



**CARTA DE AUTORIZACIÓN**

**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**1 de 2**

Neiva, 16 de noviembre el 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Laura Valentina Morales Castellanos, con C.C. No. 1075318019,

Yan Carlos Quintero Polania, con C.C. No. 1007681598,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE MICRO Y MACRO FIBRAS” presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de INGENIERO (A) CIVIL;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: LAURA V. MORALES C.

Firma: Yan Carlos Quintero P

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADICION DE MICRO Y MACRO FIBRAS.**

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Quintero Polania	Yan Carlos
Morales Castellanos	Laura Valentina

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero(a) Civil**

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Civil

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2022

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 94

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO**

<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 3</b>
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Diagramas \_\_\_ Fotografías x Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general x Grabados \_\_\_  
 Láminas \_\_\_ Litografías \_\_\_ Mapas \_\_\_ Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas  
 o Cuadros x

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Fibras	Fibers	6. _____	_____
2. Compresión	Compression	7. _____	_____
3. Módulo de rotura	Modulus of rupture	8. _____	_____
4. Resistencia	Strength	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En la presente investigación se tiene como intención la evaluación de las propiedades mecánicas (flexión y compresión) que posee un concreto convencional versus un concreto con adición de fibras, y a partir de allí por medio de ensayos de resistencia a la compresión y flexión, analizar la posibilidad del uso de estas fibras en la industria de la construcción. Para lograr este propósito se elaboraron 135 especímenes cilíndricos de concreto adicionando fibra sintética, de fique y micro fibra de vidrio, cada una con 45 muestras en porcentajes de 0,15%, 0,5% y 0,8% respectivamente y con ello obtener la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. En cuanto a las vigas se realizaron 27, siendo 9 muestras por cada fibra, con las mismas proporciones anteriormente mencionadas y fallándolas solo a los 28 días.

Como resultado de lo experimentado, se evidenció que la fibra sintética fue la que presentó mejor comportamiento en el concreto, obteniéndose a los 28 días de curado una resistencia a la compresión de 25,74 Mpa con una adición de fibra de 0,15% y su módulo de rotura de 3,38 Mpa teniendo adición de fibra de 0,5%, siendo una alternativa favorable frente a los concretos convencionales.



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The purpose of this research is to evaluate the mechanical properties (flexural and compressive) of a conventional concrete versus a concrete with fiber addition, and from there, by means of compressive and flexural strength tests, to analyze the possibility of using these fibers in the construction industry. To achieve this purpose, 135 cylindrical specimens of concrete were elaborated with the addition of synthetic fiber, fique and glass microfiber, each one with 45 samples in percentages of 0,15%, 0,5% and 0,8%, respectively, and thus obtain the compressive strength at 7, 14 and 28 days. As for the beams, 27 samples were made, being 9 samples for each fiber, with the same proportions previously mentioned and failing them only at 28 days.


As a result of the experiment, it was evidenced that the synthetic fiber was the one that presented the best behavior in the concrete, obtaining at 28 days of curing a compressive strength of 25,74 Mpa with a fiber addition of 0,15% and its modulus of rupture of 3,38 Mpa having fiber addition of 0,5%, being a favorable alternative to conventional concretes.

**APROBACION DE LA TESIS**


Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Henry Mauricio Castillo Salgado

Firma: 

Nombre Jurado: William Javier Andrade Martínez

Firma: 



# **Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto con adición de micro y macro fibras**

**Laura Valentina Morales Castellanos**

**Yan Carlos Quintero Polania**

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva - Huila, Colombia

2022

# **Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto con adición de micro y macro fibras**

**Laura Valentina Morales Castellanos**

**Yan Carlos Quintero Polania**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero(a) Civil**

Director (a):

Msc. Mauricio Duarte Toro

Línea de Investigación:

Materiales de Construcción

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva - Huila, Colombia

2022

## *Dedicatoria*

*A Dios por guiarme y darme la vida para lograr esta meta tan importante en mi formación profesional.*

*A mis padres Martha y Edgar, por haberme formado como la persona que soy hoy en día y el apoyo incondicional que me han brindado durante todo este proceso universitario. A mi hermano Juan David por los consejos y los momentos compartidos juntos y a mi novio quien ha sido mi amigo y gran compañero a lo largo de esta etapa académica, a ellos toda mi gratitud y amor.*

***Laura Valentina Morales Castellanos***

*Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer y a toda mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.*

***Yan Carlos Quintero Polania***



## **Agradecimientos**

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director Ing. Mauricio Duarte Toro por su dedicación y acompañamiento desde el inicio de este proyecto, quién siempre estuvo al pendiente de nuestro proceso y nos brindó todo su apoyo y conocimiento para hacer de esto posible. Agradecemos a la Universidad Surcolombiana y a todo el plantel docente por habernos formado profesionalmente, a todos, muchas gracias.

## Resumen

En la presente investigación se tiene como intención la evaluación de las propiedades mecánicas (flexión y compresión) que posee un concreto convencional versus un concreto con adición de fibras, y a partir de allí por medio de ensayos de resistencia a la compresión y flexión, analizar la posibilidad del uso de estas fibras en la industria de la construcción. Para lograr este propósito se elaboraron 135 especímenes cilíndricos de concreto adicionando fibra sintética, de fique y micro fibra de vidrio, cada una con 45 muestras en porcentajes de 0,15%, 0,5% y 0,8% respectivamente y con ello obtener la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. En cuanto a las vigas se realizaron 27, siendo 9 muestras por cada fibra, con las mismas proporciones anteriormente mencionadas y fallándolas solo a los 28 días.

Como resultado de lo experimentado, se evidenció que la fibra sintética fue la que presentó mejor comportamiento en el concreto, obteniéndose a los 28 días de curado una resistencia a la compresión de 25,74 Mpa con una adición de fibra de 0,15% y su módulo de rotura de 3,38 Mpa teniendo adición de fibra de 0,5%, siendo una alternativa favorable frente a los concretos convencionales.

**Palabras clave:** Fibras, Compresión, Módulo de rotura, Resistencia.

## Abstract

The purpose of this research is to evaluate the mechanical properties (flexural and compressive) of a conventional concrete versus a concrete with fiber addition, and from there, by means of compressive and flexural strength tests, to analyze the possibility of using these fibers in the construction industry. To achieve this purpose, 135 cylindrical specimens of concrete were elaborated with the addition of synthetic fiber, fique and glass microfiber, each one with 45 samples in percentages of 0,15%, 0,5% and 0,8%, respectively, and thus obtain the compressive strength at 7, 14 and 28 days. As for the beams, 27 samples were made, being 9 samples for each fiber, with the same proportions previously mentioned and failing them only at 28 days.

As a result of the experiment, it was evidenced that the synthetic fiber was the one that presented the best behavior in the concrete, obtaining at 28 days of curing a compressive strength of 25,74 Mpa with a fiber addition of 0,15% and its modulus of rupture of 3,38 Mpa having fiber addition of 0,5%, being a favorable alternative to conventional concretes.

**Keywords:** Fibers, Compression, Modulus of rupture, Strength.

# Contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de figuras y gráficas</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de Anexos</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Antecedentes y justificación</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>22</b>
1.3.1 Objetivo general.....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
<b>1.4 Estructura del documento</b> .....	<b>22</b>
<b>2. Marco referencial</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1 Marco teórico</b> .....	<b>24</b>
2.1.1 Tipo de fibras.....	24
2.1.2 Aplicación de las micro y macro fibras.....	25
2.1.3 Ventajas y desventajas de las micro y macro fibras.....	26
<b>2.2 Marco conceptual</b> .....	<b>27</b>
2.2.1 Concreto.....	27
2.2.2 Diseño de mezcla .....	28
2.2.3 Resistencia a la compresión .....	30
2.2.4 Resistencia a la flexión o Módulo de Rotura (MR).....	30
2.2.5 Diseño experimental .....	31
2.2.6 Diseño completamente al azar .....	32
<b>3. Metodología</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1 Investigación de micro y macrofibras</b> .....	<b>33</b>
3.1.1 Macrofibra sintética .....	35
3.1.2 Microfibra de vidrio.....	36
3.1.3 Macrofibra de fique .....	37

<b>3.2</b>	<b>Procedencia de materiales</b> .....	<b>38</b>
3.2.1	Agregado grueso y fino .....	39
3.2.2	Cemento.....	39
3.2.3	Diseño de mezcla .....	40
3.2.4	Granulometría de los agregados.....	40
3.2.5	Determinación de la masa unitaria .....	41
3.2.6	Densidad y absorción de los agregados .....	42
<b>3.3</b>	<b>Elaboración de muestras</b> .....	<b>44</b>
3.3.1	Cilindros y vigas.....	44
<b>3.4</b>	<b>Ensayos de laboratorio</b> .....	<b>48</b>
3.4.1	Ensayo a compresión (NTC 673).....	48
3.4.2	Ensayo a flexión (NTC 2871).....	49
<b>3.5</b>	<b>Diseño experimental</b> .....	<b>49</b>
3.5.1	Variables de estudio.....	50
3.5.2	Hipótesis del diseño .....	50
<b>4.</b>	<b>Análisis de resultados</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Resistencia a la compresión de cilindros</b> .....	<b>51</b>
4.1.1	Resistencia a la compresión a los 7 días .....	52
4.1.2	Resistencia a la compresión a los 14 días .....	55
4.1.3	Resistencia a la compresión a los 28 días .....	59
4.1.4	Análisis de las resistencias a compresión para las edades de 7, 14 y 28 días de curado. 62	
<b>4.2</b>	<b>Resistencia a la flexión de vigas</b> .....	<b>63</b>
4.2.1	Resistencia a la flexión a los 28 días.....	63
<b>4.3</b>	<b>Análisis comparativo con otras fuentes de investigación</b> .....	<b>67</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>71</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>74</b>

## Lista de figuras y gráficas

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1:</b> Ensayo de vigueta cargada en el tercio medio. ....	31
Tomado del libro El Concreto fundamentos y nuevas tecnologías Ing. Ricardo Matallana Rodríguez. ....	31
<b>Figura 3-1:</b> Metodología .....	33
<b>Figura 3-2:</b> Muestra de fibra sintética. ....	35
<b>Figura 3-4:</b> (a) Muestra de fibra de fique sin tratamiento (b) fibra de fique con tratamiento de cal. ....	38
<b>Figura 3-5:</b> Muestra de agregado grueso y agregado fino. ....	39
<b>Figura 3-6:</b> Recuperado de Ficha técnica/versión 4. ....	39
<b>Figura 1-7:</b> Tamizado de los agregados. ....	41
<b>Figura 3-8:</b> Peso suelo y compactado de los agregados. ....	42
<b>Figura 3-9:</b> Determinación de densidad y absorción.....	43
<b>Figura 3-10:</b> Medición del asentamiento fibra sintética.....	46
<b>Figura 3-11:</b> Elaboración de muestras.....	47
<b>Figura 3-12:</b> Curado de los especímenes.....	48
<b>Figura 3-13:</b> (a) Prensa hidráulica (b) Especímenes cilíndricos fallados.....	48
<b>Figura 3-14:</b> Ensayo a la flexión de vigas en los tercios medios y muestra prismática fallada. ....	49
<b>Figura 3-15:</b> Variables de estudio.....	50
<b>Gráfica 3-1:</b> Curvas granulométricas de (a) agregado grueso (b) agregado fino. ....	41
<b>Gráfica 3-2:</b> Resultado del ensayo de asentamiento de los diferentes tipos de fibra. ....	46
La Figura 3-10 se presenta la medición del asentamiento, obtenida por parte de la fibra sintética con porcentaje de 0,5%. ....	46
<b>Gráfica 4-1:</b> Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 7 días.....	53
<b>Gráfica 4-2:</b> Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 14 días.....	57
<b>Gráfica 4-3:</b> Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 28 días.....	60
<b>Gráfica 4-4:</b> Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la flexión de 28 días.....	65
<b>Grafica C-1:</b> Supuestos de normalidad de los datos a los 7 días (Compresión) .....	88
<b>Grafica C-2:</b> Residuos no correlacionados a los 7 días (Compresión).....	88
<b>Grafica C-3:</b> Gráfico de normalidad de los datos a los 14 días.....	89
<b>Grafica C-4:</b> Grafica de residuos no correlacionados a los 14 días. ....	90
<b>Grafica C-5:</b> Gráfico de normalidad de los datos a los 28 días.....	91
<b>Grafica C-6:</b> Gráfica de residuos no correlacionados a los 28 días. ....	92
<b>Grafica C-7:</b> Grafico de normalidad de los datos a los 28 días.....	93
<b>Grafica C-8:</b> Gráfica de residuos no correlacionados a los 28 días. ....	94

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 2-1:</b> Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción. ....	29
<b>Tabla 3-1:</b> Investigaciones relacionadas a las fibras utilizadas en el mercado. ....	34
<b>Tabla 3-2:</b> Características físicas y químicas de la fibra sintética .....	36
<b>Tabla 3-3:</b> Características físicas y químicas de la micro fibra de vidrio. ....	37
<b>Tabla 3-4:</b> Características físicas y químicas del fique. ....	37
<b>Tabla 3-5:</b> Características físicas de los agregados.....	43
<b>Tabla 3-6:</b> Proporciones de diseño de mezcla para 1 m <sup>3</sup> .....	44
<b>Tabla 3-7:</b> Cantidad de materiales para elaborar 1 m <sup>3</sup> de concreto.....	44
<b>Tabla 3-8:</b> Tipo de concretos elaborados.....	45
<b>Tabla 4-1:</b> Resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros a los 7 días. ....	52
<b>Tabla 4-2:</b> Análisis descriptivo de los resultados a compresión de los cilindros a los 7 días. ....	52
<b>Tabla 4-3:</b> Análisis de varianza de los resultados de resistencia a compresión a los 7 días. ....	54
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados de la prueba HSD de Tukey para las resistencias de 7 días. ....	55
<b>Tabla 4-5:</b> Resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros a los 14 días. ....	55
<b>Tabla 4-6:</b> Análisis descriptivo de los resultados a compresión de los cilindros a los 14 días. ...	56
<b>Tabla 4-7:</b> Análisis de varianza de los resultados de resistencia a compresión a los 14 días ...	58
<b>Tabla 4-8:</b> Resultados de la prueba HSD de Tukey para las resistencias de 14 días. ....	58
<b>Tabla 4-9:</b> Resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros a los 28 días. ....	59
<b>Tabla 4-10:</b> Análisis descriptivo de los resultados a compresión de los cilindros a los 28 días. 60	
<b>Tabla 4-11:</b> Análisis de varianza de los resultados de resistencia a compresión a los 28 días. 61	
<b>Tabla 4-12:</b> Resultados de la prueba HSD de Tukey para las resistencias de 28 días. ....	62
<b>Tabla 4-13:</b> Resultados de los módulos de rotura de las vigas a los 28 días. ....	63
<b>Tabla 4-14:</b> Análisis descriptivo de los módulos de rotura de las vigas a los 28 días. ....	64
<b>Tabla 4-15:</b> Análisis de varianza de los resultados de resistencia a la flexión a los 28 días.....	66
<b>Tabla 4-16:</b> Resultados de la prueba HSD de Tukey para módulos de rotura de 28 días. ....	67
<b>Tabla 4-17:</b> Comparación de resultados con distintas investigaciones. ....	68
<b>Tabla A-1:</b> Análisis granulométrico de agregado grueso (NTC 77,2018). ....	78
<b>Tabla A-2:</b> Análisis granulométrico de agregado grueso (NTC 77,2018). ....	78
<b>Tabla A-3:</b> Análisis granulométrico de agregado fino (NTC 77,2018) .....	79
<b>Tabla A-4:</b> Peso unitario suelto del agregado grueso (NTC 92,2019). ....	79
<b>Tabla A-5:</b> Peso unitario suelto del agregado fino (NTC 92,2019). ....	80
<b>Tabla A-6:</b> Peso unitario compactado del agregado grueso (NTC,92,2019). ....	80
<b>Tabla A-7:</b> Peso unitario compactado del agregado fino (NTC 92,2019). ....	81

<b>Tabla A-8:</b> Densidad y absorción agregado grueso (NTC 176,2019).....	81
<b>Tabla A-9:</b> Densidad y absorción agregado fino (NTC 237,2020).....	81
<b>Tabla B-1:</b> Propiedades de los materiales. ....	82
<b>Tabla B-2:</b> Resistencia promedio.....	83
<b>Tabla B-3:</b> Contenido de aire de acuerdo con el TMN del agregado grueso.....	83
<b>Tabla B-4:</b> Contenido de agua.....	83
<b>Tabla B-5:</b> Relación a/c. ....	84
<b>Tabla B-6:</b> Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto. ....	84
<b>Tabla B-7:</b> Volúmenes de los demás componentes del concreto.....	85
<b>Tabla B-8:</b> Proporciones de diseño de mezcla de concreto inicial. ....	86
<b>Tabla B-9:</b> Proporciones de diseño de mezcla de concreto final. ....	86
<b>Tabla C-1:</b> Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk.....	87
<b>Tabla C-2:</b> Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante.....	87
<b>Tabla C-3:</b> Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson.....	87
<b>Tabla C-4:</b> Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk.....	89
<b>Tabla C-5:</b> Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante.....	89
<b>Tabla C-6:</b> Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson.....	89
<b>Tabla C-7:</b> Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk.....	90
<b>Tabla C-8:</b> Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante.....	90
<b>Tabla C-9:</b> Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson.....	91
<b>Tabla C-10:</b> Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk.....	92
<b>Tabla C-11:</b> Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante.....	92
<b>Tabla C-12:</b> Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson.....	93



## Lista de anexos

	<b>Pág.</b>
<b>A. Anexo:</b> Ensayos de caracterización de materiales.....	78
<b>B. Anexo:</b> Diseño de mezcla de concreto por el método ACI.....	82
<b>C. Anexo:</b> Residuales del modelo ajustado: varianza constante, supuestos de normalidad e independen.....	87

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$a/c$	Relación agua material cementante		Tabla B-5
$b$	Ancho de la viga	mm	Ecuación 2-1
$b/b_0$	Volumen del agregado grueso varillado (Compactado) en seco por volumen unitario de concreto		Tabla B-6
$d$	Altura de la viga	mm	Ecuación 2-1
$f'c$	Resistencia especificada a la compresión del concreto	MPa	Tabla B-1
$f'cr$	Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto empleado como base para la dosificación del concreto	MPa	Tabla B-2
$L$	Luz entre apoyos extremos.	mm	Ecuación 2-1
$P$	Cargar máxima de rotura.	N	Ecuación 2-1

### Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término
$\alpha$	Nivel de significancia
$\tau$	Tratamientos

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>ACI</i>	American Concrete Institute
<i>ANOVA</i>	Análisis de varianza
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>CC-0%</i>	Concreto convencional sin adición de fibra.
<i>CFE-0.15%</i>	Concreto con adición de fibra de fique del 0.15%
<i>CFE-0.5%</i>	Concreto con adición de fibra de fique del 0.5%
<i>CFE-0.8%</i>	Concreto con adición de fibra de fique del 0.8%
<i>CFS-0.15%</i>	Concreto con adición de fibra sintética del 0.15%
<i>CFS-0.5%</i>	Concreto con adición de fibra sintética del 0.5%
<i>CFS-0.8%</i>	Concreto con adición de fibra sintética del 0.8%
<i>CFV-0.15%</i>	Concreto con adición de micro fibra de vidrio del 0.15%
<i>CFV-0.5%</i>	Concreto con adición de micro fibra de vidrio del 0.5%
<i>CFV-0.8%</i>	Concreto con adición de micro fibra de vidrio del 0.8%
<i>CR</i>	Concreto reforzado
<i>CRFA</i>	Concreto reforzado con fibras de acero
<i>DCA</i>	Diseño completamente al azar
<i>GRC</i>	Glassfibre Reinforced Cement
<i>HSD</i>	Honestly-significant-difference
<i>MR</i>	Módulo de Rotura
<i>NTC</i>	Norma Técnica Colombiana
<i>SH</i>	Seca al horno
<i>SSS</i>	Saturada y superficialmente seca
<i>TMN</i>	Tamaño Máximo Nominal
<i>VIS</i>	Vivienda de interés social

# Capítulo 1

## 1 Introducción

El concreto es el material estructural por excelencia empleado en la construcción, cuenta en la actualidad con múltiples soluciones para los diferentes desafíos que presenta la industria. La búsqueda en el desarrollo de nuevos materiales que permitan mejorar las propiedades mecánicas y lograr satisfacer las necesidades actuales del mercado son todo un reto, se presentan como una alternativa eficiente y accesible el uso de fibras adicionadas al concreto, proporcionando un refuerzo tridimensional que aporta resistencia a los esfuerzos de tensión y flexión. (Euclid Group Toxement, 2018)

La evolución de las fibras en los concretos ha permitido avances importantes en el uso de este material alternativo en la construcción.

Desde tiempos antiguos se ha utilizado fibras para reforzar materiales frágiles, por ejemplo, la paja se utilizó en el refuerzo de ladrillos de barro (adobe) y en muchos muros que hoy adornan nuestros paisajes. En la década de los cincuenta se desarrollaron los primeros estudios con fibras de acero y fibras de vidrio, en tanto que en los años sesenta se empezaron a utilizar las fibras sintéticas. Pero no fue hasta 1965 que se integró el comité ACI 544 (Concreto reforzado con fibras), con el fin de proponer recomendaciones para el uso de las fibras y desde esa época hay avances muy importantes en la tecnología de las fibras para proveer mejores propiedades mecánicas al concreto. (Euclid Group Toxement, 2018) (p.2)

Además, el comportamiento del concreto con adición de fibras depende de la composición de estas.

