de vidrio. VFV2 - 28 días.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 55. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC1 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>103</i>

<i>Figura 56. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC2 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 57. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC3 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 58. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC4 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 59. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC5 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 60. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC6 después de ensayo a compresión.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 61. Viga de concreto reforzado con fibras de cáñamo después de ensayo a flexión. VFC1 - 14 días.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 62. Viga de concreto reforzado con fibras cáñamo después de ensayo a flexión. VFC2 - 28 días.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 63. Curva granulométrica de agregados finos.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 64. Curva granulométrica de agregados gruesos.</i>	<i>106</i>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

GLOSARIO

- **Acero:** Es una aleación formada de hierro y una cantidad de carbono, además de algunos otros elementos en menor proporción. El acero presenta diversas propiedades como la ductilidad, dureza, resistencia y maleabilidad¹.

- **Calor de hidratación:** Es el calor que se produce por la hidratación de las partículas de cemento durante el fraguado del concreto².

- **Cáñamo para la construcción:** El cáñamo es una variación del cannabis, y se le conoce particularmente con este nombre a la fibra que se obtiene de ella. Esta fibra es utilizada en textiles y en la construcción. En la construcción se ha utilizado desde hace cientos de años como agregado en el mortero³.


- **Concreto:** Es una mezcla de agregados finos y gruesos (grava y arena), agua y cemento que al mezclarse y solidificarse adquiere propiedades pétreas. Su mayor característica es la resistencia a la compresión, que varía dependiendo la mezcla.

- **Concreto reforzado:** Concreto que se refuerza con barras o mallas de acero, de tal manera que el elemento y el concreto actúen conjuntamente para resistir las cargas que se le apliquen. El concreto no es bueno para resistir tensiones, por lo tanto, se emplea un refuerzo con el fin de cubrir las zonas donde se calcula que se desarrollarán. Todo esto se especifica en la norma NSR-10 en los capítulos C.1 al C.21.

¹ MIPSAs, Expertos procesando metales. “¿Que es el acero?”. Disponible en <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Que-es-el-acero>.


² ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN, Diccionario. “Definición de calor de hidratación”. Septiembre de 2018.

³ CANNABRIC. BRUMMER, Monika. “El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas”. Mayo 15.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

- **Concreto reforzado con fibras:** Es un concreto que se refuerza con fibras, generalmente de acero, pero también de otros materiales, dispersas y orientadas aleatoriamente, donde los esfuerzos de tensión se distribuyen entre las fibras. En el título C de la norma NSR-10, se presentan unas consideraciones para su cumplimiento.
- **Curado:** Es el proceso en el cual se busca mantener un adecuado nivel de humedad y temperatura en la mezcla de concreto durante su proceso de hidratación, con el objetivo de que se desarrollen adecuadamente las propiedades para las que fueron diseñadas.
- **Ductilidad:** Es la propiedad que presentan ciertos materiales, para deformarse sin llegar a romperse ante la acción de una fuerza aplicada.
- **Durabilidad:** Es la habilidad que posee un material para resistir, conservar su forma y condiciones iniciales, frente a determinadas circunstancias como lo son los agentes químicos, la intemperie o cualquier proceso que le produzca un deterioro⁴.
- **Fibra de vidrio:** Es un conjunto de hebras muy finas de vidrio entrelazadas en diferentes formas, para formar una tela o malla. Tiene la propiedad de resistir efectivamente frente al calor extremo. Se utiliza como aislante o como refuerzo para plásticos.
- **Fraguado:** Es el proceso que tiene el concreto de endurecimiento y pérdida de plasticidad. Se desarrolla con el tiempo, mediante diferentes velocidades de

⁴ GEEKS, Civil. "Durabilidad del concreto". Disponible en <https://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-concreto/>.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

reacción un calor de hidratación y esto da origen al endurecimiento y aglutinamiento del agregado⁵.

- **Macrofibras:** Son fibras metálicas, sintéticas o naturales, que a diferencia de las microfibras presentan un diámetro más grande. Estas fibras se utilizan en mayor medida en las mezclas de concreto como un remplazo de la malla electrosoldada. Evitan el agrietamiento del concreto, crean una mejor distribución de las tensiones dentro del concreto y en algunos casos es resistente a ataques químicos⁶.
- **Malla electrosoldada:** Es una rejilla fabricada en acero, en donde sus barras se entrecruzan y se sueldan en cada punto de intersección. Es muy flexible y maneja diámetros entre 4 mm y 9.5 mm.
- **Microfibras:** Son fibras, generalmente sintética, ultrafina con diámetros entre 0.02 mm a 0.05 mm. Hay varios tipos de fibras, entre los más comunes está el poliéster y el nylon. Están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco, previenen la fisuración por retracción plástica.
- **Plástico:** Los plásticos son polímeros compuestos de materiales orgánicos, sintéticos o semisintéticos que se moldean a través de la presión o el calor y tienen la propiedad de ser maleables.
- **Resistencia:** Es la capacidad que tiene un material para soportar esfuerzos o fuerzas aplicadas sin romperse o deformarse.

⁵ GABALEC, María Anabela. "Tiempo de fraguado del hormigón". 2008.


⁶ SIKA. "Concreto reforzado con fibras". Agosto de 2014. Página 9.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

- **Resistencia a compresión:** Es el esfuerzo máximo que puede soportar un determinado material ante una carga de aplastamiento. Cuando el material no se rompe por la acción de la carga, se define la resistencia a la compresión como la cantidad de esfuerzo para deformar el material.
- **Resistencia a flexión:** Es la medida de resistencia a la falla por momento de un material. Se expresa como el módulo de rotura y es cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión⁷.
- **Resistencia a tensión:** Es la máxima tensión que un material puede soportar hasta que sufra una deformación que haga que el material se plastifique.
- **Tenacidad:** Propiedad que tienen los materiales de soportar esfuerzos bruscos sin romperse o de resistirse a deformarse o romperse.
- **Tereftalato de polietileno:** Más conocido por sus siglas en inglés PET, es un poliéster compuesto de petróleo, gas y aire, de la familia de los termoplastos (que se pueden moldear fácilmente), por esta razón el PET se adapta a cualquier forma o diseño⁸.

⁷ INSTRON. "Resistencia a la flexión". Disponible en <http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/flexural-strength>

⁸ MEDIO AMBIENTE, Secretaria. "¿Que es Polietileno-Tereftalato?". Disponible en http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

INTRODUCCION

El concreto reforzado con fibras se utiliza en la construcción como otro tipo de concreto, en donde se emplean fibras de acero (según norma NSR-10) pero también de distintos materiales, entre ellas fibras sintéticas, fibras de vidrio o fibras naturales. La importancia que tienen los concretos reforzados con fibras, en este caso macrofibras, es que “ayudan a prevenir el fisuramiento del concreto en estado endurecido y a reducir el ancho de la fisura si esta se presenta; además las fibras ayudan a mejorar la tenacidad del material, esto significa que el concreto reforzado con fibras puede seguir sosteniendo cargas aun después de un fisuramiento”⁹.

Las fibras están diseñadas para el reforzamiento del concreto y reemplazo de las mallas electrosoldadas y varillas de refuerzo¹⁰, “las macrofibras generan un refuerzo continuo en el concreto mientras que las mallas generan un reforzamiento puntual”¹¹.


En el mundo de la construcción se usan las fibras desde hace muchos años, lo que significa que el tema no es nuevo, sin embargo, en Colombia se viene implementando con mayor fuerza debido a su importancia y aplicaciones, entre las cuales se encuentran pisos y pavimentos, elementos prefabricados, concretos lanzados (revestimiento de túneles y presas) y concretos de ultra alta resistencia¹². La investigación se realiza para evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras, mediante un análisis de resultados en ensayos realizados de compresión y flexión, en cilindros y vigas de concreto respectivamente; estos

⁹ SIKA. Concreto reforzado con sika. En: sika. p. 9.

¹⁰ COMUNIDAD REDACCION 360 EN CONCRETO. ¿Qué es concreto reforzado con macrofibras?, [en línea], 11 de octubre del 2013 [revisado 11 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>.


¹¹ ACERO, Juan Carlos. ¿pueden las fibras sintéticas reemplazar el acero convencional? En: toxement. P.28-29.

¹² DIFICONSA. ¿Qué son las macrofibras estructurales para concreto?, [en línea], [revisado 11 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <https://www.dificonsa.com/macro-fibras-estructurales-para-concreto/>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

ensayos se realizan en los laboratorios de la universidad católica de Colombia teniendo en cuenta la disponibilidad.

La investigación es importante porque permite conocer las capacidades mecánicas que puede adquirir un concreto reforzado con fibras y de esta manera determinar cuál fibra genera un mejor comportamiento en cuanto a compresión y flexión.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

1. GENERALIDADES


1.1. ANTECEDENTES

En esta sección se mostrarán las investigaciones realizadas por diferentes entidades a nivel institucional, a nivel local, nacional e internacional, sobre el uso de las fibras como refuerzo en la construcción, más específicamente en una mezcla de concreto, tales como: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.

Una alternativa del reemplazo del acero convencional está dada por las fibras de distintos materiales, como sería el caso de fibras compuestas de PET y PP, las cuales se implementaron en una investigación a cargo de Diego Alexander Torres, en la Universidad Católica de Colombia, en el año 2017. La investigación que lleva por nombre “*Determinación de la resistencia residual promedio (Análisis post-fisuración) del concreto reforzado con fibra sintética de PET+PP*”, pretendía comparar la diferencia de las resistencias obtenidas para un espécimen de concreto común frente a uno que contiene en su mezcla estas fibras, mediante ensayos de flexión determinar los aportes que presentan las fibras al concreto fisurado. Para obtener la resistencia residual del concreto utilizó el ensayo NTC 5981, en donde mediante una aplicación de cargas a vigas (12 especímenes probados), logró determinar que las macrofibras ayudan a reducir las fisuras producidas por contracción, además de comprobar que la vida útil del concreto aumenta cuando se encuentra reforzada con fibras¹³.

Entre los distintos tipos de fibras también se encuentran de materiales sintéticos como el nylon y la fibra de vidrio; en el año 2015, Cristian David Castiblanco Sarmiento y Luis Anderson Carrero Bastos realizaron una investigación, en la Universidad Católica de Colombia, en donde buscaban comparar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de vidrio y fibras de carbono, la


¹³ TORRES, Diego Alexander. “Determinación de la resistencia residual promedio (Análisis post-fisuración) del concreto reforzado con fibra sintética de PET+PP”. 2 Diciembre de 2017.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

investigación tiene por nombre *“Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión”*. El estudio realizado corresponde a establecer mediante un análisis el comportamiento del concreto convencional y el concreto reforzado con los dos tipos de fibras, utilizando fibras con un diámetro de 1mm x 5cm de longitud en especímenes cilíndricos de 15cm de diámetro x 30cm de altura y de 10cm de diámetro x 20cm de altura, realizándoles ensayos en el laboratorio de compresión con el fin de determinar su resistencia. Con los resultados obtenidos lograron establecer que el uso de las fibras de vidrio aporta mayor rigidez y se producen menos deformaciones en el concreto, se observó un incremento en la resistencia a la compresión y con las fibras de carbono se observó una mejor adherencia de los materiales con los que las grietas son más controladas, dando como conclusión que el uso de fibras en el concreto es una alternativa favorable¹⁴.

Asimismo, se han realizado investigaciones con otros tipos de fibra como lo es la implementación de cáñamo, la cual es una fibra de origen natural, como adición en el concreto. La investigación mencionada la realizó Jeimy Angélica Mora Torres, en la Universidad Católica de Colombia, en el año 2017, con el nombre *“Análisis mecánico de un concreto con adición del 2% de fibra natural de cáñamo”*, en donde buscaba determinar las propiedades mecánicas de un concreto reforzado con este tipo de fibra y un concreto convencional. Para la realización de la investigación utilizó 27 cilindros de concreto, 9 de estos con un porcentaje de fibras de 0.25, otros 9 con un porcentaje de 2 y los 9 restantes los de concreto convencional. Todos los especímenes de concreto los sometió a ensayos de compresión a las edades de 7, 21 y 24 días. Además de los cilindros, también realizó 4 viguetas para realizar ensayos de flexión, todo esto bajo los procedimientos planteados en la norma I.N.V sección 400. Al obtener los

¹⁴ CASTIBLANCO, Cristian y CARRERO, Luis. “Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión”. 29 Octubre de 2015.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


resultados se determinó que las fibras ayudan a que los materiales de la mezcla se adhieran durante y después de realizadas las pruebas, también observó que se presentan agrietamientos normales en el concreto, pero que son controlados de mejor forma en presencia de las fibras, brindándole ductilidad¹⁵.

Otro de los materiales utilizados en la búsqueda de un concreto ecológico, es la caña de azúcar como fibra, el cual está fundamentado en una investigación en el año 2007, con el nombre de “*Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*”, a cargo de Jairo Alexander Osorio Saraz, Fredy Varón Aristizábal y Johnny Alexander Herrera Mejía, estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Ellos prepararon una muestra compuesta de concreto y bagazo, bajo la norma NI 550 y 673, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria. Los porcentajes que utilizaron para la adición de las fibras fueron 0.5%, 2.5%, y 5.0%. En síntesis, se encontró que cada vez que se adiciona mayor cantidad de fibras a la mezcla, disminuye notablemente la resistencia del material y también la densidad. Dados los resultados y después de analizarlos concluyeron que la fibra utilizada, con adiciones entre el 0.5% y el 2.5%, le concede a la muestra propiedades mecánicas importantes, con las cuales se alcanzaron resistencias a la compresión entre 8.6 y 16.88 MPa, a los 14 días de fraguado. La densidad de las muestras con bagazo bajó considerablemente a valores entre 141 y 336 Kg/m³ a comparación de probetas patrón con densidades de 2400 Kg/m³ (Concreto normal) ¹⁶.

Aparte de las fibras naturales, también se utilizan convencionalmente, fibras de acero en las mezclas de concreto, como lo es el caso de una investigación realizada para la *revista Ibracon de estruturas e materiais*, con el nombre de “*Experimental analysis of load capacity in beams with steel fiber reinforcement on the compression face*”, desarrollada por C. C. Deghenhard, B. V. Silva y F.

¹⁵ MORA TORRES, Jeimy Angélica. “Análisis mecánico de un concreto con adición del 2% de fibra natural de cáñamo”. 17 Mayo de 2017.

¹⁶ OSORIO, Jairo; VARÓN, Fredy y HERRERA, Johnny. “Comportamiento mecánico del concreto con fibras de bagazo de caña de azúcar”. 28 Febrero de 2007.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


Pelisser, en donde evaluaron el uso de microfibras y macrofibras como reforzamiento del concreto en la cara a compresión de vigas de concreto con dimensiones establecidas de 12x12x160cm, además de realizar ensayos a flexión en especímenes de 10x10x35cm, ensayos a compresión en cilindros de 20cm x 10cm de diámetro y módulos de elasticidad. Los análisis de los resultados obtenidos demostraron que existía un incremento en la capacidad a compresión de aproximadamente el 8% para todos los especímenes reforzados con fibras comparados con las muestras de concreto que no estaban reforzadas. Este comportamiento también lo determinaron con los datos de módulos de elasticidad, concluyendo que el uso de las fibras de acero en el concreto genera aportes significativos¹⁷.

Otra investigación que trata el tema de las fibras de acero, además de implementar las fibras sintéticas, es la desarrollada en la escuela politécnica de la Universidad de Sao Pablo, a cargo de Renan Pícolo Salvador y Antonio Domínguez de Figueiredo, llamada “*Comparative evaluation of the mechanical behavior of synthetic and steel fiber-reinforced concrete*”, en donde a través de especímenes de concreto realizaron ensayos a flexión, para determinar la dureza y la capacidad del elemento ante cargas. Para esto dos fibras fueron analizadas: macrofibras de polipropileno y macrofibras de acero, en dosificaciones de 0.19, 0.32 y 0.45 en porcentaje de volumen, con un concreto de 35 Mpa. Con los resultados se observó que las macrofibras de polipropileno podían proveer la misma capacidad que las fibras de acero en tanto se tuviera en cuenta la equivalencia de las dosificaciones de cada fibra, con lo que se concluyó que se obtenían mejorías en el concreto cuando se encontraba reforzado¹⁸.

También se busca reemplazar el refuerzo convencional de acero por otros tipos de materiales. Entre los nuevos materiales que se utilizan se encuentran el plástico

¹⁷ DEGHEHARD, C.C; SILVA, B.V y PELISSER, F. “Experimental analysis of load capacity in beams with steel fiber reinforcement on the compression face”. Febrero de 2019.


¹⁸ SALVADOR, Renan Pícolo y DOMINGUES DE FIGUEIREDO, Antonio. “Comparative evaluation of the mechanical behavior of synthetic and steel fiber-reinforced concrete”. Junio de 2013.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

reforzado con fibras de basalto, en inglés Basalt Fiber Reinforced Plastic (BFRP), con el que se realizó una investigación para su implementación, por parte de los estudiantes Marek Urbanski, Andrzej Lapko y Andrzej Garbaczd, en la Universidad Tecnológica de Varsovia, en el año 2013. Su investigación se desarrolló bajo el nombre de “*Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars as an Effective Alternative of Conventional R/C Structures*” (Investigación sobre vigas de concreto reforzado con barras de basalto como una efectiva alternativa de las convencionales estructuras reforzadas). A través de varios estudios de flexión en vigas se buscó determinar la diferencia de la resistencia entre una viga con este nuevo refuerzo, frente a una viga con refuerzo de acero. Se utilizaron barras de 8 mm de diámetro y se realizaron los ensayos necesarios de tensión-deformación. Se concluyó que las vigas reforzadas con las BFRP presentan mayor deformación que las vigas reforzadas con acero debido al bajo módulo de elasticidad comparado con el del acero, a la vez que se observó que la carga crítica que soportó la viga reforzada con BFRP fue mayor a la de la viga con refuerzo convencional. Otro hallazgo fue que se produjeron grietas mucho más grandes que en el concreto con refuerzo común, lo que supone un factor importante, junto con el módulo de elasticidad, al momento del diseño¹⁹.

