

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JOSÉ DANIEL APELLIDOS: PALACIOS PABÓN

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JOSÉ RAFAEL APELLIDOS: CÁCERES RUBIO

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ANÁLISIS COMPARATIVO DE PLACAS SIMPLEMENTE APOYADAS SOMETIDAS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y CORTANTE DISEÑADAS EN CONCRETO REFORZADO Y CONCRETO FIBRO-REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y FIBRAS VEGETALES

RESUMEN

Este proyecto trata sobre el análisis comparativo de placas simplemente apoyadas sometidas a esfuerzos de flexión y cortante diseñadas en concreto reforzado y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Para ello, se implementó una investigación tipo exploratoria. La información fue extraída de las investigaciones utilizadas relacionadas con el tema objeto de estudio. La población y muestra correspondió al concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Se lograron determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional, por medio de información obtenida a través de fuentes de información secundaria. Posteriormente, se diseñaron las placas simplemente apoyadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Finalmente, se llevó a cabo la comparación de la cantidad de materiales requeridos para la construcción de las placas diseñadas de concreto reforzados.

PALABRAS CLAVE: placas, fibro-reforzado, fibras de vidrio y fibras vegetales, materiales.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 107 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: 1

Copia No Controlada

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PLACAS SIMPLEMENTE APOYADAS SOMETIDAS A
ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y CORTANTE DISEÑADAS EN CONCRETO REFORZADO Y
CONCRETO FIBRO-REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y FIBRAS VEGETALES

JOSÉ DANIEL PALACIOS PABÓN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PLACAS SIMPLEMENTE APOYADAS SOMETIDAS A
ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y CORTANTE DISEÑADAS EN CONCRETO REFORZADO Y
CONCRETO FIBRO-REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y FIBRAS VEGETALES

JOSÉ DANIEL PALACIOS PABÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Especialista en Estructuras

Director:

JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO

Especialista en Estructuras

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 23 DE DICIEMBRE DE 2022 **HORA:** 09:00 a.m.

LUGAR: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS – UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE PLACAS SIMPLEMENTE APOYADAS SOMETIDAS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y CORTANTE DISEÑADAS EN CONCRETO REFORZADO Y CONCRETO FIBRO-REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y FIBRAS VEGETALES”.

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA
ING. JOSÉ RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ
ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO

DIRECTOR: INGENIERO JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO.

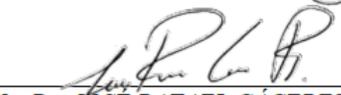
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN	
		NÚMERO	LETRA
JOSÉ DANIEL PALACIOS PABÓN	1010125	4.4	CUATRO, CUATRO

A P R O B A D A


ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ
PEÑARANDA


ING. JOSÉ RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ


ING. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO


Vo. Bo. JOSÉ RAFAEL CÁCERES RUBIO
Coordinador Comité Curricular
Especialización en Estructuras

María del C.

Contenido

	pág.
Introducción	14
1. Problema	15
1.1 Título	15
1.2 Planteamiento del Problema	15
1.3 Formulación del Problema	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo general	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
1.5 Justificación	17
1.6 Alcances y Limitaciones	18
1.6.1 Alcances	18
1.6.2 Limitaciones	18
1.7 Delimitaciones	18
1.7.1 Delimitación espacial	18
1.7.2 Delimitación temporal	18
1.7.3 Delimitación conceptual	18
2. Marco Referencial	19
2.1 Antecedentes	19
2.1.1 Antecedentes internacionales	19
2.1.2 Antecedentes nacionales	22
2.1.3 Antecedentes regionales	23
2.2 Estado del Arte	24

2.3 Marco Teórico	26
2.4 Marco Conceptual	29
2.4.1 Fibras de vidrio AR Cem-FIL®	29
2.4.2 Fibra de bambú	30
2.4.3 Fibra de guadua	31
2.4.4 Fibra de fique	34
2.4.5 Fibra de bagazo de caña de azúcar	36
2.4.6 Fibra de raquis y vástago de plátano	38
2.5 Marco Legal	40
3. Diseño Metodológico	42
3.1 Tipo de Investigación	42
3.2 Población y Muestra	42
3.2.1 Población	42
3.2.2 Muestra	42
3.3 Fases y Actividades Específicas del Proyecto	42
3.3.1 Actividad 1: Consulta y redacción del estado del arte	43
3.3.2 Actividad 2: Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de las materias primas utilizadas para manufactura mezclas de concreto fibro-reforzado	43
3.3.3 Actividad 3: Selección de materias primas y determinación del proceso de fabricación de concreto fibro-reforzado	43
3.3.4 Actividad 4: Estudio preliminar de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio Alcalí-resistente	44
3.3.5 Actividad 5: Análisis preliminar de adición de fibras vegetales en mezclas de concreto fibro-reforzado	46

3.3.6 Actividad 6: Evaluación del concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y con fibras vegetales desarrollado	46
3.3.7 Actividad 7: Diseño de placas simplemente apoyadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales, variando la longitud entre ejes de apoyos partiendo de los esfuerzos por flexión y cortante	48
4. Desarrollo	49
4.1 Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto Convencional Simple y del Concreto Fibro-Reforzado con Fibras de Vidrio y fibras Vegetales, por Medio de Información Obtenida a través de Fuentes de Información Secundaria	49
4.1.1 Dosificación de las mezclas de concreto fibro-reforzado	54
4.1.2 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas (densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión o módulo de rotura y el módulo de elasticidad) de los concretos reforzados con fibras de vidrio y fibras vegetales	56
4.1.3 Resultados de ensayos de laboratorio y presentación de propiedades físico-mecánicas de concreto convencional simple y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales	58
4.2 Diseñar Estructuralmente placas Simplemente Apoyadas de Concreto Reforzado con Acero y Concreto Fibro-Reforzado con Fibras de Vidrio y Fibras Vegetales, Variando la Longitud Entre Ejes de Apoyos Partiendo de los Esfuerzos por Flexión y Cortante	66
4.2.1 Diseño de placas macizas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales	67
4.2.2 Diseño de placas aligeradas con nervadura de concreto reforzado y losetas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales	83

4.3 Comparar la Cantidad de Materiales Requeridos Para la Construcción de las Placas Diseñadas de Concreto Reforzado con Acero y Concreto Fibro-Reforzado con Fibras de Vidrio y Fibras Vegetales Mediante la Realización de Curvas de Tendencia	91
4.3.1 Análisis de costos para las diferentes placas macizas y aligeradas diseñadas	94
5. Conclusiones	100
Referencias Bibliográficas	102

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Materiales utilizados para fabricación de GRC según diversos autores	28
Tabla 2. Propiedades mecánicas de las fibras de vidrio tipo AR	30
Tabla 3. Análisis elemental de las fibras de raquis de plátano	38
Tabla 4. Características de los diferentes tipos de fibras estudiados	39
Tabla 5. Ecuaciones para determinación de propiedades mecánicas	45
Tabla 6. Dosificación de materiales para concreto	54
Tabla 7. Cálculo de la densidad de las fibras vegetales	55
Tabla 8. Cantidad de fibras utilizada para cada mezcla ensayada	55
Tabla 9. Resultados de las propiedades mecánicas de los concreto ensayados	64
Tabla 10. Propiedades mecánicas GRC (10 mm de espesor, 28 días de fabricación)	66
Tabla 11. Propiedades mecánicas de concretos utilizados para el diseño de placas	67
Tabla 12. Volumen de concreto para placas macizas	91
Tabla 13. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para placas macizas	92
Tabla 14. Volumen de concreto para losetas de placa aligerada	93
Tabla 15. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para losetas de placa aligerada	93
Tabla 16. Volumen de concreto para viguetas de placa aligerada	94
Tabla 17. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para viguetas de placa aligerada	94
Tabla 18. Costo de materiales para concreto especial para fabricar MRC, GRC y FRC	95
Tabla 19. Costo por metro cuadrado de placa maciza	95
Tabla 20. Costo por metro cuadrado de losetas de placa aligerada	97
Tabla 21. Costo de materiales para concreto convencional de 28MPa	97
Tabla 22. Costo por metro cuadrado de placa aligerada	98

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. (a) proceso de extracción de la fibra (b) parte interna del tallo	31
Figura 2. Fibras de guadua	33
Figura 3. Proceso de inmunización con cal hidratada de las fibras de guadua (a) cal hidratada (b) fibras de guadua (c) (d) fibras con cal	34
Figura 4. Fibras de fique	35
Figura 5. (a) Bagazo de caña de azúcar antes del proceso de obtención de fibras (b) fibras procesadas de bagazo de caña	37
Figura 6. (a) Fibras de Raquis de plátano. (b) barras de fibras de plátano	40
Figura 7. Características y ficha técnica del cemento utilizado	50
Figura 8. Características y ficha técnica del Forton® VF-774	51
Figura 9. Características y ficha técnica del Superplastificante SikaPlast® MO	52
Figura 10. Características y ficha técnica de la arena de cuarzo	53
Figura 11. (a) Ensayo de compresión en cubos de 4x4x4cm. (b) Ensayo de flexión en primas de 4x4x16cm. (c) Ensayo de flexión en placas de 2x15x40cm	57
Figura 12. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de MRC (concreto convencional simple sin fibras de refuerzo)	58
Figura 13. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de GRC (concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio)	59
Figura 14. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-1 (concreto fibro-reforzado con fibras de fique)	60
Figura 15. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-2 (concreto fibro-reforzado con fibras de vástago de plátano)	61

Figura 16. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-3 (concreto fibro-reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar)	61
Figura 17. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-4 (concreto fibro-reforzado con fibras de guadua)	62
Figura 18. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de todos los tipos de concreto ensayados	63
Figura 19. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de concreto reforzados con fibras de vidrio mediante varios métodos de curado	64
Figura 20. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de concreto reforzados con fibras de vidrio de 6mm	65
Figura 21. Esfuerzos en placa maciza MRC de 1m de longitud	70
Figura 22. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 1m de longitud	70
Figura 23. Esfuerzos en placa maciza MRC de 3m de longitud	71
Figura 24. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 3m de longitud	71
Figura 25. Esfuerzos en placa maciza MRC de 5m de longitud	72
Figura 26. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 5m de longitud	72
Figura 27. Esfuerzos en placa maciza MRC de 7m de longitud	73
Figura 28. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 7m de longitud	73
Figura 29. Esfuerzos en placa maciza MRC de 9m de longitud	74
Figura 30. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 9m de longitud	74
Figura 31. Diagrama de cortante y momento en placa maciza de GRC y FRC	75
Figura 32. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 1m de longitud	75
Figura 33. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 3m de longitud	76
Figura 34. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 5m de longitud.	77

Figura 35. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 7m de longitud	78
Figura 36. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 9m de longitud	79
Figura 37. Curva para determinar altura de placa maciza en MRC según su longitud	81
Figura 38. Curva para determinar altura de placa maciza en GRC según su longitud	81
Figura 39. Curva para determinar altura de placa maciza en FRC según su longitud	82
Figura 40. Comparación de curvas de diseño MRC, GRC y FRC	83
Figura 41. Sección tipo de placa aligerada	85
Figura 42. Esfuerzos sobre la vigueta de 3m de longitud	85
Figura 43. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 3m de longitud	86
Figura 44. Esfuerzos sobre la vigueta de 5m de longitud	86
Figura 45. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 5m de longitud	87
Figura 46. Esfuerzos sobre la vigueta de 7m de longitud	87
Figura 47. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 7m de longitud	88
Figura 48. Esfuerzos sobre la vigueta de 9m de longitud	88
Figura 49. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 9m de longitud	89
Figura 50. Curva de tendencia para dimensionamiento de vigueta	90
Figura 51. Cantidad de concreto en volumen según tipo de refuerzo	92
Figura 52. Costo en miles de COP de placas macizas de MRC, GRC y FRC	96
Figura 53. Costo en miles de COP de placas aligeradas	99

Resumen

Este proyecto trata acerca del análisis comparativo de placas simplemente apoyadas sometidas a esfuerzos de flexión y cortante diseñadas en concreto reforzado y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Para ello, se implementó una investigación tipo exploratoria, ya que se basó en el análisis del comportamiento mecánico de concretos fibro-reforzados y su utilización en placas simplemente apoyadas comparado con placas desarrolladas con concreto convencional. La información fue extraída de las investigaciones utilizadas relacionadas con el tema objeto de estudio. La población y muestra correspondió al concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales de fique, plátano, caña de azúcar y guadua. Se logró realizar un análisis comparativo de placas simplemente apoyadas sometidas a esfuerzos de flexión y cortante diseñadas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Seguidamente, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional, por medio de información obtenida a través de fuentes de información secundaria. Posteriormente, se diseñaron las placas simplemente apoyadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales, variando la longitud entre ejes de apoyos partiendo de los esfuerzos por flexión y cortante. Finalmente, se llevó a cabo la comparación de la cantidad de materiales requeridos mediante la realización de curvas de tendencia.

Introducción

El concreto fibroreforzado funciona como una esponja que absorbe parte de la carga permitiendo a la estructura seguir en pie luego de una fisura. Con el pasar del tiempo la tecnología en el concreto ha tenido una evolución continua en relación a los aditivos que se han agregado con el fin de fortalecer el concreto fibro-reforzado. De la misma forma, se ha avanzado en la parte experimental llevando a cabo ensayos de laboratorios para revisar la durabilidad y las propiedades mecánicas del concreto.

El estudio de fibras para reforzar concreto es complejo y extenso, y aunque se han realizado estudios de varios tipos de arcilla a nivel regional, nacional e internacional, es pertinente realizar un proyecto en el cual se estudie el FRC con otros tipos de fibras que contribuyan al mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos. La idea es analizar propiedades tales como la densidad, la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión o módulo de rotura y el módulo de elasticidad.

De acuerdo a lo anterior la presente investigación tiene como finalidad realizar un análisis comparativo de placas simplemente apoyadas sometidas a esfuerzos de flexión y cortante diseñadas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Para ello, se desarrolla una metodología exploratoria, con el fin de analizar el comportamiento mecánico de concretos fibro-reforzados. La estructura en el cual se desarrolla esta investigación se presenta de la siguiente manera: problema, marco referencial, diseño metodológico y desarrollo del trabajo.

1. Problema

1.1 Título

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PLACAS SIMPLEMENTE APOYADAS SOMETIDAS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y CORTANTE DISEÑADAS EN CONCRETO REFORZADO Y CONCRETO FIBRO-REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO Y FIBRAS VEGETALES.

1.2 Planteamiento del Problema

El concreto reforzado con fibras (Fiber Reinforced Concrete, FRC) es un tipo de concreto que se ha ido estandarizando en las últimas décadas. Teniendo en cuenta que es un compuesto que ha sido utilizado desde la antigüedad cuando se reforzaban los bloques de mampostería de barro con pelo de caballo. El uso de FRC es utilizado en la actualizada en la industria de la construcción y de la arquitectura en pisos industriales, concreto proyectado para el sostenimiento de túneles y taludes, estructuras a base de elementos de concreto prefabricado, entre otras muchas más aplicaciones. Sin embargo, su utilidad depende directamente del tipo de fibra que se utilice para reforzar, ya que dependiendo de sus resistencia y durabilidad puede tener diversos usos.