Se producen a partir de diferentes materiales, tamaños y geometrías. ACI 544 y ASTM C 1116 clasifican las fibras con base a su composición (acero, vidrio, sintéticas y naturales). Actualmente las fibras de mayor aplicación en la construcción son las fibras de acero y las sintéticas. Por su funcionalidad, las fibras se clasifican en: **Microfibras** y **Macrofibras**. (Euclid Group Toxement, 2018)(p.2).

La implementación de macrofibras se presentan como una alternativa de refuerzo secundario mejorando las propiedades de un concreto convencional en estado endurecido y en el caso de microfibras evitando el fisuramiento en estado fresco, como parte de la solución al problema de fisuración del concreto y además con la intención de disminuir costos, facilitar los procesos constructivos y reducir el impacto ambiental. Se han incorporado fibras artificiales y naturales en las mezclas de concreto, lo cual, aun cuando estructuralmente no reemplaza la propiedad mecánica fundamental del concreto convencional (resistencia a la compresión), de acuerdo con (American Concrete Institute (ACI 544.4R-18), 2018)( p.2). Sin embargo, el comportamiento de una mezcla de concreto depende del tipo de fibra, tanto sus características físicas y mecánicas.

Así mismo se evidencia la producción de fibra de forma industrializada de materiales como el polipropileno, vidrio, nylon y acero, a generando diferentes alternativas en el mercado colombiano con soluciones concretas. "Entre los avances recientes aparece el haber incorporado criterios de diseño para el concreto reforzado con fibras en códigos y reglamentos de varios países, lo que ha permitido, y permitirá aún más, expandir su campo de aplicación" (Zerbino, 2020)(p.15).

Dentro de las distintas investigaciones realizadas, se resalta el uso de fibras naturales como un material asequible.

Debido al bajo costo y su fácil acceso se destacan las fibras naturales como lo es el fique, el coco, bagazo de caña y algunos tipos de bambú generando interés por su aplicación al desconocer su comportamiento, durabilidad y dosificaciones, pero a pesar de esto las fibras naturales han sido implementadas como material en la construcción desde el siglo XVI, y por la evidencia que se conserva de edificaciones construidas en este periodo en la

zona andina del país, datos que permiten establecer el uso y aplicación de técnicas y sistemas de construcción, asociados con el del bahareque, el adobe y la tapia pisada. (De Moya Abril, 2021)

Del mismo modo, un método ampliamente extendido para mejorar la resistencia a tracción de los cementos y morteros consiste en la adición de fibras de refuerzo.

Se da origen al denominado GRC ("Glassfibre Reinforced Cement") que viene empleándose desde hace unos 30 años en la Construcción. En el GRC se utiliza por lo general un cemento ordinario tipo Portland, mientras que para el refuerzo se emplea la fibra de vidrio constituida por un número elevado de filamentos para formar hilos que se cortan en longitudes pequeñas (Sánchez Paradela & Sánchez Galvéz , 1991).

En definitiva, la implementación de concretos reforzados con fibras cuenta muchas alternativas novedosas que abarcan múltiples aplicaciones, entre las cuales se encuentra pisos industrializados, pavimentos rígidos, elementos prefabricados, concretos lanzados (revestimientos de túneles y presas) y reemplazo de malla electrosoldada de placas no estructurales (Euclid Group Toxement, 2019).

Con el objetivo de realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto adicionados con macro y microfibras se desarrolla esta investigación, permitiendo conocer más sobre el comportamiento de los concretos reforzados con fibras, evaluando su resistencia a la compresión y flexión.

## **1.1 Antecedentes y justificación**

Dentro de los estudios encontrados sobre la utilización de distintas fibras en las mezclas de concreto, se evidenció que investigaciones a nivel internacional como (Higuero, 2010) realizado en la Universidad Politécnica de Madrid, titulado: "Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras. de: vidrio, carbono y aramida", el cual tuvo como principal propósito analizar y comparar el comportamiento mecánico de dichas fibras, empleadas tanto en el refuerzo de hormigón como en las estructuras de éste. La investigadora determinó que las tres fibras de refuerzo estudiadas son bastante eficaces como refuerzo de estructuras de

concreto; sin embargo, el costo de las fibras de carbono y aramida es elevado; por ende, se podría reducir su empleo en el esfuerzo de elementos estructurales, más que del propio concreto, pues de este modo sólo se emplearían fibras en zonas localizadas a reforzar.

Otras investigaciones en Ciudad de México (Muñoz, 2018) (p.4,60,61), tenía como objetivo el uso de fibras de acero en el concreto obtenidas del reciclaje de neumáticos. En este trabajo se evaluó, mediante los resultados alcanzados de un estudio experimental, la influencia de dos tipos de fibras de acero obtenidas del reciclaje de neumáticos, en concreto en estado fresco y endurecido del concreto, empleando fibras en porcentajes volumétricos de 0.5% y 2% en mezclas de concreto; obteniendo como resultado el aumento en la resistencia a la compresión, mejorando esta propiedad en un 24% con fibras de polipropileno y 34.42% con las fibras de acero obtenidas del reciclaje de neumáticos. Además, se considera que se obtuvieron valores muy bajos en el revenimiento de las muestras debido al desconocimiento de las propiedades de las fibras obtenidas del reciclaje.

En la Universidad de Jordán (Jordania) se realizó ocho vigas de concreto reforzado (CR) para explicar el comportamiento de corte de las vigas de CR preparados con fibras de basalto y polipropileno. Las vigas y los cilindros se fundieron con tres proporciones distintas de fibras de basalto y polipropileno: 0,6%, 1,3% y 2,5% del peso total del cemento. Los resultados de las pruebas mostraron que las mejores porciones de basalto y fibras de polipropileno fueron el 2,5% y el 0,6% del peso total del cemento, respectivamente. La inclusión de fibras de polipropileno o basalto mejoró considerablemente la ductilidad de las vigas (Murad & Abdel-Jabbar, 2021).

A nivel nacional, se desarrolló en la ciudad de Bogotá el uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto como lo es la fibra de fique, el cual consistió en ensayos a flexión y compresión, agregando fibra entre 0.5% y el 1.5%, dando como resultado que la adición de esta fibra en los porcentajes anteriormente mencionados por volumen de concreto contribuye de buena manera a la resistencia a flexión de estos, pero disminuye un poco la resistencia a la compresión (Jiménez Bhórquez , 2011).

Además, con el propósito de desarrollar ayudas de diseño que promuevan la utilización de concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) como refuerzo a cortante en el alma de muros de concreto para vivienda de interés social (VIS) que se encuentran en zonas de amenaza sísmica baja y moderada, a cargo de la Universidad Militar Nueva Granada en la ciudad de Bogotá, se llevó a cabo un estudio experimental para caracterizar las propiedades mecánicas del CRFA. El programa experimental incluyó el ensayo de 128 especímenes en forma de cilindros y vigas. De acuerdo con los lineamientos especificados por ACI-318, con el espesor de los muros utilizados en VIS, y con los resultados de investigaciones previas, se seleccionaron tres fibras Dramix con relaciones longitud-diámetro de 55, 64 y 80. Finalmente se obtuvieron resultados en la manejabilidad, debido al incremento de fibras se evidencia una disminución en esta propiedad del concreto, igualmente se determinó que el incremento del contenido de fibras de acero, la resistencia a compresión del concreto disminuye a un valor casi constante ( $f_c/f_{co} = 0.87$ ) y su capacidad de deformación en compresión aumenta. También ocurre con el módulo de elasticidad presentándose una relación inversamente proporcional con la cantidad de fibra. (Carrillo et al., 2013).

Asimismo, se tienen múltiples investigaciones acerca de las fibras sintéticas que son de fácil comercio, como lo destaca (Valbuena, 2014) en su investigación realizada en la ciudad de Bogotá, dando resultados positivos en el control de fisuras por contracción del concreto siendo muy recomendadas en el reforzamiento de pisos industriales, evidenciándose que, a mayor porcentaje de fibra de polipropileno incluidas, menores fueron los efectos observados de aparición de fisuras en el concreto. “La inclusión de fibras de polipropileno retrasa la aparición de fisuras relacionadas con el fenómeno de la contracción plástica, permitiendo de esta manera tomar las medidas correctivas necesarias para evitar su aparición”; al igual que (Quintana Cruz & Valencia Castro, 2016) en la ciudad de Bogotá, su proyecto de investigación llevaba como objetivo el análisis del comportamiento del concreto simple y el concreto reforzado con adición de fibras de acero al 12 % y 14%, con el fin de conocer si existe una mejora en la capacidad de carga a la compresión, de las cuales se elaboraron 27 cilindros, para poder analizar la resistencia a la compresión, con adición y sin adición de fibras de acero, evidenciándose resultados favorables



para los bloques adicionados con 14% de fibra de acero a comparación de los resultados obtenidos en los demás bloques.

La adición de fibras naturales al concreto se han presentado como otra de las alternativas viables para su uso en la industria de la construcción, así como lo presenta en su investigación (Carvajal Corredor & Terreros Rojas, 2016) realizada en la ciudad de Bogotá, tiene como fin determinar y analizar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo; siguiendo un método experimental fundamentado en la realización de ensayos y pruebas de laboratorio para comparar los concretos en estudio. Para dicha evaluación se elaboraron especímenes cilíndricos y viguetas, fallando las muestras cada 7, 14 y 28 días obteniendo como resultado que la adherencia entre los materiales y la fibra, generaron una mayor resistencia a la flexión y una resistencia al agrietamiento sin pérdida de material al momento de la rotura; representado una alternativa de desarrollo en el sector de la construcción, como material sostenible.

Las razones que justifican esta propuesta es poder identificar que material adicionado al concreto, podría ser viable con respecto a la disponibilidad en el mercado, sus costos y comportamiento mecánico, que permitan gradualmente el remplazarlo del acero y así generar elementos estructurales más económicos y resistentes.

También, debido a la debilidad del concreto ante esfuerzos de tensionamiento que exceden el límite elástico, baja capacidad de deformación y que por tal razón este desarrolla fisuras, ha sido necesario adicionarle diferentes materiales que generen estas capacidades elásticas y que a su vez este material tenga una buena relación y adherencia con el concreto. (Saavedra Joaqui & Ortega Montes , 2020). Una de las distintas soluciones es la adición de fibras tanto sintéticas como naturales, permitiendo a partir de sus características físicas y químicas, obtener buenos comportamientos en el concreto. Además, al adicionar fibras al concreto se está logrando la colocación del refuerzo al mismo tiempo, teniendo así un ahorro en las actividades de obra y costos finales.

## 1.2 Formulación del problema

En los últimos años, la industria de la construcción ha venido implementando el uso de las fibras en el concreto, esto con el fin de poder mejorar la capacidad a la flexión y compresión de este y evitar la fisuración a corto y largo plazo de los elementos estructurales, mitigando los agentes externos que afectan el acero y en gran medida de poderlo remplazar dentro de algunos elementos estructurales, teniendo así una mezcla eficiente y económica sin el uso del acero.

Además, según como lo indica (Toirac Corral, 2004):

En ocasiones el concreto se ve afectado por una de las patologías más significativas que caracteriza las obras de hormigón, nos referimos a las grietas y fisuras, las cuales, por sus condiciones superficiales de aspecto, inciden directamente en lo funcional, siendo esta una de las razones de más peso en la durabilidad de una estructura. De ahí, que, el establecer un correcto diagnóstico que va desde su identificación hasta las causas que lo originan, permitirá a proyectistas, constructores y productores de materiales, no solo minimizar o erradicar su efecto por medio de su reparación sino tomar las medidas profilácticas preventivas para eliminar o disminuir su aparición. (p.73)

Algunas de estas fisuras pueden ser la retracción plástica y las originadas por las cargas, las cuales pueden ser minimizadas por el uso de micro y macro fibras. En general, como menciona (Gallo Arciniegas, 2013):

Las fibras controlan la fisuración y mejoran la tenacidad del concreto. Varias investigaciones y proyectos prácticos se han llevado a cabo con éxito para caracterizar y estudiar el comportamiento del concreto. A pesar de esta amplia experiencia, una de las principales causas de la poca utilización del concreto reforzado con fibras de acero en las construcciones de Colombia, ha sido la ausencia de recomendaciones prácticas para estimar el comportamiento (p.119).

En función de lo anteriormente mencionado, la pregunta que se genera es ¿Cuál de las mezclas de concreto adicionadas con micro y macro fibras ensayadas tanto a flexión y compresión, presenta mejor comportamiento mecánico, para su posterior uso en la industria de la construcción?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto con adición de micro y macrofibras.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar las micro y macro fibras más usadas en el mercado, para ser utilizadas en los ensayos.
- Diseñar la mezcla de concreto para ser utilizada a flexión y compresión, según lo establecido en la NTC, adicionando las micro y macro fibras.
- Realizar un diseño experimental, en el cual se establezca el mejor comportamiento mecánico a flexión y compresión de los concretos con las micro y macro fibras.

## 1.4 Estructura del documento

La estructura del documento es la siguiente:

- En el primer capítulo se presenta la introducción del proyecto, en la que se expone las razones por las cuales se realiza la investigación, además de los objetivos que se alcanzarán, por medio de información previamente hallada sobre el tema a tratar, mostrando distintas alternativas que se han presentado en el tiempo.
- El segundo capítulo muestra el marco teórico, en el que reúne conceptos fundamentales con el fin de poner en contexto al lector, y así conseguir una buena interpretación del proyecto.
- El tercer capítulo expone la metodología que se llevó a cabo para la realización del proyecto, donde se analizaron y se describieron las distintas fibras utilizadas, además de la caracterización de los materiales usados para así realizar un diseño de mezcla, la

elaboración de los especímenes y la descripción del diseño experimental a usar para el análisis de los datos obtenidos.

- El cuarto capítulo recoge los resultados de los ensayos del capítulo anterior y el análisis respectivo, allí se evaluó la influencia que tienen las fibras al adicionarlas en el concreto, mostrando si aumenta o no la resistencia tanto a compresión como flexión respecto al concreto convencional.
- El quinto capítulo presenta las conclusiones que resultan del análisis de la información previamente consultada y lo experimentado. Además, de darle respuesta a los objetivos propuestos, incluyendo unas recomendaciones sobre aspectos que se puedan mejorar en la investigación.

# Capítulo 2

## 2. Marco referencial

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Tipo de fibras

A lo largo de los años se ha distinguido dos tipos de fibras utilizadas en la construcción:

**Microfibras:** Normalmente son fibras que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las fibras multifilamento permiten obtener mejores resultados y sus longitudes oscilan entre los 12 y los 75 mm y se dosifican en el concreto entre 0,6 kg/m<sup>3</sup> y 1 kg/m<sup>3</sup>.

**Macrofibras:** “Generalmente son de materiales los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como malla electrosoldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Entre los beneficios del uso de concreto reforzado con fibras -CRF- se encuentran el incremento de la resistencia al impacto y a la fatiga. Su diámetro oscila entre los 0,25 mm y 1,5 mm con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm. (Grupo Argos, s.f.).

“Las microfibras por lo general se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo, a diferencia de las macrofibras las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto”. (Sika Colombia S.A.S, 2018)

Existen distintos materiales que son utilizados comúnmente como micro y macrofibras, de los cuales las más destacadas que podemos encontrar en el mercado son:

- **Fibra de acero:** Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón) (Sika Colombia S.A.S, 2018). Además, tiene diferentes tamaños, secciones, rugosidad y formas que permiten que este material posea mayor adherencia al concreto, también generar aumento de la resistencia y tener un menor gasto en su aplicación.
- **Fibra de vidrio:** Es un material compuesto por filamentos de vidrio que se entremezclan, dando diferentes estructuras. Una de las ventajas es que es económica, altamente resistente y mejora el comportamiento a tensión en las mezclas de concreto disminuyendo la fisuración por retracción del concreto. (Servei Estació, s.f.)
- **Fibra sintética:** Son utilizadas como macrofibras, cuyo propósito es asegurar que la tenacidad sea acorde con las necesidades de diseño estructural. La proporción de la mezcla depende de la longitud y el diámetro, pero las dosificaciones usualmente empleadas están comprendidas entre el 1 y 2% en volumen (9 a 18 kg/m<sup>3</sup>). (Grupo Argos, s.f.)
- **Fibra natural:** “Son secciones discretas de origen natural como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%”. (Sika Colombia S.A.S, 2018)

### 2.1.2 Aplicación de las micro y macro fibras

Desde el siglo XX, se vienen implementando distintos tipos de fibra que han permitido obtener un concreto resistente, con la capacidad de poder remplazar materiales como es la malla electrosoldada. Según (TexDelta Nonwovens Technical Fabrics, s.f.) dentro de las principales aplicaciones se pueden encontrar:

- Revestimiento de túneles

- Pisos industriales
- Estructuras prefabricadas
- Pavimentos rígidos
- Placas no estructurales
- Estabilización de taludes

### 2.1.3 Ventajas y desventajas de las micro y macro fibras

Algunas de las ventajas y desventajas que se pueden presentar en las fibras son (Irías Pineda , 2013):

#### **Ventajas:**

- Son más económicas que el acero convencional.
- Las fibras de polipropileno y vidrio son estables en el medio alcalino que supone el hormigón, presentando una superficie hidrofóbica, por lo que no absorbe agua durante la mezcla ni posterior al fraguado.
- Fibras como las naturales y de polipropileno son 100% ecológicas y reciclables, de esta forma no dañan el medio ambiente.
- El empleo de fibras de acero mejora la resistencia a la abrasión debido a una reducción de la fisuración.
- Algunas fibras mejoran la resistencia a la flexión, tracción y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Disminuyen las grietas por retracción plástica.

#### **Desventajas:**

- Las fibras naturales absorben una gran cantidad de agua.
- La manejabilidad del concreto se vuelve engorrosa a medida que se aumenta la cantidad de aplicación de las fibras.

- Dependiendo de la cantidad de fibras agregadas, se va perdiendo el asentamiento en la mezcla de concreto
- Las fibras de acero pueden quedar expuestas, generando así corrosión en el elemento estructural.
- Las fibras sintéticas presentan bajo módulo de elasticidad.

## 2.2 Marco conceptual

### 2.2.1 Concreto

Es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene alta resistencia a la compresión y muy baja resistencia a la tensión (McCORMAC & BROWN).

- **Cemento:** El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clínker —principal ingrediente del cemento—, que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento (CEMEX, S.A.B. de C.V., s.f.)
- **Agregados pétreos:** Agregado Pétreo (del latín Petreus) es aquel material proveniente de la roca y se utiliza sin apenas sufrir transformaciones, regularmente se encuentran en forma de macizos rocosos o en depósitos no consolidados conteniendo fragmentos de distintos tamaños (arena y gravas). Suelen ser naturales, aunque a veces procesados o manufacturados por el hombre, derivan de la roca o poseen una calidad similar a la de ésta, siendo usados casi exclusivamente en el sector de la construcción (Olgún de la Mora, 2016)



Algunas de las propiedades que se tienen en cuenta en el concreto fresco son (Romero Quintero & Hernandez Rico, 2014):

- **Manejabilidad:** Es la propiedad del concreto que determina el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los materiales que componen la mezcla de concreto y el encofrado o refuerzo.
- **Compacidad:** Esta propiedad describe la facilidad con la que la mezcla fresca es compactada.
- **Contenido de aire:** Permite un requerimiento menor de agua en la mezcla de concreto.
- **Consistencia:** Es la capacidad del concreto recién mezclado, para fluir.
- **Cohesión:** Esta propiedad describe la capacidad que tiene la mezcla de concreto fresco para mantenerse como una masa estable y sin segregación.

El concreto endurecido es el estado del concreto después del fraguado, donde la mezcla gana resistencia y toma la forma a la cual se moldeó y es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, algunas de sus propiedades son:

- **Resistencia:** Es la habilidad para soportar esfuerzos.
- **Durabilidad:** Es la habilidad para resistir la acción del medio ambiente; los ataques químicos, la abrasión y a otras condiciones de servicio.
- **Permeabilidad:** Es la capacidad de permitir el paso de un fluido (líquido o gas) a través del concreto.
- **Cambios volumétricos:** Es la principal causa de agrietamiento en la mezcla y esto se debe a los cambios de volumen que experimenta durante su vida útil.

### 2.2.2 Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla el método más usado es el (ACI). Este método propone ciertos parámetros para la elaboración de mezclas de concreto, abarcando todas las variables que

conlleven la elaboración de un diseño de mezcla, estableciendo valores de clasificación como lo es la consistencia y grado de trabajabilidad que tenga la mezcla, esto según el asentamiento que se haya escogido. Ver Tabla 2-1:

TIPOS DE CONSTRUCCION	MAXIMO*	MINIMO
- Zapatas y Muros de cimentación reforzados.	3"	1"
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3"	1"
- Vigas y Muros reforzados	4"	1"
- Columnas de edificios	4"	1"
- Pavimentos y losas	3"	1"
- Concreto ciclópeo	2"	1"

**Tabla 2-1:** Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Tomado del libro Tecnología del Concreto Ing. Flavio Abanto Castillo.

Además, como menciona (Amaya Alarcón & Ramirez Zapata , 2019):

El método ACI establece valores de clasificación como, por ejemplo, dependiendo el asentamiento, 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. (p.38)

La Norma Técnica Colombiana (NTC) es aquella que se debe tener en cuenta para el diseño de mezcla, de las cuales las más esenciales son:

- NTC 77 (2018) Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

- NTC 92 (2019) Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados.
- NTC 237(2020) Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.
- NTC 176(2019) Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.