Se opta también por incorporar botellas plásticas como parte de la mezcla de concreto, este es el caso de un trabajo investigativo, llamado “*Diseños de mezcla de Tereftalato de Polietileno (PET) - cemento*”, realizado en Venezuela, por Alesmar Luis, Nalia Rendón y María Eugenia Korody en el año 2007, con el fin de ensayar y categorizar mezclas de concreto-PET. Se realizaron mezclas con el 5%, 10% y 15% de PET. Se generaron probetas con las características necesarias para cada ensayo a realizar. Las pruebas se curaron a los 7 días, para luego ser almacenadas hasta los 28 días. La prueba que mejor desempeño tuvo en el ensayo de compresión simple fue la que tenía un 15% de plástico en su mezcla. A

¹⁹ URBANSKI, Marek; LAPKO, Andrzej y GARBACZ, Andrzej. “Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars as an Effective Alternative of Conventional R/C Structures”. Abril de 2013.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

pesar de ser la que mayor cantidad posee, lo que implica que la mezcla no fuera homogénea, se consideró como la más viable. Se concluyó que las botellas PET pueden ser utilizadas como agregados, ayudando en la mejor disposición final de estos materiales y así reducir el impacto ambiental. Se observó que al mantener constante la cantidad de cemento y variar la cantidad de arena al momento de implementar el PET, varía la resistencia a la compresión de la muestra final. La densidad de la mezcla de concreto-PET es menor que la de una muestra de concreto, ya que el PET es más liviano, lo que se puede utilizar en estructuras con bajas cargas²⁰.


Con base a las investigaciones presentadas anteriormente, se establece la importancia del reemplazo de los materiales usados actualmente, con el fin de ayudar al cambio climático reduciendo las emisiones de carbono y los desgastes energéticos que afectan a los ecosistemas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El concreto reforzado con fibras tiene un mejor comportamiento mecánico, pero esto depende de la adición que se le realice al concreto, ya que agregarle una cantidad exagerada de fibras puede empeorar la plasticidad y empeorar el comportamiento mecánico y de agregar una cantidad reducida no generaría cambios significativos, por esta razón las empresas productoras de macrofibras recomiendan una dosificación por metro cubico dependiendo el tipo de macrofibra que tengan a disposición.

La investigación compara el concreto reforzado con fibras frente un concreto normal, mediante ensayos de laboratorio para poder determinar si las fibras mejoran la capacidad a la compresión y flexión, obteniendo resultados que ayuden

²⁰ ALESMAR, Luis; RENDÓN, Nalia y KORODY, María Eugenia. "Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) - cemento". Febrero de 2008.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

a establecer el uso que se le puede dar a las distintas fibras y cuál de las cuatro en estudio aportan en el concreto más capacidad para resistir cargas.


Existen fibras de diferentes materiales, longitudes, tamaños, espesores, en resumen, sus características son diferentes dependiendo del fabricante que las realiza, comparar todas las fibras es una investigación muy extensa, el proyecto compara una de cada diferente tipo de fibra que hay, como lo es de acero, sintéticas, fibra de vidrio y naturales, en un porcentaje estándar para todas las mezclas de concreto, que fue aproximadamente del 1% del volumen total de concreto.

Al existir diferentes tipos de fibras y cada tipo presentar diferencias en sus características, determinar que fibra genera un mejor comportamiento y por qué lo genera, es un aporte grande a la ingeniería.

1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

El concreto reforzado es el más común en la construcción, en donde se emplean mallas electrosoldadas y varillas de refuerzo de diferentes diámetros, sin embargo, hay otros tipos de concreto como el reforzado con fibras, que pueden ser de acero, aunque se han venido implementando fibras de otros materiales, dando como resultado un concreto reforzado con fibras; este tipo de concreto tiene diferentes aplicaciones, por lo que, al momento de comparar el concreto con refuerzo convencional con el concreto reforzado con fibras, en muchos casos prácticos, como lo es en elementos prefabricados o revestimientos de túneles, el concreto reforzado con fibras ayuda a reducir costos y tiempos de ejecución, ya que no se requiere un armado de varillas o ubicación de mallas electro-soldadas, sino simplemente una mezcla donde se incluyan las fibras.

El refuerzo que se utiliza en el concreto tiene la función de distribuir las cargas aplicadas y de “absorber” dichas fuerzas para generar resistencia en el material, y aunque las mallas electro-soldadas cumplen esta función, el concreto se fisura y

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


falla sin que la malla pueda prevenir o ayudar de alguna manera en ese fisuramiento, es por esto que las fibras como refuerzo son útiles, pues aparte de controlar de mejor forma el fisuramiento, también aportan tenacidad y resistencia en el concreto²¹.

Adicionalmente, el acero convencional como reforzamiento del concreto puede ser afectado químicamente, por ejemplo, por agentes externos en zonas costeras causando la corrosión de este, por lo tanto, se pueden usar fibras sintéticas en estas zonas, debido a que presentan resistencia en ambientes agresivos, dándoles uso en concretos reforzados con fibras para estructuras de contención de aguas o zonas que presenten sales descongelantes²².

Con base a lo anteriormente mencionado se pretende realizar la comparación de diferentes fibras mediante ensayos de laboratorio y de esta manera responder a la siguiente pregunta: de las fibras seleccionadas ¿cuál es la que en ensayos a compresión y flexión generan un mejor comportamiento? La pregunta se desarrollará realizando prácticas de laboratorio en la universidad católica de Colombia.

²¹ SIKA. "Concreto reforzado con fibras". Agosto de 2014. Página 9.

²² ZERBIÑO, RAUL investigador de CONICET Y LEMIT. Uso de macrofibras sintéticas en hormigón, [en línea], 13 de noviembre del 2017 [revisado 12 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.nth.com.ar/es/blog/uso-de-macrofibras-sinteticas-en-hormigon-n43>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de diferentes materiales, para determinar que material genera un mejor comportamiento al ser ensayado a compresión y a flexión.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar ensayos de flexión y compresión a vigas y cilindros de concreto reforzado con fibras de diferentes materiales, para determinar la resistencia mecánica que se obtiene con cada material.
- Comparar los resultados obtenidos en laboratorio de los concretos reforzados con fibras frente a un concreto normal.
- Analizar los resultados obtenidos en laboratorio, para así poder determinar que fibra genera un mejor comportamiento mecánico al concreto.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

1.5. ALCANCES

Una vez establecidos los objetivos, se tiene como alcance realizar los ensayos a flexión y compresión para determinar el comportamiento mecánico de la mezcla de concreto reforzado con fibras de diferentes materiales, se ensayarán cilindros a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, teniendo en cuenta que los cilindros se encontrarán reforzados con fibras, el ensayo se realizara con cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de longitud.


El ensayo de flexión se realizará a viguetas de 15x15x50 cm, este ensayo solo será realizado a los 14 y 28 días de ser mezclado el concreto.

Estos ensayos serán desarrollados con el fin de realizar una comparación de los concretos reforzados con fibras de diferentes materiales frente a un concreto normal, para así poder determinar qué tipo de fibra genera un mejor comportamiento mecánico, el tiempo de los ensayos puede variar por cuestión de cambios o correcciones a las muestras. Los ensayos serán realizados a concretos con cuatro diferentes materiales de fibras, los cuales son: el acero, el PET, la fibra de vidrio y el cáñamo.

1.6. LIMITACIONES

Las limitaciones que se presentaron en el desarrollo de la investigación fueron:

- El desarrollo del proyecto de grado estuvo sujeto a la disponibilidad de los laboratorios de la universidad católica de Colombia para realizar los ensayos.
- El proyecto de grado se vio afectado por el espacio asignado para el curado de los cilindros y vigas.
- Falta de conocimiento del uso de la máquina de prueba universal MTS model E45, por parte del personal de la universidad católica de Colombia.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

- Los plazos para las entregas del informe final son cortos afectando la presentación final del archivo.
- La fluidez económica con la que se contó al momento de llevar a cabo la elaboración de los cilindros y vigas de concreto reforzado con diferentes tipos de fibra.

1.7. DELIMITACIONES

1.7.1. Espacio


Los horarios y disponibilidad de los laboratorios de la sede el claustro en la universidad católica de Colombia se debió tener en cuenta para el desarrollo de nuestro proyecto, ya que se debían realizar ensayos en los tiempos especificados del curado del concreto.

1.7.2. Tiempo

El periodo académico de la universidad católica de Colombia es de 4 meses, limitando el tiempo en el que se desarrollaría los ensayos de laboratorio, el tiempo de los ensayos deben ser exactos, esto se debe a que, si las muestras se dejan curando de más, puede causar cambios en los resultados obtenidos.

1.7.3. Contenido

El contenido del proyecto es realizar una comparación de 4 diferentes materiales de macrofibras, para determinar cual genera un mejor comportamiento mecánico en el concreto reforzado, realizando ensayos a compresión y flexión a cilindros y vigas respectivamente.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

1.8. MARCO REFERENCIA

1.8.1. Marco teórico

Tipos de fibras

Las macrofibras pueden ser metálicas, vidrio, sintéticas o naturales, las especificaciones de cada tipo de fibra se observan a continuación²³:


- **Fibras metálicas**

Las fibras metálicas han sido usadas desde el siglo XX, los primeros años las macrofibras eran redondas y lisas, en la actualidad tienen superficies ásperas y extremos en gancho, presentan diámetros de 0,15 a 2 mm y poseen longitudes de 60 a 75mm, adicionalmente generan alta resistencia a la tensión y alto módulo de elasticidad, la principal desventaja de las fibras de acero es que presentan oxidación, generalmente el contenido de la fibra de acero varia de 0,25% a 2% por volumen de concreto.

- **Fibras de vidrio**

Las fibras de vidrios resistentes al álcali aparecieron en los años setenta 70's y ochentas 80's, esta resistencia es causada por la presencia de circonio en las fibras, las longitudes de las fibras son de hasta 35 mm y presentan una excelente resistencia a la tensión, se puede usar hasta el 5 % del volumen del concreto en fibras de vidrio para reforzamiento.

²³ FIBRAPLAST CONCRETO. Macrofibras sintéticas para el concreto [en línea], [revisado 16 mayo 2019]. P., 7-9 Disponible en Internet: https://www.abacol.co/assets/fibraplas-concrete_libro_baja.pdf.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

- **Fibras sintéticas**

Las fibras sintéticas se fabrican a partir de materiales como el polipropileno o PET. Generan un buen comportamiento del concreto ensayado a la tensión, igualmente que las fibras de vidrios son resistentes al álcali y son inoxidables, generando una mayor durabilidad al concreto, las fibras sintéticas generalmente se presentan con una longitud de 60 mm y en concreto lanzado las macrofibras sintéticas reducen el desgaste de mangueras, bombas, trompos y mixers.

- **Fibras naturales**

Las fibras naturales pueden ser utilizadas en diversos tipos como lo son: yute, lino, bambú, caña de azúcar, plátano, coco, cáñamo, etc. Las longitudes de las fibras dependen del tipo que se va a usar, se recomiendan que estén libres de carbohidratos y sin señales de ataques de microorganismos, los resultados que se obtienen con estas fibras dependen de las características que posee cada tipo²⁴.

Ventajas y desventajas del uso de las fibras en el concreto


A continuación, observamos las ventajas y desventajas que se observan con el uso de las macrofibras en el concreto²⁵

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 tiempo de aplicación, si se compara con la malla electrosoldada.

²⁴ JUAREZ ALVARADO, Cesar Antonio. concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave lecheguilla), como materiales para construcción en México. Tesis de especialización México.: Universidad autónoma de nuevo león. 2002. 10 p.

²⁵ FIBRAPLAST CONCRETO. Op. cit., p.13

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

- Disipación de energía a comparación de la malla electrosoldada.
- Reducen el fisuramiento del concreto causado por retracción plástica
- Reducen la segregación y la exudación.
- Capacidad de refuerzo igual o superior a las mallas electrosoldadas.
- En el caso de las fibras de vidrio y sintéticas son químicamente inertes, resiste a álcalis y áridos.
- Aumentan significativamente la resistencia al impacto.
- Trabajan tridimensionalmente en el concreto, reduciendo las tensiones y esfuerzos por dilataciones térmicas.

Desventajas


- Reducen el asentamiento en el ensayo de cono, donde depende directamente de la cantidad y composición de la fibra.
- En el estado fresco, el mezclado se torna más dificultoso y se puede incorporar cierta cantidad de aire.

Aplicaciones de las macrofibras

Las macrofibras han sido aplicadas para reforzamiento del concreto y remplazo de la malla electrosoldada desde hace muchos años, algunos de los usos más comunes son los siguientes²⁶:

- Aplicaciones mineras.
- Concreto lanzado (reduce el rebote).
- Concreto lanzado en estabilización de taludes.
- Losas de revestimiento de canales.

²⁶ TORREZ, Diego Alexander determinación de la resistencia residual promedio (análisis post- fisuración) del concreto reforzado con fibra sintética de pet+pp. Tesis de pregrado Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. 2017. 27-28 p.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

- Morteros recrecidos en placas de entrepiso.
- Muros de contención. Rehabilitación y construcción de acueductos.
- Muros en sistema industrializado (refuerzo parcial).
- Pavimentos rígidos.
- Piscinas y tanques.
- Pisos industriales. Pisos comerciales.
- Pisos residenciales.
- Placas de entrepiso, sistema lámina colaborante.
- Placas de entrepiso, sistema placa fácil.
- Prefabricados y concretos livianos.
- Protección contra desprendimientos por fuego.
- Protección y reparación de estructuras marinas.
- Reforzamiento de pilotes hincados.
- Reforzamiento sísmico.
- Reforzamientos para zonas en que se requiere materiales no metálicos.
- Rehabilitación estructural.

Aporte de las macrofibras al concreto

Los concretos reforzados con fibras mejoran su resistencia a cargas desde las primeras edades de endurecido. Las fibras para reforzamiento de concreto controlan el fisuramiento causado por retracción plástica e hidráulica y mejora la resistencia al impacto. Las fibras generan un mejor comportamiento del concreto a nivel estructural, adicionalmente las fibras soportan cargas de forma distribuida, mientras que las mallas electrosoldadas los hacen de forma puntual²⁷.

²⁷ BASF, master builder solutions. Soluciones alternativas para el refuerzo del concreto. Concreto online [en línea], 21 de enero de 2019 [revisado 16 de mayo 2019]. Disponible en Internet: <https://www.concretonline.com/aditivos-adiciones/masterfiber-soluciones-alternativas-para-el-refuerzo-del-hormigon>.



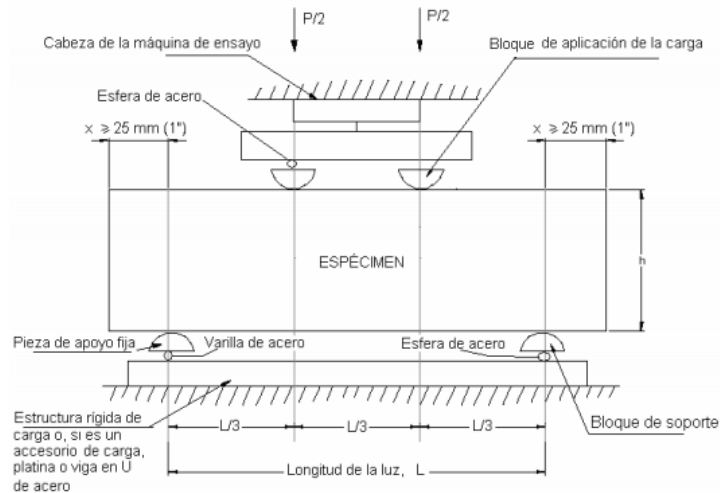
Ensayo a compresión

El ensayo a compresión está regido por la norma NTC 673 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, la velocidad del ensayo utilizada fue de 1,3 mm/min según indica la norma, la resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga obtenida en el ensayo por la universal de prueba con el área transversal del espécimen ensayado²⁸.

Ensayo a flexión

El ensayo a flexión está regido por la norma NTC 2871, la cual se enfoca en la ASTM C 78:2002 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), el método de ensayo consiste en aplicar cargas a los tercios medios de la luz, con el fin de calcular el módulo de rotura que define el esfuerzo máximo que soporta el espécimen²⁹.


Ilustración 1. Ensayo a flexión en vigas a tercios medios de la luz



Fuente (Icontec, 2010)

²⁸ NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS. NTC 673. Bogotá D.C. INCONTEC, 2010.

²⁹ NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS. NTC 2871. Bogotá D.C. INCONTEC, 2010.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


1.8.2. Marco conceptual

El concreto se produce durante el mezclado de agua, cemento y agregados (finos y gruesos), al realizar la mezcla se produce una reacción química la cual causa un calor de hidratación, lo que genera el endurecimiento de la masa para formar una consistencia pétreo. Dependiendo la composición de la mezcla y el porcentaje de materiales que se disponga de cada uno se consigue una resistencia diferente. Por lo general, la resistencia mínima que se utiliza en la construcción para elementos estructurales es de 3000 PSI o 21 MPa³⁰.

Para el diseño de mezclas existen varios métodos, el más conocido y utilizado generalmente es el método ACI que es un método creado por el instituto americano del concreto, que instaura los parámetros para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico, contemplando todas las posibles variables que se puedan presentar al momento de la elaboración y diseño de las mezclas.

El método ACI establece valores de clasificación como, por ejemplo, dependiendo el asentamiento, se establece la consistencia y el grado de trabajabilidad que obtenga la mezcla. Se determina que a mayor relación agua cemento (a/c) disminuye la resistencia a la compresión en el concreto, aunque cabe recordar que si aumenta esta relación el concreto es más trabajable, también influye en la resistencia la cantidad de aire que posea la mezcla, sin aire incluido la mezcla obtendrá una mayor resistencia a comparación de una mezcla que contenga aire. El método también da los parámetros para la cantidad de agua que debe ser incluida de acuerdo con el asentamiento y el contenido de aire presente, todos estos valores y la cantidad de agua de mezclado se deben tener en cuenta en los cálculos de factores para mezclas de prueba, el método presenta tablas con recomendaciones granulométricas tanto para agregado grueso como para fino, que varían dependiendo los porcentajes que pasan ciertos números de tamices.