Diversos estudios han sido realizados en torno a concretos reforzados con fibras, como es el caso de Zheng (2020) quienes utilizaron tres tipos de fibras (fibras de polipropileno, vidrio y poliacrilonitrilo) como refuerzo de mezclas de concreto. La investigación arrojó que la resistencia a la compresión uniaxial del hormigón reforzado con fibra primero aumentó y luego disminuyó a medida que aumentaba la dosis de fibra. Del mismo modo, Martín (2020) utilizó fibras vegetales de origen vegetal (coco, yute, algodón, caña de azúcar, cáñamo, lino y sisal) para reforzar concreto. La cantidad de fibras que se utilizó en las mezclas de concreto osciló entre 0.1% y 2.5%

del peso. Por último, Amaya & Ramírez (2019), realizaron concretos reforzados con fibras de acero, fibras de polietileno tereftalato (PET), fibras de vidrio y fibras de cáñamo. Estudiaron la resistencia a la compresión y la flexión de los concretos con cilindros y vigas, respectivamente. Los resultados obtenidos presentaron que los concretos que mejor se comportaron en cuanto a la resistencia a la compresión fueron los reforzados con fibras de acero y fibras de vidrio. Por otro lado, las fibras que mejoraron la fisuración del concreto y por ende la resistencia a la flexión fueron las fibras PET y las fibras de cáñamo.

1.3 Formulación del Problema

A partir de lo descrito en el planteamiento del problema se genera la siguiente pregunta: ¿Cuál es la utilidad y beneficio que tiene la adición de fibras vegetales y fibras de vidrio en mezclas de concreto para la utilización en sistemas de placas simplemente apoyadas a partir de su funcionamiento bajo esfuerzos de flexión y cortante?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Realizar un análisis comparativo de placas simplemente apoyadas sometidas a esfuerzos de flexión y cortante diseñadas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales.

1.4.2 Objetivos específicos. Los objetivos específicos se evidencian a continuación:

Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional simple y del concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales, por medio de información obtenida a través de fuentes de información secundaria.

Diseñar estructuralmente placas simplemente apoyadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales, variando la longitud entre ejes de apoyos partiendo de los esfuerzos por flexión y cortante.

Comparar la cantidad de materiales requeridos para la construcción de las placas diseñadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales mediante la realización de curvas de tendencia.

1.5 Justificación

El uso de fibras vegetales y artificiales para reforzar concreto es altamente investigado. Las propiedades mecánicas del concreto varían según sea la adición de fibras dentro de las mezclas, ya que una cantidad muy pequeña puede que no mejore las características propias del concreto, pero una cantidad muy grande puede que las empeore. Por lo que, es necesario identificar el tipo de fibras y la proporción ideal requerida para mejoras propiedades mecánicas y físicas del concreto, como lo son: la densidad, la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión o módulo de rotura y el módulo de elasticidad. La presente investigación, toma lugar en San José de Cúcuta, capital de Norte de Santander, Colombia. Por lo que, las materias primas que serán utilizados para la elaboración de los concretos son de la zona. La generación del proyecto pretende identificar la funcionalidad de placas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales contrastado con concreto convencional reforzado con acero. Para lo cual, se requiere del desarrollo de concreto fibro-reforzado con subproductos industriales, desechos o similares que tengan las características físicas y mecánicas necesarias para ser fibras que den refuerzo a las mezclas de concreto.

1.6 Alcances y Limitaciones

1.6.1 Alcances. El alcance comprende el análisis y diseño de placas simplemente apoyadas desarrolladas en concreto convencional reforzado con acero, comparado con concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. El diseño se realizará únicamente bajo esfuerzos de flexión y cortante. Y su punto de comparación se tomará cuando el concreto empiece su agrietamiento debido a sobreesfuerzos. Además, este proyecto es un subtema de la investigación desarrollada para cumplir con la convocatoria 891 de 2020 del ministerio de ciencias y tecnología de Colombia, que en conjunto con la vicerrectoría asistente de investigación y extensión de la UFPS financiaron el desarrollo de este proyecto.

1.6.2 Limitaciones. Las limitantes para el desarrollo de esta investigación serán subsanadas por medio de asesoramiento externo de expertos en el área de estudio.

1.7 Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial. El proyecto se desarrolla en la Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

1.7.2 Delimitación temporal. El proyecto se desarrolla entre agosto y diciembre de 2022.

1.7.3 Delimitación conceptual. Todo lo correspondiente al marco referencial del presente documento.

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales. Diversos estudios han sido realizados a nivel mundial entorno a la fabricación de concreto reforzado con fibras de vidrio, fibras vegetales, fibras de acero y fibras sintéticas. A continuación, se presenta el resumen de alguno de los documentos consultados para la construcción del estado del arte del tema investigado.

Para varias mezclas con adiciones de fibra, Campoy, Gaxiola, Chávez, Millán, Rojas & De la (2021), realizaron un análisis de comportamiento específico utilizando los módulos de resistencia a la ruptura y compresión (0,25 %, 0,50 %, 0,75 %, 1,00 %, y 1,50 %). Acero ondulado con gancho en los extremos, sintética trefilada y sintética ondulada fueron las fibras utilizadas. Fibras de acero con gancho en los extremos son recomendadas para ampliar la resistencia a la flexión y al cizallamiento; acuerdo con los resultados, la fibra de acero con gancho en los extremos es la fibra con mejor desempeño. El tamaño de agregados, la granulometría completa, la relación grava/arena, y el regreso, por otro lado, tienen un impacto en el desempeño de las fibras. (Campoy et al., 2021)

Carrillo, Aperador & González (2013) construyeron concreto reforzado con fibras de acero y probaron su resistencia a la compresión, tracción indirecta o tensión diametral y flexión. El módulo de elasticidad disminuye a medida que aumenta el número de fibras de acero, lo que se debe a una disminución en la cantidad de grueso añadido. La resistencia al agrietamiento por tracción por flexión o módulo rotor, así como la deformación unitaria asociada, no varían a medida que aumenta la cantidad de fibras de acero, ya que el aporte de las fibras de hormigón comienza con este esfuerzo (Castaño & Villa, 2016).

Blazy & Blazy (2021) investigaron el impacto de las fibras de polipropileno en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, como la trabajabilidad; módulos elásticos; resistencia a la compresión, flexión y tracción; tenacidad; impacto, desconchado, congelación-descongelación, resistencia a la abrasión; absorción de agua; porosidad; permeabilidad; Se discutió el tema de la sustentabilidad, así como las propiedades ecológicas y económicas (Blazy & Blazy, 2021).

Kumar, Rex, Gokulnath & Saravanan (2020), estudiaron el efecto de la fibra de vidrio dentro de mezclas de concreto, con cantidades que varían entre el 0 y el 1% de la masa del concreto. Realizaron ensayos de esfuerzo a la compresión, módulo de elasticidad y esfuerzo a la flexión. Utilizando cantidades de 0.33%, 0.67% y 1.0% de fibra encontraron un incremento moderado del esfuerzo a la compresión, en comparación con la mezcla de control. El mejor esfuerzo a la compresión se obtuvo con la adición de 0.33%, y el mejor esfuerzo a la flexión se obtuvo con la adición del 1.0% (Kumar et al., 2020).

Enfedaque, Gálvez & Suárez (2015), analizaron la fractura de falla de concretos reforzados con fibras de vidrio (Glassfiber Reinforced Concrete, GRC), para lo cual realizaron ensayos con probetas (placas) con dimensiones de 1.65m x 0.55m x 0.10m. Las cargas aplicadas a las placas fueron paralelas y perpendiculares a la dirección de las fibras. Las fibras utilizadas en la investigación fueron fabricadas con tres formulaciones diferentes: en dos de ellas se emplearon dos productos químicos, Powerpozz y Metaver (Powerpozz es una mezcla puzolánica, mientras que Metaver es caolín puro tratado térmicamente). Según los resultados, el uso de adiciones químicas como Metaver y Powerpozz mejora la energía de fractura de una formulación normal de GRC. La adición de un 25% de Metaver aumenta ligeramente la energía de fractura de GRC en una dirección paralela a las fibras, mientras que en una dirección perpendicular este incremento

es notable. En contraste, el uso del 25% de Powerpozz agregado a una formulación habitual de GRC al menos cuadruplica la energía de fractura de GRC en las orientaciones probadas (Enfedaque et al., 2015).

Beltrán, Díaz, García & Pastrán (2013), desarrollaron un hormigón fibroreforzado utilizando textiles de fibra de vidrio con el objetivo de analizar el comportamiento a la flexión. Las sondas analíticas tenían un tamaño de 80 x 30 x 3,5 cm. En comparación con las otras sondas, las pruebas de flexión con la combinación de matriz-refuerzo (GRC + fibra direccionada 0°-90°) mostraron un aumento en la resistencia a la flexión; los resultados se utilizaron para el análisis, diseño y fabricación de la implementación dada en la construcción de un elemento de flexión prefabricado (Beltrán et al., 2013).

Díaz (2016), utilizó las plumas de las aves como fibras para reforzar concreto. Los resultados determinaron que al incluir este tipo de fibras en las mezclas de concreto la resistencia a la compresión disminuía, caso contrario sucede con los concretos reforzados con fibras sintéticas, los cuales aumentaban la resistencia a la compresión. Por otro lado, la fisuración del concreto se logró inhibir entre un 49% y un 62% (Díaz, 2016).

Juárez, Rodríguez, Rivera & Rechy (2013), utilizaron fibras derivadas de la planta de lechuguilla con el objetivo de reforzar un área específica. Las fibras de lechuguilla poseen importantes propiedades físico-mecánicas, lo que permite considerarlas como un posible refuerzo en particular. En comparación con el concreto convencional, la investigación encontró que las fibras largas añadidas en pequeñas cantidades le dan al concreto la capacidad de soportar mayores cargas de flexión (Juárez et al., 2003).

2.1.2 Antecedentes nacionales. Quintero & Mahecha (2016), utilizaron PET reciclado en mezclas de concreto, para la creación de un material compuesto y así verificar las propiedades mecánicas. Las fibras de refuerzo tienen la propiedad de funcionar como sustituto de los materiales convencionales. Los resultados fueron desfavorables, ya que, aunque la resistencia a la flexión mejoró por la adición de fibras PET, la resistencia a la compresión decreció, por lo que los autores determinaron que el material no tiene buena eficiencia (Quintero & Mahecha, 2016).

Quintero & González (2006), realizaron una investigación sobre la adición de fibras de coco estopa (*Cocus nucifera*) a mezclas de concreto fibroreforzado. En el Valle del Cauca, la fibra se obtiene como subproducto de la industria alimentaria. Se evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las fibras, así como las propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con 0,5 y 1,5 por ciento de fibra de estopa de coco y longitudes de 2 y 5 cm. Los resultados muestran que la adición de fibras a los compuestos ensayados a compresión axial, tracción indirecta y flexión redujo la deformación máxima en todos los casos; con resultados que fueron consistentes con experimentos previos e investigaciones bibliográficas (Quintero & González, 2006).

Saavedra & Ortega (2020), estudiaron el comportamiento mecánico (compresión, flexión) del concreto reforzado con fibra natural de Fique, a través de un software de análisis por elementos finitos 'Abaqus' para establecer el comportamiento mecánico de los elementos (viga y cilindro). Los resultados demuestran que los porcentajes ideales de adición de fibra de fique se presentan por debajo del 0.3%, donde se pudo evidenciar que para el rango elástico el valor óptimo se encuentra entre el 0.2% y el 0.3%, siendo este el rango óptimo de adición de fibra en el cual se mejoran las capacidades de compresión del concreto (Saavedra & Ortega, 2020).

Bejarano (2019), investigó la resistencia mecánica en cilindros de concreto reforzado con fibras de *Guadua Angustifolia Kunth*, partiendo de una mezcla libre de fibras y realizando un análisis comparativo. Los resultados mostraron que la adición de fibras de *Guadua Angustifolia Kunth* en su estado natural (CH=10,8%) mejoró la resistencia a la compresión del hormigón en un 13,4% en comparación con el hormigón estándar (Bejarano, 2019).

Vanegas, Martínez & Poveda (2019), investigaron las propiedades mecánicas obtenidas en particular al reforzarse con fibras de guadua. Para ellos se hará una comparación entre diferentes tipos de concreto, como el concreto sin fibras, el concreto con fibras de vidrio y el concreto con fibras de guadua. La cantidad de fibra de guadua utilizada corresponde al 1% de la cantidad total de concreto amasado. Los resultados mostraron que el concreto elaborado con fibra de vidrio presentó la menor resistencia al trazado indirecto en comparación con los otros dos tipos de mezclas. Durante el proceso de fabricación se descubrió que la presencia de nudos generados por las fibras provocaba una mala adherencia del material al hormigón. (Vanegas et al., 2019)

Osorio, Varón & Herrera (2007), observaron un material compuesto por fibras de bagazo de caña en mezclas de concreto, donde las fibras tenían una distribución asimétrica en toda la mezcla. Se investigó el impacto del tamaño y la adición de fibra expresada como porcentaje del peso total, la resistencia a la compresibilidad y la densidad del material. Se descubrió que un compuesto que contenía fibras retenidas por tamiz 6 y una adición de fibras de entre 0,5% y 2,5% del peso total del agregado grueso tenía una resistencia de 16,88 MPa y una densidad de 141 a 336 kg/m³ cuando frente a un hormigón convencional de 2400 kg/m³ (Osorio et al., 2007).

2.1.3 Antecedentes regionales. Peñaranda & Rincón (2016), estudiaron el planteamiento de una alternativa para la contaminación provocada por las botellas de plástico (PET) que tardan 500

años en degradarse. El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento a flexión y compresión del concreto con adición de macro-fibras de plástico reciclado con respecto al concreto convencional. Los resultados presentan las características mecánicas del PET reciclado (resistencia a tensión y resistencia a la flexión). Igualmente, se realizan los ensayos preliminares a flexión y compresión del concreto de 4000 psi con adición de macro-fibras de PET en los porcentajes de 0%, 1.5%, 3% y 4.5%. Se ejecutan los ensayos finales a flexión y compresión del concreto de 4000 psi con adición de macro-fibras de PET en los porcentajes de 0%, 0.25%, 0.50% y 0.75% y 1.0% (Peñaranda & Rincón, 2016).

Tami & Landínez (2019), analizaron los efectos producidos en el desempeño mecánico (resistencia a la compresión y flexión) y la porosidad abierta de una matriz de concreto al añadir macro-fibras de PET reciclado. Las macro-fibras fueron obtenidas a partir de envases plásticos usados para la bebida PonyMalta (PET ámbar), los cuales fueron sometidos a un proceso de troquelado. A su vez la proporción de macro-fibras de PET en la mezcla se estableció en 0%; 0.7%; 2.1% y 4.2% del volumen de concreto. El concreto a utilizar se diseñó para tener una resistencia a la compresión de 21 MPa (Tami & Landínez, 2019).