### 2.2.3 Resistencia a la compresión

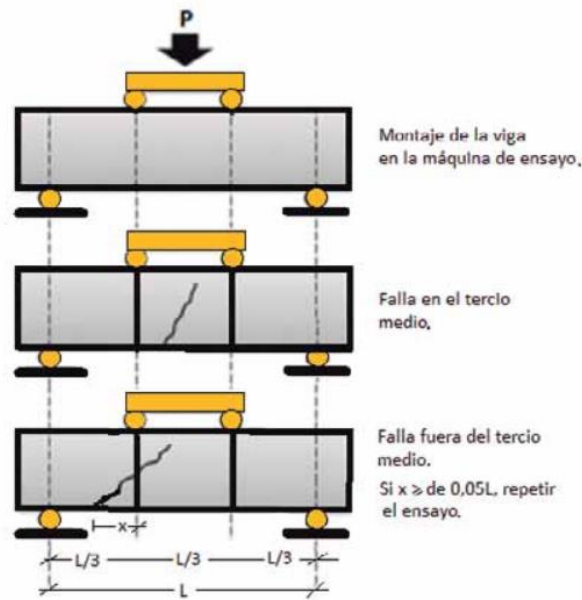
“Es el esfuerzo de falla del concreto, medido como el promedio de la resistencia de dos cilindros estándar (150mm de diámetro), o tres cilindros de 100mm de diámetro, determinada a una edad de 28 días o menos”. (Matallana Rodríguez , 2019)(p.115)

### 2.2.4 Resistencia a la flexión o Módulo de Rotura (MR)

Como lo menciona (Matallana Rodríguez , 2019):

La resistencia a la flexión del concreto, más conocida como módulo de rotura (MR), es un factor importante en estructuras de concreto simple, tales como las losas de pavimento y los pisos industriales. Se evalúa sometiendo una vigueta estándar de concreto a flexión, cargada en el tercio medio. (p.122)

El ensayo a flexión consiste en apoyar la vigueta a 25 mm de sus extremos, dejando una luz intermedia en la que se carga en dos puntos situados en los tercios medios de los apoyos, tal como se aprecia en la Figura 2-1.



**Figura 2-1:** Ensayo de viga cargada en el tercio medio.

Tomado del libro El Concreto fundamentos y nuevas tecnologías Ing. Ricardo Matallana Rodríguez.

“El MR se calcula mediante la Ecuación 2-1, siempre y cuando la falla ocurra dentro del tercio medio de la luz libre de la viga”. (Matallana Rodríguez , 2019)

$$MR = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

MR: módulo de rotura, en Mpa.

P: carga de rotura, en N.

L: luz entre apoyos extremos, en cm.

b: ancho de la viga, en mm.

d: altura de la viga, en mm.

### 2.2.5 Diseño experimental

Es el proceso de planeamiento de un experimento, tal que se tomen datos apropiados con la mayor realidad posible, los cuales deben ser analizados mediante métodos estadísticos que deriven conclusiones válidas y objetivas. Podemos decir que la filosofía del diseño experimental es la obtención de información con una alta fidelidad sobre el mensaje de la

naturaleza a un costo mínimo. Los diseños experimentales deben tener algunas características como: simplicidad, grado de precisión, rango de validez de las conclusiones y el cálculo del grado de incertidumbre. Dentro de las investigaciones se presentan estrategias que se clasifican según la función más relevante que puedan presentar, en los cuales podemos encontrar (Mendoza Rivera, s.f.):

- **Estrategia descriptiva:** Se trata de una investigación preliminar, cuyo objetivo principal es llegar a un primer tipo de conocimiento, no existe un marco teórico suficiente sobre el cual sustentar la investigación. No se le exige al investigador formular una hipótesis.
- **Estrategia explicativa:** Se destacan los estudios sobre búsquedas de causas, los cuales indagan acerca de las razones que den cuenta de los hechos que se observan y que llaman la atención a los investigadores.
- **Estrategia prospectiva:** “Es cuando se plantea problemas de tipo que ocurrirá después de cierto tiempo manteniendo las condiciones que provocan el fenómeno”. (Tafur Portilla, 2015)

### 2.2.6 Diseño completamente al azar

Según (Almeida Braga, 2021):

El diseño completamente al azar (DCA), es una herramienta estadística que tiene como objetivo probar o no, la existencia del efecto de un único factor con la aplicación de sus diversos tratamientos ( $\tau$ ) aplicados a ( $j$ ) repeticiones sobre la unidad experimental. De esta manera, se evita en consecuencia, los análisis tendenciosos. En el caso de que el experimento se realice bajo las mismas condiciones y se requiera saber si existe efecto estadístico o no, de un único factor con determinados niveles de aplicación (tratamiento), el DCA es la mejor herramienta que se puede utilizar.

# Capítulo 3

## 3. Metodología

En la Figura 3-1 se muestran las etapas con las que se lograron los objetivos del proyecto:

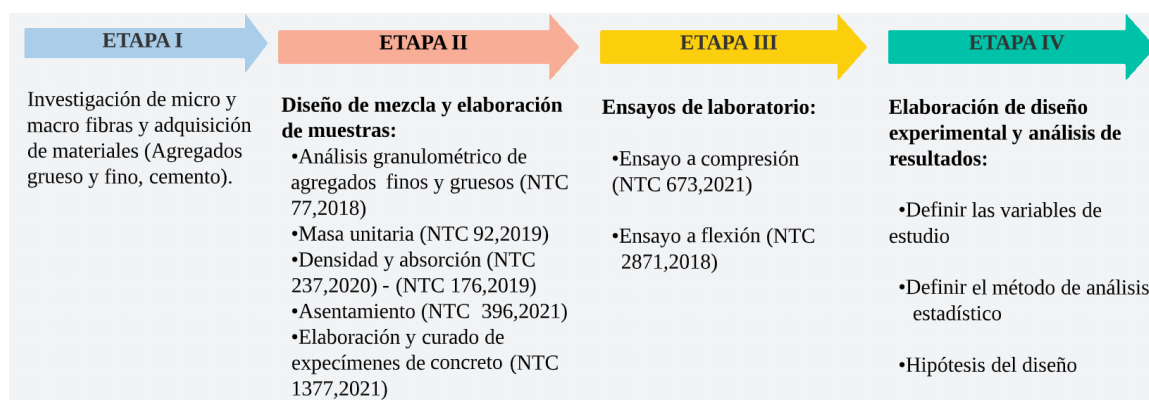


Figura 3-1: Metodología

### 3.1 Investigación de micro y macrofibras

Se documentó a partir de las bases de datos brindadas por el portal web de la Universidad Surcolombiana y por los artículos encontrados en los principales portales de internet (Ver Tabla 3-1), con el fin de indagar sobre las propiedades de las fibras y conocer que materiales eran los más utilizados para realizar su respectiva búsqueda en el mercado.

TITULO	AUTORES	AÑO	FUENTE
Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras.	Victoria Águila Higuero	2010	Portal web
Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero	Carrillo Julián, González Giovanni, Aperador William	2012	Portal web
Evaluación del Efecto en la Contracción del	José Libardo Manzano Valbuena	2014	Portal web

Concreto con Fibras Estructurales de Polipropileno.			
Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero	Carrillo Julián, Silva-Páramo Diego	2016	Portal web
Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%	Plinio Andrés Valencia Castro Cristian Darío Quintana Cruz	2016	Portal web
Uso de fibras de acero en el concreto obtenidas del reciclaje de neumáticos	Mariana José Muñoz	2018	Portal web
Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras	Santiago Amaya Alarcón Miguel Ángel Ramírez Zapata	2019	Portal web
Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto	Marlon Farfán Córdova Diana Isabel Pinedo Díaz Josué Araujo Novoa Jhilson Orbegoso Alayo	2019	Portal web
Evaluación del comportamiento a flexión, del concreto reforzado con fibras de acero (dramix), frente al reforzado con fibras de PET.	Karla Tatiana Urriago Ramírez, Jhosser Arley Bocanegra Guerrero, Wilson Fernando Doncel Sierra	2020	Portal web
Non-destructive test approach for assessing the amount of fibre in polymeric fibre reinforced concrete.	J. de la Cruz, I. Segura, P. Pujadas, J.M. Torrents, A. de la Fuente	2021	ScienceDirect, base de datos Universidad Surcolombiana.
Shear behavior of rc beams prepared with basalt and polypropylene fibers	Yasmin Murad, Haneen Abdel-Jabbar	2021	ScienceDirect, base de datos Universidad Surcolombiana.

**Tabla 3-1:** Investigaciones relacionadas a las fibras utilizadas en el mercado.

Entre las fibras que comercialmente fueron posible encontrar se muestran a continuación:

### 3.1.1 Macrofibra sintética

MAXTEN TM son macro fibras sintéticas usadas para reemplazar la malla electrosoldada y las fibras metálicas, como refuerzo secundario (refuerzo por temperatura) en la construcción de placas, losas y elementos prefabricados de concreto de hasta 21 MPa de resistencia a compresión. En la Figura 3-2 se puede observar una muestra de la fibra sintética utilizada.



**Figura 3-2:** Muestra de fibra sintética.

MAXTEN TM cumple con la norma ASTM C-1116, especificaciones estándar para concreto y concreto lanzado reforzado con fibra y son específicamente usadas para reducir las fisuras por contracción plástica, mejorar resistencia al impacto, abrasión, incremento de resistencia a la fatiga, incremento de la tenacidad del concreto generando una larga vida útil en los productos de concreto. La dosificación de fibra MAXTENTM en el concreto puede estar en el rango entre 1.8 y 3.0 kg/m<sup>3</sup> de concreto, dependiendo del reforzamiento requerido (Euclid Group Toxement, 2019). En la Tabla 3-2 se describen las características físicas y químicas que posee la fibra sintética.

<b>INFORMACIÓN TÉCNICA</b>	
<b>COLOR:</b>	Blanco
<b>MATERIAL:</b>	100% mezcla virgen de copolímeros.
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA:</b>	0.91
<b>DOSIS TÍPICAS:</b>	1.8 A 4.7 Kg/m <sup>3</sup>
<b>LONGITUD:</b>	50 mm



<b>RESISTENCIA A LA TENSIÓN:</b>	84.94 ksi (620 – 685Mpa)
<b>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y TERMICA:</b>	Baja
<b>ABSORCIÓN DE AGUA:</b>	Despreciable
<b>RESISTENCIA ALCALI Y ACIDOS:</b>	Excelente

**Tabla 3-2:** Características físicas y químicas de la fibra sintética.

### 3.1.2 Microfibra de vidrio

POLIFIBER GLASS es una fibra de vidrio álcali-resistente, diseñada para ser adicionada a morteros y hormigones con el fin de disminuir la fisuración y aumentar su durabilidad y resistencia al impacto, así como aumentar la resistencia a tracción y compresión configurándose como una alternativa eficaz frente a la malla y la fibra metálica (Extrapol, s.f.). La Figura 3-3 se observa una muestra de la micro fibra de vidrio utilizada.



**Figura 3-3:** Muestra de micro fibra de vidrio.

Frente a las mallas y fibras metálicas, podemos destacar de la fibra de vidrio las siguientes ventajas: mayor resistencia a tracción y a compresión, durabilidad, resistencia a la oxidación, proporciona un mejor acabado, resistencia a la abrasión y al impacto, mayor impermeabilidad que disminuye la absorción de agua, resistencia al hielo, actúa como refuerzo ante la disgregación y confiere mayor resistencia ante el asentamiento producido durante el fraguado reduciendo la formación de fisuras que puedan provocar roturas mayores. En la Tabla 3-3 se describen las características físicas y químicas que posee la micro fibra de vidrio.

INFORMACIÓN TÉCNICA	
<b>COLOR:</b>	Blanco
<b>MATERIAL:</b>	100% mezcla virgen de copolímeros.
<b>DIÁMETRO</b>	0.02 mm
<b>DENSIDAD</b>	1.6 gr/cm <sup>3</sup>
<b>LONGITUD:</b>	10 mm
<b>RESISTENCIA A LA TENSIÓN:</b>	1650 Mpa
<b>PUNTO DE FUSIÓN:</b>	>1500 °C
<b>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y TERMICA:</b>	Baja
<b>ABSORCIÓN DE AGUA:</b>	Despreciable
<b>RESISTENCIA ALCALI Y ACIDOS:</b>	Muy alta

**Tabla 3-3:** Características físicas y químicas de la micro fibra de vidrio.

### 3.1.3 Macrofibra de fique

El fique tiene su origen en la América tropical, sobre todo en las regiones andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador, en donde prevalecen las condiciones tropicales durante casi todo el año. Colombia es mayor productor de fique, seguido por Venezuela, Ecuador y Costa Rica; Colombia produce cerca de treinta mil toneladas de fique al año, principalmente en los departamentos de Cauca, Nariño, Santander y Antioquía. En estos sitios los agricultores y campesinos se han asociado en agremiaciones de fiqueros e hilanderas, entre otros (Artesanías de Colombia, 2014). La Tabla 3-4 describe las características físicas y químicas que posee la fibra de fique.

INFORMACIÓN TÉCNICA	
<b>DIÁMETRO</b>	0.02 mm
<b>DENSIDAD</b>	0,9 gr/cm <sup>3</sup>
<b>LONGITUD:</b>	50 mm
<b>RESISTENCIA A LA TENSIÓN:</b>	43-571 Mpa
<b>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y TERMICA:</b>	Baja
<b>ABSORCIÓN DE AGUA (%)</b>	70%
<b>RESISTENCIA ALCALI Y ACIDOS:</b>	Baja

**Tabla 3-4:** Características físicas y químicas del fique.

Una de las ventajas más importantes de las fibras naturales frente a las fibras de vidrio, es la neutralidad de dióxido de carbono, debido a que la liberación de este gas es una de las

causas principales del efecto invernadero, que genera cambios climáticos en el planeta. El uso de fibras de vidrio en compuestos de matriz polimérica se ha visto desplazado por el de fibras naturales, en aplicaciones de baja exigencia estructural, este es el caso de componentes para automóviles, que actualmente están siendo fabricados con compuestos bioamigables. Otros factores que resaltan las bondades de las fibras naturales son: disponibilidad, baja densidad, facilidad de separación, alta dureza, buena resistencia a la corrosión natural, bajo costo, buenas propiedades térmicas, reducción de la irritación cutánea y respiratoria, menos desgaste de los equipos en el procesamiento, renovación y biodegradabilidad (Muñoz et al., 2014).

Por otra parte, se realiza un tratamiento químico con el fin de mejorar la alcalinidad de las fibras para conservar su vida útil y protegerlas del elevado pH del cemento. Para ello se utiliza cal hidratada disuelta en agua y se deja reposar por 24 horas para que la fibra se impregne. Posterior a esto se seca al horno o al ambiente y así poder ser aplicada a la mezcla de concreto. En la Figura 3-4 se presenta la muestra de fique antes del tratamiento y también, posterior a este.



**Figura 3-4:** (a) Muestra de fibra de fique sin tratamiento (b) fibra de fique con tratamiento de cal.

### 3.2 Procedencia de materiales

Los materiales utilizados para la elaboración de los diferentes especímenes propuestos en el proyecto proceden de empresas a nivel local en la construcción.

### 3.2.1 Agregado grueso y fino

Los agregados tanto gruesos como finos se obtuvieron de la empresa Piedras y Arenas del HUILA S.A.S, dedicada a extracción de piedra, arena, arcillas comunes, yeso y anhidrita. En la Figura 3-5 se presenta una muestra de los agregados utilizados en este proyecto.



Figura 3-5: Muestra de agregado grueso y agregado fino.

### 3.2.2 Cemento

El cemento utilizado para en el proyecto fue cemento ALION de uso general, el cual es fabricado por la empresa CORONA teniendo un óptimo acabado en cemento y una resistencia homogénea con excelente manejabilidad en la mezcla. En la Figura 3-6 se presentan las características químicas que posee el cemento ALION.





Cemento tipo UG			
Característica		Unidad	Valor NTC 121
 Resistencia a la compresión	3d, min	MPa	8
	7d, min	MPa	15
	28d, min	MPa	24
 Cambio de longitud	En autoclave, max	%	0,8
 Tiempo de fraguado	Inicial, mayor que	min	45
	Inicial, menor que	min	420
 Contenido de aire	En volúmen de mortero, max	%	12
 Expansión en barras de mortero	14d, max	%	0,020

Figura 3-6: Recuperado de Ficha técnica/versión 4.

Cemento gris de uso general, de ALION., 2022, p.2, (<https://alio.com.co/wp-content/uploads/2020/09/Ficha-Tecnica-UG-V1.0-20191021.pdf>).

### **3.2.3 Diseño de mezcla**

El método A.C.I. es uno de muchos procedimientos que existen para la dosificación en el diseño de mezclas de concreto; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que, a su vez, está basa en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas. La metodología implementada en este método inicia por la selección del asentamiento o revenimiento, la estimación de la cantidad de agua y aire incluido, la relación a/c para la resistencia de diseño a los 28 días, se determinan las proporciones de agregado fino y grueso para finalmente realizar una corrección por humedad de los agregados ajustando las proporciones adecuadas para la resistencia deseada (Romero Quintero & Hernandez Rico, 2014).

Antes de diseñar la mezcla se deben tener datos previos, tales como el tamaño máximo nominal del agregado grueso, módulo de finura del agregado fino, la masa unitaria compactada y suelta de los agregados, densidad aparente, absorción y humedad.

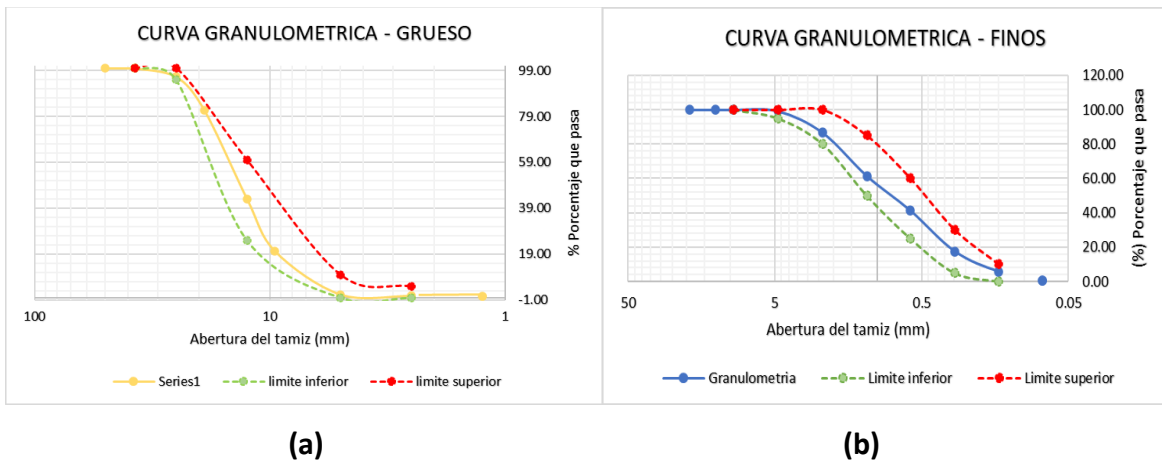
### **3.2.4 Granulometría de los agregados**

De acuerdo con la norma NTC 77 (2018) este método de ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados, o que se están utilizando como tales. Los resultados se usan para determinar la conformidad entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación. Los datos también pueden ser útiles en la determinación de las relaciones de porosidad y compacidad. Además de establecer el tamaño máximo del agregado y el módulo de finura. En la Figura 3-7 se presenta el proceso de tamizado que presentan los agregados.



**Figura 1-7:** Tamizado de los agregados.

A continuación, en la Gráfica 3-1 se presentan las curvas granulométricas, que describen la distribución de los tamaños de las partículas y se establecen los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos de acuerdo con la NTC 174 (2018).



**Gráfica 3-1:** Curvas granulométricas de (a) agregado grueso (b) agregado fino.

### 3.2.5 Determinación de la masa unitaria

El método de ensayo establecido por la NTC 92 (2019) contempla la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) del agregado en condiciones compactadas o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de los agregados. Siendo aplicable para agregados que no excedan los 125 mm de tamaño máximo nominal.



**Figura 3-8:** Peso suelo y compactado de los agregados.

En la Figura 3-8 se observa el procedimiento realizado para obtención de la densidad volumétrica que es necesario en muchos métodos de diseño de mezcla para la selección de las proporciones de los agregados.

### 3.2.6 Densidad y absorción de los agregados

Los valores obtenidos para la densidad y absorción del agregado grueso se establecen por medio de la metodología establecida en la NTC 176 (2019), igualmente se determinaron para el agregado fino, el cual se contempló el procedimiento de la NTC 237 (2020) este tiene como objeto determinar la densidad relativa (gravedad específica) que se puede expresar como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente (gravedad específica aparente), permitiendo conocer el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados, incluyendo concreto de cemento hidráulico, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre una base de volumen absoluto. Además, los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, se debe considerar el mayor tiempo posible en contacto con el agua para satisfacer el proceso de absorción. En la Figura 3-9 se presenta alguno de los procedimientos para la determinación de la densidad y absorción de los agregados.



**Figura 3-9:** Determinación de densidad y absorción.

En la Tabla 3-5 se observan los resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente, el cual fueron la base para el diseño de mezcla en esta investigación.