³⁰ OSORIO, Jesús David. "Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión". 28 Junio de 2013.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

Otros métodos con los que se cuenta son: el método de Fuller, el método de Walker y el método del módulo de fineza.

Existen varios ensayos de laboratorios desarrollados por el INVIAS que determinan el uso de los materiales y reglamentan el método de desarrollo de las pruebas tanto en el laboratorio como en campo, y los organizan en secciones dependiendo del tema que traten. Para el caso específico de diseño de mezclas se manejan ensayos como el INV E 402-13 que establece el curado de muestras de concreto y la INV E 404-13 que determina el asentamiento del concreto hidráulico. No solo estas normas son utilizadas, también se implementan las normas técnicas colombianas (NTC) que son una recopilación de información y se basan en el ASTM, la cual es una organización que se encarga de establecer normas internacionales para la gran cantidad de materiales, productos y servicios. Entre estas normas encontramos, por ejemplo, las especificaciones para los agregados en el concreto (NTC 174) o la determinación de la resistencia (NTC 220). Existe otra norma que es la NTC 5806, por la cual se establece como reglamento unas características para el tipo de refuerzo (alambre de acero liso, grafilado y mallas electrosoldadas) en el concreto³¹.

El concreto posee un parámetro de resistencia el cual caracteriza sus propiedades mecánicas, el valor de la resistencia del concreto es determinado a los 28 días de haber realizado la mezcla, se debe realizar un curado correcto para obtener la resistencia adecuada, el curado controla la pérdida de agua de la masa de concreto por efecto de la temperatura, sol y viento, esto se hace con el fin de garantizar la completa hidratación de los granos de cemento y por tanto garantizar la resistencia final. Se debe tener en cuenta que la resistencia del concreto,

³¹ COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO, Ministerio. "Reglamento técnico aplicable a alambre de acero liso, grafilado y mallas electrosoldadas, para refuerzo de concreto que se fabriquen, importen o comercialicen en Colombia." 02 Febrero de 2015.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

aproximadamente el 70%, se genera en los primeros 7 días y el 85% de resistencia se logra a los 14 días³².

El concreto es caracterizado por poseer una excelente resistencia a la compresión, esta es la característica mecánica principal del concreto, esta se define como la capacidad de soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo. Sin embargo, la resistencia del concreto por tensión es mínima, la cual apenas le ayuda a disminuir los agrietamientos que se pueden producir por la influencia de tensiones inducidas por restricciones estructurales³³.

Para mejorar la resistencia del concreto a tensión se utilizan refuerzos generalmente de acero, aunque también se usan diferentes tipos de refuerzo como las fibras de vidrio, acero, naturales y sintéticas o se reemplazan los agregados por otros materiales no convencionales que ayuden a aumentar la resistencia³⁴.


Existen las microfibras y las macrofibras para reforzamiento del concreto, las microfibras ayudan al concreto en su retracción plástica para evitar que este se fissure, esto sucede antes de las 24 horas de haberlo fundido, las macrofibras “incrementan la resistencia al impacto, incrementa la resistencia a la fatiga, sustituye las mallas electro soldadas, y le genera una mayor durabilidad al concreto”,³⁵ la investigación se basa en mirar el comportamiento mecánico del concreto cuando se agregan fibras a la mezcla, por lo tanto, realizaremos ensayos de compresión y flexión a mezclas de concreto las cuales contengan fibras de acero, PET, fibra de vidrio y cáñamo. Esto se realizará con el fin promover el uso de materiales reciclables como lo es el PET, materiales como fibra de vidrio el cual es resistente al álcali o materiales naturales como el cáñamo que se usa más que todo en zonas rurales.

³² OSORIO, Jesús David. “Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión”. 28 Junio de 2013.

³³ *Ibíd.*, 28 Junio de 2013.

³⁴ MORENO, Eric; SOLIS, Rómel; VARELA, Jorge y GOMEZ, Marco. “Resistencia a tensión del concreto elaborado con agregado calizo de alta absorción”. 30 Octubre de 2016.

³⁵ CONSTRUQUIMICA. Macrofibra sintética estructural Ultimax [en línea], 13 de Mayo de 2019. Disponible en internet: <https://www.construquimica.com.br/produto/macrofibra-sintetica-estrutural-ultimax/>


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

Debemos tener en cuenta que en la actualidad el reciclaje de los materiales poliméricos es importante para la reducción del impacto ambiental producido por el hombre, ayudando a reducir las emisiones de dióxido de carbono y otros químicos al medio ambiente, los cuales puedan afectar nuestra capa de ozono. El tereftalato de polietileno (PET) posee una descomposición duradera que puede durar entre 100 a 1000 años, causando afectaciones al medio ambiente. Reciclar puede verse como el ejemplo de llevar a cabo el concepto de ecología industrial, haciéndonos pensar que la reutilización de estos materiales puede ser de gran provecho en la industria para una reducción de costos, La eficiencia del reciclado de plásticos como método de gestión ambiental está ligada a la eficiencia de los procedimientos para llevarlo a cabo³⁶.

Esto nos lleva a la alternativa del concreto verde el cual pretende reemplazar, aunque sea uno de los componentes que se utilizan comúnmente como el acero por materiales desgastados, o que su producción no involucre una gran afectación al medio ambiente. Este concreto hace parte del proceso de construcción sostenible, donde se pretende promover medidas de mitigación frente al impacto ambiental que se produce por la industria de la construcción. Desde la utilización de materiales como las cenizas volantes (Fly Ash) como sustituto del cemento y la utilización de plástico, fibras o nano partículas, como sustitutos de los agregados, son ejemplos de los diversos materiales que se están estudiando e implementando en la construcción³⁷

³⁶ RODRIGUEZ, Pablo; PÉREZ, Ángel y VELÁZQUEZ, Julio. "Propuesta de un procedimiento para el reciclado del polietileno de alta densidad". Agosto de 2014.

³⁷ SUHENDRO, Bambang. "Toward green concrete for better sustainable environment". Agosto de 2014.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

1.8.3. Marco normativo

Tabla 1. Normatividad para ensayos técnicos e implementación de materiales.

TEMA	NORMA	NOMBRE
DENSIDAD BULK GRAVAS Y ARENAS	INV E 217-13	DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO.
DISEÑO DE MEZCLAS	INV E 402-13	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.
	INV E 404-13	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO (SLUMP)
	INV E 406-13	CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN.
	INV E 409-13	CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO.
	NTC 174-2000	CONCRETOS. ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	NTC 673	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	NTC 2871	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE.
NORMAS QUE RIGEN A LAS FIBRAS	ASTM C 1399	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA
	ASTM C 1609	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL DESEMPEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA (USANDO UNA VIGA CARGADA EN LOS TERCIOS)


Continuación Tabla 1. Normatividad para ensayos técnicos e implementación de materiales.

	EN 14488-3	ENSAYOS SOBRE CONCRETO LANZADO- PARTE 3: RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN (DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL PRIMER PICO, DEL ÚLTIMO Y DE LA RESISTENCIA RESIDUAL) DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS
	ASTM C 1550	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TENACIDAD A FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (USANDO UNA CARGA CENTRAL SOBRE UN PANEL REDONDO)
	EN 14889-1	FIBRAS PARA CONCRETOPARTE 1- FIBRAS DE ACERO- DEFINICIÓN, ESPECIFICACIONES Y CONFORMIDAD.
	EN 14889-2	FIBRAS PARA CONCRETOPARTE 2- FIBRAS DE POLÍMEROS O SINTÉTICAS- DEFINICIÓN, ESPECIFICACIONES Y CONFORMIDAD
	NTC 5214	"FIBRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO" (ASTM A 820)
	NTC 5541	CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS" (ASTM C 1116)
	NTC 5721	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS"

1.8.4. Estado del arte

Hasta el día de hoy existen varias investigaciones que analizan el comportamiento de concreto reforzado con fibras de diferentes tipos y materiales. Lorena marcela cañón sosa y Fabián Guillermo Aldana calderón³⁸ realizaron un proyecto de grado "titulado estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber® ad de sika y toc fibra500 de toxement", donde se comparan las fibras comerciales de polipropileno sikafiber AD de sika y fibra 500 de toxement.

³⁸ CAÑON SOSA, Lorena marcela y ALDANA CALDERON, Fabián Guillermo. "Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber® ad de sika y toc fibra500 de toxement". Tesis de pregrado Bogotá D.C. Universidad distrital Francisco José de Caldas. 2016. 51 p


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

Los resultados obtenidos por los aspirantes a grado demostraron que las fibras de polipropileno no aumentaron de forma significativa la resistencia a la compresión del concreto. Al comparar los resultados obtenidos por los estudiantes de la universidad distrital Francisco José de Caldas con los resultados obtenidos por nuestra investigación confirmamos que las fibras sintéticas como lo son las de polipropileno o las de PET no generan mayor resistencia del concreto a la compresión, pero si aumentan la resistencia a la flexión.

Por consiguiente, en otra investigación titulada “estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión” realizada por Cristian David Castiblanco sarmiento y Luis Anderson carrero bastos³⁹ donde realizaron ensayos a compresión de cilindros reforzados con fibras de vidrio y fibras de carbono, demuestran los mismos resultados obtenidos en nuestro proyecto hablando de las fibras de fibra de vidrio, donde los resultados obtenidos demostraron un mejoramiento notable en la resistencia a compresión y flexión. Sin embargo, las macrofibras de carbono arrojaron resultados óptimos en la adherencia del concreto, pero disminuyeron la resistencia a la compresión comparándolo con un cilindro sin reforzamiento. Estas investigaciones realizadas demuestran una variedad de materiales de fibras con las que se puede reforzar un concreto.

En conclusión, si se realizara una comparación completa entre estos materiales de macrofibras, ampliando la investigación realizada en este proyecto, para analizar el comportamiento mecánico del concreto que le genera cada material de las macrofibras, ayudaría a promover su uso y aportaría grandes conocimientos al área de la ingeniería.

³⁹ CASTIBLANCO SARMIENTO, Cristian David y CARRERO BASTOS, Luis Anderson. “Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión”. Tesis de pregrado Bogotá D.C. Universidad católica de Colombia. 2016. 51 p

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

1.9. METODOLOGIA


Se utilizaron cuatro tipos de fibras para ser comparadas como refuerzo en el concreto mediante ensayos de laboratorio, las fibras que empleamos fueron: fibras de PET, fibras de acero, fibras de vidrio y fibras de cáñamo. La selección de estos materiales se decidió al ver la facilidad para conseguirlos, además que, al ser diferentes en cuanto a su composición y longitud, presentaron variaciones importantes en los ensayos que se realizaron para cada muestra.

Después de tener la cantidad necesaria de fibras de cada material se procedió a realizar las respectivas mezclas para la elaboración de las muestras de concreto.

Realizamos treinta y cinco (35) cilindros, de los cuales únicamente utilizamos treinta, ya que los cinco restantes solo sirvieron como repuesto por si algo fallaba, y diez (10) vigas de concreto. Se fundieron todos los cilindros de muestra en diferentes días para ser ensayados a diferentes edades (7, 14 y 28) y para cada día de ensayo se contó con dos (2) cilindros por cada tipo de macro fibra; para las vigas solo se realizaron ensayos a las edades de 14 y 28 días, siendo estas ensayadas en las mismas fechas que los cilindros, para cada tipo de fibra. La cantidad de macro fibras aplicadas de PET, vidrio y cáñamo fue directamente proporcional al volumen ocupado por las macro fibras de acero, debido a que nos basamos en la dosificación recomendada para estas fibras e hicimos una relación directa de densidades, consiguiendo mantener el mismo volumen de fibras para todos los cilindros.

Con los cilindros y vigas fundidas realizamos dos ensayos:

- Ensayo a flexión: Elaboramos diez (10) vigas con unas dimensiones de 15 x 15 x 50 cm, que se dividieron en 8 vigas de concreto reforzadas con fibras, dos por cada material, y las dos vigas restantes fueron las vigas patrones que no poseían ningún tipo de refuerzo. Únicamente realizamos la cantidad de vigas para ser ensayadas a los 14 y 28 días. Una vez realizados los ensayos de

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

flexión procedimos a organizar los datos obtenidos y a comparar los resultados para determinar las diferencias producidas en el concreto reforzado con fibras frente a las muestras de concreto normal.

- Ensayo a compresión: Al igual que con las vigas elaboramos dos cilindros por cada material con dimensiones estándar de 20 cm de altura por 10 cm de diámetro, con la diferencia de que fallamos cilindros a los 7, 14 y 28 días, es por esto que la cantidad total de cilindros eran veinticuatro (24) con reforzamiento de fibras, más dos (2) cilindros patrones para cada periodo al que se realizarán los ensayos, para un total de treinta (30) cilindros ensayados, esto sin contar las cinco (5) muestras adicionales de cada tipo que se realizaron como prevención y las cuales no fueron utilizadas durante el desarrollo de la investigación.

Se tuvo en cuenta el curado del concreto, esperando los 28 días para obtener la resistencia máxima, con el fin de poder realizar un análisis completo y obtener los datos necesarios para comparar la resistencia a flexión y compresión de todas las muestras con diferentes macro fibras.

Se ejecutaron los ensayos teniendo como objetivo comparar las resistencias mecánicas y así poder concluir, aunque no de manera definitiva, que fibra presenta más aportes al concreto.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

2.1. CEMENTO

Existen varios tipos de cemento que se utilizan actualmente en la construcción para casos específicos; para la elaboración de este proyecto se utilizó cemento Cemex tipo súper resistente, con una densidad de 2900 Kg/m³.

Tabla 2. Información técnica para un cemento Súper resistente.

INFORMACIÓN TÉCNICA		
Resistencias a compresión (Kg/cm²)		
1 día	65 - 95	NA
3 días	125 - 175	Mínimo 80
7 días	170 - 230	Mínimo 150
28 días	260 - 310	Mínimo 240
Análisis físicos	Rango resultados	Requisitos Norma NTC121
Superficie específica Blaine (cm ² /g)	5000 - 7000	Mínimo 2800
Tiempos de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	120 - 160	Mínimo 45
Final	170 - 230	Máximo 480
Expansión en autoclave (%)	0,01 - 0,10	Máximo 0,80
Análisis químicos		Requisitos Norma NTC321
% SO ³	2,0 - 3,5	Máximo 3,5
%MgO	1,0 - 3,0	Máximo 7,0

Fuente: (CEMEX, Edición 2014)

2.2. AGREGADOS

Para el caso particular de este proyecto los materiales fueron suministrados por la empresa Concescol S.A. Para la elaboración del diseño de mezcla del proyecto se realizó ensayos de clasificación del material granular, tales como granulometría, densidad Bulk y peso específico de los materiales obteniendo la siguiente información:

Tabla 3. Información general de los agregados utilizados.

	AGREGADOS FINOS	AGREGADOS GRUESOS
Densidad	2608 Kg/m ³	2630 Kg/m ³
Módulo de finura	3,467	3,227
Peso Unitario Compacto	1762,83 Kg/m ³	1574,50 Kg/m ³
Peso Unitario Suelto	1613,78 Kg/m ³	1460,56 Kg/m ³

Fuente: Autores.


La gradación del material granular fino para nuestro ensayo presenta una gran cantidad de material que pasa tamiz N°4 encontrándose entre este tamiz hasta retener en el tamiz N°100.

Como se observa gráficamente un gran porcentaje del material paso los tamices de mayor tamaño comenzando a retener en gran medida desde el tamiz de 1/2", encontrándose las partículas de agregados gruesos entre los tamices 3/4" hasta retener en el tamiz N°8.

Se determinó que para las gravas el tamaño máximo nominal es de 3/4" y para las arenas el tamaño máximo es el retenido en el tamiz N°4. Con base en estos tamaños máximos nominales se procede a realizar el diseño de mezcla, de acuerdo con la metodología ACI.

2.3. FIBRAS

Las fibras se utilizan para reforzar el concreto y mejorar las condiciones mecánicas, reduciendo grietas en estado plástico y endurecido. Estas fibras pueden estar compuestas de diferentes materiales como el acero, el vidrio, materiales sintéticos o naturales. Las macrofibras que utilizamos en el proyecto son fibras de acero, fibras de vidrio Anti-Crak HP 67/36, fibras de PET marca Fibraplas Concrete y fibras de cáñamo. Utilizamos estas fibras debido a la disponibilidad en el mercado, al ser fibras que se utilizan comúnmente fue más

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

sencillo conseguirlas, además que para la comparación final teníamos un tipo de fibra de cada material por lo que vimos conveniente que se utilizaran solo estas. Se realizaron los cálculos necesarios para la dosificación de cada uno de los materiales, los cuales se especifican a continuación:

Tabla 4. Cálculo de peso requerido para cada fibra.

Fibras	Densidad g/cm ³	Densidad kg/m ³	Dosificación	Según F. técnica	Volumen	Kg requerido
Acero	7,5	7500			0,0002464	1,848
PET	1,27	1270	2,4 a 8	0,096 a 0,321	0,0002464	0,312928
Fibra de vidrio	2,68	2680	5 a 10		0,0002464	0,660352
Cañamo	1,1	1100			0,0002464	0,27104


Fuente: Autores.

2.3.1. Acero

Las fibras de acero utilizadas son unas Dramix 3D que tienen unas dimensiones de 60 mm de longitud y un diámetro de 1.05 mm, poseen una densidad de 7500 Kg/m³ con una dosificación de entre 20 Kg/m³ a 50 Kg/m³. Con base en esta dosificación, se calculó el 2% del peso total de concreto necesitado para todas las muestras a realizar y se obtuvo un peso de fibras de 1,85 Kg, que se encuentra en el rango establecido de dosificación por metro cubico, según la ficha técnica (SIKA⁴⁰). Con el peso obtenido de fibras de acero y dividiéndolo por su densidad se obtuvo un volumen de $2,46 \times 10^{-4}$ m³, con el cual se procedió a calcular los pesos de los demás materiales.

Estas fibras de acero tienen, por las características de su material, los mismos problemas de corrosión que un refuerzo convencional de varillas o mallas electrosoldadas, en donde de no aplicarse de manera adecuada en la mezcla o, al momento de realizar la aplicación, tenerlas sumergidas durante mucho tiempo en agua, podrían variar las condiciones químicas de las fibras, reduciendo

⁴⁰ SIKA. "Concreto reforzado con fibras". Agosto de 2014.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.
---	--	-----------------

significativamente la resistencia del concreto. Además, para conseguir una distribución completa es necesario que después de incorporar las fibras se mezcle durante 5 minutos.