2.2 Estado del Arte

El concreto dependiendo de su composición puede variar su utilización en la construcción para aprovechar al máximo sus características. El concreto convencional está compuesto principalmente de agregado fino, agregado grueso, agua, cemento portland y en algunos casos aditivos. Cuando no se utiliza agregado grueso en las mezclas de concreto, este se considera como un concreto. Adicionalmente si se le incluye al concreto fibras de origen sintético o de origen natural se identifica como concreto fibro-reforzado. Los concreto fibro-reforzados son

utilizados principalmente para la construcción de placas, ya que dicho concreto puede resultar útil para la fabricación de elementos que se sometan a flexión y compresión y tengan una relación largo-ancho/espesor relativamente alto.

Los fibro-refuerzos para concreto tiene diversas procedencias, tal es el caso del uso de fibras de vidrio, acero, plástico, así como lo es la extracción de fibras de plantas y subproductos agroindustriales. Diversos estudios han sido desarrollados en torno a la utilización de fibras en mezclas de concreto. Carrillo et al. (2013) y Campoy et al. (2021) estudiaron mezclas de concreto con fibras de acero y probaron su resistencia a la compresión, tracción indirecta o tensión diametral y flexión (Carrillo et al., 2013) (Campoy et al., 2021). Blazy & Blazy (2021), Peñaranda & Rincón (2016), Quintero & Mahecha (2016) y Tami & Landínez (2019) investigaron el impacto de las fibras de polipropileno y de botellas de plástico (PET) en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, así como las propiedades ecológicas y económicas (Blazy & Blazy, 2021), (Peñaranda & Rincón, 2016), (Quintero & Mahecha, 2016) y (Tami & Landínez, 2019). Del mismo modo, el uso de concreto reforzado con fibras de vidrio (GRC) el tipo de fibro-refuerzo mayormente estudiado a nivel mundial debido a sus excelentes resultados. El GRC es principalmente utilizado para la fabricación de placas. Beltrán-Díaz et al. (2013), Enfedaque et al. (2015) y Kumar et al. (2020) estudiaron el hormigón fibroreforzado utilizando textiles de fibra de vidrio con el objetivo de analizar el comportamiento a la flexión (Beltrán et al., 2013), (Enfedaque et al., 2015) y (Kumar et al., 2020). Adicionalmente, se han estudiado fibras de origen natural, como lo estudiado por Taborda (2017), Bejarano (2019) y Vanegas et al. (2019) quienes investigaron con fibras de guadua y bambú (Taborda, Cañas & Tristancho, 2017), (Bejarano, 2019), (Vanegas et al., 2019) y (Martínez & Poveda, 2018). Saavedra & Ortega (2020) quienes investigaron con fibra de fique (Saavedra & Ortega, 2020). Osorio et al. (2007) que

utilizó fibras de bagazo de caña de azúcar (Osorio et al., 2007), (Gram, 1988) y (Juárez et al., 2004) y Elbehiry et al. (2020) quienes estudiaron las fibras de raquis de plátano (Elbehiry, Elnawawya, Kassemb, Zahera, Uddinc & Mostafac, 2020).

Los trabajos de investigación realizados en torno a la inclusión de fibras en las mezclas de concreto, contribuyen con la determinación de la propiedades mecánicas y físicas de los materiales. Lo cual implica que se pueda identificar el uso adecuado que se le puede dar al mismo. Las propiedades mecánicas de los concretos fibro-reforzados se identifican a través de la curva de “Carga vs. Deformación” de acuerdo a la norma UNE-EN 1170-5:1998 (Fundación Amigos del Prado, 1998), con la cual se obtiene el módulo de elasticidad, la deformación máxima a la flexión y el módulo de rotura. Así mismo, es pertinente el estudio de la resistencia a la compresión, para lo cual se utiliza una prensa universal de acuerdo con el procedimiento establecido por la norma UNE-EN 196-1:1996 (Fundación Amigos del Prado, 1996).

De acuerdo a lo descrito anteriormente, el presente trabajo muestra el proceso de fabricación de placas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio con adición de 0% y 3% y con fibras de origen vegetal de cabuya de fique, guadua, bagazo caña de azúcar y vástago de la planta de plátano, en adiciones de 0% y 3%. La investigación se realiza con el fin de determinar la utilidad de las placas de concreto según su funcionamiento estructural.

2.3 Marco Teórico

Kumar et al. (2020) estudiaron el efecto de la fibra de vidrio dentro de mezclas de concreto. Fabricaron probetas de concreto reforzado con fibras haciendo uso de cemento Portland puzolánico de grado 53, arena típica, grava de forma única (cubos o redondos, perfecto, duro, sólido, bien limpio) y fibra de vidrio tipo AR (Alcalí-Resistente) de 12mm. Las cantidades de

fibras dentro de las mezclas varían entre el 0 y el 1% de la masa del concreto. Se diseñó un grado de concreto M20 según IS 10262: 2000 para esta mezcla de concreto. Se adoptó la relación agua-cemento 0,3. Para realizar el análisis de las muestras se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y esfuerzo a la flexión. Se discute el efecto del plastificante sobre la resistencia a la compresión y la trabajabilidad mediante la realización de una prueba en el hormigón de cemento para aumentar la resistencia y la trabajabilidad. El mejor esfuerzo a la compresión se obtuvo con la adición de 0,33%, y el mejor esfuerzo a la flexión se obtuvo con la adición del 1,0% (Kumar et al., 2020).

Beltrán et al. (2013) desarrollaron concreto con fibras textiles de vidrio con fin de analizar el comportamiento del concreto a flexión según el direccionamiento de las fibras a $0^\circ, 90^\circ$, arbitraria, y $0^\circ-90^\circ$, dicho ensayo fue realizado según la norma ASTM C974-03 para los especímenes y para el GRC la UNE EN 1170-4:1997, UNE EN 1170-5:1997, y NTC 2871 utilizando una viga simple con método carga en los tercios medios y Máquina a Flexión con 4 apoyos. Las placas elaboradas para el análisis fueron de 80cm de longitud, 30cm de ancho y 3,5cm de espesor, para una carga de diseño de 90kg, la cual incremento a los 500kg hasta su rotura, dentro los materiales principales usaron, cemento portland de 25MPa, Arena Silíceo de 2,7Kg/L, y una variación en la cantidad de fibra de 1,5% a 3,5%, con relación $a/c=0,37$. El diseño de mezcla fue realizado según lo establecido por la American Concrete Institute y fue ajustado para Colombia (Beltrán et al., 2013).

De los resultados se evidencia mejores características físicas con el uso de fibra arbitraria y direccionada a $0^\circ-90^\circ$, por lo cual realizan nuevos ensayos con la unión de los dos, alcanzando una resistencia característica de 6,83MPa y Tensión a la rotura hasta de 11,48MPa a los 28 días, estos resultados se usaron como base para el análisis, diseño y fabricación de la implementación

dada en la construcción de un elemento prefabricado que trabaja a flexión (Beltrán et al., 2013).

En la tabla 1 se describen los materiales utilizados por algunos de los investigadores anteriormente referencias para la fabricación de concreto reforzado con fibras de vidrio.

Tabla 1. Materiales utilizados para fabricación de GRC según diversos autores

Materiales	Yildizel et al (2020)	Cheng, He, Zhang & Yang (2019)	Beltrán (2013)	Enfedaque et al (2010)	Muñoz (2007)
Tipo de Cemento	Cemento Portland Blanco (Grado 52.5R)	Cemento Portland grado P I 42.5	Portland común, de alta resistencia inicial, de alto horno o cemento puzolánico-25Mpa	Cemento	Cemento Polpaico especial-puzolánico grado corriente-Cemento portland 30MPa
Cantidad de cemento de mezclado	708-833kg	600-1000kg	795,80kg	50kg	378kg
Tipo de arena	Arena de sílice cumple especificaciones de la (GRCA) - densidad 2.68g/cm ³	Arena típica de río partículas menores a 2.36mm	Arena Silícea	Arena	Arena común 1.59kg/Lt
Cantidad de arena de mezclado	833kg	940-1000kg	1193,70 kg	50kg	-
Tipo de grava	N/A	N/A	Grava 1.52kg/Lt -- gravilla 1.60kg/Lt	N/A	N/A
Cantidad de grava de mezclado	-	-	505kg y 514kg	-	-
Tipo de fibra de vidrio	Fibra de vidrio tipo AR de 12mm	Fibra de vidrio tipo AR de 12mm	Anti-Crack Tipo AR	-	Vidrio- Ef: 10.000 Mpa- Modulo elástico :70.000MPa

Materiales	Yildizel et al (2020)	Cheng, He, Zhang & Yang (2019)	Beltrán (2013)	Enfedaque et al (2010)	Muñoz (2007)
Cantidad de fibra en la mezcla	39-69kg	0-60kg	0.03-1.5%	-	1.5- 3.5%
Tipo de plastificante	Plastificante uso general	N/A	N/A	Plastificante	N/A
Cantidad de plastificante en la mezcla	8kg	-	-	0.5Lt	-
Otro tipo de aditivo	Ceniza volante y metakaolin	Fly ash (ceniza volate) o slag (escoria)	N/A	Metakaolin - Silica fume 10%, Silica fume 20% - Resina acrilica	Que no contenga cloruro de calcio
Cantidad de aditivo en la mezcla	0-125kg	0-200kg		0 - 10 kg	
Cantidad de agua de mezclado	258kg	360kg	170Lt	20 - 27kg	315,06 Lt
Relación Agua/Cemento (W/C)	0.30-0.38	0.36	0,45	-	0,37
Relación Arena/Cemento (S/C)	0.85-1.00		-	-	-

Fuente: Yildizel et al. (2020); Cheng et al. (2019); Beltrán (2013); Enfedaque et al. (2010); Muñoz (2007).

2.4 Marco Conceptual

2.4.1 Fibras de vidrio AR Cem-FIL®. Las fibras Anti-Crack P forman parte de la línea de productos Cem-FIL® (Vetrotex) de Owens Corning, y tienen las siguientes características: 3; 6; 9; 12; 18 mm; 3 El filamento mide 14 metros de largo y tiene un diámetro de 14 metros. Pérdida al fuego: 0,55 por ciento; Humedad: un máximo de 0,3 por ciento; Material: Vidrio Alcalí-resistente; Peso específico: 2,68 g/cm³;

860°C - 1580°F punto de ablandamiento; La conductividad eléctrica es extremadamente baja; Resistencia química: Extremadamente alta; Módulo de elasticidad: 72GPa; Resistencia a la tracción: 1.700 MPa.

Están fabricadas con un alto contenido en circonio que cumple con las normas ASTM C1666/C 1666/M-07, EN 15422 y las recomendaciones del PCI y de la GRCA.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las fibras de vidrio tipo AR

Propiedades	Vidrio AR
Densidad (g/cm ³)	2,68
Resistencia a la tensión (M Pa)	3500
Modulo elástico (GPa)	72
Elongación hasta la rotura (%)	4,3

Fuente: Lalinde (2020).

2.4.2 Fibra de bambú. Taborda-Rios (2017) realizó un estudio con el grupo de investigación GIMI de la Universidad Tecnológica de Pereira, con apoyo de COLCIENCIAS, en el que utilizó bambú angustifolia fibra, que extrajo manualmente de la parte interna del tallo y resultó ser más resistente. El proceso de tratamiento para la obtención de las fibras fue el siguiente: se retiraron los nudos y cáscaras de los canutos y se sumergieron en agua durante 24 horas, protegidos de la luz solar ya temperatura ambiente. Posteriormente se realizó un proceso de maceración para facilitar la separación de las fibras en hilillos (Taborda et al., 2017).

Para modificar la estructura molecular celular, los investigadores utilizaron hidróxido de sodio (NaOH) en una solución acuosa con una concentración del 5% con el fin de reducir los grupos hidroxilo y aumentar la resistencia a la hidratación de la fibra. Además, se llevó a cabo un proceso termoiónico, en el que las fibras de bambú se expusieron a una temperatura de 60°C en un horno durante dos horas, dando como resultado una buena compactación fibra/matriz

(Taborda et al., 2017).

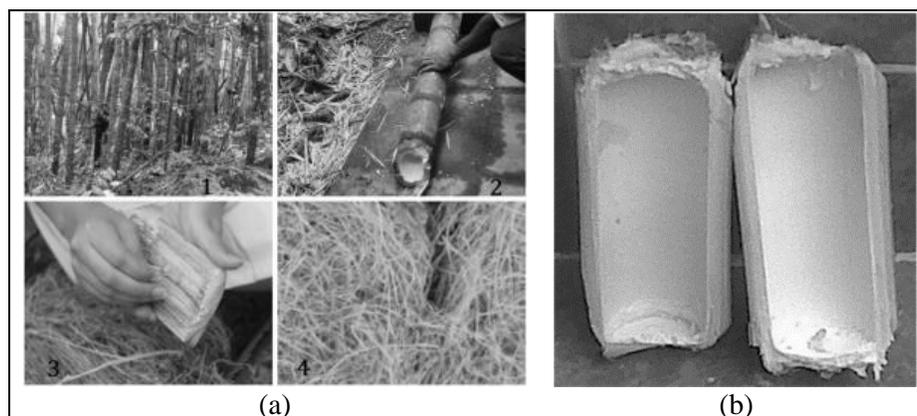


Figura 1. (a) proceso de extracción de la fibra (b) parte interna del tallo

Fuente: Taborda et al. (2017).

Los resultados de la investigación muestran que las características de las fibras vegetales dificultan la manipulación en altas concentraciones; si desea aumentar el porcentaje de fibra natural en su producto, utilice técnicas como la infusión o la transferencia de resina asistida por vacío en moldes cerrados (RTM) (Taborda et al., 2017).

2.4.3 Fibra de guadua. Vanegas et al. (2019) determinaron las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de guadua. En comparación con la cantidad de concreto mezclado, la proporción de fibra de guadua fue del uno por ciento (Vanegas et al., 2019). La guadua pertenece a la familia bambú, y su uso en la construcción se debe a su alta resistencia a la compresión, flexión y tracción (Martinez & Poveda, 2018). Debido a su alta resistencia al peso y rápido crecimiento, la guadua se ha utilizado en la construcción de edificios (Vanegas et al., 2019). Sus excelentes propiedades se deben a la gran cantidad de fibras y láminas en su estructura.

La extracción de fibras de guagua debe hacerse con extrema precaución para evitar cualquier daño a las fibras, ya que son susceptibles a otros componentes de la planta. Los siguientes son los procedimientos que se siguieron:

Proceso mecánico: Las fibras se extraen manualmente o con la ayuda de rocas y molinos, que permiten la extracción de fibras de plantas como la caña de azúcar, el algarrobo y el yute. Este proceso no es recomendable ya que las fibras se dañan más fácilmente y el proceso de separación no es el mejor (Vanegas et al., 2019).

Proceso biológico: Este proceso se lleva a cabo mediante la producción de enzimas por parte de diversos organismos (bacterias), cuyo objetivo es descomponer la lignina que se ha adherido a las fibras. Este proceso toma de 2 a 3 semanas, aunque si vives en un clima cálido y húmedo, puede tomar menos tiempo (Vanegas et al., 2019).

Proceso químico: El objetivo de este proceso es separar la celulosa, hemicelulosa y lignina de la materia prima vegetal. Estos métodos son efectivos para remover una gran porción de la lignina, pero degradan una gran cantidad de la celulosa, y como resultado, las fibras producidas no corresponden a la cantidad total de material fibroso en la planta (Vanegas et al., 2019).