<b>DATOS INICIALES DE LOS AGREGADOS</b>		
	<b>FINO</b>	<b>GRUESO</b>
<b>Forma</b>	Angular	Angular
<b>Peso Unitario Suelto (Kg/m3)</b>	1597.67 Kg/m3	1441.68 Kg/m3
<b>Peso Unitario Compactado (Kg/m3)</b>	1698.28 Kg/m3	1561.15 Kg/m3
<b>Peso Específico(sss) (kg/m3)</b>	2538.07 Kg/m3	2634.14 Kg/m3
<b>Módulo de Finura</b>	2.88	4.657
<b>TMN (pulg)</b>	---	3/4
<b>% Absorción</b>	1.53	1.26
<b>% Humedad</b>	3.25%	0.401%

**Tabla 3-5:** Características físicas de los agregados.

A partir de estos valores se desarrolló la metodología propuesta por la ACI 211.1 y se obtuvieron las siguientes proporciones para un diseño de mezcla de 21Mpa que tendrá como asentamiento 4 pulg. En la Tabla 3-6 se establecen las proporciones necesarias para elaborar 1 m<sup>3</sup> de concreto, de acuerdo con los agregados anteriormente analizados.



COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIONES
Cemento (kg)	366.07	1
A. fino (kg)	775.70	2.1
A. Grueso (kg)	959.25	2.6
Agua (Lt)	205	

**Tabla 3-6:** Proporciones de diseño de mezcla para 1 m<sup>3</sup>.

En la Tabla 3-7 se presentan las cantidades de materiales que se necesitan para realizar 1 m<sup>3</sup> de concreto, de acuerdo con los diferentes tipos de fibras que se experimentaron:

MATERIALES	FIBRA SINTÉTICA (%)			MICRO FIBRA DE VIDRIO (%)			FIBRA DE FIQUE (%)		
	0.15	0.50	0.80	0.15	0.50	0.80	0.15	0.50	0.80
Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	366.07	366.07	366.07	366.07	366.07	366.07	366.07	366.07	366.07
A. fino (Kg/m <sup>3</sup> )	775.7	775.7	775.7	775.7	775.7	775.7	775.7	775.7	775.7
A. Grueso (Kg/m <sup>3</sup> )	959.25	959.25	959.25	959.25	959.25	959.25	959.25	959.25	959.25
Agua (Lts/m <sup>3</sup> )	205.0	205.0	205.0	205.0	205.0	205.0	205.0	205.0	205.0
Cantidad de fibra (Kg)	0.9	3	4.8	2.4	8	12.8	1.5	4.9	7.8

**Tabla 3-7:** Cantidad de materiales para elaborar 1 m<sup>3</sup> de concreto.

### 3.3 Elaboración de muestras

De acuerdo con la NTC 1377, esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para la construcción.

#### 3.3.1 Cilindros y vigas

Se elaboraron 135 especímenes cilíndricos para una resistencia de 21 Mpa, de los cuales fueron 45 muestras por cada fibra, con proporciones de fibra del 0,15%, 0,5% y 0,8% por volumen de concreto, obteniendo resultados a los 7, 14 y 28 días. En cuanto a las vigas se realizaron 27, siendo 9 muestras por cada fibra, con las mismas proporciones anteriormente mencionadas y fallándolas solo a los 28 días.

La Tabla 3-8 establece el número y tipo de muestras de concreto que se realizaron, además del porcentaje de fibra agregada.

Tipo de concreto	% Adicionado de fibra	Tipo de fibra	N° de muestras cilíndricas			N° de muestras prismáticas
			7 días	14 días	28 días	28 días
CC-0%	0	---	1	1	1	2
CFS-0,15%	0.15	Macro	5	5	5	3
CFS-0,5%	0.5	Macro	5	5	5	3
CFS-0,8%	0.8	Macro	5	5	5	3
CFV-0,15%	0.15	Micro	5	5	5	3
CFV-0,5%	0.5	Micro	5	5	5	3
CFV-0,8%	0.8	Micro	5	5	5	3
CFF-0,15%	0.15	Macro	5	5	5	3
CFF-0,5%	0.5	Macro	5	5	5	3
CFF-0,8%	0.8	Macro	5	5	5	3

**Tabla 3-8:** Tipo de concretos elaborados.

*Nota.*

CC-0%: Concreto convencional sin adición de fibra.

CFS-0.15%: Concreto con adición de fibra sintética del 0.15%

CFS-0.5%: Concreto con adición de fibra sintética del 0.5%

CFS-0.8%: Concreto con adición de fibra sintética del 0.8%

CFV-0.15%: Concreto con adición de micro fibra de vidrio del 0.15%

CFV-0.5%: Concreto con adición de micro fibra de vidrio del 0.5%

CFV-0.8%: Concreto con adición de micro fibra de vidrio del 0.8%

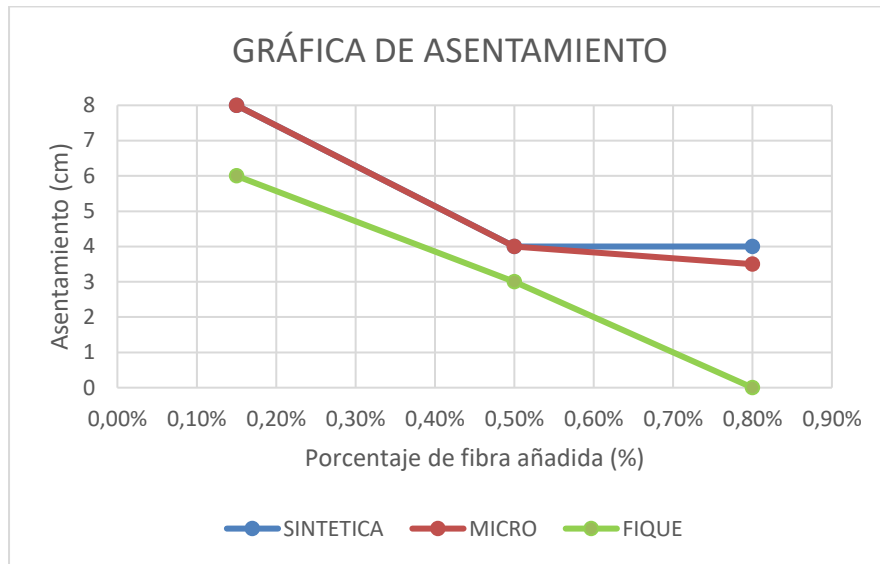
CFF-0.15%: Concreto con adición de fibra de fique del 0.15%

CFF-0.5%: Concreto con adición de fibra de fique del 0.5%

CFF-0.8%: Concreto con adición de fibra de fique del 0.8%

Al tener las cantidades necesarias de materiales y fibra para la elaboración de los especímenes cilíndricos y de vigas, se procede a su pesado y posterior mezclado, verificando durante este proceso el asentamiento por el cual fue diseñada la mezcla establecida en la norma NTC 396 colocando un molde metálico troncocónico, apisonando a tres capas de aparentemente igual tamaño con una varilla compactadora y levantando el molde de manera vertical y lenta, permitiendo que el concreto se asiente. Se mide la distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada del centro de la superficie superior del concreto, obteniéndose así el asentamiento.

En la Gráfica 3-2 muestra los asentamientos que presentaron las distintas fibras, de acuerdo también con el porcentaje que fue agregado a la mezcla de concreto. En ella se puede evidenciar que todas las fibras, a medida que se aumentaba su porcentaje de fibra este asentamiento iba disminuyendo, siendo la fibra de fique la más afectada y llegando a ser su valor de asentamiento nulo. En cuanto a las fibras sintéticas y micro fibra de vidrio su comportamiento fue muy parecido, presentando mínimas diferencias.



**Gráfica 3-2:** Resultado del ensayo de asentamiento de los diferentes tipos de fibra.

La Figura 3-10 se presenta la medición del asentamiento, obtenida por parte de la fibra sintética con porcentaje de 0,5%.



**Figura 3-10:** Medición del asentamiento fibra sintética.

Posterior a la verificación del asentamiento, la mezcla de concreto es colocada en moldes de acero que cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C470, siendo herméticos, no absorbentes y teniendo medidas de 100 mm x 200 mm denotando que su altura es dos veces mayor que su diámetro, esto respecto a los cilindros; para las vigas las medidas fueron de 150 mm x 500 mm.

Para el vaciado del concreto en los moldes cilíndricos, se realizó en dos capas de profundidad aproximadamente igual, dando 25 apisonamientos por capa con la varilla compactadora y proporcionando unos golpes externos al molde con el martillo de goma, con el fin de reducir los espacios de aire que se generan dentro de la mezcla. De igual forma se realizaron las vigas, pero con la diferencia de que cada capa fue compactada con 54 golpes en toda su área, debido a que la norma establece dar un golpe por  $14 \text{ cm}^2$ . Después de compactar el concreto se enrasó la superficie de los especímenes con una llana metálica, hasta la tolerancia requerida para producir una superficie plana y uniforme.

Pasadas las 24 horas de fundición, se procedió al desencofrado y curado de las muestras sumergidas en un tanque lleno de agua, con el fin de que alcance su resistencia diseñada.

En la Figura 3-11 se presenta la fabricación de las muestras tanto de vigas como de cilindros.



**Figura 3-11:** Elaboración de muestras.

En La Figura 3-12 se evidencia el curado por inmersión que presentaron cada una de las muestras elaboradas.



Figura 3-12: Curado de los especímenes.

### 3.4 Ensayos de laboratorio

#### 3.4.1 Ensayo a compresión (NTC 673)

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión de los cilindros modelados o a núcleos, a una tasa que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanza durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. En la Figura 3-13 se puede observar la prensa hidráulica de marca Controls modelo 50-Q90C14, utilizada para los ensayos a compresión y los especímenes cilíndricos fallados.



Figura 3-13: (a) Prensa hidráulica (b) Especímenes cilíndricos fallados.

### 3.4.2 Ensayo a flexión (NTC 2871)

Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de una viga simple con carga en los tercios medios, por medio de especímenes preparados y curados de acuerdo con las NTC 3658, NTC 550 o NTC 137. El módulo de rotura medido generalmente aumenta a medida que el tamaño del espécimen disminuye. La forma correcta de aplicación del ensayo se muestra en la Figura 3-14. El equipo usado para el ensayo a flexión es la máquina universal de marca Shimadzu de referencia AGS-100KNX.



**Figura 3-14:** Ensayo a la flexión de vigas en los tercios medios y muestra prismática fallada.

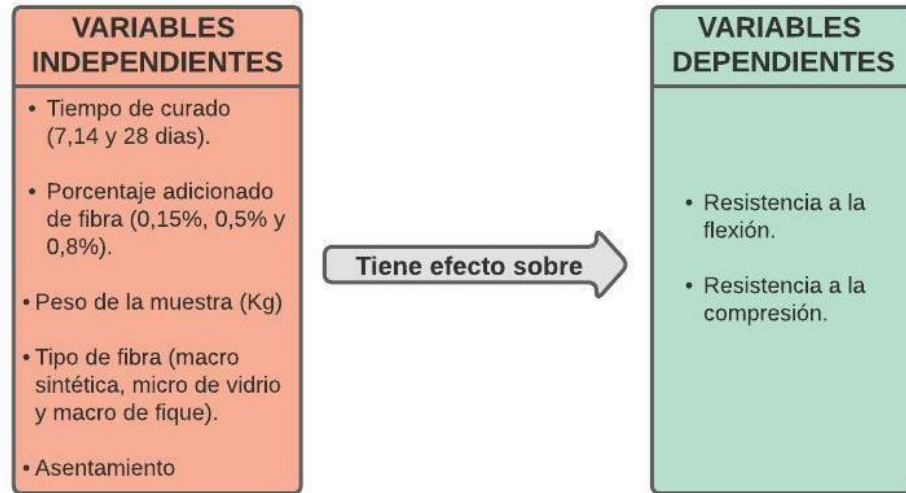
## 3.5 Diseño experimental

El proyecto se enfocó en la aplicación de un diseño completamente al azar, ya que como lo explica (Yepes Piqueras , 2013):

Es el más sencillo de los diseños de experimentos que tratan de comparar dos o más tratamientos, puesto que sólo considera dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio, es decir, todas las repeticiones experimentales se realizan en orden aleatorio completo, pues no se han tenido en cuenta otros factores de interés. Si durante el estudio se hacen  $N$  pruebas, éstas se deben realizar al azar, de forma que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos.

### 3.5.1 Variables de estudio

Dentro de la Figura 3-15 se presentan tanto las variables independientes como dependientes que se tuvieron en cuenta, para el desarrollo del proyecto.



**Figura 3-15:** Variables de estudio.

### 3.5.2 Hipótesis del diseño

Este método de diseño experimental plantea las siguientes hipótesis:

- (H<sub>0</sub>) La hipótesis nula, la cual establece que todas las medias de la resistencia a la compresión y flexión de los tratamientos son iguales.
- (H<sub>a</sub>) La hipótesis alternativa, en la que se establece que al menos una de las medias de la resistencia a la compresión y flexión de los tratamientos es diferente.

Dichas hipótesis se prueban mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un solo factor.

# Capítulo 4

## 4. Análisis de resultados

En este capítulo se presentan los resultados de los diferentes tipos de muestras de concretos, evaluando su resistencia tanto a flexión como a compresión y así mismo realizando el respectivo análisis del efecto que tendrá el concreto al adicionarle macro y micro fibras.

Por medio del método Diseño completamente al azar, se analizaron los resultados obtenidos de las resistencias a flexión y compresión, permitiéndonos saber si existen o no diferencias destacables entre ellos y demostrándonos cuál es el mejor, además de utilizar este método, también se realizó un análisis estadístico descriptivo e inferencial, el cual se basó en la interpretación de gráficas.

El análisis estadístico se realizó a los 135 resultados obtenidos de los ensayos a compresión y los 27 resultados de los ensayos a flexión, por medio del lenguaje de programación R, con la interfaz gráfica RStudio (Versión 2022.07.1, © 2009-2022 RStudio, PBC).

### 4.1 Resistencia a la compresión de cilindros

Para evaluar el comportamiento mecánico de la resistencia a la compresión de los concretos adicionados con micro y macro fibras se determinan sus resistencias a los 7, 14 y 28 días de curado, el cual es una metodología aplicada en la industria de la construcción para obtener los resultados de las resistencias de los concretos a través del tiempo y evidenciar el comportamiento de los distintos tratamientos realizados, como se muestran a continuación:



**4.1.1 Resistencia a la compresión a los 7 días**

No. Ensayos	Resistencia a la compresión f'c Mpa									
	CC	CFS-0.15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
1	17,21	15,73	18,33	15,63	16,01	18,71	19,37	16,66	20,16	16,76
2	17,21	16,85	17,76	15,21	16,73	18,87	21,26	15,93	18,30	16,77
3	17,21	18,43	18,91	16,54	15,35	18,71	20,13	17,58	18,78	17,28
4	17,21	18,19	18,25	15,90	16,25	17,16	20,67	16,38	19,44	18,67
5	17,21	17,58	18,52	17,79	16,30	18,63	19,89	17,42	19,21	16,41
<b>PROMEDIO</b>	17,21	17,36	18,35	16,21	16,13	18,42	20,26	16,79	19,18	17,18

**Tabla 4-1:** Resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros a los 7 días.

En la Tabla 4-1 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión, para un tiempo de curado de 7 días, en el cual se evaluaron 9 tratamientos cada uno con 5 ensayos y se elaboró un concreto convencional, que se usó como muestra comparativa con respecto a los demás concretos. A partir de los resultados obtenidos se presenta seguidamente un resumen descriptivo de los datos, el cual servirá para entender el comportamiento de cada tratamiento y establecer comparaciones entre ellos.

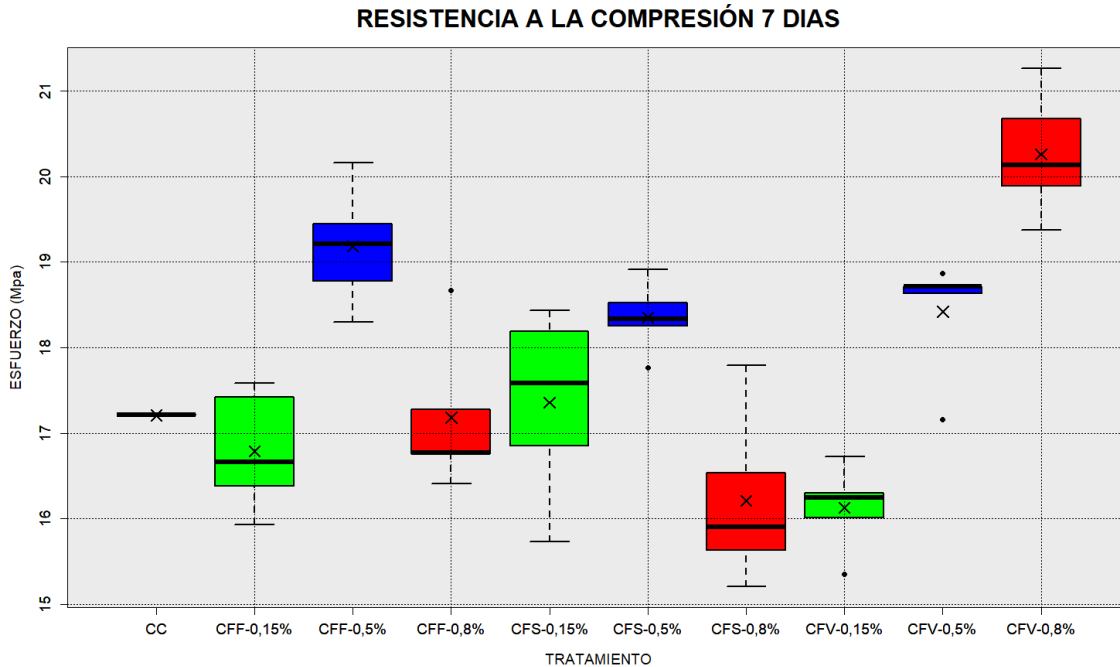
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	CC	CFS-0.15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
<b>Media</b>	17,21	17,35	18,35	16,21	16,12	18,41	20,26	16,79	19,17	17,17
<b>Error estándar</b>	0	0,490	0,187	0,449	0,227	0,316	0,325	0,312	0,313	0,398
<b>Mediana</b>	17,21	17,58	18,33	15,9	16,25	18,71	20,13	16,66	19,21	16,77
<b>Rango</b>	0	2,7	1,15	2,58	1,38	1,71	1,89	1,65	1,86	2,26
<b>Desviación estándar</b>	0	1,095	0,419	1,005	0,506	0,708	0,727	0,697	0,701	0,890
<b>Variación de la Muestra</b>	0	1,200	0,175	1,009	0,257	0,501	0,528	0,486	0,491	0,792
<b>Coefficiente de variación</b>	0	0,063	0,023	0,062	0,031	0,038	0,036	0,042	0,037	0,052

**Tabla 4-2:** Análisis descriptivo de los resultados a compresión de los cilindros a los 7 días.

De acuerdo con la Tabla 4-2 de los valores de las resistencias obtenidas a los 7 días presentan un coeficiente de variación bajo, indicando que hay poca variabilidad en los

resultados y es una muestra homogénea, por lo que en este caso la media respecto a los datos presentan confiabilidad.

A continuación, se muestra el diagrama de caja-bigotes como resumen gráfico, el cual permite visualizar en un conjunto de datos la tendencia central, la dispersión y la presencia posible de datos atípicos.



**Gráfica 4-1:** Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 7 días.

Fuente interfaz Rstudio.

De acuerdo con la Gráfica 4-1, se puede precisar que los tratamientos con mayor variación en los datos son el CFF-0,15%, CFF-0,5%, CFS-0,15%, CFS-0,8% y CFV-0,8% debido a la amplitud de la caja y teniendo valores muy por debajo u otros por encima de la media, caso contrario de los CFF-0,8%, CFS-0,5%, CFV-0,15% Y CFV-0,5% que se evidencia una baja variabilidad de los datos con respecto a la media, indicando que los valores obtenidos son homogéneos, pero reflejando algunos valores atípicos que proceden en algún margen de error durante el procedimiento realizado. Además, se aprecia que las macro fibras de fique y sintética presentaron un comportamiento similar, ya que al aumentar el porcentaje de fibra de 0,15% a 0,5% obtienen ganancias en la resistencia a la compresión, pero esta se ve afectada en porcentajes mayores a 0,8%. Por otro lado, la adición de micro fibra de vidrio

mejoró su resistencia conforme se aumenta el porcentaje de fibra, logrando así los resultados más altos para la edad de curado de 7 días con un porcentaje de adición de 0,8%, siendo el tratamiento que mejor se destaca por encima de los demás.

En cuanto al diseño experimental se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza de un factor (ANOVA), correspondientes a un diseño completamente al azar para la edad de curado de 7 días.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-P P(>F)
Tratamientos	9	79,146	8,7940	16,168	< 9,4e-11
Residuos	40	21,756	0,5439		
Total	49	680,78			

**Tabla 4-3:** Análisis de varianza de los resultados de resistencia a compresión a los 7 días.

Según la Tabla 4-3, el ANOVA, arroja un Valor-P menor a 0,05, por lo tanto, se asume que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, de esta manera se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha).

Además, se debe tener en cuenta que los residuales del modelo ajustado están cumpliendo con la varianza constante, los supuestos de normalidad e independencia. (VER ANEXO C)

A partir del análisis de varianza se realiza la prueba HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey con el fin de comparar las medias de cada tratamiento y establecer si existen diferencias significativas entre ellas. De acuerdo con la Tabla 4-4 se compara cada grupo de muestra, demostrando que tipo de concreto presenta mejor resistencia a la compresión y si esa diferencia es estadísticamente aceptable de acuerdo con la prueba de HSD de Tukey.