Tabla 5. Especificaciones técnicas de los tipos de fibras Dramix.

Tipo de Fibra	Dramix® 3D 80/60BG	Dramix® 4D 55/60BG
Longitud (L)	60 mm	60 mm
Diámetro (D)	0.75 mm	1.05 mm
Relación de Esbeltez (L/D)	80	55
Resistencia a la Tracción	1,225 N/mm ²	1,500 N/mm ²
Dosificación Mínima(*)	10 kg/m ³	20 kg/m ³
Red de Fibra	4,584 Fibras/kg	2,339 Fibras/kg
Presentación de las Fibras	Encolada	Encolada

Fuente: PRODIMIN

2.3.2. PET

Las fibras de PET utilizadas son fibras sintéticas estructurales compuestas por polipropileno y PET, poseen una densidad de 1270 Kg/m³ y su dosificación según ficha técnica es de 2,4 Kg/m³ a 8 Kg/m³. Utilizamos estas fibras de fibraplas concrete en específico, ya que fue fácil obtenerlas. Las fibras tienen unas dimensiones establecidas de 0,70 mm de diámetro y una longitud de 55 mm, lo que le da una relación de esbeltez de 59. Para conseguir el peso necesario para la adición a la mezcla se tomó el volumen calculado de las fibras de acero y se multiplicó por la densidad de las fibras de PET, obteniendo un peso de 0,32 Kg. Se calculó el peso necesario para cada material, pero ya no en función del peso total de concreto sino del volumen ocupado por el acero, así garantizábamos mantener un volumen igual para cada material en la mezcla de concreto. Las fibras de PET no presentan afectaciones al concreto, sin embargo, es necesario que al momento de haberlas incorporado se mezclen durante 5 minutos para evitar que se formen

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

“grumos”, es decir, se debe garantizar que se mezclen muy bien los materiales para que exista una distribución homogénea de las fibras.


Tabla 6. Información técnica comparativa para fibraplas concrete.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	FIBRAPLAS CONCRETE®	FIBRA SINTÉTICA DE LA COMPETENCIA	FIBRA METÁLICA
Díametro promedio	mm	0,70	0,95	0,78
Tipo de macrofibra	N.A.	SINTÉTICA	SINTÉTICA	METÁLICA
Longitud	mm	55	50	55
Fibras por Kg promedio	und	35.000	31.850	4.289
Dosificación frecuente	Kg/m ³	2,4 a 8,0	3,0 a 12,0	18,0 a 30,0
Fibras por m ³ (con dosificación promedio)	und	140.000	159.250	77.202
Gravedad específica	Gr/cm ³	1,27	0,91	7,84
Resistencia máxima a la tensión	Mpa	405	282	550
Modulo de elasticidad promedio	Gpa	4,8	3,7	17
Textura superficial	ASPECTO	GRAFILADO	ONDULADO	LISA CON GANCHOS
Punto de fusión	°C	260	166	1350
Presentación empaque soluble	N.A.	SI	NO	SI
Relación de aspecto	N.A.	79	53	71
Color	COLOR	Metalizado	Gris	Metalizado
Absorción	N.A.	NULA	NULA	NULA
Resistencia a sales y ácidos	N.A.	ALTA	ALTA	ALTA
Resistencia al álcalis	N.A.	ALTA	ALTA	BAJA
Resistencia a moho-hongos	N.A.	ALTA	ALTA	BAJA
Conductividad eléctrica	N.A.	BAJA	BAJA	ALTA
Conductividad termica	N.A.	BAJA	BAJA	ALTA

Fuente: ACEBRI, 2017.

2.3.3. Fibra de vidrio

Las macro fibras de vidrio Anti-Crak HP 67/36 son fibras de alto rendimiento diseñadas para el refuerzo frente a la fisuración por retracción plástica, además de aumentar la resistencia a la flexión y la ductilidad del concreto. Poseen una densidad de 2680 Kg/m³ y unas dimensiones variables, puesto que la longitud de las fibras va desde 36 mm a una pulgada y media, manteniendo una relación de esbeltez de 67. Se implementaron estas fibras ya que no se encontraban muchas

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


referencias disponibles. Entre sus composiciones físicas y químicas presentan una conductividad eléctrica muy baja y una resistencia química muy alta, en específico a los álcalis, también son resistentes a la corrosión. Estas fibras, cuando se utilizan en cantidades industriales, no afectan el bombeo del concreto, pues son muy fáciles de manejar y presentan una humedad baja (0,3% máx.). Presenta un módulo de elasticidad de 72 GPa y una resistencia a la tracción de 1700 MPa. Además, se combinan muy fácil con los agregados ya que poseen un peso específico similar, lo que produce que no se requiera de mucho tiempo adicional para el mezclado. Se calculó el peso requerido de macrofibras de vidrio multiplicando su densidad por el volumen calculado de las fibras de acero, obteniendo un peso de fibras de 0,66 Kg.

2.3.4. Cábano

El cábano proviene, o mejor, es una hierba anual asiática de la cual se extraen las fibras, estas pueden ser blandas o fuertes y depende de en qué momento se extraigan, por ser un material natural sufre de corrosión por el apara alcalina del concreto⁴¹, por esto al momento de mezclarlo estas fibras se desintegran rápidamente, haciendo necesario corregir la alcalinidad por lo que se emplea una puzolana activa como la cal hidratada⁴². La longitud usada para las fibras fue de aproximadamente 60 mm, esto con el fin de tratar de mantener la misma longitud en todas las macrofibras utilizadas. Las fibras de cábano son las que poseen la menor densidad entre todas las fibras utilizadas en el proyecto, pues esta es de 1100 Kg/m³ y el peso requerido para el volumen antes calculado es de 0,27 Kg. Para el caso particular de las fibras de cábano, al ser un material que no se consigue fácilmente a nivel de construcción, no se posee una ficha técnica detallada; la densidad, por ejemplo, se determinó mediante un ensayo simple de

⁴¹ SIKA. "Concreto reforzado con fibras". Agosto de 2014.

⁴² STULZ, Roland y MUKERJI, Kiran. "Materiales de construcción apropiados: Catalogo de soluciones potenciales". Revisado, edición ampliado. 1993.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

Arquímedes. Sin embargo, existe un tipo de bloque que integra las fibras de cáñamo llamado Cannabric y presenta unas especificaciones técnicas que son útiles para la caracterización del elemento.

Tabla 7. Información técnica comparativa para fibraplas concrete.

Dimensión y espesor de paredes (cm) (UNE-EN 772-16/ 2001):	30/ 14,5/ 10,5 (bloque macizo, sin huecos)
Planeidad de las caras (desviación máxima) (UNE-EN 772-20/ 2001):	Sobre una dimensión de 332 mm: 2,0 mm
Ortogonalidad de los ángulos (máximo valor de la tangente de las desviaciones de los ángulos sobre 90°) (UNE 127.030/ 99):	0,01
Densidad aparente aproximada/ 28 días (determinada en fábrica):	1,3 kg/ dm3
Densidad absoluta seca (valor medio según UNE-EN 772-13/ 2001):	1100 kg/ m3
Masa absoluta seca (valor medio):	4,5- 4,7 kg
Resistencia a la compresión característica (28 días) , referida a la sección bruta (UNE-EN 771-1/ 2001):	13,00 kg/ cm2 (1,3 N/mm2)
Resistencia a la compresión media (28 días) , referida a la sección bruta:	14,00 kg/ cm2 (1,4 N/ mm2)
Resistencia a la compresión mínima (90 días) referida a la sección bruta (UNE-EN 771-1/ 2001):	15,00 kg/ cm2 (1,5 N/ mm2)
Resistencia a la flexión (28 días) (UNE 83.305-86):	6,10 kg/ cm2

Fuente: CANNABRIC, 2008.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

3. DISEÑO DE MEZCLA

Para realizar los ensayos se desarrolló un diseño de mezcla con resistencia a la compresión de 3500 psi (24 Mpa), el diseño fue realizado por el método ACI, teniendo en cuenta la caracterización realizada a los materiales obtenidos en Concescol S.A.

Se realizaron 35 cilindros y 10 vigas divididas de la siguiente forma, 7 cilindros y 2 vigas de concreto reforzado con fibras por cada tipo de material de las macrofibras y la misma cantidad de cilindros y vigas de concreto convencional.

Para realizar un diseño de mezcla por el método ACI, se deben tener en cuenta varias características de los materiales, como lo son: La densidad, el módulo de finura y la masa unitaria compactada (MUC) de la grava que se va a utilizar. Los datos obtenidos se encuentran en el numeral 2.2.

Con las características de los materiales definidas, se procede a realizar los cálculos por el método ACI, para este método se debe obtener las siguientes especificaciones:

- Selección de asentamiento del concreto
- Selección del tamaño máximo del agregado
- Estimación del contenido de aire
- Estimación del contenido del agua
- Determinación de la resistencia de diseño
- Selección de la relación agua-cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación de las porciones de agregado grueso
- Estimación de las porciones de agregado fino.

A continuación, observamos algunas de las especificaciones descritas anteriormente:


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.
---	--	-----------------

Tabla 8. Especificaciones necesarias para el diseño de mezcla por el método ACI

asentamiento (cm)	7
TMN	3/4"
resistencia del concreto (kg/cm²)	245
relacion a/c	0,52

Fuente: Autores

El método ACI calcula la cantidad requerida de cada material que se debe usar para obtener un concreto con resistencia de 3500 PSI, los resultados que obtenemos en este método son para 1 metro cubico de concreto, a continuación, observamos los pesos y volúmenes obtenidos:

Tabla 9. Pesos y volúmenes para 1 m³ de concreto.

CANTIDADES REQUERIDAS PARA 1 M ³ DE CONCRETO					
	aire	agua	cemento	grava	arena
peso (kg/m³)		205	394,2307692	872,7611875	827,28367
Volumen (m³)	0,01	0,205	0,135941645	0,33184836	0,31721

Fuente: Autores.

Tabla 10. Volumen de concreto para 35 cilindros y 10 vigas.

CILINDROS		VIGAS	
VOLUMEN CILINDRO	0,001570796	VOLUMEN VIGAS	0,01125
CANTIDAD	35	CANTIDAD	10
VOLUMEN TOTAL CILINDROS	0,054977871	VOLUMEN TOTAL VIGAS	0,1125
VOLUMEN TOTAL +20% ERROR [m³]			0,200973446

Fuente: Autores.

Al volumen obtenido se le aplica un porcentaje de error, ya que se debe tener en cuenta las pérdidas o desperdicios que se presentan en el momento de fundir los cilindros y vigas. Teniendo en cuenta que se realizaron 7 cilindros y 2 vigas por ensayo de laboratorio los volúmenes utilizados en estas prácticas se observan a continuación:


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.
---	--	-----------------

Tabla 11. Volumen de concreto para 7 cilindros y 2 vigas.

CILINDROS		VIGAS	
VOLUMEN CILINDRO	0,001570796	VOLUMEN VIGAS	0,01125
CANTIDAD	7	CANTIDAD	2
VOLUMEN TOTAL CILINDROS	0,010995574	VOLUMEN TOTAL VIGAS	0,0225
VOLUMEN TOTAL +20% ERROR [m3]		0,040194689	

Fuente: Autores.

Los pesos de los materiales para realizar 7 cilindros y 2 vigas de concreto, para los 5 diferentes ensayos de laboratorio que se desarrollaron fueron los siguientes.

Tabla 12. Pesos y volúmenes para 7 cilindros y 2 vigas.

CANTIADES REQUERIDAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA					
	aire	agua	cemento	grava	arena
peso (kg)		8,24	15,85	35,08	33,25
volumen (m3)		0,008239911	0,005464132	0,013338542	0,0127502

Fuente: Autores.

4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

Los tipos de fibras que se utilizaron varían, dependiendo el material, en su longitud y en propiedades como la densidad. Para el caso del cáñamo fue necesario hacer primero un proceso en el cual se bañaron las fibras en cal, esto con el fin de controlar la alcalinidad en el concreto que desintegra las fibras y permitirle una mejor adherencia⁴³. Las fibras con cal no afectan la mezcla por estar bañadas en cal, al contrario, y como se mencionó, este proceso es necesario para no degradar las fibras, en formas en que se puede ver afectado la mezcla de concreto es la situación que la cantidad de mezclas sea excesiva e interrumpa la plasticidad del concreto.

Las fibras utilizadas se presentan a continuación:



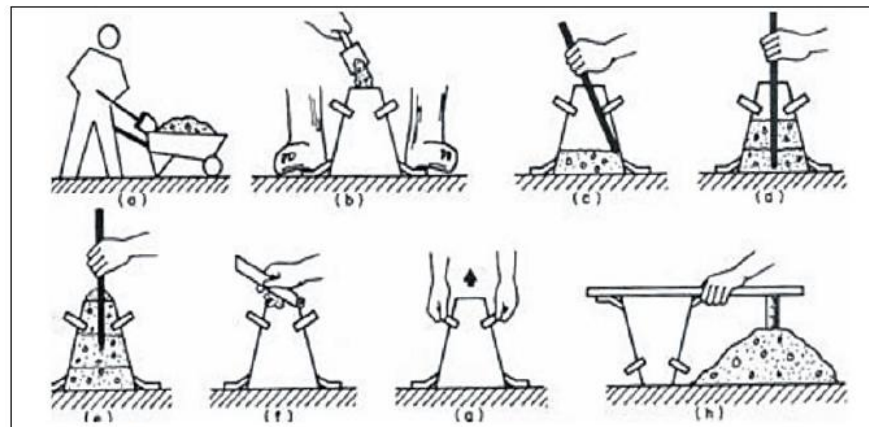
⁴³ STULZ, Roland y MUKERJI, Kiran. "Materiales de construcción apropiados: Catalogo de soluciones potenciales". Revisado, edición ampliada. 1993.



Además de los materiales generales para cada muestra, se contempló en el diseño de mezcla el uso de plastificante⁴⁴, puesto que al adicionar las macrofibras al concreto estas reducían la plasticidad, por lo que de no utilizar plastificante hubiera sido más complicado realizar las fundidas de los cilindros y vigas. La cantidad de plastificante utilizada fue de 0,07% del peso del cemento utilizado en las muestras, lo que equivale a 10 g. Esta cantidad se estableció debido a que con un porcentaje de 0,3% el asentamiento presentado fue de 21 cm y sin plastificante la muestra presenta 3 cm de asentamiento, por lo tanto, se realiza una regresión determinando el porcentaje nombrado anteriormente. El plastificante es un material aditivo líquido que se utiliza con el fin aumentar la fluidez del concreto, para hacer más fácil su colocación, por lo que no afecta al concreto en su resistencia final.

Después de realizadas todas las mezclas y antes de comenzar la fundida de los cilindros y las vigas, se realizó la prueba del cono de Abrams. (Anexo 1)

Ilustración 7. Ensayo de asentamiento.



Fuente: NIÑO HERNANDEZ, Jairo René⁴⁵.

⁴⁴ SIKA. SikaPlast® MO. "Superplastificante reductor de agua de alto rango". Sika Colombia S.A.S. Noviembre 2017.

⁴⁵ NIÑO HERNANDEZ, Jairo René. "Tecnología del concreto. Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas". 3 ed. Bogotá D.C: Asocreto. 2010. Página 228.

Las pruebas del cono de Abrams arrojaron diferentes valores de asentamiento para cada mezcla de concreto, reforzada con distinto material; se debe tener en cuenta que para el concreto reforzado con fibras de PET, vidrio y cáñamo, la plasticidad bajo de forma más notoria, por medio de la (tabla 13) observamos los asentamientos obtenidos.

Tabla 13. Asentamiento obtenido en laboratorio.

TIPO DE CONCRETO	ASENTAMIENTO (CM)
CONCRETO CONVENCIONAL	8
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO	8
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE PET	3
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO	2
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE CAÑAMO	4

Fuente: Autores

Para las muestras de concreto y concreto reforzado con fibras se utilizó el diseño de mezcla con una resistencia de 3500 PSI (24 Mpa). Para los concretos reforzados con fibras se incorporaron las cantidades observadas a continuación:

Tabla 14. Densidades de macrofibras y peso utilizado.

Fibras	Densidad g/cm3	Densidad kg/m3	Dosificación kg /m3	Volumen	Peso requerido
Acero	7,5	7500	20 a 50	0,0002464	1,848
PET	1,27	1270	2,4 a 8	0,0002464	0,312928
Fibra de vidrio	2,68	2680	5 a 10	0,0002464	0,660352
Cañamo	1,1	1100		0,0002464	0,27104

Fuente: Autores.

Todas las muestras después de fundidas fueron desencofradas y curadas en el tanque o piscina que se encuentra en los laboratorios de la universidad. Todas las muestras permanecieron dentro del tanque hasta el día en que iban a ser ensayadas. Después se realizaron los ensayos a compresión y flexión para cada una de las muestras (anexo 8).

5. RESULTADOS ENSAYOS

5.1. ENSAYOS A COMPRESIÓN

Se realizaron los ensayos a compresión como indica la norma NTC 673 “*Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*”, en los laboratorios de la universidad católica de Colombia.

Todos los cilindros ensayados a compresión fueron nombrados con letra y número para tener un orden de los resultados obtenidos, los cilindros de concreto reforzados con fibras están nombrados y numerados dependiendo de la fibra utilizada para el reforzamiento y el orden en el que han sido ensayados, las letras utilizadas son la inicial de la palabra fibra “F” acompañadas de la inicial de la macrofibra utilizada, por ejemplo acero “A”, por último la numeración va de 1 a 6 dependiendo el orden en el que fueron ensayados los cilindros de cada macrofibra, los cilindros de concreto fueron marcados con la inicial de concreto (C).

A continuación, observamos las especificaciones de los cilindros, esfuerzo máximo soportado por los cilindros y la curva de esfuerzo que presentan los cilindros de concreto reforzados con las diferentes fibras.

Resultados cilindros de concreto

Tabla 15. Especificaciones de los cilindros sin reforzamiento.