Figura 2. Fibras de guadua

Fuente: Vanegas et al. (2019).

Vanegas et al. (2019), utilizaron un método de extracción manual, asegurando que las fibras no fueran dañadas por ningún agente químico o biológico. La figura 2 muestra las características físicas de las fibras de guadua (Vanegas et al., 2019). Las fibras se cortaron a una longitud de 3 cm, asegurando una mejor trabajabilidad y adherencia al resto de la mezcla. Sika (2017), descubrió que las fibras con un diámetro de 5 cm o menos brindan una mejor resistencia al trazado en elementos específicos (Sika, 2017). La fibra pasa por un proceso de hidratación de 12 horas antes de ser lavada y sometida a un proceso de secado de 48 horas, resultando en una importante pérdida de hidratación. La figura 3 muestra el proceso de inmunización con cal hidratada de las fibras de guadua (Vanegas et al., 2019).

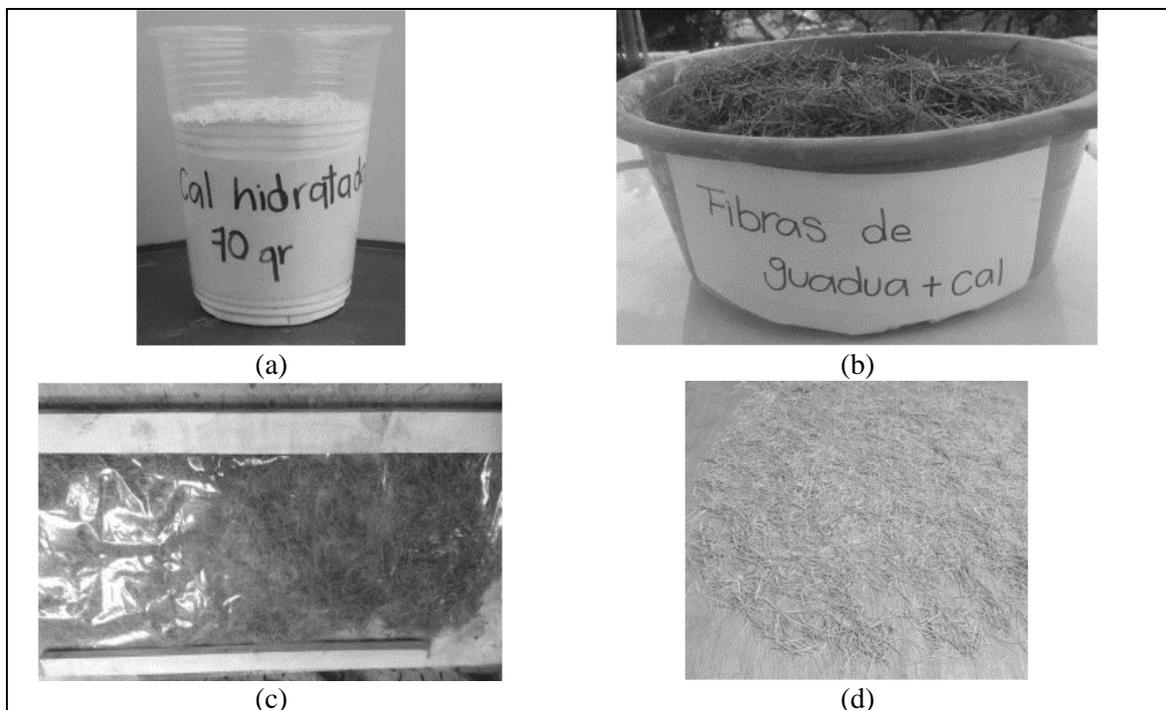


Figura 3. Proceso de inmunización con cal hidratada de las fibras de guadua (a) cal hidratada (b) fibras de guadua (c) (d) fibras con cal

Fuente: Vanegas et al. (2019).

En la investigación concluyen el tratamiento de la fibra una vez realizada la inmunización y hacen la mezcla, se debe tener en cuenta que los agregados estén a una temperatura entre 20-30°C en un espacio seco y sin humedad (Vanegas et al., 2019).

2.4.4 Fibra de fique. Saavedra-Joaqui y Ortega-Montes (2020) estudiaron el comportamiento mecánico (compresión, flexión) del concreto reforzado con fibra natural de Fique, este material es obtenido de la hoja de fucracea andina, es una planta nativa de la América tropical en especial de Colombia y Venezuela, lo que la hace una fibra asequible en nuestra región (Saavedra & Ortega, 2020).

Esta fibra natural de fique tiene excelentes características mecánicas, según estudios realizados por Gañan, P. y Mondragón, una resistencia a la tracción de 237MPa, un módulo de elasticidad de 8,01GPa y una deformación de 6,02% hasta la ruptura. En cuanto a la dosificación recomiendan que los porcentajes ideales de adición de fibra de fique se presentan por debajo del 0,3% respecto al agregado fino (Saavedra & Ortega, 2020).

La fibra de fique generalmente es de 60mm de longitud, 0,25mm de diámetro, 1,45g/cm³ de densidad, 7,52GPa de módulo de elasticidad y 0,19 la relación de Poisson. La figura 4 muestra las características físicas de las fibras de fique (Saavedra & Ortega, 2020).

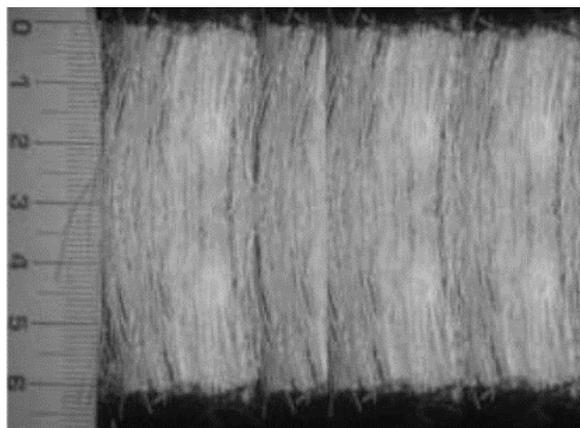


Figura 4. Fibras de fique

Fuente: Saavedra & Ortega (2020).

En el análisis realizado por Galvis (2013) mencionan las características químicas de la fibra de fique, compuesta por celulosa y algunas impurezas como ligninas y pigmentos. Las características químicas de la fibra de fique son: 2,60% de cenizas, 1,58% de fibras, 17,65% de pentosas, 62,70% de celulosas y 12% de lignina (Galvis, 2013).

2.4.5 Fibra de bagazo de caña de azúcar. En la investigación realizada por Osorio et al. (2007) se preparó concreto fibro-reforzado con fibras procedentes del bagazo de caña de azúcar. Las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la resistencia a compresión y la densidad del material. La investigación dio como resultado que el compuesto con las fibras retenidas por el tamiz 6, y con una adición entre el 0,5 y 2,5% de fibras en relación al peso total del agregado grueso, presentó una resistencia de 16,88 MPa, y una densidad de 141 y 336kg/m³ comparado con la de un concreto pesado de 2400 kg/m³ (Osorio et al., 2007).

Las características de las fibras de bagazo de caña son 26mm de longitud, 0,24mm de diámetro, 1,25 g/cm³ de gravedad específica, 78,5% de absorción de humedad, 12,1% de contenido normal de humedad. Las fibras tienen una resistencia última de 196,4MPa, módulo de elasticidad de 16,9GPa y resistencia a la adherencia de 0,84Pa (Osorio et al., 2007).

La alta alcalinidad de la pasta de cemento Pórtland afecta las fibras, provocando su degradación con el tiempo, como es el caso de la celulosa y las fibras de celulosa natural. La fibra natural sufre degradación como consecuencia del ataque químico que produce el agua alcalinizada que contiene elementos alcalinos que se encuentran en el cemento. (Osorio et al., 2007) (Gram, 1988).

La mineralización mejora la adherencia entre la fibra y la matriz, sin duda. Con el paso del tiempo, la fibra se vuelve más rígida y frágil, haciéndola más resistente. La incorporación de fibras reduce inicialmente la alta tenacidad del composite. Asimismo, la resistencia a la flexión y el módulo elástico también aumentan en comparación (Osorio et al., 2007; Gram, 1988).

- **Proceso de obtención de fibras de bagazo de caña.**

El bagazo seleccionado tenía un contenido de humedad de 35 por ciento en base seca. Las fibras se lavaron para ser utilizadas como fibro-refuerzo para eliminar la presencia de carbohidrato libre, y luego se lavó el bagazo para evitar problemas con hongos y plagas (Juárez & Rodríguez, 2004).



Figura 5. (a) Bagazo de caña de azúcar antes del proceso de obtención de fibras (b) fibras procesadas de bagazo de caña

Fuente: 123rf. (2022).

- **Tratamiento aplicado a las partículas.**

Para proteger la alcalinidad de la pasta de cemento, las fibras de bagazo se sumergieron en una solución de calcio hidroxilado al 5% durante 24 horas a una temperatura de 24°C en un ambiente de laboratorio. Cuando se compara con probetas patrones con densidades promedio de 2400 kg/m³, el material compuesto por fibras de bagazo con porcentajes de fibra que van desde 0.5-2.5% del agregado grueso total permite reducciones en la densidad del material que van desde 141-336 kg/m³, un factor importante a considerar cuando se considera el peso muerto en las estructuras (Osorio et al., 2007).

Los hallazgos muestran que la resistencia a la compresión del hormigón armado con fibras de bagazo de caña es inversamente proporcional a la cantidad de fibra añadida y al diámetro de las partículas, aspecto que concuerda con lo encontrado en otras fibras como coco y bambú, entre otros (Osorio et al., 2007).

2.4.6 Fibra de raquis y vástago de plátano. Elbehiry et al. (2020), las fibras de Raquis de plátano son fibras lignocelulósicas del líber obtenidas del pseudo tallo de la planta de plátano (*Musa sepientum*). Esta fibra es adecuada para ser utilizada como material de refuerzo ya que puede aumentar significativamente la capacidad de resistir el agrietamiento y el desconchado en las vigas de concreto ya que posee propiedades mecánicas relativamente apropiadas (Elbehiry et al., 2020).

Para los ensayos realizados utilizaron las fibras de Raquis de plátano con las siguientes **características:** Fuerza de ruptura media de 465g, Elongación media de rotura 1,8% y diámetro de la fibra 0,1243-0,1663mm. La resistencia a la tracción de una sola fibra se calculó como 267,1MPa (Elbehiry et al., 2020).

- **Propiedades químicas de las fibras de Raquis de plátano.**

Tabla 3. Análisis elemental de las fibras de raquis de plátano

	Celulosas	Hemicelulosas	Lignina	Pectina
Grand Naine	48,2	15,9	19,2	3,5
Pooovan	57,6	12,7	16,7	2,8
Nendran	59,2	12,1	14,4	2,7
Monthan	48,6	15,8	21,6	4,1

Fuente: Elbehiry et al. (2020).

En este estudio, determinaron la cantidad de composición química de las fibras seleccionadas, tales como, Grand Naine, Poovan, Nendran y Monthan. Las fibras de Raquis de plátano se componen generalmente de materiales lignocelulosas, que contienen celulosas, hemicelulosas, lignina y pectina. La celulosa tiene el papel más importante en la selección de la calidad de las fibras (Elbehiry et al., 2020). La composición química de las fibras de Raquis de plátano se describe en la tabla 3.

- **Propiedades físicas y mecánicas.**

La prueba de tracción de una sola fibra se llevó a cabo utilizando un Probador Instron Universal (Modelo 3345) basado en Preethi y Balakrishna. La carga de rotura y la extensión de rotura se registraron en el punto de rotura. El diámetro de la fibra se calculó utilizando el (medidor ocular) (Elbehiry et al., 2020). Los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Características de los diferentes tipos de fibras estudiados

Tipo de fibras	Diámetro (mm)	Fuerza (N)	Resistencia a la atracción (MPa)	Cepa (%)
Grand Naine	0,225	0,98	24,6	1,02
Poovan	0,142	1,83	115,5	1,23
Nendran	0,119	3,21	288,7	1,67
Monthan	0,170	1,14	50,2	1,34

Fuente: Elbehiry et al. (2020).

- **Procesamiento de la fibra.**

Para procesar las fibras de Raquis de plátano, se extraen de los troncos de los árboles de plátano, luego se introducen rodajas longitudinales preparadas con los tallos a una máquina extractora de fibras. El descortezador consta de dos rodillos de alimentación y un batidor. El batidor recibe las rodajas a medida que pasan entre el raspador y los rodillos exprimidores.

Luego, la pulpa se aliana y las fibras se extraen y se secan al aire (Elbehiry et al., 2020).

Las fibras de Raquis de plátano han sido tratadas con NaOH antes de usarlas como barras. Esto se atribuye a que el hormigón puede representarse como álcali en el que el valor de pH es superior a 7 y la fibra de plátano es material ácido inferior a 7 (Elbehiry et al., 2020). La figura 6 muestra las fibras de Raquis de plátano en forma de hebras y como barras de fibra.

En consecuencia, con los resultados demostrados sobre las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las fibras de Raquis de plátano, se considera un buen refuerzo para el concreto.

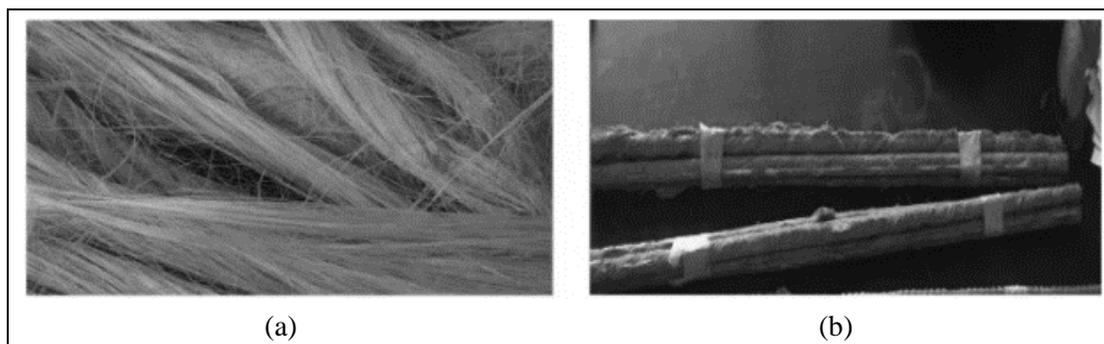


Figura 6. (a) Fibras de Raquis de plátano. (b) barras de fibras de plátano

Fuente: Elbehiry et al. (2020).

2.5 Marco Legal

Para la elaboración del proyecto se requiere de la revisión de:

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.
- Normas Técnicas Colombianas, NTC.
- Norma UNE-EN 1170-5: 1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Medida de la resistencia a flexión, método

denominado ensayo completo a flexión.