Tratamiento	Resistencia media a la compresión $f'_c$ (MPa)	Grupos
CFV-0,8%	20.264	a
CFF-0,5%	19.178	ab
CFV-0,5%	18.416	bc
CFS-0,5%	18.354	bcd
CFS-0,15%	17.356	cde

CC	17.210	cde
CFF-0,8%	17.178	cde
CFF-0,15%	16.794	de
CFS-0,8%	16.214	e
CFV-0,15%	16.128	e

**Tabla 4-4:** Resultados de la prueba HSD de Tukey para las resistencias de 7 días.

Las letras (a,b,c,d,e) clasifica en grupos los diferentes tratamientos, es decir que los grupos que comportan la misma letra, se establece que no presenta diferencias significativas, por lo tanto encontramos que los concretos con mejores resistencia a la compresión para una edad de curado de 7 días fueron el CFV-0,8% con 20,26 Mpa y el CFF-0,5% con 19,17 Mpa pero esta diferencia no fue significativa entre estos tratamientos. Sin embargo, al compararlos con el CC (17.21 Mpa) se evidencian mejores resultados en la resistencia, comprobándose que existen diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, así como se muestra que algunos concretos alcanzan resistencias a la compresión más altas, existen otros tratamientos que estuvieron por debajo del CC, los cuales fueron CFF-0,8% (17.178Mpa), CFF-0,15% (16,794 Mpa), CFS-0,8% (16,214 Mpa) y CFV-0,15% (16,128). De ahí que las diferencias entre las medias no fueron significativas para establecer cuál fue el tratamiento más desfavorable para una edad de curado de 7 días.

#### 4.1.2 Resistencia a la compresión a los 14 días

No. Ensayos	Resistencia a la compresión f'c Mpa									
	CC	CFS-0.15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
1	20,75	19,66	20,69	22,17	20,83	19,83	22,22	20,4	22,64	19,99
2	20,75	19,98	20	21,3	19,2	19,81	22,55	21,92	19,31	20,2
3	20,75	22,14	19,12	21,49	19,89	20,57	22,24	21,82	19,78	19,64
4	20,75	19,8	20,56	22,04	20,85	20,48	22,31	20,79	19,84	20,47
5	20,75	21,31	20,15	22,2	20,57	21,17	22,1	18,35	19,92	20,48
<b>PROMEDIO</b>	20,75	20,58	20,10	21,84	20,27	20,37	22,28	20,66	20,30	20,16

**Tabla 4-5:** Resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros a los 14 días.

En la Tabla 4-5 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión, para un tiempo de curado de 14 días, en el cual se evaluaron 9 tratamientos cada uno con 5 ensayos y se elaboró un concreto convencional que servirá como muestra comparativa con respecto a

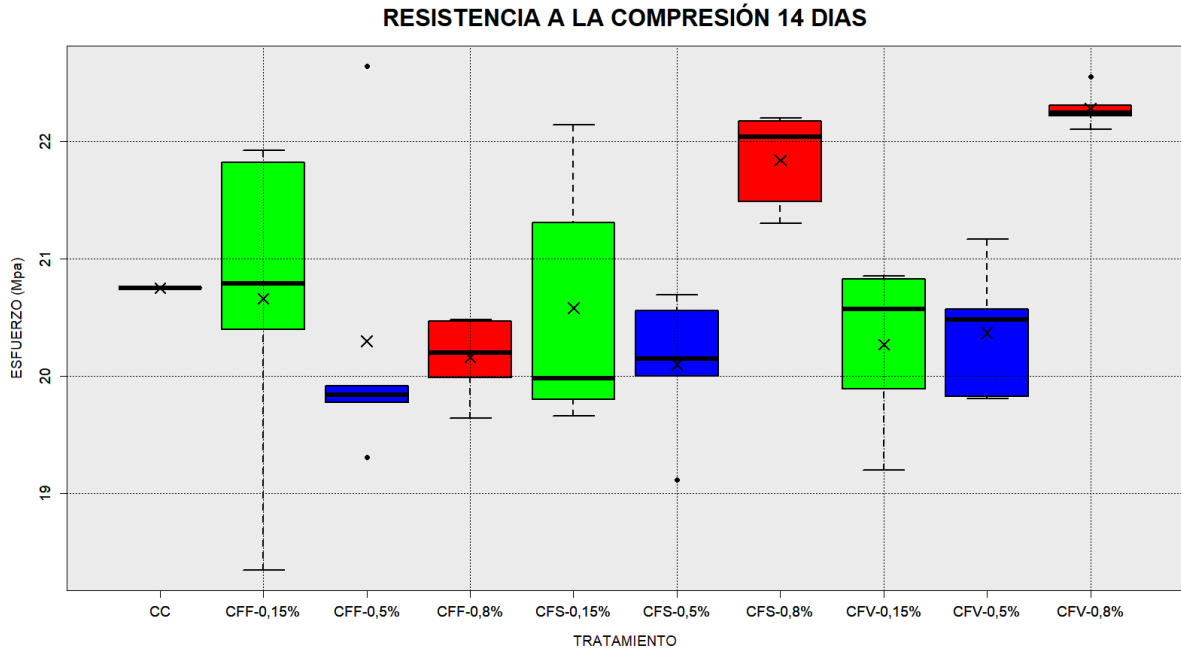
los demás concretos. A partir de los resultados obtenidos para una edad de curado de 14 días se presentan a continuación un resumen descriptivo de los datos, el cual servirá para entender el comportamiento de cada tratamiento y establecer comparaciones entre ellos.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	CC	CFS-0.15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
<b>Media</b>	20,75	20,58	20,10	21,84	20,27	20,37	22,28	20,66	20,30	20,16
<b>Error estándar</b>	0	0,489	0,277	0,186	0,319	0,255	0,075	0,646	0,595	0,158
<b>Mediana</b>	20,75	19,98	20,15	22,04	20,57	20,48	22,24	20,79	19,84	20,20
<b>Rango</b>	0	2,48	1,57	0,9	1,65	1,36	0,45	3,57	3,33	0,84
<b>Desviación estándar</b>	0	1,093	0,619	0,416	0,712	0,569	0,167	1,445	1,331	0,353
<b>Variación de la Muestra</b>	0	1,195	0,383	0,173	0,507	0,324	0,028	2,088	1,771	0,125
<b>Coefficiente de variación</b>	0	0,053	0,031	0,019	0,035	0,028	0,007	0,070	0,066	0,018

**Tabla 4-6:** Análisis descriptivo de los resultados a compresión de los cilindros a los 14 días.

De acuerdo con la Tabla 4-6 de los valores de las resistencias obtenidas a los 14 días presentan un coeficiente de variación bajo, indicando que hay poca variabilidad en los resultados y es una muestra homogénea, por lo que en este caso la media respecto a los datos presentan confiabilidad.

A continuación, se muestra el diagrama de caja-bigotes como resumen gráfico, el cual permite visualizar en un conjunto de datos la tendencia central, la dispersión y la presencia posible de datos atípicos.



**Gráfica 4-2:** Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 14 días.

Fuente interfaz Rstudio.

De acuerdo con la Gráfica 4-2, se puede precisar que los tratamientos con mayor variación en los datos son el CFF-0,15%, CFS-0,15% y CFV-0,15% debido a la amplitud de la caja y teniendo valores muy por debajo u otros por encima de la media, caso contrario de los CFF-0,5%, CFS-0,5% y CFV-0,8% que se evidencia una baja variabilidad de los datos con respecto a la media, indicando que los valores obtenidos son homogéneos, pero reflejando algunos valores atípicos que proceden en algún margen de error durante el procedimiento realizado. Por otra parte, la macro fibra de fique presentó un comportamiento decreciente en el valor de la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de fibra, caso contrario de la micro fibra de vidrio y macro fibra sintética que en porcentajes de 0,15% a 0,5% no demuestran una variación en su resistencia respecto al CC, asimismo se observa que en porcentajes más altos (0,8%), estas fibras obtuvieron mejor comportamiento en su resistencia a la compresión a los 14 días.

En cuanto al análisis estadístico se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza de un factor (ANOVA), correspondientes a un diseño completamente al azar para la edad de curado de 14 días.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-P P(>F)
Tratamientos	9	24,628	2,7364	4,149	< 0.000784
Residuos	40	26,379	0,6594		
Total	49	51,007			

**Tabla 4-7:** Análisis de varianza de los resultados de resistencia a compresión a los 14 días.

De acuerdo con la Tabla 4-7, el ANOVA, arroja un Valor-P menor a 0,05, por lo tanto, se asume que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, de esta manera se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha).

Además, se debe tener en cuenta que los residuales del modelo ajustado están cumpliendo con la varianza constante, los supuestos de normalidad e independencia. (VER ANEXO C).

A partir del análisis de varianza se realiza la prueba HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey con el fin de comparar las medias de cada tratamiento y establecer si existen diferencias significativas entre ellas. De acuerdo con la Tabla 4-8 se compara cada grupo de muestra, demostrando que tipo de concreto representa mejor resistencia a la compresión y si esa diferencia es estadísticamente aceptable de acuerdo con la prueba de Tukey.

Tratamiento	Resistencia media a la compresión $f'_c$ (MPa)	Grupos
CFV-0,8%	22.284	a
CFS-0,8%	21.840	ab
CC	20.750	abc
CFF-0,15%	20.656	abc
CFS-0,15%	20.578	abc
CFV-0,5%	20.372	bc
CFF-0,5%	20.298	bc
CFV-0,15%	20.268	bc
CFF-0,8%	20.156	bc
CFS-0,5%	20.104	c

**Tabla 4-8:** Resultados de la prueba HSD de Tukey para las resistencias de 14 días.

Las letras (a,b,c) clasifica en grupos los diferentes tratamientos, es decir que los grupos que comportan la misma letra se establece que no presenta diferencias significativa, por lo tanto encontramos que los concretos con mejores resistencias a la compresión para la

edad de curado de 14 días fueron el CFV-0,8% (22,28 Mpa), CFS-0,8% (21,84 Mpa), CFF-0,15% (20,750Mpa), CFS-0,15% (20,578 Mpa) y CC (20,750 Mpa) pero esta diferencia no fue significativa entre estos tratamientos, es decir, que las medias no reflejan mayor importancia para destacar o resaltar un solo tratamiento como el mejor, por el contrario se tuvieron valores muy similares respecto al CC. Adicionalmente se confirma lo anteriormente mencionado en el análisis de varianza (ANOVA), que entre tratamientos existen diferencias significativas como lo es el CFS-0,8% con el CFS-0,5%.

### 4.1.3 Resistencia a la compresión a los 28 días

No. Ensayos	Resistencia a la compresión f'c Mpa									
	CC	CFS-0.15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
1	22,74	24,72	21,48	22,85	23,99	23,83	21,56	22,94	24,64	19,65
2	22,74	25,53	23,28	23,2	24,44	24,53	22,69	24,46	21,31	20,61
3	22,74	26,78	22,75	22,05	23,95	25,08	23,12	24,36	21,78	18,52
4	22,74	26,09	22,93	23,62	21,96	24,47	21,08	23,33	21,84	20,93
5	22,74	25,58	23,06	24,33	23,98	24,39	22,07	20,89	21,92	21,03
<b>PROMEDIO</b>	22,74	25,74	22,70	23,21	23,66	24,46	22,10	23,20	22,30	20,15

**Tabla 4-9:** Resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros a los 28 días.

En la Tabla 4-9 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión, para un tiempo de curado de 28 días, en el cual se evaluaron 9 tratamientos cada uno con 5 ensayos y se elaboró un concreto convencional que servirá como muestra comparativa con respecto a los demás concretos. A partir de los resultados obtenidos para una edad de curado de 28 días se presentan a continuación un resumen descriptivo de los datos, el cual servirá para entender el comportamiento de cada tratamiento y establecer comparaciones entre ellos.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	CC	CFS-0.15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
<b>Media</b>	22.7	25.74	22.70	23.21	23.66	24.46	22.10	23.20	22.30	20.15
<b>Error estándar</b>	0	0.34	0.31	0.38	0.43	0.19	0.36	0.64	0.59	0.47
<b>Mediana</b>	22.7	25.58	22.93	23.20	23.98	24.47	22.07	23.33	21.84	20.61
<b>Rango</b>	0	2.06	1.8	2.28	2.48	1.25	2.04	3.57	3.33	2.51

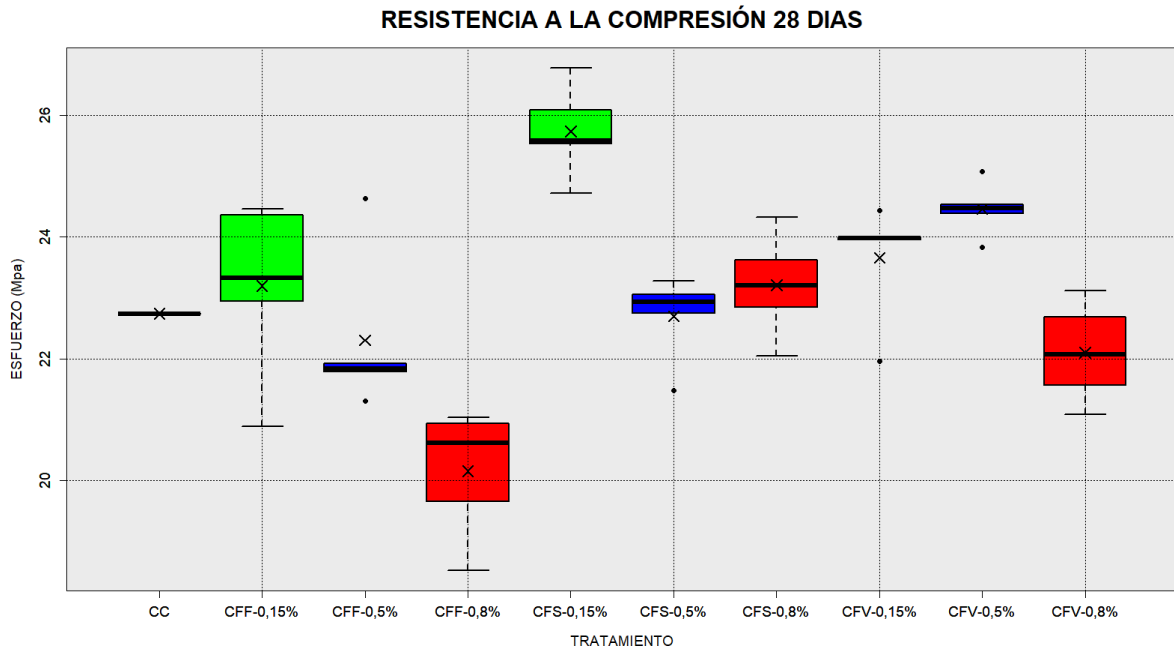


<b>Desviación estándar</b>	0	0.76	0.708	0.851	0.97	0.44	0.82	1.44	1.33	1.06
<b>Variación de la Muestra</b>	0	0.5	0.502	0.724	0.94	0.19	0.68	2.08	1.77	1.12
<b>Coefficiente de variación</b>	0	0.029	0.031	0.03	0.041	0.018	0.037	0.062	0.059	0.052

**Tabla 4-10:** Análisis descriptivo de los resultados a compresión de los cilindros a los 28 días.

De acuerdo con la tabla 4-10 de los valores de las resistencias obtenidas a los 28 días presentan un coeficiente de variación bajo, indicando que hay poca variabilidad en los resultados y es una muestra homogénea, por lo que en este caso la media respecto a los datos presentan confiabilidad.

A continuación, se muestra el diagrama de caja-bigotes como resumen gráfico, el cual permite visualizar en un conjunto de datos la tendencia central, la dispersión y la presencia posible de datos atípicos.



**Gráfica 4-3:** Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la compresión de 28 días.

Fuente interfaz Rstudio.

De acuerdo con la Gráfica 4-3, se aprecia que, para un tiempo de curado de 28 días la resistencia final a la compresión en la macro fibra de fique fue disminuyendo a medida que

se aumenta el porcentaje de fibra. En cuanto a la fibra sintética su comportamiento fue decreciente al aumentar su porcentaje de fibra, pero es importante destacar que entre los porcentajes de 0,5% y 0,8% no hubo variación en la resistencia, sino que fue constante y la micro fibra de vidrio presenta incrementos en los esfuerzos en porcentajes de 0,15% y 0,5%, sin embargo, para los concretos adicionados con 0,8% de fibra se da una disminución. Se presenta una tendencia evidente y es que para los concretos con menores porcentajes de 0,5% de fibra representaron mejores resultados a la compresión.

En cuanto al análisis estadístico se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza de un factor (ANOVA), correspondientes a un diseño completamente al azar y en bloques para la edad de curado de 28 días.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-P P(>F)
Tratamientos	9	98,715	10,968	12,73	3.004 e-09
Residuos	40	34,465	0,8616		
Total	49	133,18			

**Tabla 4-11:** Análisis de varianza de los resultados de resistencia a compresión a los 28 días.

De acuerdo con la Tabla 4-11, el ANOVA, arroja un Valor-P menor a 0,05, por lo tanto, se asume que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, de esta manera se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Además, se debe tener en cuenta que los residuales del modelo ajustado están cumpliendo con la varianza constante, los supuestos de normalidad e independencia. (VER ANEXO C)

A partir del análisis de varianza se realiza la prueba HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey con el fin de comparar las medias de cada tratamiento y establecer si existen diferencias significativas entre ellas. De acuerdo con la Tabla 4-12 se compara cada grupo de muestra, demostrando que tipo de concreto representa mejor resistencia a la compresión y si esa diferencia es estadísticamente aceptable de acuerdo con la prueba de Tukey.

Tratamiento	Resistencia media a la compresión $f'_c$ (MPa)	Grupos
CFS-0,15%	25.74	a
CFV-0,5%	24.460	ab
CFV-0,15%	23.664	bc
CFS-0,8%	23.210	bc
CFF-0,15%	23.196	bc
CC	22.74	bc
CFS-0,5%	22.7	bc
CFF-0,5%	22.298	c
CFV-0,8%	22.104	cd
CFF-0,8%	20.148	d

**Tabla 4-12:** Resultados de la prueba HSD de Tukey para las resistencias de 28 días.

Las letras (a,b,c,d) clasifica en grupos los diferentes tratamientos, es decir que los grupos que comportan la misma letra se establece que no presenta diferencias significativa, por lo tanto encontramos que los concretos con mejores resistencia a la compresión fueron el CFS-0,15% con 25,74 Mpa y el CFV-0,5% con 24,46 Mpa representado en un incremento de 3 Mpa y 1.72 Mpa respectivamente en comparación al CC (22,74 Mpa), pero esta diferencia no fue significativa entre estos tratamientos. Se puede destacar que, entre los dos tratamientos anteriormente mencionados, el único que representa una diferencia estadísticamente significativa respecto al CC fue el tratamiento CFS-0,15%. Igualmente se puede apreciar que el único tratamiento que no logro alcanzar la resistencia de diseño  $f'_c$  de 21Mpa fue el CFF-0,8% con una media igual 20,148 Mpa siendo el concreto con peor desempeño para una edad de curado de 28 días.

#### 4.1.4 Análisis de las resistencias a compresión para las edades de 7, 14 y 28 días de curado.

Realizando una comparación general del comportamiento de las fibras se puede denotar que en cuanto a la fibra sintética la adición de los 3 porcentajes (0,15%, 0,5% y 0,8%) a través del tiempo fue aumentando su resistencia de forma gradual, para así lograr a los 28 días destacarse como la fibra de mejor desempeño en comparación con el CC (22,74 Mpa), en especial el tratamiento de CFS-0,15% (25,74 Mpa), caso contrario a lo sucedido con la fibra de fique, que al pasar de los días fue perdiendo resistencia siendo una de la fibras

menos favorecidas. Por otra parte, la micro fibra de vidrio se desempeñó como el mejor tratamiento en las edades de 7 y 14 días con un porcentaje de fibra de 0,8%, pero finalmente a los 28 días de curado esta no prevalece y terminan resaltándose así los tratamientos de 0,15% y 0,5%, siendo la micro fibra de vidrio la segunda con mejor desempeño.