CONCRETO CONVENCIONAL											
CILINDRO 1 (7 días)				CILINDRO 2 (7 días)				CILINDRO 3 (14 días)			
C1	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	C2	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	C3	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	100,40	204,42	3,84		101	205,4	3,83		100,55	205,28	3,834
	100,97	204,88			100,33	205,56			100,8	205,71	
	101,38	204,93			100,06	206,22			101,5	205,12	
PROMEDIO	100,92	204,74	3,84	PROMEDIO	100,46	205,73	3,83	PROMEDIO	100,95	205,37	3,834
CILINDRO 4 (14 días)				CILINDRO 5 (28 días)				CILINDRO 6 (28 días)			
C4	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	C5	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	C6	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	101,3	204,16	3,862		100,38	204,93	3,818		101,16	215,49	3,884
	101,82	205,64			101,12	204,91			101,71	212,88	
	102,37	204,33			101,12	204,86			101,45	212,94	
PROMEDIO	101,83	204,71	3,862	PROMEDIO	100,87	204,9	3,818	PROMEDIO	101,44	213,77	3,884

Fuente: Autores.

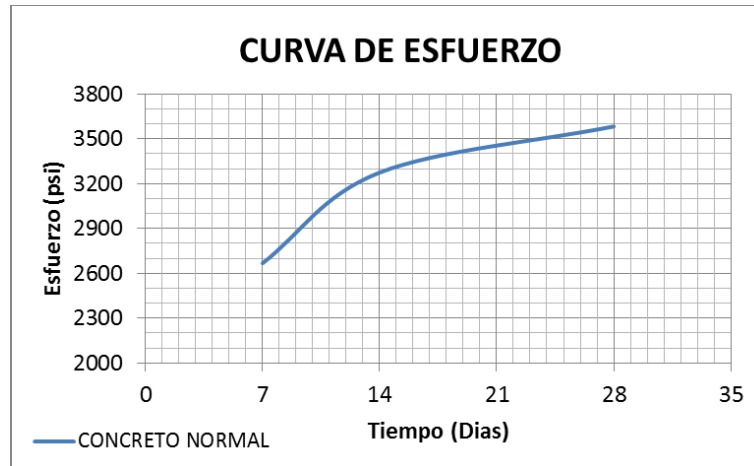


Tabla 16. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros sin reforzamiento

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
C1	C2	C3	C4	C5	C6
CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)
145,00	147,84	182,31	182,18	192,07	205,06
AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)
7998,63	7926,93	8003,92	8144,07	7991,76	8081,80
ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)
2629,26	2704,93	3303,64	3244,47	3485,77	3680,12
PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO	
2667,10		3274,05		3582,95	

Fuente: Autores

Grafica 1. Curva de esfuerzo de cilindros de concreto.



Fuente: Autores.

Cilindros de concreto reforzado con fibras de acero

Tabla 17. Especificaciones cilindros con reforzamiento de fibras de acero

CILINDROS FIBRA DE ACERO											
CILINDRO 1 (7 días)				CILINDRO 2 (7 días)				CILINDRO 3 (14 días)			
FA1	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FA2	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FA3	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	100,77	203,71	3,82		101,75	203,15	3,841		100,53	203,49	3,795
	101,10	203,65			101,83	202,48			101,09	202,03	
	101,26	204,10			102,11	204,38			101,45	203,43	
PROMEDIO	101,04	203,82	3,82	PROMEDIO	101,90	203,34	3,84	PROMEDIO	101,02	202,98	3,80
CILINDRO 4 (14 días)				CILINDRO 5 (28 días)				CILINDRO 6 (28 días)			
FA4	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FA5	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FA6	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	100,66	203	3,845		100,17	203,87	3,784		101,14	203,91	3,784
	101,44	202,58			100,29	203,41			101,07	202,61	
	101,74	203,02			100,49	203,89			101	202,48	
PROMEDIO	101,28	202,866667	3,845	PROMEDIO	100,3166667	203,72333	3,784	PROMEDIO	101,07	203	3,784

Fuente: Autores.


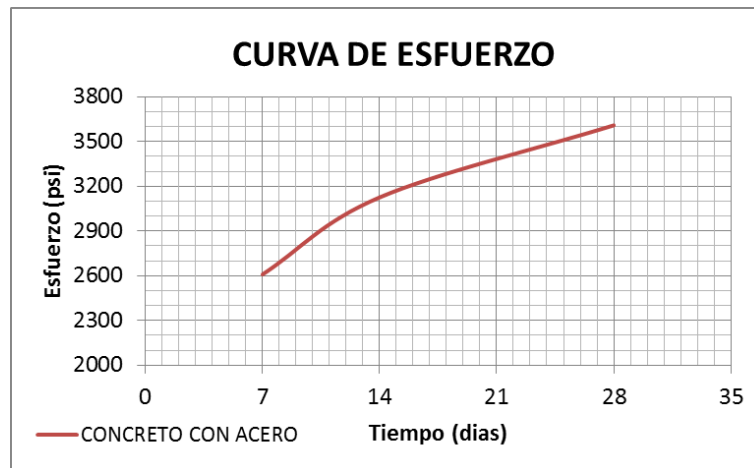
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.

Tabla 18. Carga y esfuerzo máximo que soportó los cilindros con reforzamiento de acero

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6
CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)
141,27	149,69	171,31	175,04	201,71	194,47
AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)
8018,72	8154,73	8015,55	8056,33	7903,80	8022,96
ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)
2555,234789	2662,422066	3099,752996	3151,177632	3701,492713	3515,648219
PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO	
2608,83		3125,47		3608,57	

Fuente: Autores.

Gráfica 2. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de acero.



Fuente: Autores.

Cilindros de concreto reforzado con fibras de PET

Tabla 19. Especificaciones cilindros con reforzamiento de fibras de PET

CILINDROS FIBRA DE PET											
CILINDRO 1 (7 días)				CILINDRO 2 (7 días)				CILINDRO 3 (14 días)			
FP1	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FP2	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FP3	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	100,48	204,78	3,80		100,65	203,58	3,796		101,06	203,83	3,875
	100,58	203,87			100,55	204,16			101,29	205,9	
	100,33	202,42			100,71	204,02			101,25	206,19	
PROMEDIO	100,46	203,69	3,80	PROMEDIO	100,64	203,92	3,80	PROMEDIO	101,2	205,3067	3,875
CILINDRO 4 (14 días)				CILINDRO 5 (28 días)				CILINDRO 6 (28 días)			
FP4	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FP5	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FP6	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	100,39	205	3,842		101,4	204,23	3,885		102,14	208,16	3,875
	100,4	206			101,17	203,12			101,87	203,11	
	100,8	205,1			101,04	204,71			101,91	205,17	
PROMEDIO	100,595	205,366667	3,842	PROMEDIO	101,2033333	204,02	3,885	PROMEDIO	101,9733333	205,48	3,875

Fuente: Autores.


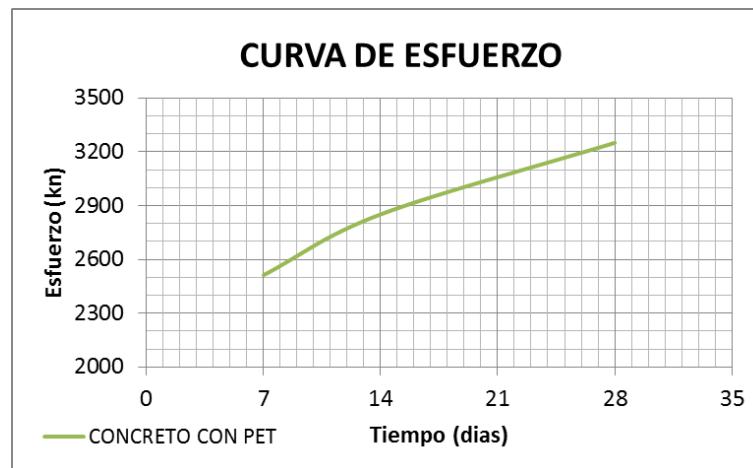
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.

Tabla 20. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de PET

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	FP6
CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)
126,96	148,19	156,30	158,02	177,83	185,46
AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)
7926,93	7954,31	8043,61	7947,72	8044,14	8167,01
ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)
2322,970354	2702,071117	2818,2882	2883,687418	3206,318261	3293,548615
PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO	
2512,52		2850,99		3249,93	

Fuente: Autores.

Grafica 3. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de tereftalato de polietileno (PET).



Fuente: Autores.

Cilindros de concreto reforzado con fibras de vidrio

Tabla 21. Especificaciones cilindros con reforzamiento de fibras de fibra de vidrio

CILINDROS FIBRA DE VIDRIO											
CILINDRO 1 (7 días)				CILINDRO 2 (7 días)				CILINDRO 3 (14 días)			
FV1	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FV2	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FV3	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	101,29	204,49	3,82		101,46	204,75	3,834		101,69	204,22	3,869
	100,94	204,41			101,4	205,06			101,87	204,61	
	101,80	204,98			101,76	204,51			101,67	203,65	
PROMEDIO	101,34	204,63	3,82	PROMEDIO	101,54	204,77	3,83	PROMEDIO	101,743333	204,16	3,869
CILINDRO 4 (14 días)				CILINDRO 5 (28 días)				CILINDRO 6 (28 días)			
FV4	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FV5	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FV6	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)
	101,6	203,71	3,857		100,74	206,11	3,837		101,44	204,25	3,855
	101,6	205,14			100,71	205,66			101,4	204,81	
	101,93	205,06			101,6	205,84			101,75	204,48	
PROMEDIO	101,71	204,636667	3,857	PROMEDIO	101,0166667	205,87	3,837	PROMEDIO	101,53	204,5133	3,855

Fuente: Autores.


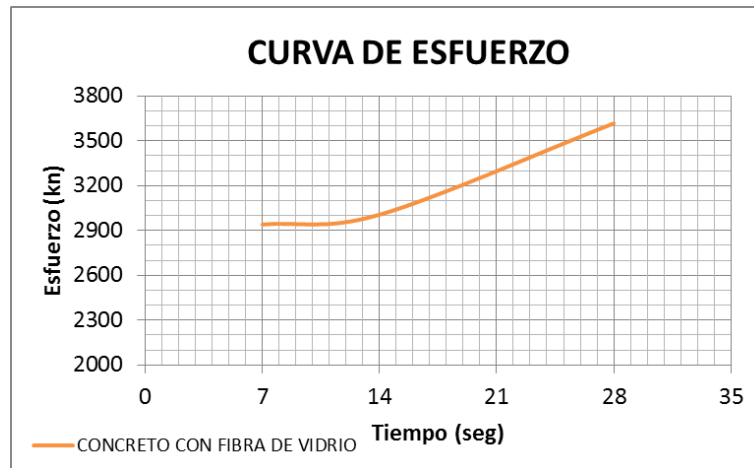
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.

Tabla 22. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de fibras de fibra de vidrio

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
FV1	FV2	FV3	FV4	FV5	FV6
CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)
171,21	156,47	165,69	171,21	204,43	197,25
AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)
8066,41	8097,75	8130,21	8124,88	8014,49	8096,15
ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)
3078,364603	2802,555595	2955,771994	3056,209473	3699,499565	3533,573868
PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO	
2940,46		3005,99		3616,54	

Fuente: Autores.

Grafica 4. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de vidrio.



Fuente: Autores.

Cilindros de concreto reforzado con fibras de cáñamo

Tabla 23. Especificaciones cilindros reforzados con fibras de cáñamo

CILINDROS FIBRA DE CAÑAMO													
CILINDRO 1 (7 días)				CILINDRO 2 (7 días)				CILINDRO 3 (14 días)					
FC1	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FC2	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FC3	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)		
	101,28	205,41	3,82		100,42	200,10	3,758		101,99	204,29	3,837	101,88	203,33
	100,76	205,59			101,13	201,35			101,8	204,31			
	100,19	202,51			101,74	204,98							
PROMEDIO	100,74	204,50	3,82	PROMEDIO	101,10	202,14	3,76	PROMEDIO	101,89	203,9767	3,837		
CILINDRO 4 (14 días)				CILINDRO 5 (28 días)				CILINDRO 6 (28 días)					
FC4	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FC5	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)	FC6	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (KG)		
	100,94	202,49	3,822		100,65	202,56	3,735		101,26	201,19	3,798	101,66	202,29
	101,43	203,69			100,86	202,68			101,95	202,36			
	102,1	201,19			101,49	201,7							
PROMEDIO	101,49	202,456667	3,822	PROMEDIO	101	202,31333	3,735	PROMEDIO	101,623333	201,9467	3,798		

Fuente: Autores.


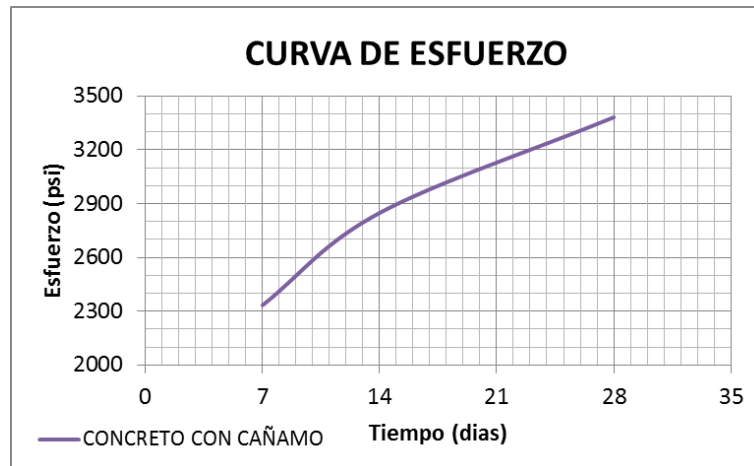
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS	FECHA: 2019.

Tabla 24. Carga y esfuerzo máximo que soporto los cilindros con reforzamiento de fibras de cáñamo

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6
CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)	CARGA MAXIMA (KN)
136,52	120,78	160,70	158,25	187,65	188,20
AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)	AREA DEL CILINDRO (mm)
7971,18	8027,19	8153,67	8089,77	8011,85	8111,04
ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)	ESFUERZO MAXIMO (PSI)
2484,050036	2182,28617	2858,473979	2837,148164	3397,046589	3365,382835
PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO	
2333,17		2847,81		3381,21	

Fuente: Autores.

Grafica 5. Curva de esfuerzo de cilindros reforzados con fibras de cáñamo.



Fuente: Autores.

5.2. ENSAYOS A FLEXIÓN.

Se realizaron ensayos a flexión en 10 vigas de concreto, 2 de concreto normal y 8 de concreto reforzadas con fibras, los ensayos fueron realizados con la máquina universal como indica la norma NTC 2871 “ensayo para determinar la resistencia el concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)”. Al igual que los cilindros, las vigas de concreto y concreto reforzado con fibras fueron nombradas con letra y número para tener un orden de los resultados obtenidos, utilizando la letra inicial de la palabra viga “V” seguido de la letra inicial de fibra “F”, acompañadas por la inicial de cada fibra utilizada, por ejemplo,



cañaño “C” y por último el numero 1 o 2, dependiendo la edad de la viga (14 o 28 días), obteniendo así la referencia de viga “VFC1” o “VFC2”. Con base a los resultados obtenidos después del ensayo, se calculó el módulo de rotura de acuerdo con el método presentado en la NTC 2871.

Vigas de concreto

Tabla 25. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas de concreto

VIGAS CONCRETO CONVENCIONAL											
VC1						VC2					
CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO						CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO					
ANCHO (mm)	150,8	151,72	150,62	151,05		ANCHO (mm)	153	157	160	156,67	
ALTO (mm)	157,07	154,62	163,97	158,55		ALTO (mm)	157	152	160	156,33	
LARGO (mm)	505	502	502	503		LARGO (mm)	500	497	500	499	
PESO (kg)	27,88					PESO (kg)	27,42				
RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO						RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO					
ANCHO EN LA ZONA DE FALLA (cm)	20,6	20,2	19,8	20,2		ANCHO EN LA ZONA DE FALLA (cm)	16	15,7	16	15,90	
ALTURA EN LA ZONA DE FALLA (cm)	15,7	15,5	16	15,73		ALTURA EN LA ZONA DE FALLA (cm)	14,7	14,4	14,5	14,53	
LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS (cm)	42					LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS (cm)	42				
APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL					APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL				
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1					MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1				
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE						MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE					
DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	15	15,5	16,1	15,53		DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	23	21,3	20	21,43	
CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	22,4					CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	32,4				
MODULO DE ROTURA VIGA VC1	272,89					MODULO DE ROTURA VIGA VC2	587,69				
14 DIAS (psi)						28 DIAS (psi)					

Fuente: Autores.

Vigas de concreto reforzado con fibras de acero

Tabla 26. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de acero

VIGA FIBRA DE ACERO											
VFA1						VFA2					
CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO						CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO					
ANCHO (mm)	157	160	159	158,67		ANCHO (mm)	152	157	160	156,33	
ALTO (mm)	150	150	153	151,00		ALTO (mm)	160	157	166	161,00	
LARGO (mm)	501	500	501	500,67		LARGO (mm)	503	503	503	503	
PESO (kg)	26,7					PESO (kg)	28,3				
RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO						RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO					
ANCHO EN LA ZONA DE FALLA	15,2	15,7	15,5	15,47		ANCHO EN LA ZONA DE FALLA	15,2	15,2	15,2	15,2	
ALTURA EN LA ZONA DE FALLA	14,5	14,5	14,5	14,5		ALTURA EN LA ZONA DE FALLA	13	11,5		12,25	
LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS	42					LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS	42				
APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL					APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL				
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1					MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1				
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE						MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE					
DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	18,5	17	15,8	17,1		DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	18,8	18,5	18,5	18,6	
CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	25,5					CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	36				
MODULO DE ROTURA VIGA VFA1	477,68					MODULO DE ROTURA VIGA VFA2	961,43				
14 DIAS (psi)						28 DIAS (psi)					

Fuente: Autores.