- Norma UNE-EN 196-1: 1996. Métodos de ensayos de cementos.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El proyecto es investigativo de tipo exploratorio. La investigación se centra en el análisis del comportamiento mecánico de concretos fibro-reforzados y su utilización en placas simplemente apoyadas comparado con placas desarrolladas con concreto convencional. Con la presente investigación se quiere dar a conocer un primer acercamiento al estudio de los concretos fibro-reforzados que sean producidos con fibras vegetales de Norte de Santander, Colombia, permitiendo que futuras investigaciones puedan dirigirse a un análisis de la temática tratada. Con este proyecto, se pretende dar a conocer cuáles son los patrones y tendencias que sigue el comportamiento mecánico de los concretos fibro-reforzados, al utilizar materiales procesados en la región, y así, comparar con las mezclas de concreto desarrolladas en otras zonas del país o del mundo, e identificar si existe o no coherencia o relación alguna entre ellos.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población. Concreto fibro-reforzado.

3.2.2 Muestra. Concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales de fique, plátano, caña de azúcar y guadua.

3.3 Fases y Actividades Específicas del Proyecto

En el presente apartado se hace una descripción detallada de las actividades que se desarrollarán para la realización de la investigación propuesta. Las actividades están acordes a los tres objetivos específicos para dar cumplimiento al objetivo general planteado y así solucionar la formulación del problema descrita en el primer capítulo del presente documento.

3.3.1 Actividad 1: Consulta y redacción del estado del arte. Se realiza una revisión bibliográfica en el cual se consulta el estado del arte sobre las propiedades físicas y mecánicas de concretos desarrollados con fibras de vidrio y fibras vegetales para reforzar mezclas de concreto convencional. Dentro de la consulta del estado del arte se identifican las tendencias arquitectónicas y de construcción relacionadas con el uso del concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales.

3.3.2 Actividad 2: Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de las materias primas utilizadas para manufactura mezclas de concreto fibro-reforzado. A partir de lo consultado en el estado del arte se determina las propiedades físicas, mecánicas de los materiales que son utilizados para desarrollar mezclas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y con fibras provenientes de residuos agroindustriales. Además, se revisará información cualitativa de los materiales a fin de identificar su procedencia, la forma en que se presentan y los tratamientos que se le deben realizar para pasar de un estado natural al producto que finalmente se utilizarán.

Por otra parte, también se realiza una revisión de las propiedades de los concretos fibro-reforzados fabricados por diversos autores a nivel mundial, identificando los materiales que utilizaron y la procedencia, las dosificaciones que utilizaron en las mezclas, la metodología de fabricación y de ensayo, y los resultados obtenidos.

3.3.3 Actividad 3: Selección de materias primas y determinación del proceso de fabricación de concreto fibro-reforzado. Teniendo en cuenta la información consultada en el estado del arte, se definen los materiales con los cuales se desarrollarán las mezclas de concreto fibro-reforzado. Dentro de las materias primas a considerar, se selecciona tipo de cemento, tipo

de arena, tipo de plastificante, el tipo de fibras de vidrio, así como los subproductos industriales y agroindustriales que pueden ser precursores de fibras para reforzar concreto.

Se define un procedimiento metodológico de tratamiento que se le debe realizar a cada una de las materias primas con el fin de optimizar el material para alcanzar las mejores condiciones de uso. Dicho procedimiento es definido para cada uno de los materiales según la información registrada en el estado del arte, es decir, según los procesos realizados por diferentes autores a nivel mundial.

Dentro de los tratamientos que se le pueden realizar a las materias primas (arena y fibras) están: los tratamientos físicos, como cambio del tamaño y la forma de los materiales; los tratamientos químicos, en caso de que sea necesario estabilizar o modificar los compuestos químicos que presentan los materiales y que de cierta forma puedan afectar al concreto; además, de los tratamientos térmicos, en caso de que sea necesario eliminar compuestos o sustancias que sean perjudiciales para las propiedades físicas y/o mecánicas del concreto a fabricar.

Además, se define teóricamente las dosificaciones de mezclas para fabricación de concreto fibro-reforzado según los estudios realizados por los diversos autores a nivel mundial.

3.3.4 Actividad 4: Estudio preliminar de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio Alcalí-resistente. Se compararán experimentalmente las dosificaciones presentadas en el estado del arte por diferentes autores en Colombia y a nivel mundial. Lo cual se hará con el fin de fabricar un concreto reforzado con fibras de vidrio que contenga materiales colombianos, y que a su vez cumplan con los requerimientos y estándares mundiales.

Las mezclas de concreto que serán realizadas tendrán los siguientes parámetros: Relación agua/cemento (W/C) de 0.33; relación arena/cemento (S/C) de 0.84; la cantidad de plastificante variará entre 0.5 y 2% hasta obtener la manejabilidad esperada; se utilizará áridos con tamaño que pase la malla 20 y se retenga en la malla 30, es decir, entre 0.6mm y 0.9mm; el cemento a utilizar tendrá una resistencia normal y se aumentará resistencia con resina denominada Forton en una relación de Forton/cemento de 0.1; y se adicionará un 3% en peso del cemento de fibras de vidrio Alcalí-resistentes.

Se evaluará la trabajabilidad, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión del concreto fibro-reforzado a fin de elegir la mezcla más óptima. Además, se determinará la resistencia mecánica a la flexión y compresión de probetas con dimensiones de 4x4x16cm. La prueba de flexión se realiza sobre tres probetas prismáticas con un único punto de carga en el centro de la luz; se registra la carga máxima requerida para fracturar la probeta; y los dos prismas resultantes de cada probeta se utilizan en el ensayo de compresión. Las ecuaciones utilizadas se muestran en la tabla 5 son las ecuaciones necesarias para la determinación de las propiedades mecánicas de las muestras de concreto fabricadas.

Tabla 5. Ecuaciones para determinación de propiedades mecánicas

Ecuaciones para determinación de propiedades mecánicas		
Resistencia a la compresión. [MPa, N/mm ²]	$f'_c = \frac{F_c}{bd}$	$F_c \rightarrow$ Carga máxima en compresión [N]. $b \rightarrow$ Base de la probeta [mm]. $d \rightarrow$ Altura de la probeta [mm].
Resistencia a la flexión o módulo de rotura. [MPa, N/mm ²]	$F_{cr} = 1.5 \frac{F_f L}{bd^2}$	$F_f \rightarrow$ Carga máxima en flexión [N] $L \rightarrow$ Longitud entre apoyos [mm].

Ecuaciones para determinación de propiedades mecánicas

b → Base de la probeta [mm].

d → Altura de la probeta [mm].

F_f → Carga máxima en flexión [N]

L → Longitud entre apoyos [mm].

Módulo de elasticidad.
[MPa, N/mm²]

$$E_c = \frac{F_f L^3}{4\Delta db^3}$$

Δ → Deformación en flexión **F_f** [mm].

b → Base de la probeta [mm].

d → Altura de la probeta [mm].

Fuente: Lalinde (2020).

3.3.5 Actividad 5: Análisis preliminar de adición de fibras vegetales en mezclas de concreto fibro-reforzado. Con la mezcla de concreto fibro-reforzado definida en la actividad anterior, se procede a reemplazar la fibra de vidrio por fibras de procedencia natural, es decir, por residuos o desechos que son subproductos industriales y/o agroindustriales. La variación de la cantidad de fibras vegetales se realizará entre 0 y 3% del peso de cemento. A dichas mezclas se les revisará la trabajabilidad de la mezcla y la resistencia a la compresión y a la flexión. Los ensayos de trabajabilidad y de resistencia a la compresión y a la flexión fueron descritos en la actividad anterior.

3.3.6 Actividad 6: Evaluación del concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y con fibras vegetales desarrollado. La cantidad de muestras a realizar serán las necesarias para tener un tamaño estadístico adecuado, lo cual será determinado por el diseño de experimentos que se describe a continuación:

- **Elección de los factores.**

Factor: Para el experimento el factor será el porcentaje de fibras, ya sean fibras de vidrio o fibras procedentes de subproductos industriales y agroindustriales, con el cual se desarrollará el concreto fibro-reforzado.

Tratamientos o Niveles: Se realizará variaciones de la cantidad de fibras dentro de la mezcla, incluyendo porcentajes de fibras entre el 0 y el 3% en peso de cemento.

- **Tipo de diseño: Con un solo factor.**

Primero se debe determinar el tamaño de la muestra, para lo cual, se deben realizar unas pruebas iniciales o buscar algún tipo de base de datos de estudios anteriores para poder determinar T_i (diferencia entre media total y media de cada tratamiento) y CME (Cuadrado medio debido al error). Con estos datos se asume n , sabiendo que son 5 tratamientos y se calcula $\sum_{i=1}^a T_i^2$ utilizando R con la siguiente función para calcular la potencia para un $\alpha = 0.01$.

- **Realización de los ensayos.**

Para la Evaluación del concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y con fibras procedentes de subproductos industriales y agroindustriales, se realizarán prismas de 4x4x16cm y se ensayarán en una prensa hidráulica de acuerdo con el procedimiento establecido por la norma UNE-EN 196-1:1996. Además, se realizarán placas de 2x15x40cm y serán ensayadas en una prensa hidráulica a fin de registrar la curva carga-flecha y el módulo de rotura (MOR), punto en el cual se genera la fractura de la probeta, de acuerdo con a la norma UNE-EN 1170-5:1998. (Lalinde, 2020).

- **Análisis estadístico.**

Se realiza estadística descriptiva analizando la varianza porque tiene más de dos tratamientos.

Se realizan las comprobaciones para garantizar que el experimento y procedimiento no tienen errores que puedan anular el estudio.

3.3.7 Actividad 7: Diseño de placas simplemente apoyadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales, variando la longitud entre ejes de apoyos partiendo de los esfuerzos por flexión y cortante. Los concretos fibro-reforzados producidos y estudiados serán evaluados en diferentes placas simplemente apoyadas con el fin de comparar el funcionamiento del concreto fibro-reforzado con el del concreto convencional reforzado con acero.

4. Desarrollo

En el presente capítulo se describen los tres procesos que se desarrollaron para ejecutar cada uno de los objetivos específicos planteados y así poder dar respuesta a la formulación del problema.

4.1 Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto Convencional Simple y del Concreto Fibro-Reforzado con Fibras de Vidrio y fibras Vegetales, por Medio de Información Obtenida a través de Fuentes de Información Secundaria

A través de fuentes de información secundaria respaldada por ensayos de laboratorio de realización propia se determinó las propiedades mecánicas y físicas de los diferentes tipos de concreto que son foco de estudio en la presente investigación. Los ensayos de laboratorio fueron desarrollados para una mezcla de concreto típica. Dichas mezclas de concreto fueron modificadas por la adición de los diferentes tipos de fibras seleccionadas; fibras de vidrio (GRC), fibras de fique (FRC-1), fibras de vástago de plátano (FRC-2), fibras de bagazo de caña de azúcar (FRC-3) y fibras de bambú o guadua (FRC-4). Los componentes de las muestras de concreto son: cemento, agregado fino; arena, aditivos; plastificante y resina Forton VF-774, agua y fibras.

- **Cemento.**

El material cementante utilizado para desarrollar las mezclas de concreto fibro-reforzado, fue cemento gris de uso general, el cual, se puede usar para la fabricación de morteros, lechadas y concretos utilizados para la construcción en general, y que, además, cumple con la Norma Técnica Colombiana NTC 121 (Tipo UG).

La figura 7 muestra las características y ficha técnica del cemento utilizado para rollar las mezclas de concreto fibro-reforzado.

PARÁMETROS FÍSICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO UG
Finura	Blaine, min. (cm ² /gr)	NTC 33	A
	Retenido Tamiz 45 μm (%)	NTC 294	A
Cambio de longitud por autoclave, expansión, máx. (%)		NTC 107	0.80
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat ^a	No menos de, minutos	NTC 118	45
	No mas de, minutos	NTC 118	420
Contenido de Aire en Volumen de mortero, máx. (%)		NTC 224	12
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx.		NTC 4927	0.020
RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN (MPa)			
3 días		NTC 220	8.0
7 días		NTC 220	15.0
28 días		NTC 220	24.0

A: Los resultados de estos ensayos deben ser informados en todos los reportes que sean solicitados.

B: El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTC 118.

Figura 7. Características y ficha técnica del cemento utilizado

Fuente: Argos. (s,f).

- **Forton® VF-774.**

El Forton® VF-774 es una dispersión de copolímero totalmente acrílico (51% sólidos) especialmente preparada para el proceso de producción de concreto reforzado con fibra de vidrio (GRC). VF-774 es estable ante los rayos ultravioleta. Además, su fórmula es estable y duradera ante el elevado pH del cemento de Portland en el que se basa el material compuesto de GRC. Las propiedades líquidas del material son: sólidos por peso 51%; viscosidad de 100-300cps; pH de 8-10; densidad a 20°C de 1055kg/m³; Tg de 11°C; tamaño de las partículas de 0.13-0.25mm y gravilla de 0-50ppm. La figura 8 muestra las características y ficha técnica del Forton® VF-774.

Dentro de las ventajas de utilizar el Forton® VF-774 está: - Mejor manejabilidad de la mezcla en bajas proporciones de agua/cemento, que aumentan aún más la fortaleza de la matriz de cemento endurecida; - Fácil rociado en superficies verticales sin que se desplace la capa superficial; - Dispersión total de pigmentos de óxido de hierro para consistencia de color de un lote a otro; - Estabilidad ante los rayos UV del polímero Forton® que permite que los acabados arquitectónicos mantengan su color de fabrica; - Capas superficiales endurecidas para mejor uniformidad ante el tratamiento por chorro de arena; - Producto curado más rígido y denso, lo cual reduce la absorción de humedad absoluta y la permeabilidad al vapor al tiempo que disminuye significativamente la velocidad de absorción en función del tiempo; - Eliminación de grietas y cuarteamiento en la capa superficial gracias a las partículas de polímero entre los granos de arena y cemento.

	Rango Típico de Propiedades de Premezclado	Rango Típico de Propiedades de Rociado
Densidad (Curado)	110 - 130 pcf	120 - 140 pcf
Resistencia a la Compresión (Lateral)	6,000 - 9,000 psi	7,000 - 12,000 psi
Flexión:		
Límite Elástico(FY)	700 - 1,200 psi	900 - 1,500 psi
Resistencia a la Rotura (FU)	1,450 - 2,000 psi	2,000 - 3,500 psi
Módulo de elasticidad	1.0x10 ⁶ - 2.9x10 ⁶ psi	1.0x10 ⁶ - 3.0x10 ⁶ psi
Tracción Directa:(ASTM C 1230) Límite elastico (TY)	600 - 900 psi	700 - 1,000 psi
Resistencia a la Rotura(TU)	600 - 1,000 psi	1,000 - 1,600 psi
Deformación a la Rotura	0.1 - 0.2 %	0.6 - 1.2 %
Resistencia al corte:		
Interlaminar	N/A	400 - 800 psi
En el Plano	600 - 1,000 psi	1,000 - 1,600 psi
Coefficiente de dilatación térmica	Aprox. 12x10 ⁻⁶ in./in./deg. F	Aprox. 12x10 ⁻⁶ in./in./deg. F
Conductividad Térmica	3.25 - 7.0 Btu/in./hr/ft ² /deg. F	3.25 - 7.0 Btu/in./hr/ft ² /deg. F
Clasificación Resistencia al Fuego(ASTM E-84)	Clase A/Clase 1	Clase A/Clase 1

Figura 8. Características y ficha técnica del Forton® VF-774

Fuente: Forton® VF-774.