## 4.2 Resistencia a la flexión de vigas

Para evaluar el comportamiento mecánico de la resistencia a la flexión o módulo de rotura de los concretos adicionados con micro y macro fibras se determinó su resistencia a los 28 días de curado, el cual es una metodología aplicada en la industria de la construcción para obtener los resultados de los concretos a través del tiempo y evidenciar el comportamiento de los distintos tratamientos realizados como se muestran a continuación:

### 4.2.1 Resistencia a la flexión a los 28 días

No. Ensayos	Módulo de rotura (Mpa)									
	CC	CFS-0,15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
1	2,64	2,98	3,46	2,52	2,58	3,07	3,08	2,70	3,10	2,81
2	2,64	3,02	3,53	2,54	2,74	2,92	2,82	3,05	2,60	2,62
3	2,64	3,03	3,14	2,99	2,93	2,96	3,14	2,87	2,53	2,76
<b>PROMEDIO</b>	2,64	3,01	3,38	2,68	2,75	2,99	3,01	2,87	2,74	2,73

**Tabla 4-13:** Resultados de los módulos de rotura de las vigas a los 28 días.

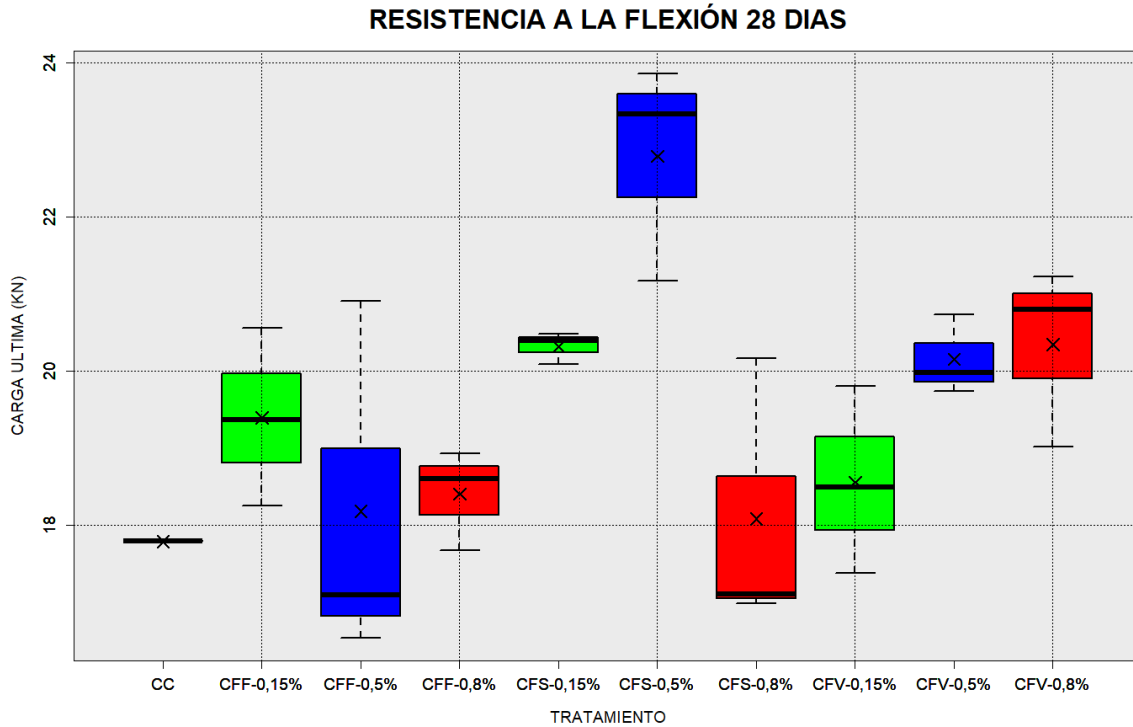
En la Tabla 4-13 se presentan los resultados de los módulos de rotura de las vigas, para un tiempo de curado de 28 días, en el cual se evaluaron 9 tratamientos cada uno con 3 ensayos y se elaboró un concreto convencional que servirá como muestra comparativa con respecto a los demás concretos. A partir de los resultados obtenidos para una edad de curado de 28 días se presentan a continuación un resumen descriptivo de los datos, el cual servirá para entender el comportamiento de cada tratamiento y establecer comparaciones entre ellos.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	CC	CFS-0,15%	CFS-0,5%	CFS-0,8%	CFV-0,15%	CFV-0,5%	CFV-0,8%	CFF-0,15%	CFF-0,5%	CFF-0,8%
Media	2,64	3,01	3,38	2,68	2,75	2,99	3,01	2,87	2,74	2,73
Error estándar	0	0,02	0,12	0,15	0,10	0,04	0,10	0,10	0,18	0,06
Mediana	2,64	3,02	3,46	2,54	2,74	2,96	3,08	2,87	2,60	2,76
Rango	0	0,06	0,40	0,47	0,36	0,15	0,33	0,34	0,56	0,19
Desviación estándar	0	0,03	0,21	0,27	0,18	0,08	0,17	0,17	0,31	0,10
Variación de la Muestra	0	0,00	0,04	0,07	0,03	0,01	0,03	0,03	0,10	0,01
Coefficiente de variación	0	0,01	0,06	0,10	0,07	0,03	0,06	0,06	0,11	0,04

**Tabla 4-14:** Análisis descriptivo de los módulos de rotura de las vigas a los 28 días.

De acuerdo con la tabla 4-14 de los valores de las resistencias obtenidas a los 28 días presentan un coeficiente de variación bajo, indicando que hay poca variabilidad en los resultados y es una muestra homogénea, por lo que en este caso la media respecto a los datos presentan confiabilidad.

A continuación, se muestra el diagrama de caja-bigotes como resumen gráfico, el cual permite visualizar en un conjunto de datos la tendencia central, la dispersión y la presencia posible de datos atípicos.



**Gráfica 4-4:** Diagrama de caja-bigotes con las resistencias a la flexión de 28 días.

Fuente interfaz Rstudio.

De acuerdo con la Gráfica 4-4, se aprecia que para un tiempo de curado de 28 días el comportamiento final de todos los tratamientos estuvo por encima de la resistencia a la flexión del CC, pero destacándose entre ellas las muestras CFS-0,5% Y CFV-0,8%. Además, se puede evidenciar que la fibra de fique presenta un decrecimiento en su resistencia a medida que se aumenta el porcentaje de fibra, pero en cuanto a la fibra sintética su mayor crecimiento se presentó con adiciones de 0,5% de fibra, sin embargo, es importante destacar que entre los porcentajes de 0,5% a 0,8% se muestra una caída en la resistencia a la flexión, permitiendo establecer que valores superiores a 0,8% no son óptimos para el uso de la macro fibra sintética. Por otro lado, la micro fibra de vidrio presenta incrementos en los esfuerzos en porcentajes de 0,15% y 0,5%, pero para los concretos adicionados con 0,8% de fibra se aprecia una pequeña variación en la resistencia a la flexión con respecto al CFV-0,5% reflejando un comportamiento similar a pesar del incremento de porcentaje de fibra.

En cuanto al análisis estadístico se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza de un factor (ANOVA), correspondientes a un diseño completamente al azar y en bloques para la edad de curado de 28 días.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-P P(>F)
Tratamientos	9	1,3474	0,1497	4,7012	0,00191
Residuos	20	0,6369	0,0318		
Total	29	1,9843			
<b>P&lt;<math>\alpha</math>; se rechaza Ho y se concluye que no todas las medias son iguales, aceptando Ha.</b>					

**Tabla 4-15:** Análisis de varianza de los resultados de resistencia a la flexión a los 28 días.

De acuerdo con la Tabla 4-15, el ANOVA, arroja un Valor-P menor a 0,05, por lo tanto, se asume que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, de esta manera se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (Ha).

Además, se debe tener en cuenta que los residuales del modelo ajustado están cumpliendo con la varianza constante, los supuestos de normalidad e independencia. (VER ANEXO C)

A partir del análisis de varianza se realiza la prueba HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey con el fin de comparar las medias de cada tratamiento y establecer si existen diferencias significativas entre ellas. De acuerdo con la Tabla 4-16 se compara cada grupo de muestra, demostrando que tipo de concreto representa mejor resistencia a la flexión y si esa diferencia es estadísticamente aceptable de acuerdo con la prueba de Tukey.

Tratamiento	Resistencia media a la flexión MR (Mpa)	Grupos
CFS-0,5%	3,38	a
CFV-0,8%	3,01	ab
CFS-0,15%	3,01	ab
CFV-0,5%	2,98	ab
CFF-0,15%	2,87	ab
CFV-0,15%	2,75	b
CFF-0,5%	2,74	b
CFF-0,8%	2,73	b

CFS-0,8%	2,68	b
CC	2,64	b

**Tabla 4-16:** Resultados de la prueba HSD de Tukey para módulos de rotura de 28 días.

Las letras (a, b) clasifica en grupos los diferentes tratamientos, es decir que los grupos que comportan la misma letra se establece que no presenta diferencias significativa, por lo tanto encontramos que el único tratamiento que representa y marca la diferencia con el CC (2,64 Mpa), fue el CFS-0,5% que obtuvo un valor del 3,38 Mpa, aunque este tratamiento no presenta una diferencia estadísticamente representativa frente a los tratamientos CFV-0,8% (3,08 Mpa), CFS-0,15% (3,01 Mpa), CFV-0,5% (2,98 Mpa) y CFF-0,15% (2,87 Mpa) aun así alcanzaron valores por encima del CC, pero dichos resultados no fueron significativos para considerarse como tratamientos óptimos y mejorar la resistencia a la flexión. Igualmente se puede apreciar que el CC fue el tratamiento con el módulo de rotura más bajo. Por consiguiente, se comprueba lo establecido por el análisis de varianza (ANOVA) que acepta la hipótesis alternativa de que al menos uno de los tratamientos representa una diferencia estadísticamente representativa.

### 4.3 Análisis comparativo con otras fuentes de investigación

En la Tabla 4-17 se muestra un resumen comparativo de los datos logrados en las distintas investigaciones encontradas, frente a los resultados obtenidos en la presente investigación.



	Investigadores	% de adición de fibras	Resistencia a la compresión (Mpa)	Módulo de rotura (Mpa)	f'c de diseño
FIBRA DE FIQUE	Morales&Quintero, 2022	0	22,74	2,64	21 Mpa
		0,15	23,2	2,87	
		0,5	22,3	2,74	
		0,8	20,15	2,73	
	Jiménez Bohórquez , 2011	0	69,28	3,17	28 Mpa
1	39,86	3,78			
1,5	50,87	4,15			
Galvis, 2013	0	25,7	---	21 Mpa	
	0,5	13,97	---		
	1	8,14	---		
	1,5	1,31	---		
	2	0,82	---		
Díaz & Rodríguez, 2019	0	31,76	4,7	28 Mpa	
	0,3	31	4,7		
	0,5	32,08	5,07		
	0,7	28,26	4,97		
FIBRA DE VIDRIO	Morales&Quintero, 2022	0	22,74	2,64	21 Mpa
		0,15	23,66	2,75	
		0,5	24,46	2,99	
		0,8	22,1	3,01	
	Cordoba&Zapata, 2013	0	30,5	3,6	28 Mpa
		0,5	29,95	3,96	
		1	30,6	4,02	
		1,5	29,15	4,41	
		2	25,95	4,83	
	Huamán Quispe, 2015	2,5	14,3	4,92	21 Mpa
		0	22	3,23	
		0,125	22,4	3,66	
	Mantilla, 2017	0,25	22,7	3,8	21 Mpa
0,5		23	4,4		
0		25,82	3,68		
FIBRA SINTETICA	Morales&Quintero, 2022	1	26,54	3,55	21 Mpa
		3	26,95	3,81	
		5	21,12	2,83	
		0	22,74	2,64	
	Hernandez & Leon, 2017	0,15	25,74	3,01	21 Mpa
		0,5	22,7	3,38	
	Durand Matta, 2021	0,8	23,21	2,68	21 Mpa
		0	37,6	---	
		2	19,8	---	
		0	20,82	6,05	
0,1	23,33	6,5	21 Mpa		
	0,2	21,38		6,07	

Tabla 4-17: Comparación de resultados con distintas investigaciones.

Basados en las fuentes de información, se recopiló los resultados de las principales investigaciones que se tuvieron en cuenta para este informe, con el fin de establecer comparaciones entre los diferentes estudios y profundizar en mayor medida sobre el comportamiento mecánico de las micro y macro fibras. Una vez obtenido los resultados de este experimento, encontramos que la macro fibra de fique fue uno de los tratamientos que menos se destacó al obtener resultados bajos a la compresión y flexión como se evidencia en la Tabla 4-17, dando una disminución en su resistencia a la compresión a pesar de mejorar la resistencia a la flexión debido al incremento de fibra, como se evidencia en los resultados obtenido por (Jiménez Bhórquez , 2011) que al comparar la resistencia a la compresión en especímenes de concretos adicionados con 1,5% de fibra de fique, presentan un disminución del 26,6% y un aumento en la resistencia a la flexión del 23,6% respecto al concreto convencional. Igualmente se presentan los resultados de (Pinzón Galvis, 2013) que se enfoca en el comportamiento de concretos adicionados hasta el 2% de fibra de fique obteniendo como resultado una pérdida del 96,8% de la resistencia a la compresión y finalmente (Rodríguez Cortes & Diaz Hernandez, 2019) comparando las resistencias de los concretos adicionados hasta 0,7% de fibra de fique, muestra que a compresión se encontraron pérdidas del 11% y una ganancia baja del 5,43% a flexión. Los principales factores que se le atribuyen al ineficiente comportamiento de las macro fibra de fique son la incompatibilidad con algunas matrices poliméricas y alta absorción de humedad (Muñoz et al., 2014). Adicionalmente, se presenta como un interrogante la durabilidad que puedan presentar las fibras naturales, ya que dichos beneficios que aporta la fibra de fique pueden verse afectada por la presencia del cemento, el cual es el principal componente de la mezcla del concreto (De Moya Abril, 2021).

Asimismo, se presenta como alternativa el uso de micro fibra de vidrio un material que ofrece diferentes beneficios como lo es la alta ductilidad, baja absorción y buena resistencia para los compuestos alcalinos (Huamán Quispe, 2015). En cuanto al comportamiento mecánico se caracteriza por tener buenos resultados a la flexión y no es destacable para esfuerzos de compresión, de acuerdo con esto encontramos investigaciones de (Arango Cordoba & Zapata, 2013) el cual analizó la influencia de la fibra

de vidrio en la propiedad mecánica de una mezcla de concreto adicionado porcentajes de 0,5% hasta 2,5%, dando como resultado pérdidas en la resistencia a la compresión conforme se aumentada los porcentajes de fibra, representando la mayor pérdida en los concretos adicionados al 2,5% con una diferencia respecto al CC del 53,11%, caso contrario de la resistencia a la flexión que todos los tratamientos alcanzaron esfuerzos más altos incrementando el porcentaje fibra. (Huamán Quispe, 2015) manejó porcentajes menores al 0,5% de fibra de vidrio y obtuvo mejores resistencias tanto a la compresión como a la flexión representando un aumento del 4,3% y 26,6% respectivamente, esto en comparación del CC. De igual forma (Mantilla Arias, 2017) determinó el comportamiento de la fibra de vidrio alcanzando porcentajes hasta el 5% de adición respecto al volumen del cemento, el cual no tuvieron variación en la resistencia, sino por el contrario alcanzaron esfuerzos menores a la compresión y flexión en comparación al CC.

Por último, se evaluó el comportamiento de las fibras sintéticas, siendo estas una de las más utilizadas actualmente en la industria de la construcción debido a su fácil comercialización. Las fibras sintéticas que se fabrican a partir de polipropileno fundido son resistentes a los disolventes orgánicos, a los ácidos y a los álcalis, con un alto rendimiento en el aislamiento térmico (Murad & Abdel-Jabbar, 2021). Según a los ensayos realizados se encontró que este tipo de macro fibra presentan mejores comportamientos en porcentajes de 0,15% a 0,5% como lo comprobó (Hernandez Murcia & León Otálora, 2017) al determinar la resistencia a la compresión en concretos adicionados al 2% de fibra, impactando directamente el aumento de la resistencia en un 47,3% en comparación del CC. También se presentan los resultados obtenidos por ( Durand Matta, 2021) que al medir las resistencias de los concretos con porcentajes de 0.1% y 0,2% de fibra sintética, encontró resultados positivos para los esfuerzos a compresión y flexión.

# Capítulo 5

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Las fibras comúnmente encontradas en el mercado fueron la fibra sintética, de vidrio y fique, ya que son las más fáciles de conseguir y las utilizadas en el proyecto. Otra fibra también usada en la industria de la construcción es la fibra de acero, pero debido a la escasez mundial de acero, no fue posible su obtención.

En cuanto al asentamiento en todas las fibras se presentó pérdida de este entre un 50% al 100% del valor al que fue diseñado, debido a la saturación que presentó la mezcla al agregarle las fibras, además se puede destacar que para la micro fibra de vidrio y sintética este factor no afectó en su resistencia a la compresión a diferencia de la fibra de fique.

De acuerdo con los análisis de los resultados del capítulo anterior, se evidencia que de todas las fibras estudiadas, la que aporta el mejor desempeño del concreto a compresión a los 28 días de curado son la fibra sintética con adición del 0.15% obteniendo un valor de 25.74 Mpa y su módulo de rotura de 3,38 Mpa en la adición 0.5% de fibra, destacando así que entre dichos porcentajes influyen de buena manera en el concreto, ya que estuvieron superiores al CC. Cabe resaltar que las características de cada una de las fibras como lo es: cantidad agregada a la mezcla, longitud y tipo de material de las que están compuestas, tienen efecto en el comportamiento del concreto.

Se pueden atribuir los mejores resultados a la macro fibra debido a las características geométricas de esta, sin embargo, las micro fibras se presentan como una segunda opción que no difiere mucho en los resultados finales, siempre y cuando se manejen las proporciones adecuadas para un diseño de mezcla.

Se encontró semejanza en los resultados tanto a compresión como a flexión, ya que ambos prevalecieron en el buen comportamiento a la resistencia por los tipos de fibra como la micro fibra de vidrio y la fibra sintética.

La fibra de fique fue una de las fibras con menor aumento en la resistencia a la compresión del concreto a medida que se incrementó el porcentaje de fibra, esto pudo influir en un factor principal, como lo es la gran absorción de agua que presenta la fibra por su composición natural, afectando así en gran medida la relación a/c y además perdiendo la buena manejabilidad de la mezcla.

El agrietamiento en la falla tanto de los cilindros como de las vigas fue de manera distinta en cuanto al concreto convencional y el concreto con adición de las fibras, ya que en el concreto convencional al fallar se fragmentó dispersamente y perdió su forma, en cambio en el concreto con adición de fibras su fractura fue de manera parcial, manteniendo su forma inicial, esto quiere decir que las fibras al momento de la falla generan un amarre evitando el desprendimiento de material y la prolongación de las grietas, por lo que existe una buena adherencia de la fibra con la mezcla de concreto.

Se observó mejores resultados del comportamiento de la fibra a flexión que a compresión, ya que todas las fibras en los distintos porcentajes para la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, obtuvieron valores superiores al CC.

Hay que resaltar que no siempre al aumentarse el porcentaje de fibra, aumentará la resistencia del concreto tanto a flexión como compresión, ya que como se evidencia en los resultados, el concreto tiende a comportarse de mejor manera entre los porcentajes de 0.15% y 0.5%, pero en porcentajes de 0.8% en general disminuyeron su resistencia.

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar el estudio de la adición de fibras en el concreto para la resistencia a la compresión, con porcentajes dentro del rango expuesto en esta investigación (0.15% y 0.5%) para lograr establecer una cantidad óptima que permita el uso adecuado de ellas.
- Se propone estudiar las propiedades del concreto en cuanto a la durabilidad y resistencia a altas temperaturas que tienen este tipo de concretos al presentarse cualquier situación.
- Se recomienda tener en cuenta el deterioro que tendrán las fibras al largo de los años, en especial las fibras naturales, debido a que esto puede tener afectaciones en el concreto.
- Realizar el estudio de la adición de fibras en el concreto para la resistencia a la flexión, con porcentajes dentro del rango expuesto en esta investigación (0.5% y 0.8%) para lograr establecer una cantidad óptima que permita el uso adecuado de ellas.
- Se recomienda evaluar el comportamiento del concreto con adición de fibras, variándoles los tamaños de estas.

## 6. Bibliografía

- Almeida Braga, J. (2021). *Diseño experimental: Un enfoque en las ciencias agrarias*. Bogotá D.C. doi:DOI: 10.22490/notas.3517
- Amaya Alarcón, S., & Ramirez Zapata, M. (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras*. Bogota D.C.
- American Concrete Institute. (2018). Guía de diseño con fibra-Hormigón armado (ACI 544.4R-18). Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Arango Cordoba, S., & Zapata, J. (2013). *Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezclas de concreto*.
- Artesanías de Colombia. (2014). Identificación de necesidades y fortalecimiento de la actividad artesanal en el departamento del cauca. *Caracterización del fique*. Colombia. Obtenido de <https://repositorio.artesantiasdecolombia.com.co/bitstream/001/4859/13/INST-D%202015.%20150.%2011.pdf>
- Carrillo et al. (2013). *Coorrelaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero* (Vol. XIV). Bogotá, Colombia: Ingeniería Investigación y Tecnología. doi:[https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72256-x](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72256-x)
- Carvajal Corredor, I., & Terreros Rojas, L. (2016). *Uso de la fibra de cáñamo para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. Bogotá D.C.
- CEMEX, S.A.B. de C.V. (s.f.). *Productos*. Obtenido de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>
- De Moya Abril, L. (2021). *Exploración de la viabilidad para uso de la fibra de fique como material sostenible en el reforzamiento el concreto. un enfoque eco-amigable como alternativa de la fibra de polipropileno*. Bogotá D.C.
- Durand Matta, G. E. (2021). Adición de fibra de polipropileno reciclada de un saco de arroz para incrementar la resistencia a la flexión evaluado en primas de concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> según la ntp 339.078, lima 2021. Lima.
- Euclid Group Toxement. (2018). Guía para uso de fibras sintéticas de Toxement en el concreto. Colombia. Obtenido de

[https://www.toxement.com.co/media/4334/fibras\\_sinteticas\\_toxement-comprimido.pdf](https://www.toxement.com.co/media/4334/fibras_sinteticas_toxement-comprimido.pdf)

Euclid Group Toxement. (2019). Fibras para refuerzo de concreto. Colombia. Obtenido de [https://www.toxement.com.co/media/3740/brochure\\_fibras\\_compressed-1.pdf](https://www.toxement.com.co/media/3740/brochure_fibras_compressed-1.pdf)

Extrupol. (s.f.). *Extrusión de polimeros S.A.* Obtenido de Fibra de vidrio polifiber glass: <https://extrupol.com/productos/fibra-de-vidrio/>

Gallo Arciniegas, L. (2013). *Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometidos a esfuerzos de compresión.* Bogotá D.C. doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.236>

Grupo Argos. (s.f.). *360 en concreto*. Obtenido de ¿Qué es el concreto reforzado con fibras?: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras/>

Hernandez Murcia, D. F., & León Otálora, D. A. (2017). *Estudio de concreto adicionado con fibras de polipropileno o sintéticas al 2%.* Bogotá, D.C.

Higuero, V. Á. (2010). *Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras de: vidrio, carbono y aramida.* Madrid.