Vigas de concreto reforzado con fibras de PET

Tabla 27. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de PET

VIGA FIBRA DE PET									
VFP1					VFP2				
CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO					CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO				
ANCHO (mm)	160	156	152	156,00	ANCHO (mm)	151	153	153	152,33
ALTO (mm)	155	140	150	148,33	ALTO (mm)	161	154	160	158,33
LARGO (mm)	503	505	500	502,67	LARGO (mm)	502	505	502	503
PESO (kg)	26,68			26,68	PESO (kg)	27,72			27,72
RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO					RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO				
ANCHO EN LA ZONA DE FALLA	15,5	15	15,3	15,267	ANCHO EN LA ZONA DE FALLA	15,3	15,3	15,3	15,3
ALTURA EN LA ZONA DE FALLA	14	14,5	14,3	14,267	ALTURA EN LA ZONA DE FALLA	13	13,3	13,2	13,167
LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS	42				LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS	42			
APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL				APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL			
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1				MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1			
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE					MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE				
DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	17,5	16	15,5	16,333	DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	19	18,8	17,8	18,533
CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	23,2				CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	32,8			
MODULO DE ROTURA VIGA VFP1 14 DIAS (psi)	454,81				MODULO DE ROTURA VIGA VFP2 28 DIAS (psi)	753,29			

Fuente: Autores.

Vigas de concreto reforzado con fibras de vidrio

Tabla 28. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de vidrio

VIGA FIBRA DE VIDRIO									
VFV1					VFV2				
CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO					CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO				
ANCHO (mm)	154	154	152	153,33	ANCHO (mm)	150	150	149	149,67
ALTO (mm)	143	139	147	143,00	ALTO (mm)	155	153	157	155,00
LARGO (mm)	500	502	502	501,33	LARGO (mm)	502	503	503	502,67
PESO (kg)	25,46			25,46	PESO (kg)	27,26			27,26
RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO					RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO				
ANCHO EN LA ZONA DE FALLA	15,5	15,4	15,2	15,367	ANCHO EN LA ZONA DE FALLA	15,5	15,4	15,3	15,4
ALTURA EN LA ZONA DE FALLA	13,5	13,7	13,6	13,6	ALTURA EN LA ZONA DE FALLA	15	14,2	14,7	14,633
LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS	42				LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS	42			
APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL				APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL			
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1				MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1			
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE					MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE				
DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	25	24	23	24	DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	23,5	23,3	23,7	23,5
CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	22,3				CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	30,7			
MODULO DE ROTURA VIGA VFV1 14 DIAS (psi)	477,95				MODULO DE ROTURA VIGA VFV2 28 DIAS (psi)	567,10			

Fuente: Autores.



Vigas de concreto reforzado con fibras de cáñamo

Tabla 29. Especificaciones y módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de cáñamo

VIGA FIBRA DE CAÑAMO									
VFC1					VFC2				
CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO					CARACTERISTICAS ANTES DEL ENSAYO				
ANCHO (mm)	156	155	152	154,33	ANCHO (mm)	152	153	155	153,33
ALTO (mm)	155	150	154	153,00	ALTO (mm)	160	155	160	158,33
LARGO (mm)	500	500	502	500,67	LARGO (mm)	503	505	510	506
PESO (kg)	26,44				PESO (kg)	27,9			
RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO					RESULTADOS OBTENIDOS DESPUES DEL ENSAYO				
ANCHO EN LA ZONA DE FALLA (cm)	15,4	15,3	15,4	15,367	ANCHO EN LA ZONA DE FALLA (cm)	15,2	15	15	15,067
ALTURA EN LA ZONA DE FALLA (cm)	13	13,1	13,5	13,2	ALTURA EN LA ZONA DE FALLA (cm)	14,3	14	14,3	14,2
LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS (cm)	42				LONGITUD LIBRE ENTRE APOYOS (cm)	42			
APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL				APARENCIA DEL CONCRETO	NORMAL			
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1				MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA DENTRO DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE	1			
MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE					MARQUE SI LA FRACTURA SE ENUENTRA FUERA DEL TERCIO MEDIO DE LA LUZ LIBRE				
DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	22	22,9	22,1	22,333	DISTANCIA ENTRE LA LINEA DE FRACTURA Y EL SOPORTE MAS CERCANO (cm)	24	23,3	25	24,1
CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	20,6				CARGA MAXIMA APLICADA (KN)	34,2			
MODULO DE ROTURA VIGA VFC1 14 DIAS (psi)	468,67				MODULO DE ROTURA VIGA VFC2 28 DIAS (psi)	685,75			

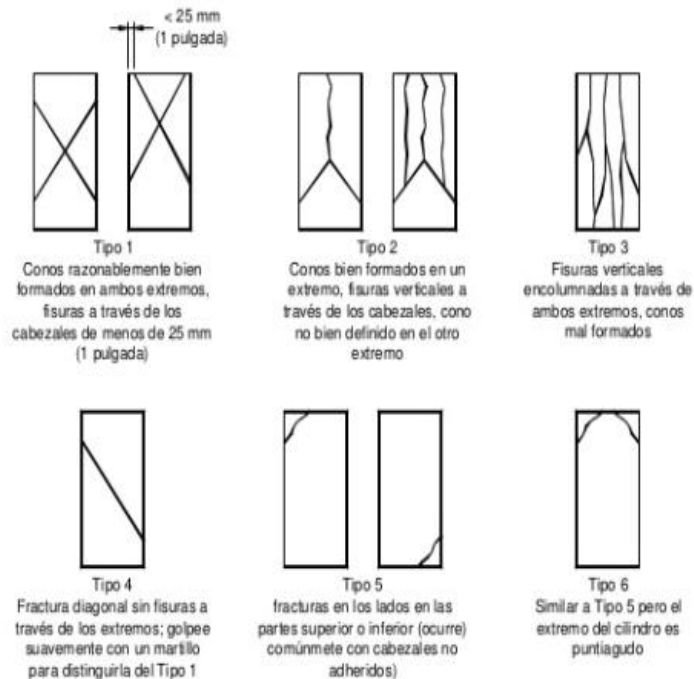
Fuente: Autores.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza el análisis de los resultados que se obtuvieron de los ensayos a compresión y flexión. De acuerdo con las tablas presentadas y todos los resultados obtenidos para cada una de las muestras, se realiza la comparación de los materiales utilizados como reforzamiento y se procede a establecer un análisis que determine que fibras aportan en el concreto un mejor desempeño.

Los tipos de falla en los cilindros que observamos los analizamos según la norma técnica colombiana NTC 673 la cual habla de la compresión de cilindros de concreto y nos enseña la siguiente ilustración:

Ilustración 8. Modelos de fractura típicos en cilindros de concreto.



Fuente: NTC 673.

A continuación, se presenta el análisis para cada fibra y el comportamiento encontrado en el concreto con cada una de ellas.

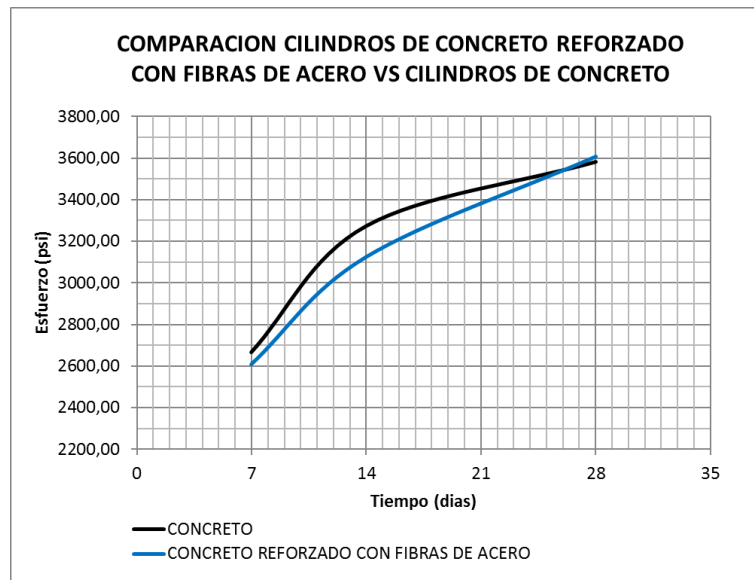


Acero

Los cilindros de concreto reforzado con fibras de acero presentan un comportamiento a la compresión, en su edad temprana y media (7 y 14 días), menor respecto a los resultados obtenidos de los cilindros de concreto, pero aumentando la resistencia del concreto al alcanzar su máxima resistencia (28 días) como se evidencia en la Gráfica 6.

Esto quiere decir que las macrofibras de acero disminuyen la capacidad de resistencia del concreto cuando este aún no alcanza su resistencia final, puesto que al ser barras sólidas vuelven más frágil el concreto, ya que no consiguen adherirse adecuadamente y hacen que este se cuartee ante la presencia de cargas. Esto se determina al verificar las muestras después de ensayadas en donde una vez falla el material las fibras de acero se ven completamente iguales.

Gráfica 6. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de acero vs concreto normal.



Fuente: Autores.

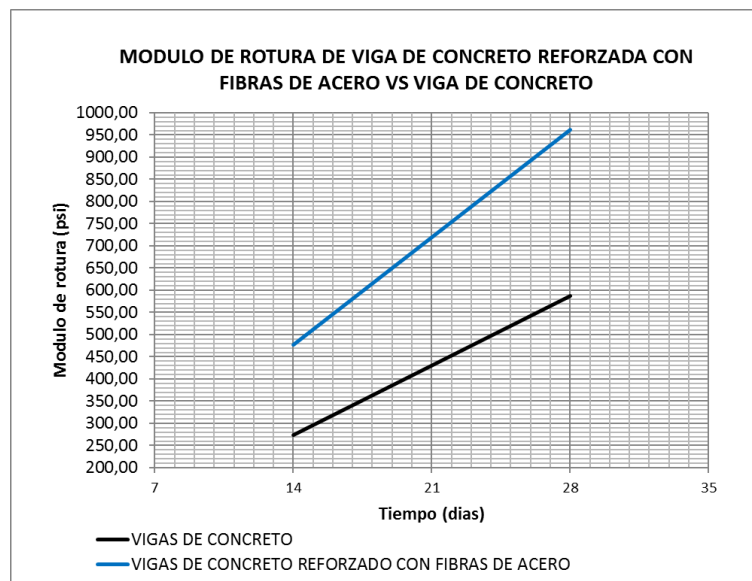


Cuando el concreto alcanza su edad final, la resistencia a compresión del concreto se ve influenciada de una manera positiva por las macrofibras, aunque no es muy diferencial la resistencia que tiene el concreto normal frente a la resistencia obtenida con el refuerzo de las fibras, pues el incremento es de apenas el 1%, si es importante destacar que logra un gran aporte.

La flexión de las vigas de concreto se determina dependiendo el módulo de rotura, en donde las vigas de concreto reforzadas con fibras de acero muestran un incremento en la resistencia significativa en las dos edades de ensayo (14 y 28 días) con respecto a la viga de concreto.

Se determina que las fibras de acero son muy eficientes para distribuir tensiones y aportar al concreto reforzado con fibras la capacidad de resistir cargas comparadas con el concreto normal, pero no presentan una adecuada adherencia al material, lo que hace que al alcanzar la falla exista una falla notable en la viga.

Grafica 7. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de acero vs concreto normal.



Fuente: Autores.

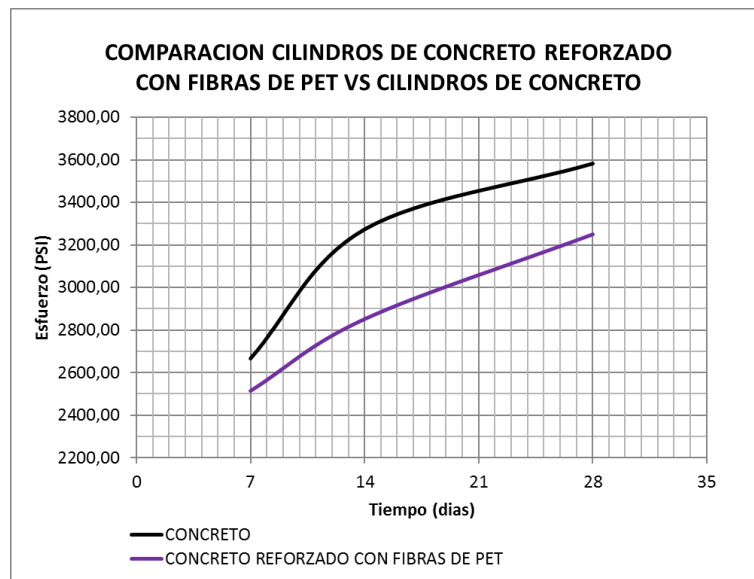


Tereftalato de polietileno (PET)


El concreto reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) no demostró los resultados esperados, ya que esta fibra disminuyó aproximadamente el 10% de la resistencia a compresión del concreto en los 3 diferentes tiempos de curado, las fibras de PET se aplicaron cumpliendo la dosificación recomendada por la ficha técnica que especifica una dosificación de 2,4 a 8 kg /m³ de concreto, teniendo en cuenta nuestro volumen del concreto para los 7 cilindros y 2 vigas, la dosificación recomendada sería de 0,096 a 0,32 kg.

Según la dosificación que se debe utilizar para el volumen de nuestra mezcla de concreto se aplica 0,31 kg, la cantidad que se aplicó fue determinada por el volumen de macrofibras de acero que se agregó en los cilindros y vigas, se puede llegar a analizar que tal vez con una cantidad diferente de fibras de PET se mejore la resistencia a compresión de los cilindros. A continuación, podemos observar una gráfica comparativa de los resultados obtenidos con los cilindros sin reforzamiento y los resultados de los cilindros reforzados con fibras de PET.

Grafica 8. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de PET vs concreto normal.



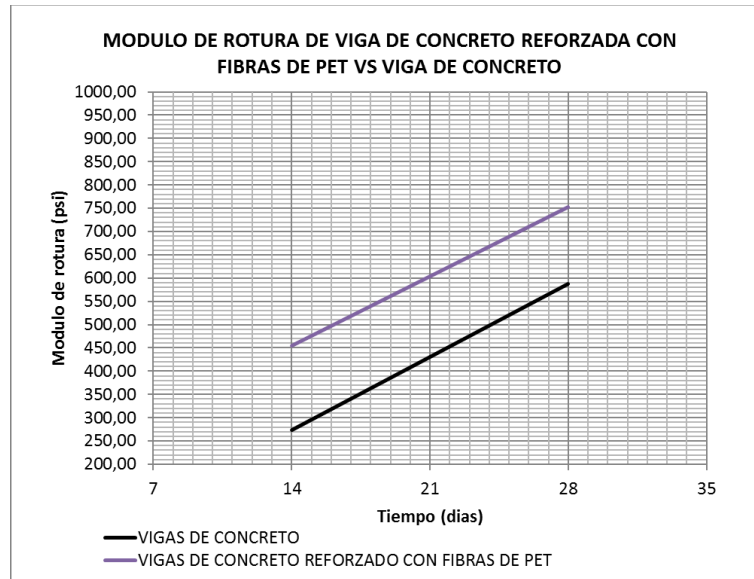
Fuente: Autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

Observando la anterior gráfica podemos definir que el PET como reforzamiento para la compresión no es una buena opción, pero las fibras son utilizadas como reemplazo de una malla electrosoldada para uso en concreto lanzado para revestimiento de túneles o para placas de concreto en zonas industriales, por lo tanto las macrofibras son usadas para mejorar la resistencia a la flexión y para ayudar a disminuir el fisuramiento de tal manera que si se presenta una falla, el concreto reforzando pueda seguir presentando resistencia sin que se presente un colapso. Con base en la ilustración 9 y a las imágenes encontradas en los anexos, podemos observar que los cilindros a 7 y 14 días de curado presentaron una falla tipo 5 y a los 28 días tipo 4.

Las fibras de PET, como anteriormente se mencionó, no cumplen a compresión, sin embargo, a flexión las fibras se comportaron de una manera sobresaliente respecto a las vigas sin reforzamiento, pues además de incrementar la resistencia de la viga, también previnieron que los agrietamientos se siguieran propagando, es decir, la falla que presenta cada viga fue muy reducida. A los 14 días, la falla se observó aproximadamente con 2 cm de espaciamiento, pero a los 28 días, se observa un espaciamiento de casi 2 mm, lo cual demuestra que las fibras generan una buena adherencia con el concreto aportando resistencia a la flexión y permitiendo que el concreto pueda continuar soportando cargas. En los anexos podemos observar cómo se presentaron las fallas en las 2 vigas ensayadas con estas fibras,

Grafica 9. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de PET vs el módulo de rotura del concreto normal.



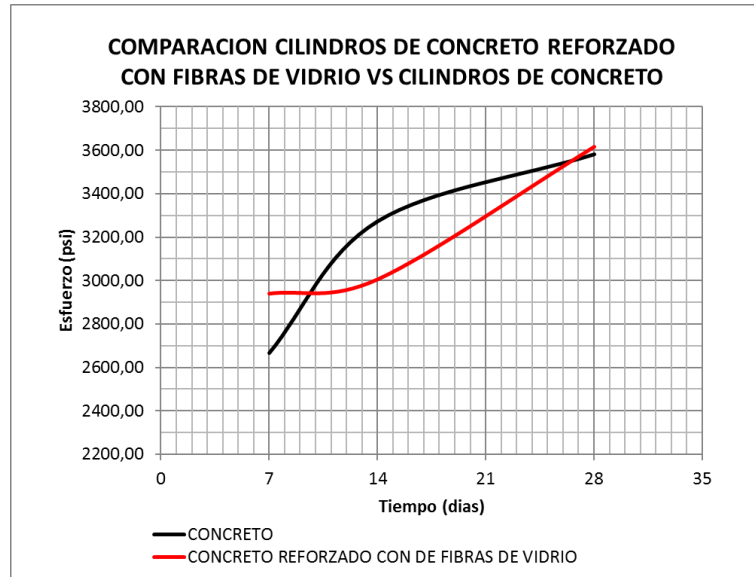
Fuente: Autores.

Se observa aproximadamente un 25% de aumento en la capacidad de resistencia a la flexión usando fibras de PET.

Fibra de vidrio

Las fibras de vidrio como reforzamiento del concreto se comportan muy estáticas en las primeras edades, en donde el crecimiento de la resistencia a la compresión de las muestras no fue muy significativo, a pesar de que en la edad de 7 días presentó una resistencia mucho mayor que la del concreto convencional, siendo hasta la edad de 28 días que el concreto reforzado respecto a las muestras de concreto convencional mostró un incremento, al igual que con las fibras de acero, la diferencia entre los resultados obtenidos no es significativa, pues apenas es del 1% como se determina con la Gráfica 10.