- **Superplastificante SikaPlast® MO.**

SikaPlast® MO es un aditivo líquido, compuesto por resinas sintéticas y polímeros de última generación. Es un reductor de agua que puede emplearse como plastificante y superplastificante dependiendo la dosis empleada. Adicionándolo a una mezcla de consistencia normal se consigue aumentar la fluidez del concreto o mortero facilitando su colocación y su bombeabilidad en elementos esbeltos densamente armados y en la construcción de estructuras civiles prefabricadas. SikaPlast® MO cumple con la norma NTC 1299 como un aditivo tipo A o como un aditivo tipo F, dependiendo la dosis usada. La figura 9 muestra las características y ficha técnica del Superplastificante SikaPlast® MO.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	Garrafa de 5 Kg, Cuñete de 20 Kg, Tambor de 230 Kg y Granel
Apariencia / Color	Líquido café, olor característico
Vida en el recipiente	Un (1) año desde la fecha de su producción.
Condiciones de Almacenamiento	Almacene en sitio fresco y bajo techo a temperaturas entre 4°C y 32°C y en su envase original bien cerrado. Para su transporte tómense las precauciones normales con productos químicos.
Densidad	1,07 kg/l ± 0,02 kg/l
pH	Min 4.0
Dosificación Recomendada	Entre el 0.5% al 2.0% del peso del cementante (de 250 gr a 1000 gr por bulto de cemento de 50 Kg). La dosis óptima debe determinarse mediante ensayos preliminares. Dosificaciones mayores pueden emplearse luego de hacer las pruebas respectivas y no encontrar efectos no deseados en el concreto.

Figura 9. Características y ficha técnica del Superplastificante SikaPlast® MO

Fuente: SikaPlast® MO.

- **Agua.**

Se considera que el agua no tiene efecto significativo en las características de fraguado y de resistencia del concreto si al realizar los ensayos específicos en la NTC 118 (ASTM C 191) y

NTC 220 (ASTM C 109). La presencia de cloruros en el concreto, provenientes del agua de mezcla o de otras fuentes, puede causar problemas potenciales con algunos cementos o cuando se tienen metales embebidos en el concreto. El contenido total de cloruros del agua no debe exceder de 500 mg/l para concreto preesforzado, o de 1000 mg/l para obras de concreto reforzado en ambientes húmedos o en contacto con aluminio embebido, metales diferentes o con formaletas metálicas galvanizadas.

- **Arena de cuarzo.**

La arena de cuarzo tiene muchos usos dependiendo del tamaño de las partículas y su granulometría. Los tamaños de partículas más grandes son más adecuados para realizar suavizado destinado a nivelar soleras cementosas. También son adecuados para fabricar soleras epoxídicas. La arena de cuarzo de 0 a 5 mm es una arena seleccionada, de gran pureza y de granulometría controlada cuya aplicación principal es para la confección en obra de morteros y pavimentos de grandes resistencias mecánicas. Su contenido en humedad es variable. La figura 10 muestra las características y ficha técnica de la arena de cuarzo.

<i>Parámetro</i>	<i>Especificación</i>
Consistencia	Sólido
Composición	Mezcla de arenas de granulometría definido
Fina	0,07-0,3 mm
Mediana	0,3-0,6 mm
Gruesa	0,6-1,2 mm
Densidad absoluta	2,5-2,65 kg/L

Los datos incluidos fueron obtenidos en condiciones de laboratorio.

Figura 10. Características y ficha técnica de la arena de cuarzo

Fuente: SumiGlas. (s,f).

4.1.1 Dosificación de las mezclas de concreto fibro-reforzado. Teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por Cem-FIL® para la producción de GRC mencionadas en el presente documento, se realiza la dosificación de las mezclas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio AR y fibras de origen vegetal.

Las cantidades de los materiales se midieron con respecto a la cantidad de cemento que se le adicionó a la mezcla. La tabla 6 muestra la relación de los materiales con respecto a la cantidad de cemento, es decir, la relación arena/cemento es 0.84, agua/cemento es 0.33, el plastificante representa el 2% de la cantidad de cemento, y el aditivo Forton VF-774 representa el 8% de la cantidad de cemento.

Tabla 6. Dosificación de materiales para concreto

Materiales	Cantidades. Por bulto de cemento [g]	Relación
Cemento	42500	100%
Arena de cuarzo	35700	84%
Agua	14025	33%
Superplastificante SikaPlast® MO	850	2%
Forton® VF-774	3188	8%

La cantidad de fibras para el concreto fibro-reforzado depende directamente de la cantidad en peso de toda la mezcla según la cantidad de volumen que ocupe. Ya que todas las fibras no tienen la misma densidad, se debe conocer la densidad de cada uno de los tipos de fibras utilizados para realizar una relación de volumen con las fibras de vidrio, siendo 3% la cantidad de fibras máxima que se puede incluir de fibras de vidrio en la mezcla de GRC (según Cem-FIL®).

Tabla 7. Cálculo de la densidad de las fibras vegetales

Nombre	Tipo de fibra	Densidad. [g/cm³]	Relación
GRC	Vidrio	2.68	100%
FRC-1	Fique	0.66	25%
FRC-2	Plátano	0.46	17%
FRC-3	Caña de azúcar	0.36	13%
FRC-4	Guadua	0.51	19%

Al realizar ensayos de densidad aparente de las fibras (tabla 7), se observa que todas las fibras de origen vegetal tienen una densidad inferior a la de las fibras de vidrio, por lo que utilizar una misma cantidad en peso de fibras, podría ocasionar un volumen muy alto de fibras, lo que haría que las muestras no pudieran ser comparables.

Por lo descrito anteriormente, se procede a utilizar pesos diferentes de fibras vegetales a fin de que las fibras ocupen el mismo volumen dentro de las mezclas de concreto fibro-reforzado. Las mezclas de GRC se realizaron con un 3% de fibras de vidrio, mientras que las mezclas de FRC se varió la cantidad de fibras 1%, 2% y 3%, con el propósito de identificar cual de todas presenta mejores resultados y se compara con mezclas de GRC. La tabla 8 muestra las cantidades de fibras de vidrio y fibras vegetales utilizadas para el desarrollo de concreto fibro-reforzado. (Las cantidades mencionada en la tabla son equivalente para un bulto de cemento de 42.5kg).

Tabla 8. Cantidad de fibras utilizada para cada mezcla ensayada

Nombre	Tipo de fibra	1% [g]	2% [g]	3% [g]
GRC	Vidrio			2887.88
FRC-1	Fique	238.69	477.37	716.06
FRC-2	Plátano	164.57	329.15	493.72
FRC-3	Caña de azúcar	128.45	256.90	385.35
FRC-4	Guadua	181.93	363.86	545.79

4.1.2 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas (densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión o módulo de rotura y el módulo de elasticidad) de los concretos reforzados con fibras de vidrio y fibras vegetales. A continuación, se presenta el análisis de las propiedades físicas y mecánicas (densidad, resistencia a la compresión, módulo de rotura o resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad) realizado a las probetas de concreto fibro-reforzado fabricado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Las muestras fueron prismas de 4x4x16cm, que se ensayaron a flexión y compresión, y placas de 2x15x40cm que se ensayaron únicamente a flexión.

- **Procedimiento de realización de ensayos de compresión y flexión.**

Se estudió la resistencia a la compresión no confinada (R_c) de concretos. Se realizaron cubos de 4cm de lado (ver figura 11a), los cuales se ensayaron en una prensa de compresión hidráulica. Se midió la carga máxima que soportaba y se determinó la presión dividiendo la carga entre el área de contacto. Se determinó el módulo de rotura a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (E_c). Se realizaron prismas de 4x4x16cm (ver figura 11b) y placas de 2x15x40cm (ver figura 11c), las cuales se ensayaron a flexión en una maquina universal de ensayos, con el fin de dibujar un diagrama de en dos direcciones de fuerza vs deformación. Por último, se midió la densidad de las muestras, dividiendo el peso entre el volumen de las probetas ensayadas.

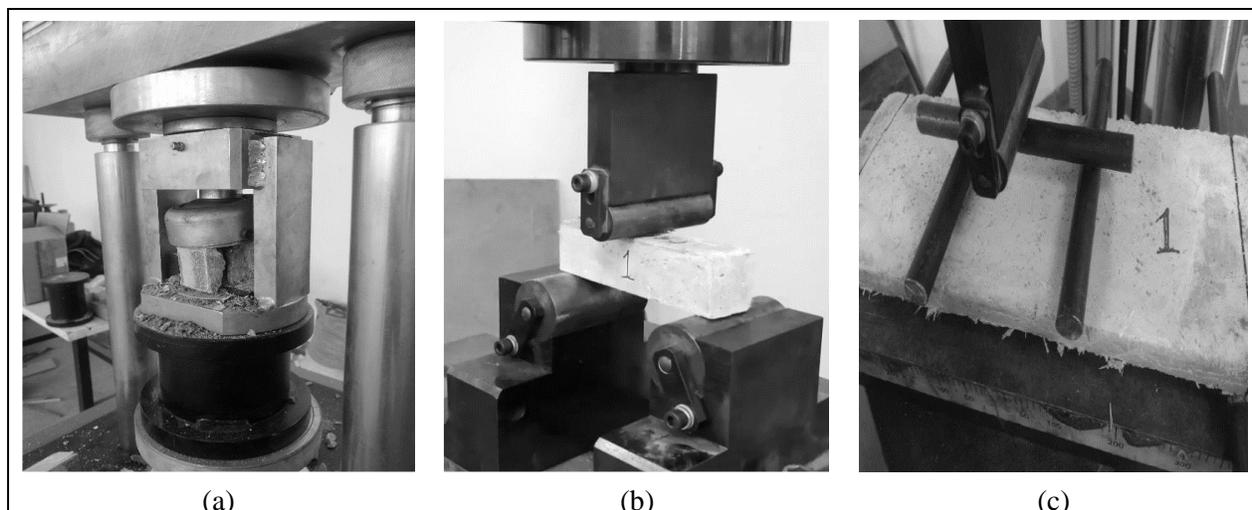


Figura 11. (a) Ensayo de compresión en cubos de 4x4x4cm. (b) Ensayo de flexión en primas de 4x4x16cm. (c) Ensayo de flexión en placas de 2x15x40cm

El ensayo de flexión y compresión se realizan con el fin de determinar las propiedades mecánicas que tienen las mezclas de concreto desarrolladas. Dichos ensayos son necesarios para identificar la resistencia a la compresión, el módulo de rotura a la flexión y el módulo de elasticidad de las muestras realizadas.

- **Realización de gráficas y curvas de carga vs deformación para cada ensayo realizado de concreto.**

Se realizaron las gráficas de carga vs deformación para cada uno de los ensayos realizados. Se realizaron alrededor de 12 réplicas para cada uno de las mezclas de concretos definidas a fin de mostrar la dispersión de los datos obtenidos. La cantidad de réplicas fueron las necesarias para determinar que los resultados son veraces y que no están ocurriendo alteraciones por agentes externos que pudieron no haberse tenido en cuenta. Es por ello, que se identifica que los resultados que se destacan a continuación no presentan errores significativos que pudiesen anular los ensayos realizados.

4.1.3 Resultados de ensayos de laboratorio y presentación de propiedades físico-mecánicas de concreto convencional simple y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. A continuación, se presentan los resultados para cada uno de los tipos de concretos que son foco de estudio de la presente investigación.

- **Muestras de concreto convencional simple sin fibras de refuerzo para punto de comparación.**

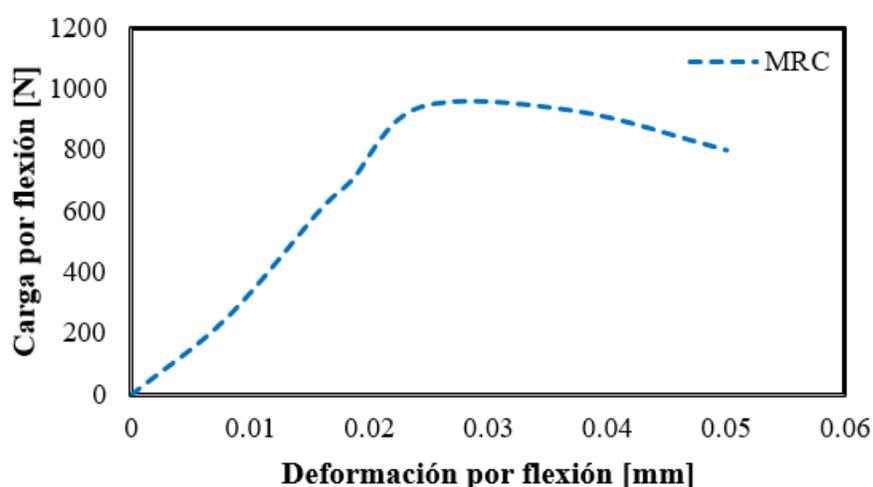


Figura 12. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de MRC (concreto convencional simple sin fibras de refuerzo)

El propósito principal del presente proyecto es desarrollar placas simplemente apoyadas con mezclas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Sin embargo, se hace necesario comparar los resultados con una muestra que no esté fibro-reforzada. Es por ello, que la figura 12 muestra un gráfico con la curva de tendencia de carga vs flecha para muestra denominada MRC (concreto convencional simple sin fibras de refuerzo). Dentro de los resultados que más se destaca, se tiene: carga máxima de rotura a la flexión de 941 N, ya que las muestras tienen una sección de 40x40mm (área de 1600mm²), entonces el módulo de rotura del concreto

sin fibras es de $F_{cr} = 3.53\text{MPa}$. La resistencia a la compresión de la muestra MRC es

$f'_c = 32.4\text{MPa}$ y módulo de elasticidad de $E_c = 15.49\text{GPa}$.

- **Muestras de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio tipo AR.**

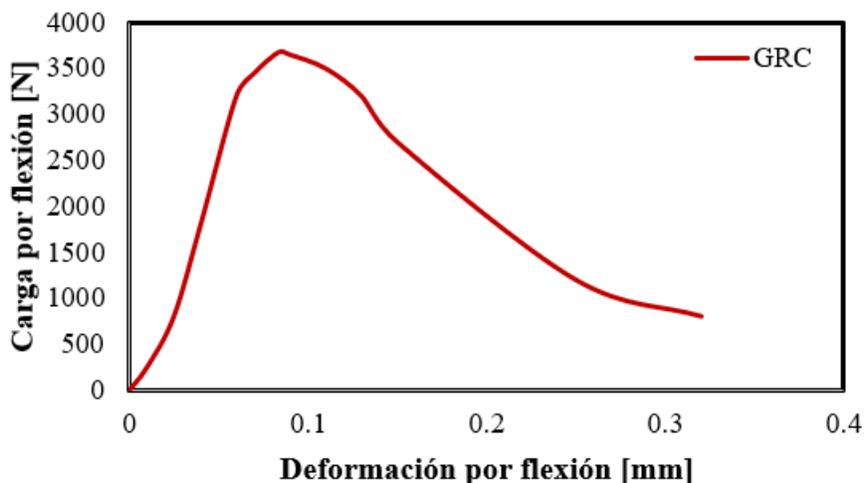


Figura 13. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de GRC (concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio)

La figura 13 muestra un gráfico con la curva de tendencia de carga vs flecha para muestra denominada GRC (concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio). Dentro de los resultados que más se destaca, se tiene: carga máxima de rotura a la flexión de 3677 N, ya que las muestras tienen una sección de 40x40mm (área de 1600mm²), entonces el módulo de rotura del concreto sin fibras es de $F_{cr} = 13.79\text{MPa}$. La resistencia a la compresión de la muestra GRC se determinó como $f'_c = 28.5\text{MPa}$ y módulo de elasticidad de $E_c = 17.59\text{GPa}$.