Huamán Quispe, A. (2015). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio.*

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. (NTC 176). Bogotá, D.C, Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados. (NTC 92). Bogotá, D.C, Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio (NTC 1377). Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilindricos de concreto (NTC 673). Bogotá D.C, COLOMBIA: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (s.f.). Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino. (NTC 237). Bogotá, D.C, Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. (2018). Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (NTC 77). Bogotá, D.C, Colombia: ICONTEC.



- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. (2018). Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios (NTC 2871)). Bogotá D.C, Colombia: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones. (2021). Concretos. método de ensayo para determinar el asentamiento el concreto (NTC 396). Bogotá, D.C, Colombia: ICONTEC.
- Irías Pineda , A. (2013). *Refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibras o solo fibras* . Madrid.
- Jiménez Bhórquez , J. (2011). *Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (Fibra de fique)*. Bogotá D.C.
- Mantilla Arias, J. N. (2017). *Influencia de la Fibra de Vidrio Tipo E en las Propiedades Mecánicas Resistencia a la Compresión y Flexión del Concreto  $f' c = 210 \text{ kg/cm}^2$* . Nuevo Chimbote.
- Matallana Rodríguez , R. (2019). *El concreto fundamentos y nuevas tecnologías*.
- McCORMAC, J., & BROWN, R. (s.f.). *Diseño de concreto reforzado* (Décima ed.). Alfaomega.
- Mendoza Rivera, H. (s.f.). *Aspectos generales del diseño experimental* . Obtenido de Investigación experimental:  
[http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un1/cont\\_102-02.html](http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un1/cont_102-02.html)
- Muñoz et al. (2014). *Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial*.
- Muñoz, M. J. (2018). *Uso de fibras de acero en el concreto obtenidas del reciclaje de neumáticos*. Ciudad de México.
- Murad, Y., & Abdel-Jabbar, H. (2021). Shear behavior of RC beams prepared with basalt and polypropylene fibers. *ELSEVIER*, 12.
- Olguín de la Mora, D. (2016). *Proceso de producción de agregados pétreos y su control de calidad*. Ciudad de México.
- Pinzón Galvis, S. (2013). *Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique*.
- Quintana Cruz, C., & Valencia Castro, P. (2016). *Análisis comparativo entre el concreto simple y concreto con adición de fibra de acero 12% y 14%* . Bogotá D.C.
- Rodríguez Cortes, L. A., & Diaz Hernandez, J. S. (2019). *Mecánica en la modificación del concreto hidráulico para pavimentos mediante fibra de fique*.

- Romero Quintero, A., & Hernandez Rico, J. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia*. Bogotá D.C.
- Saavedra Joaquín, J., & Ortega Montes, C. (2020). *Comportamiento mecánico a la flexión y compresión del concreto reforzado con fibra de fique en vigas y cilindros*. Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25825/1/DOCUMENTO%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Sánchez Paradela, M., & Sánchez Galvéz, V. (1991). *Comportamiento a tracción de cementos reforzados con fibras de vidrio*.
- Servei Estació. (s.f.). *Propiedades de la fibra de vidrio*. Obtenido de <https://serveiestacio.com/blog/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/#:~:text=Lo%20que%20conocemos%20como%20fibra,%3A%20mallas%2C%20tubos%20o%20varillas>.
- Sika Colombia S.A.S. (2018). *Concreto reforzado con fibras*. Sika Colombia S.A.S. Obtenido de <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/6/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>
- Tafur Portilla, R. (2015). *Como hacer un proyecto de investigación*. Alpha Editorial.
- TexDelta Nonwovens Technical Fabrics. (s.f.). *Aplicaciones y ventajas del uso de fibras de polipropileno*. Obtenido de <https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción. Grietas y fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. República Dominicana: Origen y Prevención Ciencia y Sociedad. doi:<https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Valbuena, J. L. (2014). *Evaluación del efecto en la contracción del concreto con fibras estructurales de polipropileno*. Bogotá D.C.
- Yepes Piqueras, V. (2013). *Diseño completamente al azar y ANOVA*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/27/diseno-completamente-al-azar-y-anova/#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20completamente%20al%20azar,tratamientos%20y%20el%20error%20aleatorio>.
- Zerbino, R. (2020). *El hormigón reforzado con fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción*. La Plata, Argentina.

## A. Anexo: Ensayos de caracterización de materiales.

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

AGREGADO GRUESO (MUESTRA 1)				
Tamaño de la muestra (gr):		5005		
Tamaño máximo nominal:		3/4"		
Tamiz (Pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% En peso que pasa.
2"	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00
1"	186	3.72	3.72	96.28
3/4"	727	14.54	18.26	81.74
1/2"	1944	38.87	57.13	42.87
3/8"	1139	22.78	79.90	20.10
N° 4	943	18.86	98.76	1.24
N° 8	26	0.52	99.28	0.72
N° 16	3	0.06	98.82	1.18
Fondo	33	0.66	99.48	0.52
<b>Total</b>	<b>5001</b>	<b>100</b>		

Tabla A-1: Análisis granulométrico de agregado grueso (NTC 77,2018).

GRUESOS MUESTRA 2				
Tamaño de la muestra (gr):		5002		
Tamaño máximo nominal:		3/4"		
Tamiz (Pulg)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% En peso que pasa.
2"	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00
1"	435.5	8.73	8.73	91.27
3/4"	872.5	17.49	26.23	73.77
1/2"	1822.5	36.54	62.77	37.23
3/8"	906	18.17	80.93	19.07
N° 4	892	17.88	98.82	1.18
N° 8	23	0.46	99.28	0.72
N° 16	1.5	0.03	98.85	1.15
Fondo	34.5	0.69	99.54	0.46
<b>Total</b>	<b>4987.5</b>	<b>100</b>		

Tabla A-2: Análisis granulométrico de agregado grueso (NTC 77,2018).

AGREGADO FINO				
Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% En peso que pasa.
3/4"	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	14.5	0.73	0.73	99.28
N° 8	252	12.60	13.33	86.68
N° 16	505	25.25	38.58	61.43
N°30	405	20.25	58.83	41.18
N°50	475.5	23.78	82.60	17.40
N°100	234	11.70	94.30	5.70
N°200	99.5	4.98	99.28	0.73
Fondo	14.5	0.73	100.00	0.00

Tabla A-3: Análisis granulométrico de agregado fino (NTC 77,2018)

Módulo de finura: 2.88

- Peso unitario suelto agregado grueso y fino

P.U.S.G (Ensayo 1)		P.U.S.G (Ensayo 2)	
<b>1.Peso Promedio de la muestra + Recipiente</b>		<b>1.Peso Promedio de la muestra + Recipiente</b>	
Primer Peso (gr)	14769	Primer Peso (gr)	14643
Segundo Peso (gr)	14728	Segundo Peso (gr)	14663
Tercer peso (gr)	14649	Tercer peso (gr)	14602
<b>Promedio (gr)</b>	<b>14715.333</b>	<b>Promedio (gr)</b>	<b>14636</b>
<b>2.Peso de la Muestra</b>		<b>2.Peso de la Muestra</b>	
Primer Peso de la Muestra (gr)	5902	Primer Peso de la Muestra (gr)	5776
Segundo Peso de la Muestra (gr)	5861	Segundo Peso de la Muestra (gr)	5796
Tercer Peso de la Muestra (gr)	5782	Tercer Peso de la Muestra (gr)	5735
<b>Promedio (gr)</b>	<b>5848.333</b>	<b>Promedio (gr)</b>	<b>5769</b>
<b>Volumen (cm3)</b>	<b>4029.093</b>	<b>Volumen (cm3)</b>	<b>4029.093</b>
<b>3.Peso Unitario Promedio</b>		<b>3.Peso Unitario Promedio</b>	
Peso Unitario (gr/cm3)	<b>1.452</b>	Peso Unitario (gr/cm3)	<b>1.432</b>
Peso Unitario (Kg/m3)	<b>1451.53</b>	Peso Unitario (Kg/m3)	<b>1431.84</b>
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg/m3)</b>		<b>1441.69</b>	

Tabla A-4: Peso unitario suelto del agregado grueso (NTC 92,2019).

<b>P.U.S.F (Ensayo 1)</b>	
<b>1.Peso Promedio de la muestra + Recipiente</b>	
Primer Peso (gr)	6238
Segundo Peso(gr)	6250
Tercer peso (gr)	6259.5
<b>Promedio (gr)</b>	<b>6249.167</b>
<b>2.Peso de la Muestra</b>	
Primer Peso de la Muestra (gr)	2122
Segundo Peso de la Muestra (gr)	2134
Tercer Peso de la Muestra (gr)	2143.5
<b>Promedio (gr)</b>	<b>2133.167</b>
<b>Volumen (cm3)</b>	<b>1335.18</b>
<b>3.Peso Unitario Promedio</b>	
Peso Unitario (gr/cm3)	<b>1.598</b>
Peso Unitario (Kg/m3)	<b>1597.67</b>

Tabla A-5: Peso unitario suelto del agregado fino (NTC 92,2019).

- Peso unitario compactado agregado grueso y fino

<b>P.U.C.G (Ensayo 1)</b>		<b>P.U.C.G (Ensayo 2)</b>	
<b>1.Peso Promedio de la muestra + Recipiente</b>		<b>1.Peso Promedio de la muestra + Recipiente</b>	
Primer Peso (gr)	15225	Primer Peso (gr)	15110
Segundo Peso(gr)	15231	Segundo Peso(gr)	15095
Tercer peso (gr)	15182	Tercer peso (gr)	15099
<b>Promedio (gr)</b>	<b>15212.667</b>	<b>Promedio (gr)</b>	<b>15101.3</b>
<b>2.Peso de la Muestra</b>		<b>2.Peso de la Muestra</b>	
Primer Peso de la Muestra (gr)	6358	Primer Peso de la Muestra (gr)	6243
Segundo Peso de la Muestra (gr)	6364	Segundo Peso de la Muestra (gr)	6228
Tercer Peso de la Muestra (gr)	6315	Tercer Peso de la Muestra (gr)	6232
<b>Promedio (gr)</b>	<b>6345.667</b>	<b>Promedio (gr)</b>	<b>6234.333</b>
<b>Volumen (cm3)</b>	<b>4029.093</b>	<b>Volumen (cm3)</b>	<b>4029.093</b>
<b>3.Peso Unitario Promedio</b>		<b>3.Peso Unitario Promedio</b>	
Peso Unitario (gr/cm3)	<b>1.574962</b>	Peso Unitario (gr/cm3)	<b>1.547329</b>
Peso Unitario (Kg/m3)	<b>1574.96</b>	Peso Unitario (Kg/m3)	<b>1547.33</b>
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg/m3)</b>		<b>1561.15</b>	

Tabla A-6: Peso unitario compactado del agregado grueso (NTC,92,2019).

<b>P.U.C.F (Ensayo 1)</b>	
<b>1.Peso Promedio de la muestra + Recipiente</b>	
Primer Peso (gr)	6359
Segundo Peso(gr)	6404
Tercer peso (gr)	6387.5
<b>Promedio (gr)</b>	<b>6383.500</b>
<b>2.Peso de la Muestra</b>	
Primer Peso de la Muestra (gr)	2243
Segundo Peso de la Muestra (gr)	2288
Tercer Peso de la Muestra (gr)	2271.5
<b>Promedio (gr)</b>	<b>2267.500</b>
<b>Volumen (cm3)</b>	<b>1335.18</b>
<b>3.Peso Unitario Promedio</b>	
Peso Unitario (gr/cm3)	<b>1.698</b>
Peso Unitario (Kg/m3)	<b>1698.28</b>

**Tabla A-7:** Peso unitario compactado del agregado fino (NTC 92,2019).

- Densidad y absorción de agregado grueso y fino.

<b>Densidad y Adsorción Agregado Grueso</b>			
<b>A</b> (masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno) (gr)	3954	<b>B</b> (masa en el aire de la muestra de ensayo superficialmente seca) (gr)	4008.9
<b>C</b> (es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada) (gr)	2487		
<b>Densidad Aparente (sss) Kg/cm3</b>	<b>2634.14</b>	<b>% Absorción Muestra 1</b>	1.388
<b>Densidad Aparente</b>	<b>2.598</b>	<b>% Absorción Muestra 2</b>	1.128
<b>Densidad Aparente (sss) gr/m3</b>	<b>2.634</b>	<b>PROMEDIO ABSORCIÓN</b>	<b>1.258</b>

**Tabla A-8:** Densidad y absorción agregado grueso (NTC 176,2019).

<b>Densidad y Adsorción Agregado Fino</b>			
<b>A</b> (masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno) (gr)	491	<b>B</b> (es la masa del picnometro lleno de agua) (gr)	819
saturada y superficialmente seca) (gr)	500	y el agua hasta la marca de calibración)(gr)	1122
<b>Densidad Aparente gr/cm3</b>	<b>2.49</b>	<b>% Absorción Muestra 1</b>	1.8330
<b>Densidad Aparente (sss) gr/cm3</b>	<b>2.5381</b>	<b>% Absorción Muestra 2</b>	1.2146
<b>Densidad Nominal</b>	<b>2.6117</b>	<b>PROMEDIO ABSORCIÓN</b>	<b>1.524</b>

**Tabla A-9:** Densidad y absorción agregado fino (NTC 237,2020).

## B. Anexo: Diseño de mezcla de concreto por el método ACI.

DATOS INICIALES DE LOS AGREGADOS			
		FINO	GRUESO
Perfil		---	Angular
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )		1597.67 Kg/m <sup>3</sup>	1441.68 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1698.28 Kg/m <sup>3</sup>	1561.15 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Específico(sss) (kg/m <sup>3</sup> )		2538.07 Kg/m <sup>3</sup>	2634.14 Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Finura		2.88	4.657
TMN (in)		---	3/4
% Absorción		1.53	1.26
% Humedad		3.25%	0.401%
DATOS INICIALES DEL CEMENTO			
F'c (PSI)	3000	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	210
Pe (peso específico) (gr/cm <sup>3</sup> )			3.15
Slump (in)			4
Peso Agua (peso específico) (Kg/m <sup>3</sup> )			1000

Tabla B-1: Propiedades de los materiales.

- A partir de los datos obtenidos de los ensayos y demás materiales que componen la mezcla de concreto, se tienen en cuenta los siguientes pasos para la elaboración del diseño de mezcla de un concreto de 21 Mpa:
  1. Cálculo Fcr (resistencia promedio requerida) teniendo en cuenta la siguiente Tabla B-2, ya que no se tienen datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra:

Resistencia especificada a la compresión, $\frac{Kgf}{cm^2}$	Resistencia promedio requerida a la compresión, $\frac{Kgf}{cm^2}$
$f'c < 210$	$f'c = f'c + 70$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'c = f'c + 84$
$f'c > 350$	$f'c = 1.10 f'c + 50$

**Tabla B-2:** Resistencia promedio. Tomada de la Norma Sismo Resistente (NSR-10), Tabla C.5.3.2.2.

$$f'_{cr} = 210 \frac{Kgf}{cm^2} + 84 = 294 \frac{Kgf}{cm^2}$$

2. Se calcula el contenido de aire atrapado en la mezcla, de acuerdo con la Tabla B-3:

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
4"	0.2%

**Tabla B-3:** Contenido de aire de acuerdo con el TMN del agregado grueso. Tomando por el comité ACI 211,2002.

El TMN del agregado es 3/4" por lo tanto el aire atrapado es de 2.0%.

3. Se determina el contenido de agua (Volumen unitario de agua) de acuerdo con la Tabla B-4:

Asentamiento, Pulg	Agua, L/m <sup>3</sup> para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
<b>Concreto con aire incluido</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----

**Tabla B-4:** Contenido de agua. Tabla tomada por el comité ACI 211,2002.

Según la Tabla B-4 teniendo un TMN de 3/4" y un asentamiento de 4" indica el valor de 205 L/m<sup>3</sup> para un concreto sin aire incluido.

4. Se selecciona la relación agua-cemento (a/c) teniendo en cuenta la Tabla B-5:

f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
150	0,80	0,71



<b>200</b>	0,70	0,61
<b>250</b>	0,62	0,53
<b>300</b>	0,55	0,46
<b>350</b>	0,48	0,40
<b>400</b>	0,43	-----

**Tabla B-5:** Relación a/c. Tabla tomada por el comité ACI 211,2002.

La relación a/c para  $f'_{cr}$  de  $294 \frac{Kgf}{cm^2}$  se determinó interpolando los datos de la tabla, obteniendo un valor de a/c=0,56.

5. Se calcula el contenido de cemento de acuerdo con los datos a obtenidos:

<b>Agua para 1 m3</b>	205
<b>a/c</b>	0.56

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{205 \frac{Kg}{m^3}}{0.56} = 366.07 \frac{Kg}{m^3}$$

6. Se realiza interpolaciones y extrapolaciones para obtener el dato de b/b<sub>0</sub> debido a que en este caso el modulo de finura no se encuentra en la Tabla B-6.

<b>Tamaño máximo nominal del agregado grueso, Pulg</b>	<b>Volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/b<sub>0</sub>)</b>			
	<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	<b>3,00</b>
<b>3/8"</b>	0,50	0,48	0,46	0,44
<b>1/2"</b>	0,59	0,57	0,55	0,53
<b>3/4"</b>	0,66	0,64	0,62	0,60
<b>1"</b>	0,71	0,69	0,67	0,65
<b>1 1/2"</b>	0,76	0,74	0,72	0,70
<b>2"</b>	0,78	0,76	0,74	0,72
<b>3"</b>	0,81	0,79	0,77	0,75
<b>6"</b>	0,87	0,85	0,83	0,81

**Tabla B-6:** Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto. Tabla tomada ACI 211,2002.

Realizando la extrapolación se obtiene que para un TMN de 3/4" y módulo de finura de 2.884, el valor de b/b<sub>0</sub> = 0.612. Para determinar el volumen del agregado grueso se multiplica entre el peso unitario compactado y el valor de b/b<sub>0</sub>.

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 1561.15 \frac{Kg}{m^3} * 0.612 = 955.42 \frac{Kg}{m^3}$$

## 7. Cálculo del volumen de agregado fino.

Se hallan los volúmenes restantes para  $1 \text{ m}^3$  de concreto y sus demás componentes como: agua, cemento, aire y agregado grueso.

<b>Cemento</b>	0.116 m3
<b>Agua</b>	0.205 m3
<b>Aire</b>	0.020 m3
<b>Volumen Agregado Grueso</b>	0.363 m3
<b>Suma Total</b>	<b>0.704 m3</b>

**Tabla B-7:** Volúmenes de los demás componentes del concreto.

$$\text{Volumen del agregado fino} = 1 \text{ m}^3 - 0.704 \text{ m}^3 = 0,296 \text{ m}^3$$

## 8. Cálculo de peso del agregado fino.

$$\text{Peso agregado fino} = \text{Volumen del agregado fino} * \text{Peso Especifico(sss)}$$

$$\text{Peso agregado fino} = 0,296 \text{ m}^3 * 2538.07 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso agregado fino} = 751,27 \text{ Kg}$$

## 9. Corrección por humedad de los agregados.

Teniendo el diseño de mezcla en estado seco, se ajustan los valores por corrección de humedad para así tener un diseño en estado húmedo.

$$\text{Agregado fino} = \text{Fino}_{\text{seco}} * (1 + \text{humedad}/100)$$

$$\text{Agregado fino} = 751,27 \text{ kg/m}^3 * (1 + 3.25/100) = 775,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{Grueso}_{\text{seco}} * (1 + \text{humedad}/100)$$

$$\text{Agregado grueso} = 955,42 \text{ kg/m}^3 * (1 + 0.4/100) = 959,25 \text{ kg/m}^3$$

## 10. Aporte de agua a la mezcla.

$$\text{Agregado fino} = \text{Peso agregado fino} * \frac{(\% \text{Humedad} - \% \text{Absorción})}{100}$$

$$\text{Agregado fino} = 775,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{(3.25 - 1.53)}{100} = 13.34 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{Peso agregado grueso} * \frac{(\% \text{Humedad} - \% \text{Absorción})}{100}$$

$$\text{Agregado grueso} = 959,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{(0,4-1,26)}{100} = -8,25 \text{ kg/m}^3$$

Se suman ambos aportes de agua tanto de agregado fino como de agregado grueso.

$$13,34 \text{ kg/m}^3 + (-8,25 \text{ kg/m}^3) = 5,09 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 5,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 210,1 \text{ kg/m}^3$$

11. Proporciones del diseño.

COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIONES
Cemento (kg)	366.07	1
A. fino (kg)	775.70	2.1
A. Grueso (kg)	959.25	2.6
Agua (Lt)	210.09	

**Tabla B-8:** Proporciones de diseño de mezcla de concreto inicial.

Se realizaron distintas pruebas de mezclas de concreto, antes de escoger el diseño de mezcla correcto y se ajustaron proporciones de agua en la mezcla, adaptando como diseño final los datos de la Tabla B-9.