Grafica 10. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de vidrio vs concreto normal.



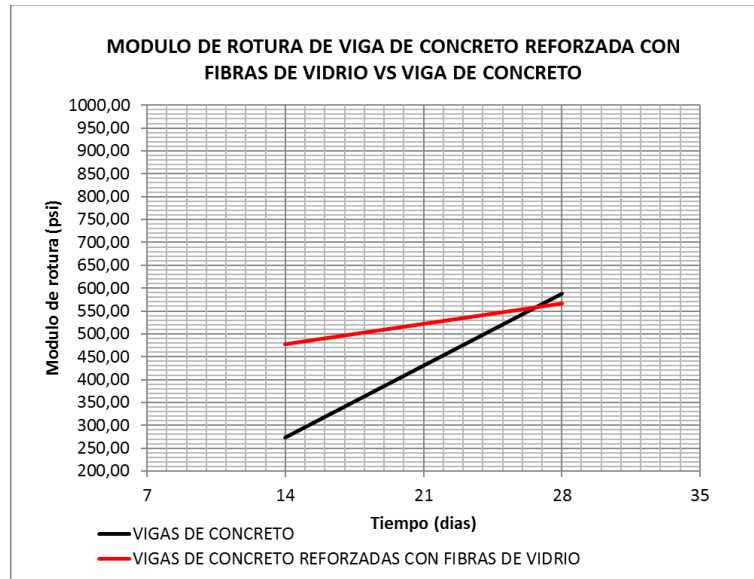
Fuente: Autores.

Una posible deducción del comportamiento de las muestras reforzadas con fibras tiene que ver con la realización del ensayo, el cual en los 14 días no se realizó adecuadamente, lo que condujo a que se presentaran datos alterados.

Sin embargo, en caso de que se haya realizado todo de forma correcta, es posible que el comportamiento estable de las muestras se deba a que las fibras de vidrio en el concreto le aportan una determinada resistencia, pero no es creciente, es decir, comparado con el comportamiento del concreto convencional, las fibras le quitan resistencia en edades medias hasta que alcanza su máxima resistencia, en donde por el contrario la incrementa.

Las fallas que presentan en general los cilindros reforzados con fibras de vidrio son tipo 2 y tipo 4.

Grafica 11. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de vidrio vs el módulo de rotura del concreto normal.



Fuente: Autores.

En cuanto a la flexión de las vigas de concreto, las fibras de vidrio aportan una resistencia estable, así como se vio a compresión que, aunque en las edades tempranas es mucho mayor que las resistencias alcanzadas por el concreto convencional, no logran a ser mayores al alcanzar la edad de 28 días.

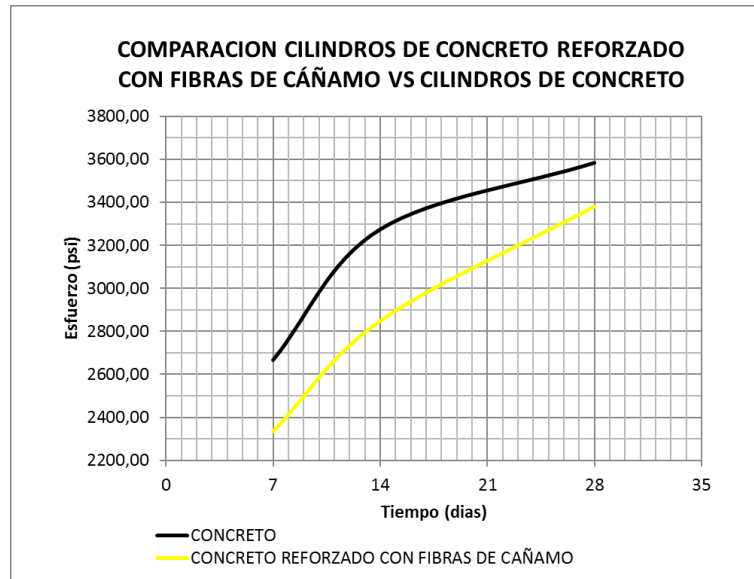
Las fibras mostraron su aporte en la fisuración del material, en donde a pesar de que se agrieto, las fibras no permitieron que la grieta separara el material, es decir, que la falla no dividiera la viga en dos.

Cáñamo

Las fibras de cáñamo son las más largas de todas las fibras utilizadas, lo cual puede ser un posible factor de la reducción de la resistencia en comparación con las muestras ensayadas de concreto convencional, pues en todas las edades de las muestras reforzadas con cáñamo, la resistencia a la compresión fue menor que la resistencia del concreto convencional disminuyendo aproximadamente un

5%. La comparación entre las curvas de esfuerzos de las muestras reforzadas y las muestras de concreto convencional se observan en la Gráfica 12.

Grafica 12. Comparación de las curvas de esfuerzo del concreto reforzado con fibras de cáñamo vs el concreto normal.

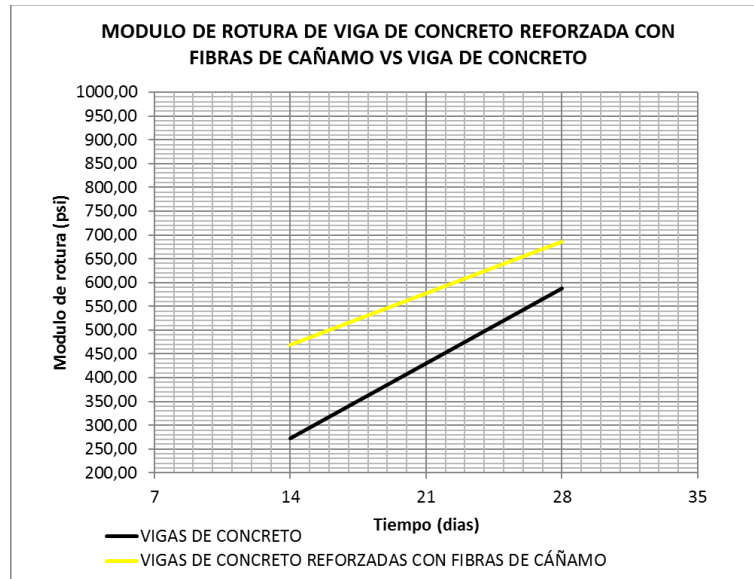


Fuente: Autores.

El decremento que tuvieron las muestras con refuerzo se mantiene constante, es decir, el porcentaje de diferencia entre los dos tipos de muestras es el mismo durante todo el proceso del concreto para conseguir la máxima resistencia.

Al ser más largas las fibras le quitan plasticidad al concreto además de ocupar espacios en donde el material se vuelve más vulnerable y es por esto por lo que su resistencia a la compresión disminuye.

Grafica 13. Comparación del módulo de rotura del concreto reforzado con fibras de cáñamo vs el módulo de rotura del concreto convencional.



Fuente: Autores.

En el ensayo a flexión la situación respecto a la compresión cambió, pues es a flexión en donde este material presenta un gran aporte al concreto, pues el módulo de rotura de las vigas reforzadas con fibras de cáñamo aumentaron un 15% respecto a las vigas de concreto convencional, presentando además menos espaciamiento al momento de presentarse la falla, lo que significa que no solo le aporta resistencia al concreto sino que previene la fisuración, que en realidad es debido a esta capacidad de adherirse a los demás materiales en la mezcla que el concreto puede resistir más carga a flexión.

Comparación resultados de cilindros a compresión.

Con base a los resultados obtenidos en los ensayos a compresión, se realiza una tabla comparativa para poder determinar los comportamientos que generaron las diferentes macrofibras al concreto. De esta manera analizaremos los resultados obtenidos, la tabla comparativa se puede observar a continuación:

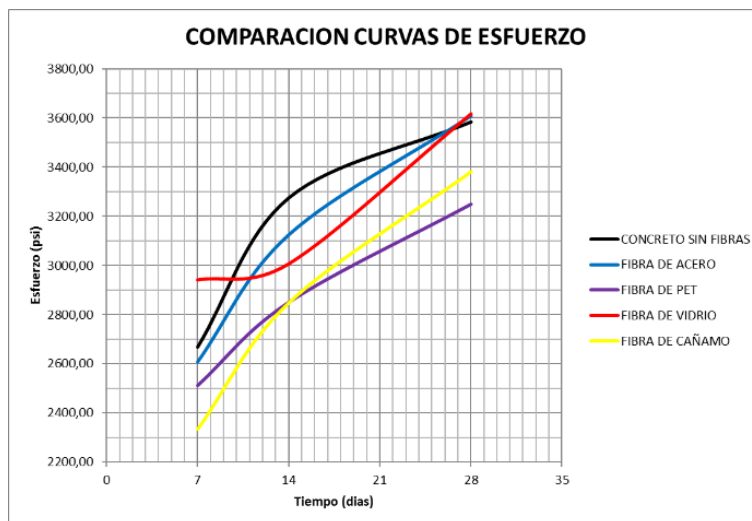
Tabla 30. Comparación de resultados de compresión.

COMPARACION DE RESULTADOS DE CILINDROS ENSAYADOS A COMPRESION					
DIAS	CILINDROS SIN REFORZAMIENTO	CILINDROS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE ACERO	CILINDROS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE PET	CILINDROS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE VIDRIO	CILINDROS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE CAÑAMO
7	2667,10	2608,83	2512,52	2940,46	2333,17
14	3274,05	3125,47	2850,99	3005,99	2847,81
28	3582,95	3608,57	3249,93	3616,54	3381,21

Fuente: Autores.

Se observa en la tabla comparativa de los resultados que las fibras que generaron una mejor resistencia a la compresión son las fibras de acero y las fibras de vidrio, la diferencia de resultados entre las dos es mínima, lo interesante de estos resultados es observar la curva que genera las fibras de vidrio, que de los 7 a 14 días de curado casi no aumentó su resistencia a compresión, a diferencia de los demás ensayos, la curva aumenta en cada fecha de curado significativamente (grafica 14). Esto se analiza con base a los resultados de los cilindros de concreto, igualmente observamos que las fibras de PET y las fibras de cañamo bajan la resistencia a la compresión al concreto. También se establece que los cilindros de concreto cumplieron con la resistencia máxima estipulada en el diseño de mezcla, la cual es de 3500 PSI.

Grafica 14. Comparación de las curvas de esfuerzo de los cilindros de concreto.



Fuente: Autores.

Las fibras de acero y fibras de vidrio se pueden utilizar para mejorar la capacidad a compresión del concreto, pero las fibras de PET y cáñamo presentaron una mejor adherencia en los ensayos, aunque no generen resistencia a la compresión, esto con base a los resultados obtenidos y a los anexos presentados.

Comparación resultados de vigas a flexión

La tabla comparativa de los resultados obtenidos por los ensayos a flexión de las vigas compara los módulos de rotura, el cual define el esfuerzo máximo en las fibras del material ensayado cuando se produce la falla, la tabla se puede ver a continuación:

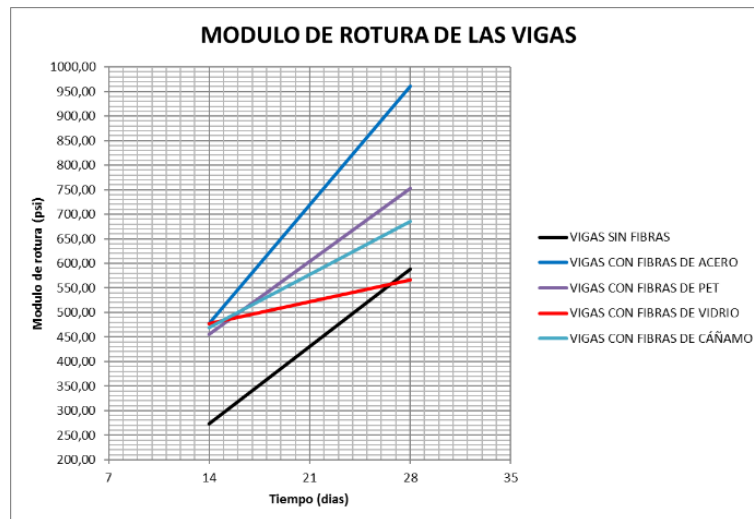
Tabla 31. Comparación de resultados de flexión.

COMPARACION DE RESULTADOS DE VIGAS ENSAYADAS A FLEXION					
DIAS	VIGAS SIN REFORZAMIENTO	VIGAS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE ACERO	VIGAS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO	VIGAS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE FIBRA DE VIDRIO	VIGAS CON REFORZAMIENTO DE MACROFIBRA DE CAÑAMO
14	272,89	477,68	454,81	477,95	468,67
28	587,69	961,43	753,29	567,10	685,75

Fuente: Autores.


La Gráfica 15 compara los resultados de las vigas ensayadas a flexión en el proyecto, al analizar la gráfica podemos observar que las fibras de acero por poco duplican la capacidad del concreto sin reforzamiento para soportar cargas a flexión, igualmente las fibras de PET y cáñamo lograron obtener un mejor módulo de rotura, a diferencia de las fibras de vidrio que disminuyeron la capacidad a flexión a los 28 días de curado.

Grafica 15. Comparación del módulo de rotura de las muestras totales de vigas.



Fuente: Autores.

Igualmente, que en los ensayos a compresión se puede observar que las fibras de vidrio a los 7 días de curado tuvieron un comportamiento sobresaliente a comparación de las demás fibras y que al pasar el tiempo de curado hasta los 28 días no hay un aumento notable en la resistencia como se puede observar en las demás fibras que terminan superando la resistencia a la compresión e igualmente a la flexión. Estos resultados se deben a que las fibras de vidrio no generan la misma adherencia que las otras fibras, porque al observar el registro fotográfico de los anexos se puede observar que el espaciamiento de la falla generada en el ensayo a flexión de las vigas con fibra de vidrio es mayor que los espaciamientos producidos por las otras fibras, se debe tener en cuenta que al comparar longitudes de las fibras estas son las que presentan la menor.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


7. CONCLUSIONES

Las características de las fibras tienen una gran incidencia en el comportamiento del concreto cuando se utiliza como refuerzo, es decir, la cantidad de dosificación agregada a la mezcla, la longitud de las fibras y en especial el material de cada fibra. En el caso específico de esta investigación, a pesar de que se añadieron a las mezclas las mismas dosificaciones, las longitudes de las fibras no fueron las mismas en todos los casos, lo que nos puede estar teniendo en un margen de error que no se contempló.

Las muestras de concreto reforzadas con macrofibras, en general, presentaron unas buenas características mecánicas en el concreto, ya sea a flexión como a compresión, en donde en la mayoría de los casos la tendencia fue que se aumentará la resistencia y que se disminuyera el problema de fisuramiento.

Entre todas las fibras, la que presenta una mejora en el concreto, tanto a compresión como a flexión, es la fibra de acero, pero está a diferencia de las otras fibras, no corrige por completo la fisuración del material como lo hacen las otras fibras, sin embargo, disminuyó la fisuración de la viga con edad de 28 días, respecto a la viga de 14 días, por lo que al alcanzar mayor resistencia el concreto las fibras de acero son más efectivas.


Las fibras que mejor se comportaron a compresión, en cuanto a alcanzar más resistencia a los 28 días, fueron el acero y las fibras de vidrio. Sin embargo, las diferencias encontradas respecto a las resistencias obtenidas en el concreto convencional no son muy altas, por lo que se puede determinar que las fibras a compresión, al menos en las condiciones trabajadas en el presente trabajo, no generan un aporte significativo para considerarlas buenas en esta medida.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

Con el estudio se determinó que todas las fibras tienen un gran aporte en el concreto a flexión, pues es para esto que están diseñadas, siendo las fibras de acero, PET y cáñamo las que más aportaron resistencia y las fibras de PET y cáñamo las que mejor corrigieron la fisuración, presentando una mejor adherencia de los materiales de la mezcla en las muestras con edad de 28 días.

Si se comparan las especificaciones observamos que las fibras de vidrio son la que poseen una menor longitud a comparación de las demás, por ejemplo las fibras de PET poseen una longitud de 5 cm como las fibras de acero y la que posee una mayor longitud es la fibra de cáñamo, la cual fue recortada con una longitud aproximada de 7 cm, por lo tanto se puede verificar que la longitud es un factor que afecta la resistencia a flexión de un concreto reforzado con fibras. Este análisis se realiza con base a los resultados obtenidos a los 28 días de curado de las vigas ensayadas.

Se habían contemplado realizar 30 cilindros y 10 vigas en total y se terminaron realizando 5 cilindros más que, aunque en el desarrollo del proyecto no fueron utilizados, igual influyeron en los cálculos de los diseños de mezcla, lo que cambia el porcentaje o volumen utilizado para las fibras puesto que se utilizó más concreto, esto presenta en gran medida diferentes resultados, porque como se explicó, a mayor cantidad de macrofibras se ve afectada la plasticidad del concreto y a menor cantidad no tienen gran relevancia. El porcentaje utilizado de macrofibras en función del volumen fue de aproximadamente el 1%, lo que deja abierta la posibilidad de explorar nuevas investigaciones con porcentajes diferentes.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------


8. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el proyecto de grado, se considera realizar la investigación con fibras de la misma longitud, ya que esta diferencia puede variar los resultados.

Este cambio puede mejorar la resistencia de la compresión y flexión de las fibras de vidrio, las cuales fueron las macrofibras de menor longitud utilizadas en el proyecto.


Adicionalmente se recomienda utilizar un volumen o porcentaje de fibras diferente al usado en este proyecto para determinar qué variaciones de resultados se pueden presentar al emplear diferentes cantidades de adición de fibras a la mezcla de concreto, se debe tener en cuenta las dosificaciones estipuladas por las fichas técnicas de los proveedores de las macrofibras.