- **Muestras de concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de fique.**

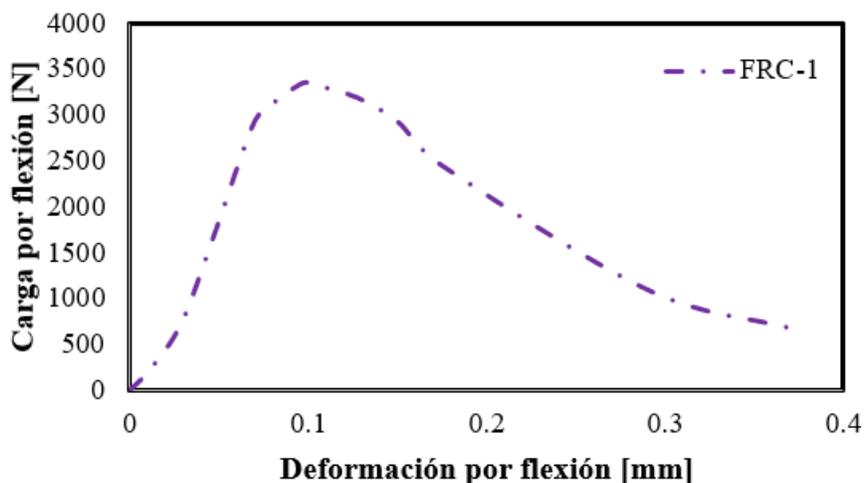


Figura 14. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-1 (concreto fibro-reforzado con fibras de fique)

La figura 14 muestra un gráfico con la curva de tendencia de carga vs flecha para muestra denominada FRC-1 (concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de fique). Dentro de los resultados que más se destaca, se tiene: carga máxima de rotura a la flexión de 3355 N, ya que las muestras tienen una sección de 40x40mm (área de 1600mm²), entonces el módulo de rotura del concreto sin fibras es de $F_{cr} = 12.58\text{MPa}$. La resistencia a la compresión de la muestra FRC-1 se determinó como $f'_c = 26.2\text{MPa}$ y módulo de elasticidad de $E_c = 13.80\text{GPa}$.

- **Muestras de concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de vástago de plátano.**

La figura 15 muestra un gráfico con la curva de tendencia de carga vs flecha para muestra denominada FRC-2 (concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de vástago de plátano). Dentro de los resultados que más se destaca, se tiene: carga máxima de rotura a la flexión de 1891 N, ya que las muestras tienen una sección de 40x40mm (área de 1600mm²), entonces el módulo de

rotura del concreto sin fibras es de $F_{cr} = 7.09\text{MPa}$. La resistencia a la compresión de la muestra

FRC-2 se determinó como $f'_c = 24.8\text{MPa}$ y módulo de elasticidad de $E_c = 5.68\text{GPa}$.

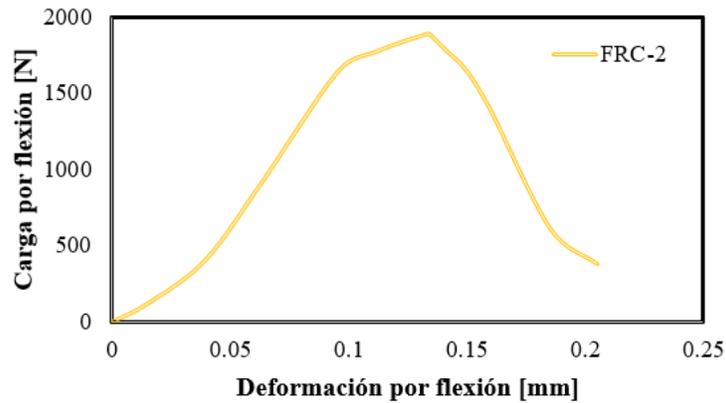


Figura 15. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-2 (concreto fibro-reforzado con fibras de vástago de plátano)

- **Muestras de concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de bagazo de caña de azúcar.**

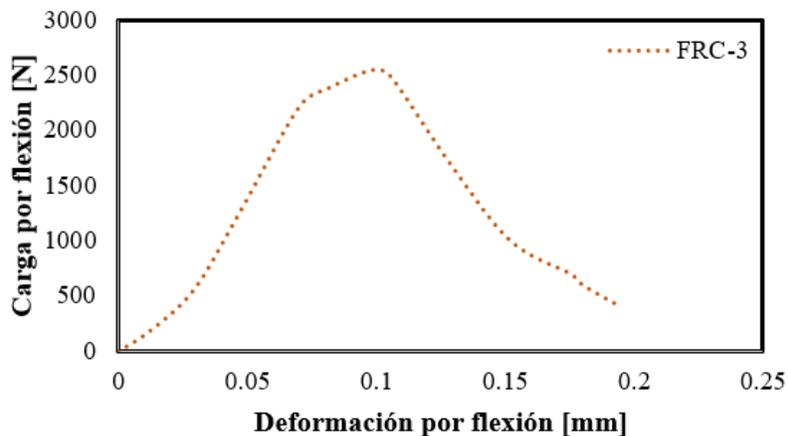


Figura 16. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-3 (concreto fibro-reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar)

La figura 16 muestra un gráfico con la curva de tendencia de carga vs flecha para muestra denominada FRC-3 (concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de bagazo de caña de azúcar). Dentro de los resultados que más se destaca, se tiene: carga máxima de rotura a la flexión de 2546 N, ya que las muestras tienen una sección de 40x40mm (área de 1600mm²), entonces el módulo de rotura del concreto sin fibras es de $F_{cr} = 9.55\text{MPa}$. La resistencia a la compresión de la muestra FRC-3 se determinó como $f'_c = 23.7\text{MPa}$ y módulo de elasticidad de $E_c = 10.42\text{GPa}$.

- **Muestras de concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de guadua.**

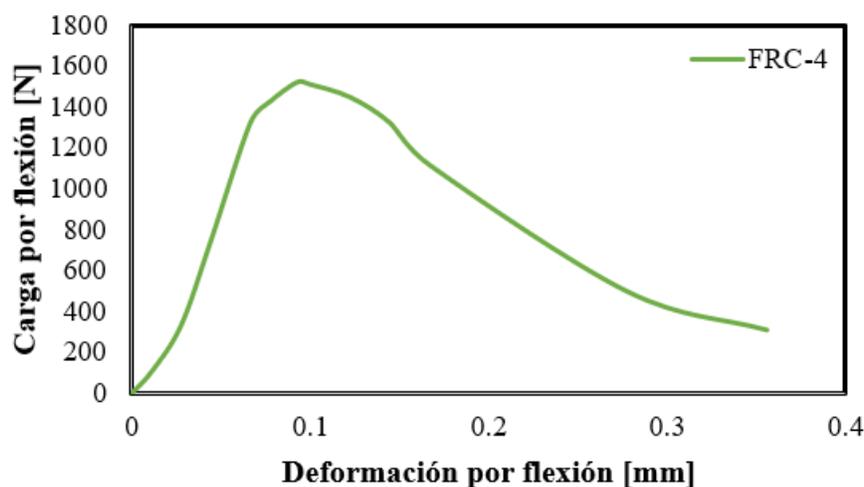


Figura 17. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de la muestra de FRC-4 (concreto fibro-reforzado con fibras de guadua)

La figura 17 muestra un gráfico con la curva de tendencia de carga vs flecha para muestra denominada FRC-4 (concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de guadua). Dentro de los resultados que más se destaca, se tiene: carga máxima de rotura a la flexión de 1523 N, ya que las muestras tienen una sección de 40x40mm (área de 1600mm²), entonces el módulo de rotura del

concreto sin fibras es de $F_{cr} = 5.7\text{MPa}$. La resistencia a la compresión de la muestra FRC-4 se determinó como $f'_c = 21.5\text{MPa}$ y módulo de elasticidad de $E_c = 6.55\text{GPa}$.

La Figura 18 muestra la curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de todos los tipos de concreto ensayados. Se evidencia que el concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio es el que mejor resultado presenta, ya que resiste la mayor carga de rotura a la flexión, además, se evidencia que la pendiente de la curva en la zona elástica es la inclinada y, por lo tanto, es el tipo de concreto más rígido después del concreto convencional.

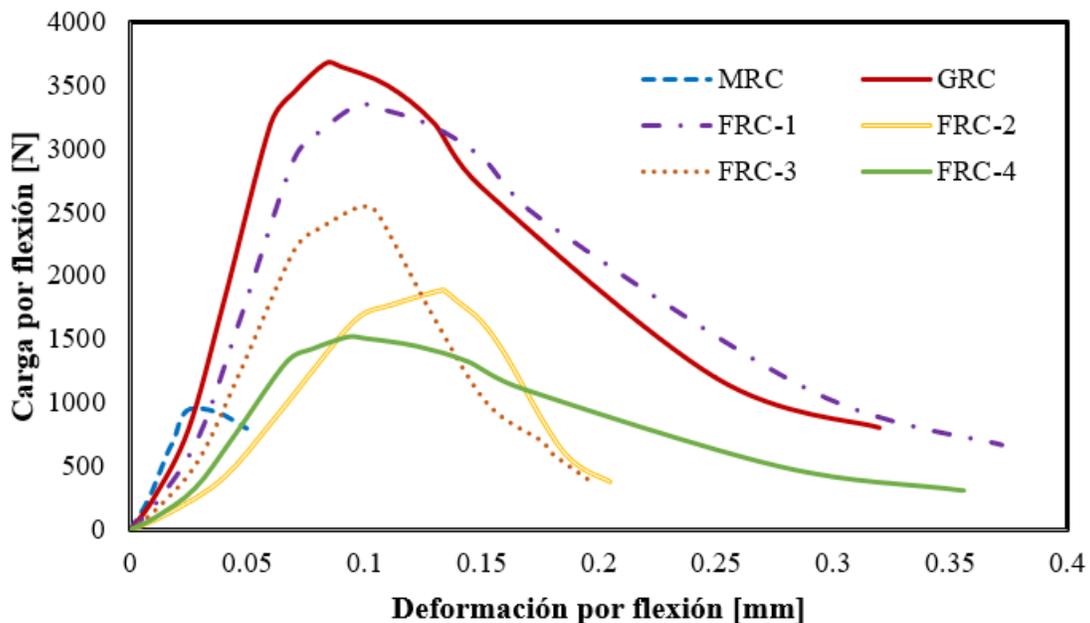


Figura 18. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de todos los tipos de concreto ensayados

La tabla 9 muestra los resultados de las propiedades mecánicas de las probetas de concretos fabricados, obtenidos a través de ensayos a nivel de laboratorio.

Tabla 9. Resultados de las propiedades mecánicas de los concreto ensayados

Tipo de Concreto	f'c [MPa]	Fcr [MPa]	Ec [GPa]	ρ_c [g/cm ³]
MRC	32.4	3.53	15.49	2.16
GRC	28.5	13.79	17.59	2.04
FRC-1	26.2	12.58	13.80	2.11
FRC-2	24.8	7.09	5.68	2.13
FRC-3	23.7	9.55	10.42	2.08
FRC-4	21.5	5.71	6.55	2.01

Los resultados mostrados anteriormente, fueron comparados con los resultados mostrados por otros autores a nivel mundial. A continuación, se muestran algunos de las propiedades mecánicas presentes en fuentes de información secundaria.

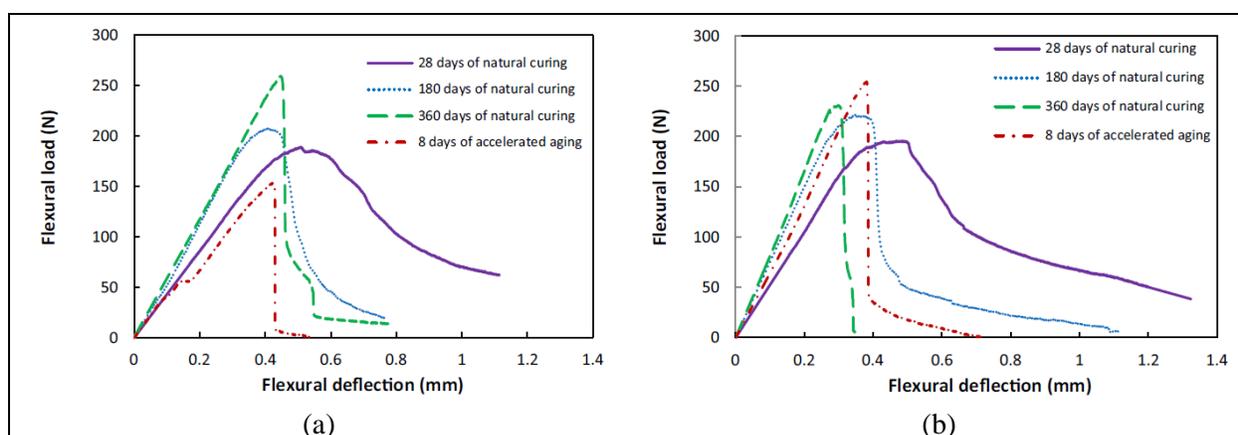


Figura 19. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de concreto reforzados con fibras de vidrio mediante varios métodos de curado

Fuente: Cheng et al. (2019).

La Figura 19 muestra las curvas de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de concreto reforzados con fibras de vidrio mediante varios métodos de curado. La investigación desarrollada por Cheng et al. (2019) se realizó con probetas de 250 x 50 x 10 mm, por lo que, los resultados del módulo de rotura F_{cr} para el concreto con curado convencional a los 28 días se

ubica entre 13 y 15 MPa, lo cual es similar a los resultados presentados por los ensayos realizados.

Por otra parte, están los resultados presentados por Lalinde (2020), quién desarrolló concreto fibroreforzado con fibras de vidrio tipo AR. Las fibras utilizadas en dicha investigación tuvieron longitudes de 6mm y las resistencias a la flexión se presenta entre los 9 y 11 MPa. Las probetas utilizadas son de 1 x 5 x 22.5 cm, similares a las utilizadas por Cheng et al. (2019). La curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de concreto reforzados con fibras de vidrio según Lalinde (2020) se muestra en la figura 20.