COMPONENTES DEL CONCRETO		PROPORCIONES
Cemento (kg)	366.07	1
A. fino (kg)	775.70	2.1
A. Grueso (kg)	959.25	2.6
Agua (Lt)	205	

**Tabla B-9:** Proporciones de diseño de mezcla de concreto final.

## C. Anexo: Residuales del modelo ajustado: varianza constante, supuestos de normalidad e independencia.

### 1. Residuales del modelo ajustado para 7 días de curado (Cilindros):

- Supuesto de normalidad

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	
W	0.98955
P-Value	0.9352
Alpha	0.05

**Tabla C-1:** Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk

- Supuesto de varianza constante

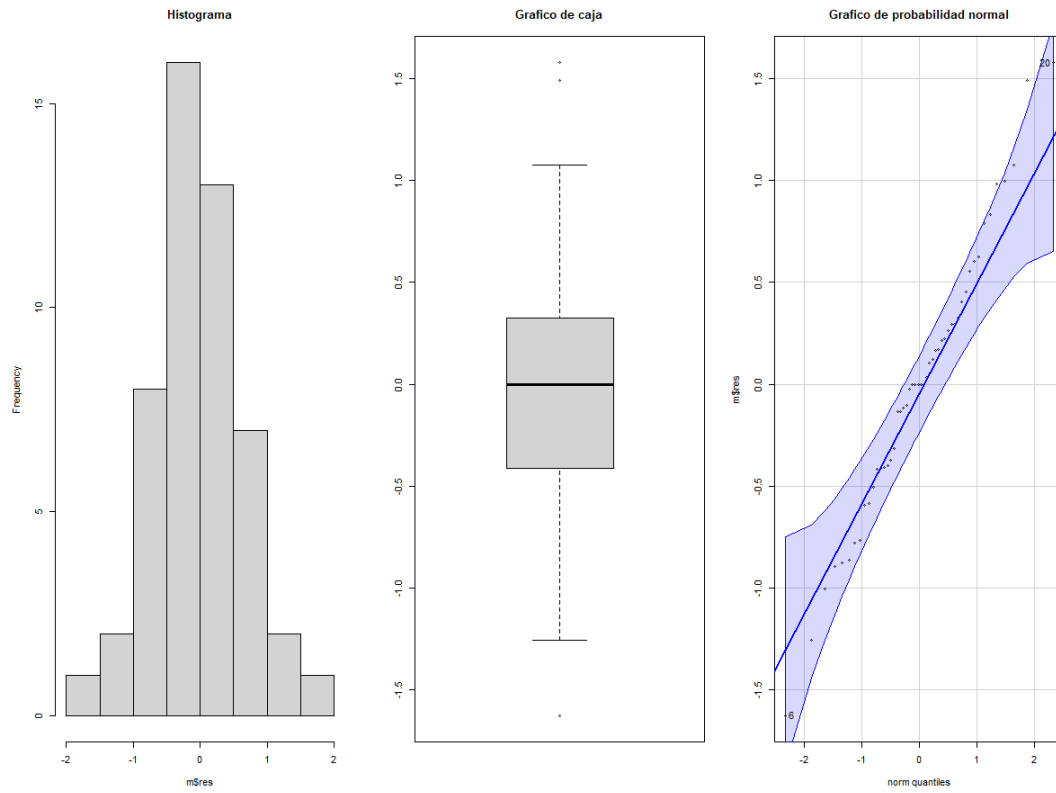
Prueba de puntuación de varianza no constante	
<i>K – squared</i>	0.237204
Df	1
P	0.62623

**Tabla C-2:** Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante

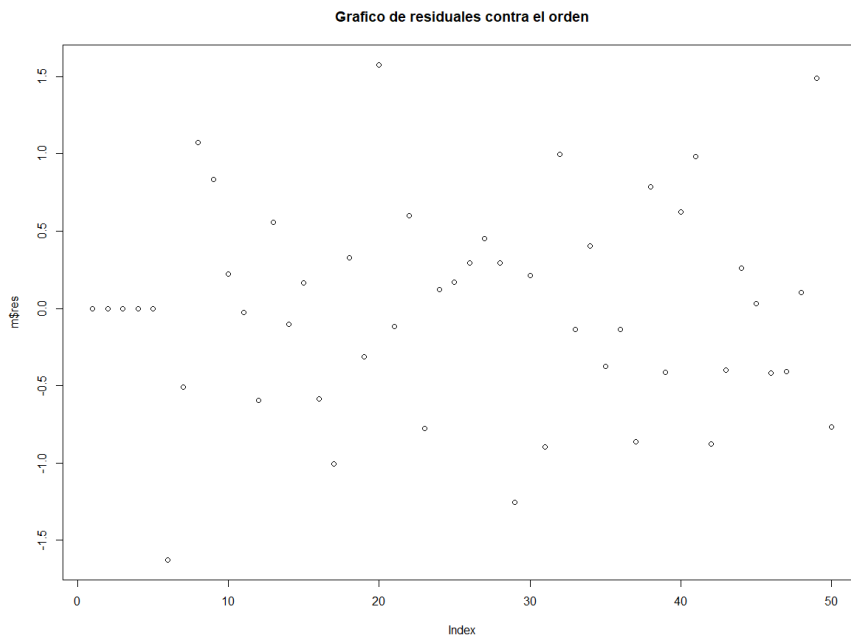
- Supuesto de independencia

Prueba estadística Durbin – Watson			
Lag	Autocorrelation	D-W Statistic	P-value
1	-0.1829742	2.338838	0.968

**Tabla C-3:** Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson



**Grafica C-1:** Supuestos de normalidad de los datos a los 7 días (Compresión)



**Grafica C-2:** Residuos no correlacionados a los 7 días (Compresión)

**2. Residuales del modelo ajustado para 14 días de curado (Cilindros):**

- Supuesto de normalidad

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	
W	0.94957
P-Value	0.03276
Alpha	0.05

**Tabla C-4:** Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk

- Supuesto de varianza constante

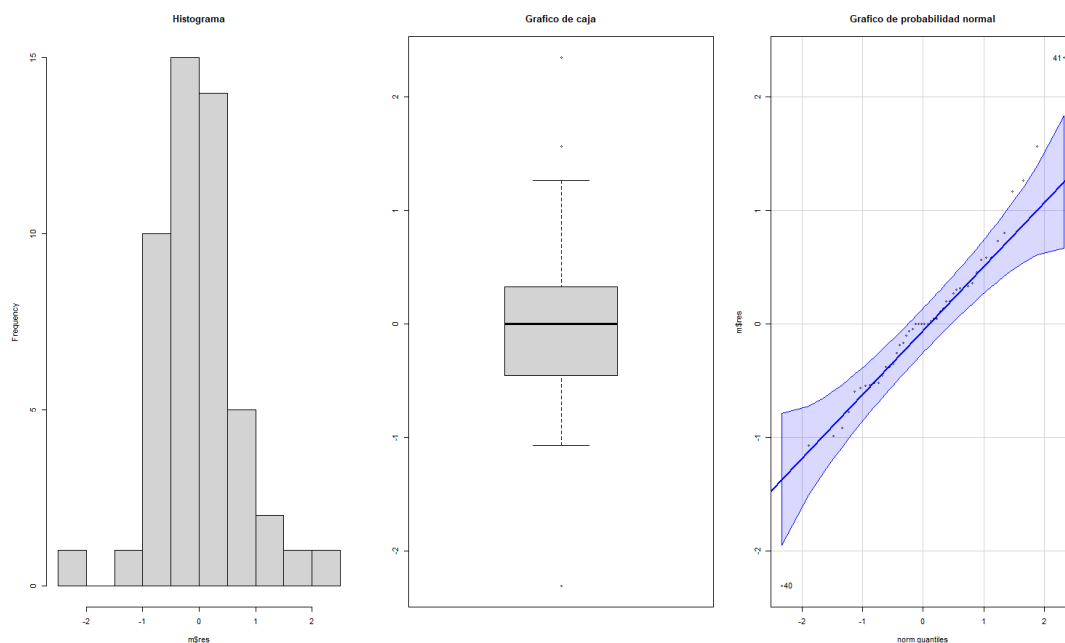
Prueba de puntuación de varianza no constante	
<i>K – squared</i>	2.737525
Df	1
P	0.098016

**Tabla C-5:** Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante

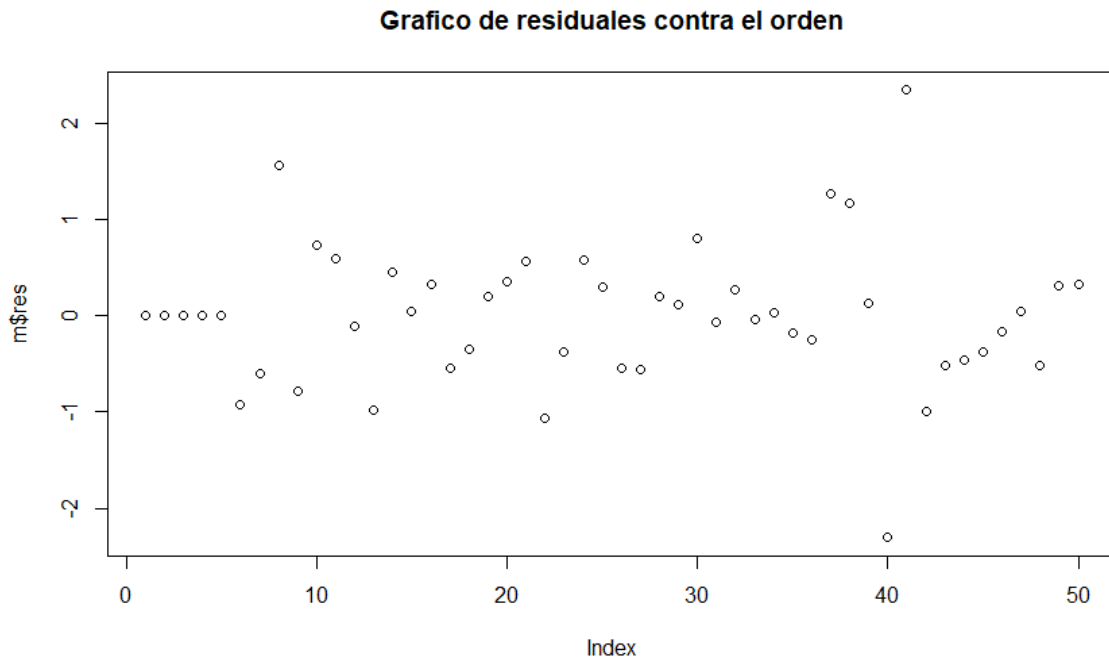
- Supuesto de independencia

Prueba estadística Durbin – Watson			
Lag	Autocorrelation	D-W Statistic	P-value
1	-0.2981244	2.592269	0.388

**Tabla C-6:** Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson



**Gráfica C-3:** Gráfico de normalidad de los datos a los 14 días



**Grafica C-4:** Grafica de residuos no correlacionados a los 14 días.

**3. Residuales del modelo ajustado para 28 días de curado (Cilindros):**

- Supuesto de normalidad

<b>Prueba de normalidad Shapiro – Wilk</b>	
<b>W</b>	0.97583
<b>P-Value</b>	0.3924
<b>Alpha</b>	0.05

**Tabla C-7:** Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk

- Supuesto de varianza constante

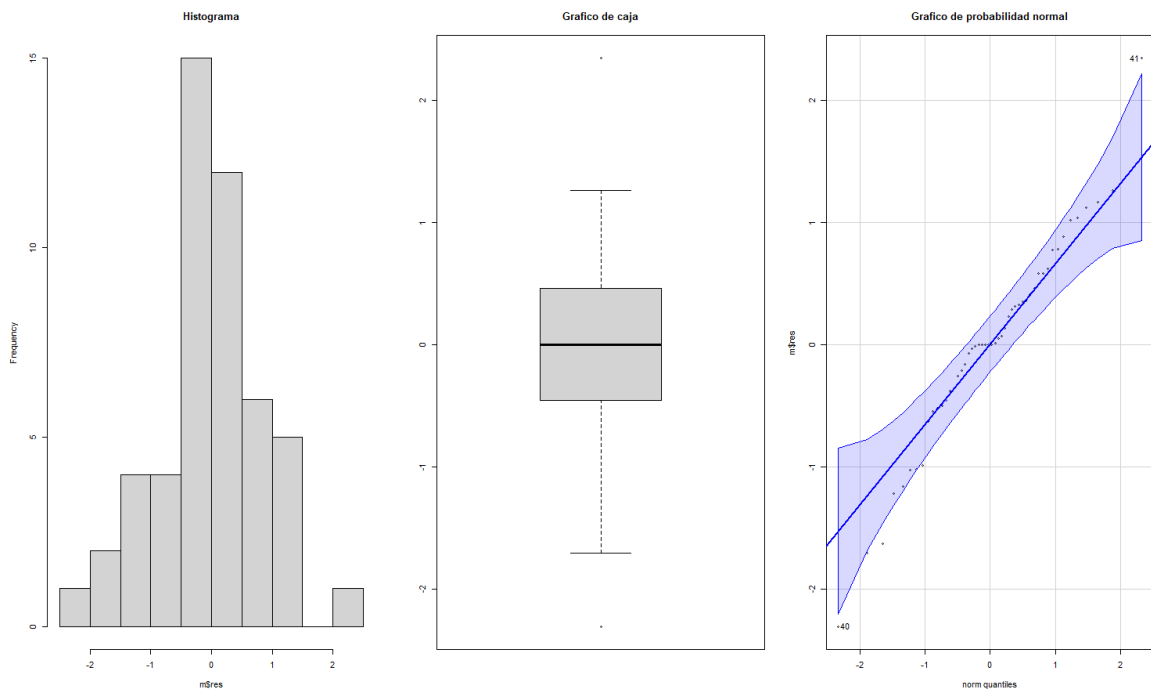
<b>Prueba de puntuación de varianza no constante</b>	
<i>K – squared</i>	0.959184
Df	1
P	0.32739

**Tabla C-8:** Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante

- Supuesto de independencia

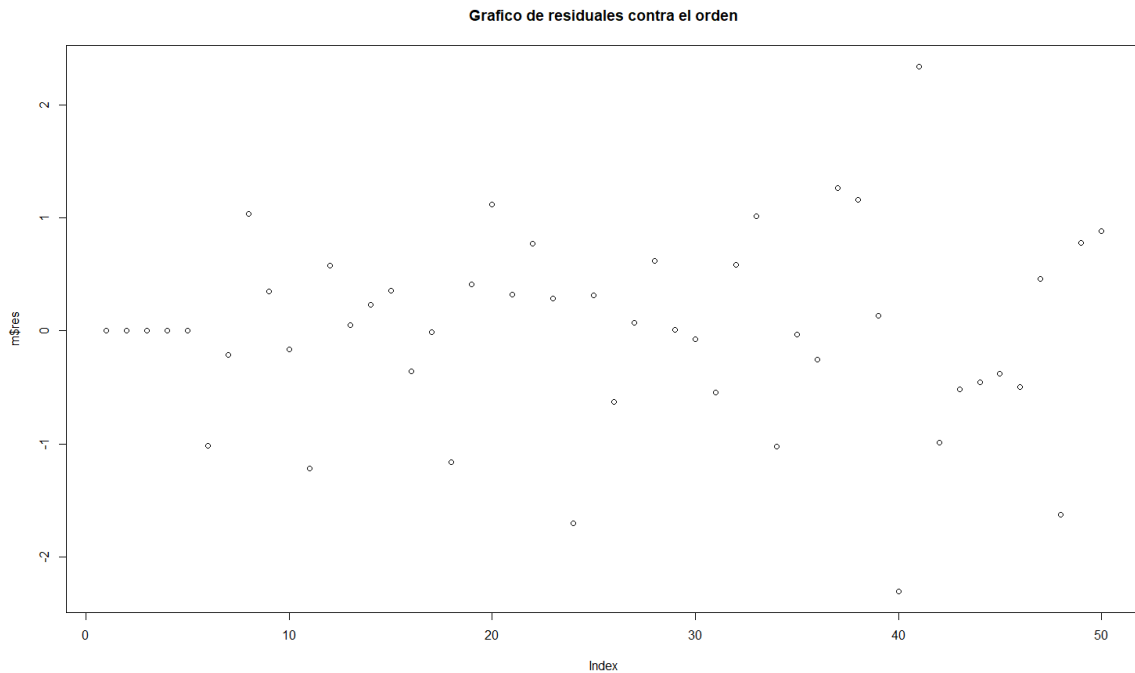
Prueba estadística Durbin – Watson			
Lag	Autocorrelation	D-W Statistic	P-value
1	-0.2452741	2.467977	0.684

Tabla C-9: Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson



Gráfica C-5: Gráfico de normalidad de los datos a los 28 días





**Gráfica C-6:** Gráfica de residuos no correlacionados a los 28 días.

**4. Residuales del modelo ajustado para 28 días de curado (Vigas):**

- Supuesto de normalidad

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	
W	0.96183
P-Value	0.3448
Alpha	0.05

**Tabla C-10:** Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk

- Supuesto de varianza constante

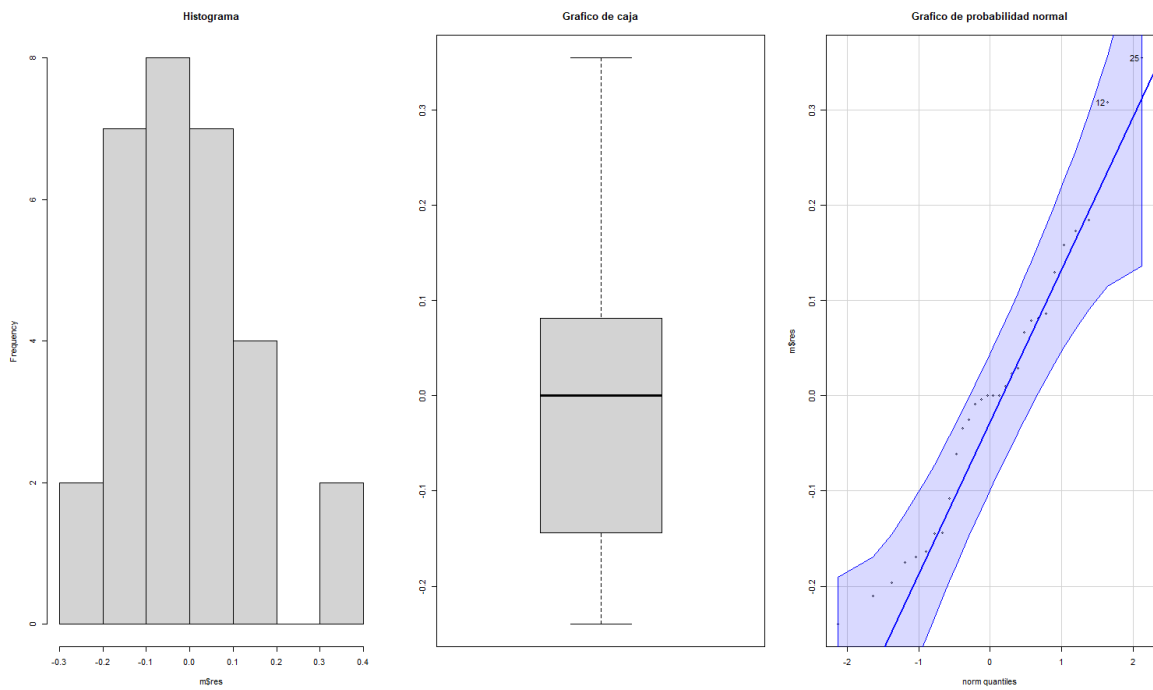
Prueba de puntuación de varianza no constante	
<i>K – squared</i>	0.1279327
Df	1
P	0.72059

**Tabla C-11:** Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante

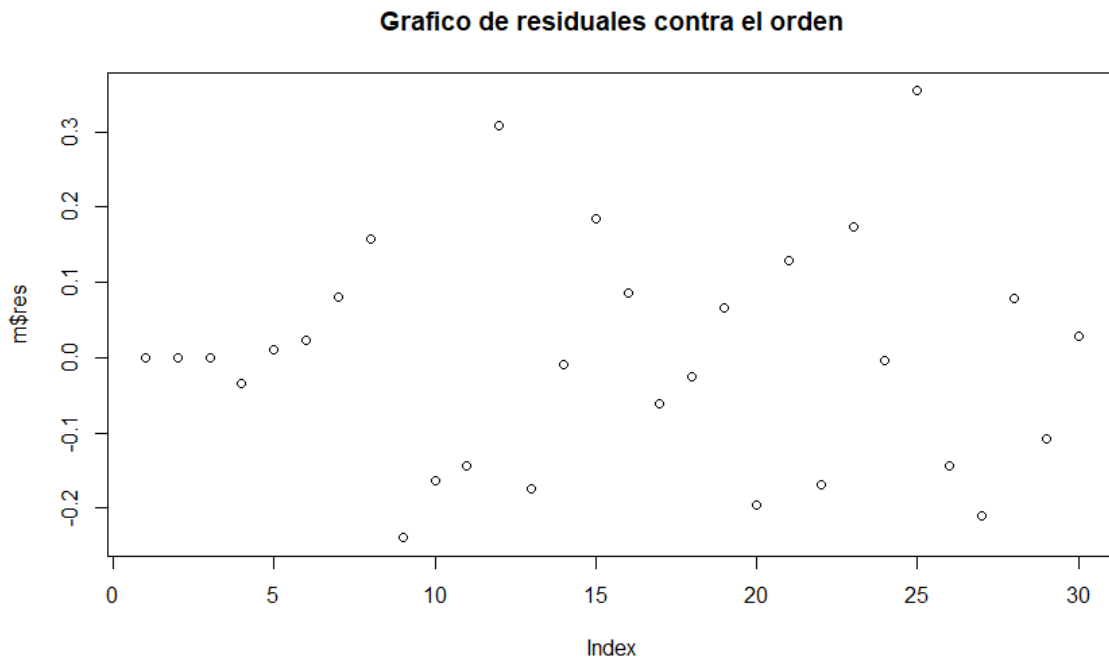
- Supuesto de independencia

Prueba estadística Durbin – Watson			
Lag	Autocorrelation	D-W Statistic	P-value
1	-0.2971883	2.593047	0.874

Tabla C-12: Resultados de la prueba estadística Durbin - Watson



Grafica C-7: Grafico de normalidad de los datos a los 28 días



**Grafica C-8:** Gráfica de residuos no correlacionados a los 28 días.