Finalmente está la opción de comparar diferentes tipos de fibras naturales o fibras de polímeros, comparar cáñamo vs guadua o PET vs polipropileno, para determinar la resistencia a compresión y flexión de estos nuevos materiales o en su defecto, y lo que podría ser óptimo para no involucrar demasiadas variables, realizar una comparación de varias muestras con distintos porcentajes de adición del mismo material.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

BIBLIOGRAFIA


1. ACEBRI. Fibraplas concrete. “FIBRAS PARA EL REFORZAMIENTO DE CONCRETO”. Enero 2017
2. ACERO, Juan Carlos. “¿pueden las fibras sintéticas reemplazar el acero convencional?” En: toxement. P.28-29.
3. ALESMAR, Luis; RENDÓN, Nalia y KORODY, María Eugenia. “Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) - cemento”. Febrero de 2008.
4. ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN, Diccionario. “Definición de calor de hidratación”. Septiembre de 2018.
5. CANNABRIC. BRUMMER, Monika. El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas”. Mayo 15. Páginas 22-25. Disponible en <http://www.ecohouses.es/wp-content/uploads/2015/06/el-canamo-en-la-construccion.pdf>
6. CAÑÓN SOSA, Lorena marcela y ALDANA CALDERON, Fabián Guillermo. “Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber® ad de sika y toc fibra500 de toxement”. Tesis de pregrado Bogotá D.C.: Universidad distrital Francisco José de Caldas. 2016. 51 p
7. CASTIBLANCO SARMIENTO, Cristian David y CARRERO BASTOS, Luis Anderson. “Estudio teórico y experimental del comportamiento del hormigón con materiales no convencionales: fibras de vidrio y fibras de carbono, sometido a esfuerzos de compresión”. Tesis de pregrado Bogotá D.C.: Universidad católica de Colombia. 2016. 51 p
8. CEMEX. (Edición 2014). CEMEX COLOMBIA. Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757403/catalogo-soluciones.pdf/ae4fba75-5a33-45f8-7aa9-1bbf44884736>
9. COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO, Ministerio. “Reglamento técnico aplicable a alambre de acero liso, grafilado y mallas electrosoldadas, para refuerzo de concreto que se fabriquen, importen o comercialicen en Colombia.” 02 Febrero de 2015.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

10. COMUNIDAD REDACCION 360 EN CONCRETO. ¿Qué es concreto reforzado con macrofibras?, [en línea], 11 de octubre del 2013 [revisado 11 de mayo de 2019]. Disponible en internet:
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>.
11. CONSTRUQUIMICA. Macrofibra sintética estructural Ultimax [en línea], 13 de Mayo de 2019. Disponible en internet:
<https://www.construquimica.com.br/produto/macrofibra-sintetica-estrutural-ultimax/>
12. DEGHEHARD, C.C; SILVA, B.V y PELISSER, F. “Experimental analysis of load capacity in beams with steel fiber reinforcement on the compression face”. Febrero de 2019.
13. DIFICONSA. ¿Qué son las macrofibras estructurales para concreto?, [en línea], [revisado 11 de mayo de 2019]. Disponible en internet:
<https://www.dificonsa.com/macro-fibras-estructurales-para-concreto/>.
14. GABALEC, María Anabela. “Tiempo de fraguado del hormigón”. 2008.
15. GEEKS, Civil. “Durabilidad del concreto”. Disponible en <https://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-concreto/>.
16. INSTRON. “Resistencia a la flexión”. Disponible en <http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/flexural-strength>
17. MEDIO AMBIENTE, Secretaria. “¿Que es Polietileno-Tereftalato?”. Disponible en http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato.
18. MIPSA, Expertos procesando metales. “¿Que es el acero?”. Disponible en <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Que-es-el-acero>.
19. MORA TORRES, Jeimy Angélica. “Análisis mecánico de un concreto con adición del 2% de fibra natural de cáñamo”. 17 Mayo de 2017.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

20. MORENO, Eric; SOLIS, Rómel; VARELA, Jorge y GOMEZ, Marco. “Resistencia a tensión del concreto elaborado con agregado calizo de alta absorción”. 30 Octubre de 2016.
21. NIÑO HERNADEZ, Jairo René. “Tecnología del concreto. Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas”. 3 ed. Bogotá D.C: Asocreto. 2010. Página 228.
22. OSORIO, Jairo; VARÓN, Fredy y HERRERA, Jhonny. “COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”. 28 Febrero de 2007.
23. OSORIO, Jesús David. “Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión”. 28 junio de 2013.
24. PRODIMIN, Prodad división minera. “Dramix® Fibras de Acero para el Refuerzo de Pisos Industriales”. FICHA TÉCNICA.
25. RODRIGUEZ, Pablo; PÉREZ, Ángel y VELÁZQUEZ, Julio. “Propuesta de un procedimiento para el reciclado del polietileno de alta densidad”. Agosto de 2014.
26. SALVADOR, Renan Pícolo y DOMINGUES DE FIGUEIREDO, Antonio. “Comparative evaluation of the mechanical behavior of synthetic and steel fiber-reinforced concrete”. Junio de 2013.
27. SIKA. “Concreto reforzado con fibras”. Agosto de 2014. Página 9.
28. SIKA. SikaPlast® MO. “Superplastificante reductor de agua de alto rango”. Sika Colombia S.A.S. Noviembre 2017.
29. STULZ, Roland y MUKERJI, Kiran. “Materiales de construcción apropiados: Catalogo de soluciones potenciales”. Revisado, edición ampliada. SKAT & IT Publications, 1993. [Citado 13 de mayo, 2019] Disponible en: https://www.fastonline.org/CD3WD_40/CD3WD/CONSTRUC/SK01AE/ES/INDEX.HTM

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

30. SUHENDRO, Bambang. "Toward green concrete for better sustainable environment". Agosto de 2014.

31. TORRES, Diego Alexander. "Determinación de la resistencia residual promedio (Análisis post- fisuración) del concreto reforzado con fibra sintética de PET+PP". 2 Diciembre de 2017.

32. URBANSKIA, Marek; LAPKO, Andrzej y GARBACZ, Andrzej. "Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars as an Effective Alternative of Conventional R/C Structures". Abril de 2013.

33. ZERBIÑO, RAUL investigador de CONICET Y LEMIT. Uso de macrofibras sintéticas en hormigón, [en línea], 13 de noviembre del 2017 [revisado 12 de mayo de 2019]. Disponible en internet:
<http://www.nth.com.ar/es/blog/uso-de-macrofibras-sinteticas-en-hormigon-n43>.



ANEXOS

Anexo 1. Realización de las pruebas del cono de Abrams.

Figura 1. Prueba del cono de Abrams para concreto convencional.



Fuente: Autores.

Figura 2. Prueba del cono de Abrams para concreto reforzado con fibras de PET.



Fuente: Autores.

Figura 3. Prueba del cono de Abrams para concreto reforzado con fibras de vidrio.



Fuente: Autores.

Figura 4. Prueba del cono de Abrams para concreto reforzado con fibras de cáñamo.



Fuente: Autores.



Anexo 2. Adición de fibras en la mezcla de concreto.

Figura 5. Adición de fibras de PET en la mezcla de concreto.



Fuente: Autores.

Figura 6. Adición de fibras de vidrio en la mezcla de concreto.



Fuente: Autores.

Figura 7. Adición de fibras de cáñamo en la mezcla de concreto.



Fuente: Autores.

Anexo 3. Muestras de concreto normal.

A continuación, se presentan todas las muestras de cilindros y vigas realizadas con diferentes edades, con el correspondiente día en el cual fueron ensayadas:

28 DÍAS

Figura 8. Muestra de concreto.

C5 - 28 días.




Fuente: Autores.


Figura 9. Muestra de concreto.

C6 - 28 días.






Fuente: Autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

<p>28 DÍAS</p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 10. Viga de concreto. VC2 - 28 días.</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Autores.</i></p>
-----------------------	---

Anexo 4. Muestras de concreto reforzado con fibras de acero.

A continuación, se presentan todas las muestras de cilindros y vigas realizadas con diferentes edades, con el correspondiente día en el cual fueron ensayadas:

<p>28 DÍAS</p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 11. Muestras de concreto reforzado con fibras de acero. FA5 - 28 días.</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 12. Muestras de concreto reforzado con fibras de acero. FA6 - 28 días.</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Autores.</i></p>
<p>28 DÍAS</p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 13. Viga de concreto reforzado con fibras de acero VA2 - 28 días.</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Autores.</i></p>	



Anexo 5. Muestras de concreto reforzado con fibras de PET.


A continuación, se presentan todas las muestras de cilindros y vigas realizadas con diferentes edades, con el correspondiente día en el cual fueron ensayadas:

<p>28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 14. Muestra de concreto reforzado con fibras de PET. FP5 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p><i>Figura 15. Muestra de concreto reforzado con fibras de PET. FP6 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
<p>28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 16. Viga de concreto reforzado con fibras de PET. VFP2 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	



Anexo 6. Muestras de concreto reforzado con fibras de vidrio.

A continuación, se presentan todas las muestras de cilindros y vigas realizadas con diferentes edades, con el correspondiente día en el cual fueron ensayadas:

<p style="text-align: center;">28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 17. Muestra de concreto reforzado con fibras de vidrio. FV5 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p><i>Figura 18. Muestra de concreto reforzado con fibras de vidrio. FV6 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
<p style="text-align: center;">28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 19. Viga de concreto reforzado con fibras de vidrio. VFV2 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	



Anexo 7. Muestras de concreto reforzado con fibras de cáñamo.

A continuación, se presentan todas las muestras de cilindros y vigas realizadas con diferentes edades, con el correspondiente día en el cual fueron ensayadas:

<p style="text-align: center;">28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 20. Muestra de concreto reforzado con fibras de cáñamo. FC5 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p><i>Figura 21. Muestra de concreto reforzado con fibras de cáñamo. FC6 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
<p style="text-align: center;">28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 22. Viga de concreto reforzado con fibras de cáñamo. VFC2 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	



Anexo 8. Muestras de concreto y muestras de concreto reforzado con fibras después de ensayos a compresión y flexión.

Figura 23. Muestras de concreto sumergidas en tanque para curado.



Fuente: Autores.

A continuación, se presentan todas las muestras de cilindros y vigas después de realizados los ensayos a diferentes edades, con el correspondiente día en el cual fueron ensayadas:

<p>7 DÍAS</p>	<p><i>Figura 24. Cilindro de concreto convencional C1 después de ensayo a compresión.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p><i>Figura 25. Cilindro de concreto convencional C2 después de ensayo a compresión.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
----------------------	--	--



14 DÍAS

Figura 26. Cilindro de concreto convencional C3 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores

Figura 27. Cilindro de concreto convencional C4 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 28. Cilindro de concreto convencional C5 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 29. Cilindro de concreto convencional C6 después de ensayo a compresión.




Fuente: Autores.


14 DÍAS



Figura 30. Viga de concreto convencional después de ensayo a flexión. VC1 - 14 días.



Fuente: Autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

<p>28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 31. Viga de concreto convencional después de ensayo a flexión. VC2 - 28 días.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
-----------------------	--

<p>7 DÍAS</p>	<p><i>Figura 32. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA1</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p><i>Figura 33. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA2</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
----------------------	---	---



14 DÍAS

Figura 34. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA3



Fuente: Autores.

Figura 35. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA4



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 36. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA5



Fuente: Autores.

Figura 37. Cilindro de concreto reforzado con fibras de acero después de ensayo a compresión. FA6



Fuente: Autores.



14 DÍAS

Figura 38. Viga de concreto reforzada con fibras de acero después de ensayo a flexión. VA1 - 14 días.



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 39. Viga de concreto reforzada con fibras de acero después de ensayo a flexión. VA2 - 28 días.



Fuente: Autores.

7 DÍAS

Figura 40. Cilindro de concreto reforzado con fibras de PET. FP1 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 41. Cilindro de concreto reforzado con fibras de PET. FP2 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.



14 DÍAS

Figura 42. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP3 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 43. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP4 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 44. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP5 después de ensayo a compresión.






Fuente: Autores.



Figura 45. Cilindro de concreto reforzado con fibra de PET. FP6 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA COORDINACION TRABAJO DE GRADO</p>	<p>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS</p>	<p>FECHA: 2019.</p>
--	---	-------------------------

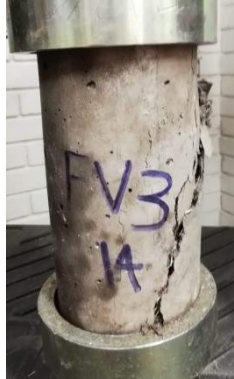
<p>14 DÍAS</p>	<p><i>Figura 46. Viga de concreto reforzado con fibras de PET. VFP1 - 14 días</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
<p>28 DÍAS</p>	<p><i>Figura 47. Viga de concreto reforzado con fibras de PET. VFP2 - 28 días</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>

<p>7 DÍAS</p>	<p><i>Figura 48. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV1 después de ensayo a compresión.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>	<p><i>Figura 49. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV2 después de ensayo a compresión.</i></p>  <p><i>Fuente: Autores.</i></p>
----------------------	---	---



14 DÍAS

Figura 50. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV3 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 51. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV4 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 52. Cilindro de concreto reforzado con fibras de vidrio FV5 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 53. Cilindro de concreto reforzado con fibra de vidrio FV6 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.



14 DÍAS

Figura 54. Viga de concreto reforzado con fibras de vidrio. VFV1 - 14 días



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 55. Viga de concreto reforzado con fibras de vidrio. VFV2 - 28 días



Fuente: Autores.

7 DÍAS

Figura 56. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC1 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 57. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC2 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.



14 DÍAS

Figura 58. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC3 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 59. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC4 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 60. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC5 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.

Figura 61. Cilindro de concreto reforzado con fibras de cáñamo FC6 después de ensayo a compresión.



Fuente: Autores.



14 DÍAS

Figura 62. Viga de concreto reforzado con fibras de cáñamo después de ensayo a flexión. VFC1 - 14 días.



Fuente: Autores.

28 DÍAS

Figura 63. Viga de concreto reforzado con fibras de cáñamo después de ensayo a flexión. VFC2 - 28 días.

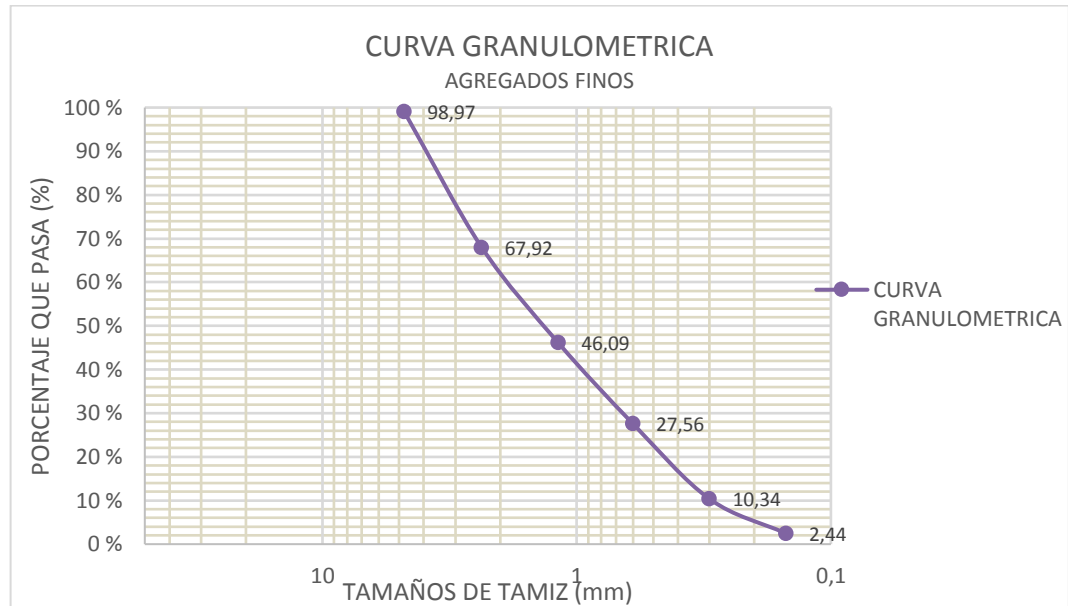


Fuente: Autores.



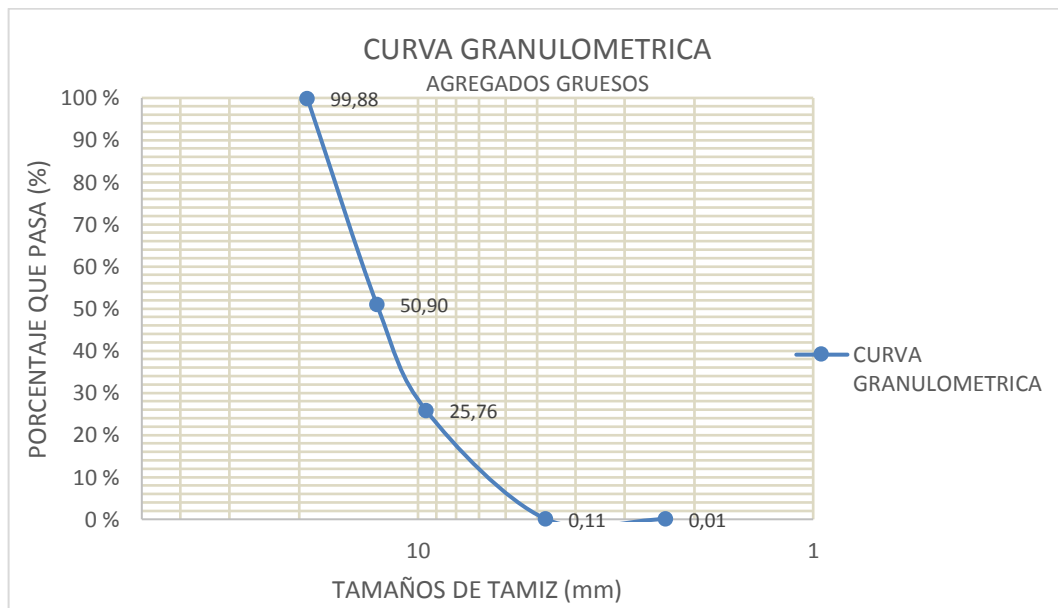
Anexo 9. Graficas granulométricas de agregados finos y gruesos

Figura 64. Curva granulométrica de agregados finos.



Fuente: Autores.

Figura 65. Curva granulométrica de agregados gruesos.



Fuente: Autores.