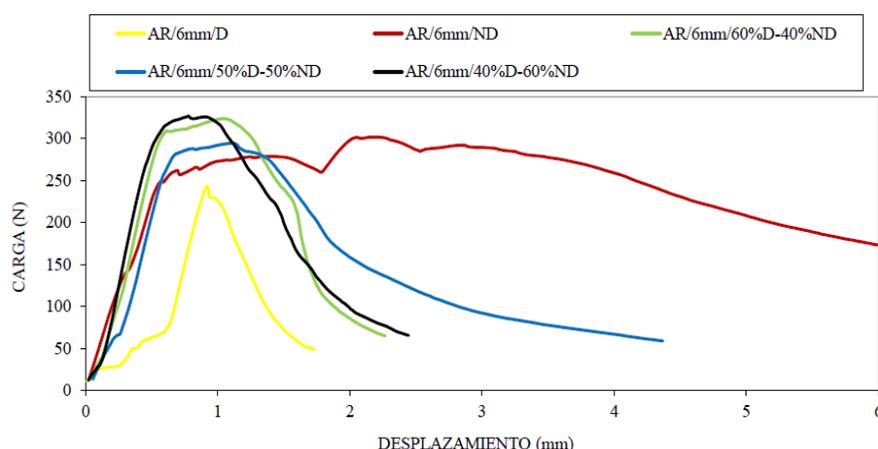


Figura 20. Curva de carga [N] vs deformación [mm] por esfuerzos de flexión de concreto reforzados con fibras de vidrio de 6mm

Fuente: Lalinde (2020).

Todas las propiedades mecánicas mostradas anteriormente están dentro de los rangos presentados por Comino (1995), que a su vez referencia Lalinde (2020), en su tesis doctoral. Dichos rangos se evidencian en la tabla 10 mostrada a continuación. Sin embargo, una de las diferencias más notorias se tiene en la resistencia a la compresión, ya que el rango determinado

para los concretos fibro reforzados está entre 20 y 30 MPa, lo cual dista del rango 40-60 MPa. El motivo principal se debe a que el cemento utilizado en para la investigación propia no es un cemento estructural, sino que este es un cemento tipo UG de uso general.

Tabla 10. Propiedades mecánicas GRC (10 mm de espesor, 28 días de fabricación)

Característica	Unidad	Mortero común	Premezcla GRC
Contenido de fibra	% peso	0	3
Módulo de rotura a flexión (MOR)	MPa	5-12	10-14
Límite elástico a flexión (LOP)	MPa	3-6	5-8
Resistencia a la compresión	MPa	20-50	40-60
Módulo de elasticidad	GPa	9-15	10-20
Densidad del material	g/cm ³	1.7-2.1	1.8-2.0

Fuente: Comino (citado por Lalinde, 2020).

4.2 Diseñar Estructuralmente placas Simplemente Apoyadas de Concreto Reforzado con Acero y Concreto Fibro-Reforzado con Fibras de Vidrio y Fibras Vegetales, Variando la Longitud Entre Ejes de Apoyos Partiendo de los Esfuerzos por Flexión y Cortante

Para el diseño estructural de placas simplemente apoyadas de concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales, solo se utilizó del concreto con fibras vegetales que presentó mejores resultados, es decir, el que contiene fibras de fique. La tabla 11 muestra las propiedades mecánicas de concretos utilizados para el diseño de placas simplemente apoyadas.

Tabla 11. Propiedades mecánicas de concretos utilizados para el diseño de placas

Tipo de Concreto	MRC	GRC	FRC
f'_c [MPa]	32.4	28.5	26.2
F_{cr} [MPa]	3.53	13.79	12.58
E_c [GPa]	15.49	17.59	13.8
ρ_c [g/cm ³]	2.16	2.04	2.11

4.2.1 Diseño de placas macizas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Se diseñaron placas macizas simplemente apoyadas variando la longitud entre apoyos: 1m, 3m, 5m, 7m y 9m. Para cada longitud se terminó el mayor momento y el mayor cortante, con los cuales se diseñó a flexión y cortante las placas. Las ecuaciones utilizadas dependen del tipo de concreto que se esté utilizando en el diseño, es decir, las ecuaciones cambian un poco si se trata de concreto fibro-reforzado o si se trata de concreto convencional reforzado con acero.

- **Ecuaciones para diseño a flexión y cortante de placas en concreto convencional.**

Ecuación de momento nominal (requiere de una cuantía de acero), es:

$$M_U = \phi M_n = \phi F_y \rho \left(1 - 0.59 \rho \frac{F_y}{f'_c} \right) b d^2$$

La cuantía de acero se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{F_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_U}{0.85 \phi f'_c b d^2}} \right)$$

Siendo M_U el momento máximo presente en la placa.

La ecuación de cortante en placas macizas se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'_c} b d$$

Para fines de comparación, se espera que la sección diseñada no falla por momento de agrietamiento. De tal forma que, el momento de agrietamiento debe ser mayor que el momento máximo de la placa. Es decir, que se debe determinar el momento de agrietamiento con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \frac{F_{cr} I}{C_t}$$

I es la inercia de la sección transformada y C_t es la distancia entre el eje neutro y la fibra extrema de la zona de tracción. Dichos parámetros se calculan así:

$$C_t = h - C_c$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + (bh)(y_1)^2 + (n-1)A_s(y_2)^2$$

$$C_c = \frac{bh(h/2) + (n-1)A_s d}{bh + (n-1)A_s} \quad n = \frac{E_s}{E_c} \quad y_1 = |h/2 - C_c| \quad y_2 = |d - C_c|$$

- **Ecuaciones para diseño a flexión y cortante de placas en concreto reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales.**

Se chequeará que el momento de agrietamiento sea mayor que el momento máximo en la placa, la ecuación de momento de agrietamiento es:

$$M_{cr} = \frac{F_{cr}bh^2}{6}$$

La ecuación de cortante en placas macizas se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'_c} bd$$

- **Chequeo de deflexión máxima para control de deformaciones en placas que están sujetas a elementos susceptibles a dañarse por deflexiones grandes.**

Con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de las diferentes placas diseñadas, la deflexión máxima calculada no podrá ser superior a $L/500$. La deflexión en placas simplemente apoyadas se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta = \frac{5WL^4}{384EI} \leq \frac{L}{500}$$

La carga W para todos los casos será $W = 1.2W_D + 1.6W_L$. W_D es la carga muerta que incluye el peso propio de la placa y una carga sobrepuesta que se definió como 3.6 kN/m^2 . W_L es la carga viva que corresponde al uso que tendrá la placa, si se asume un uso residencial, donde la carga viva corresponde al peso de tráfico de personas $W_L = 1.8 \text{ kN/m}^2$.

La figura 21 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 1m.

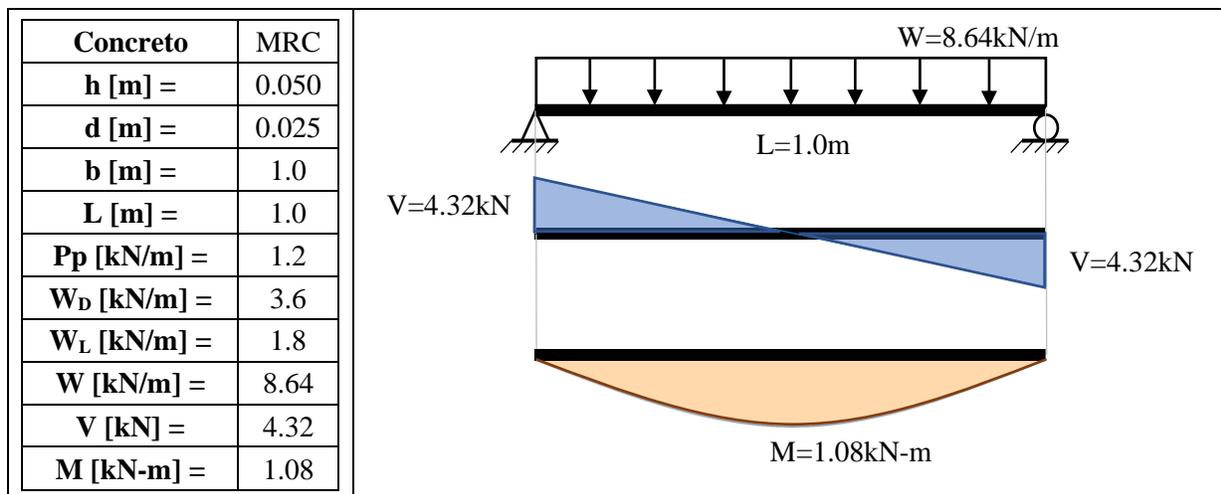


Figura 21. Esfuerzos en placa maciza MRC de 1m de longitud

La figura 22 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 1m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 5cm de espesor, el refuerzo requerido es una malla electrosoldada XX-159 ($\varnothing 5.5\text{mm C}/150\text{mm}$) lo que genera un área de acero de $1.59\text{cm}^2/\text{m}$.

El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.7, lo cual significa que, el máximo esfuerzo generado por las cargas alcanza un 70% del esfuerzo resistente por la sección.

f'c [MPa] =	32.4		n =	12.91	
Fcr [MPa] =	3.53		Cc [m] =	0.0250	
Ec [GPa] =	15.49		Ct [m] =	0.0250	
Fy [MPa] =	420		y₁ [m] =	0.000	
Mu [kN-m] =	1.08		y₂ [m] =	0.000	
ρ =	0.00474		I [mm⁴] =	0.000010	
As =	1.19		Mcr [kN-m] =	1.47	Cumple
As (real) =	1.59	Malla XX-159	Vu [kN] =	4.32	
ρ (real) =	0.00636		ϕVc [kN] =	18.14	Cumple
ϕ =	0.7		Δ [mm] =	0.70	
ϕMn [kN-m] =	1.43	Cumple	$\Delta_{\text{máx.}}$ [mm] =	2	Cumple

Figura 22. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 1m de longitud

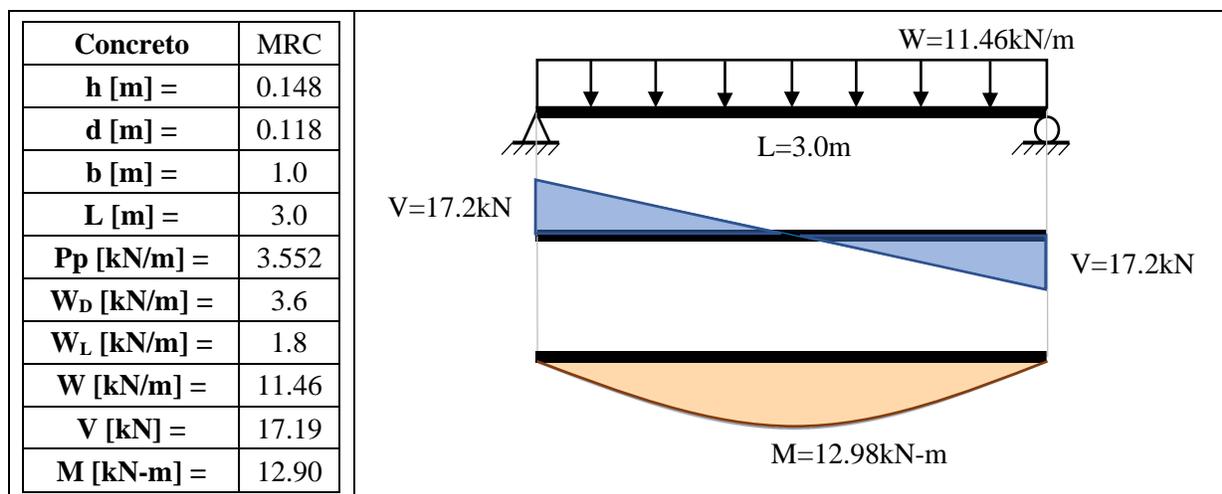


Figura 23. Esfuerzos en placa maciza MRC de 3m de longitud

La figura 23 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 3m. Por otra parte, la figura 24 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 3m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 14.8cm de espesor, el refuerzo requerido es una malla electrosoldada XX-295 ($\varnothing 7.5\text{mm}$ C/150mm) lo que genera un área de acero de $2.95\text{cm}^2/\text{m}$.

El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.9.

f'c [MPa] =	32.4		n =	12.91	
Fcr [MPa] =	3.53		Cc [m] =	0.0750	
Ec [GPa] =	15.49		Ct [m] =	0.0730	
Fy [MPa] =	420		y₁ [m] =	0.001	
Mu [kN-m] =	12.9		y₂ [m] =	0.043	
ρ =	0.00250		I [mm⁴] =	0.000277	
As =	2.95	Malla XX-295	Mcr [kN-m] =	13.39	Cumple
As (real) =	2.95		Vu [kN] =	17.19	
ρ (real) =	0.00250		ϕVc [kN] =	85.64	Cumple
ϕ =	0.90		Δ [mm] =	2.82	
ϕMn [kN-m] =	12.91	Cumple	$\Delta_{\text{máx.}}$ [mm] =	3	Cumple

Figura 24. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 3m de longitud

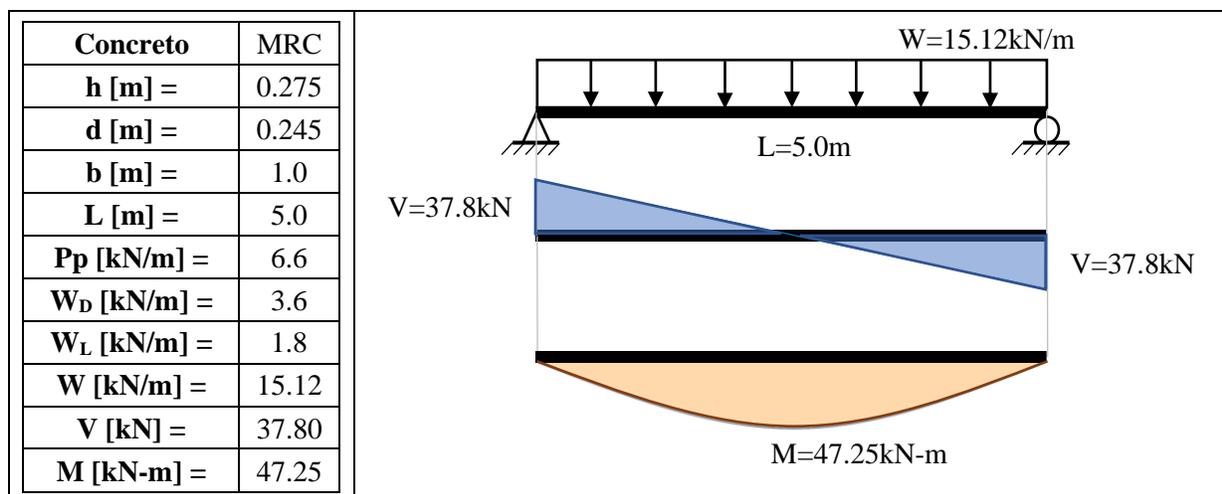


Figura 25. Esfuerzos en placa maciza MRC de 5m de longitud

La figura 25 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 5m. Por otra parte, la figura 26 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 5m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 27.5cm de espesor, el refuerzo requerido es una barra de acero #3 C/12cm (y transversal #3 C/16cm) lo que genera un área de acero de 5.92cm²/m. El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.8.

f'c [MPa] =	32.4		n =	12.91	
Fcr [MPa] =	3.53		Cc [m] =	0.1402	
Ec [GPa] =	15.49		Ct [m] =	0.1348	
Fy [MPa] =	420		y₁ [m] =	0.003	
Mu [kN-m] =	47.25		y₂ [m] =	0.105	
ρ =	0.00212		I [mm⁴] =	0.001813	
As =	5.19		Mcr [kN-m] =	47.46	Cumple
As (real) =	5.92	#3C/.12m	Vu [kN] =	37.80	
ρ (real) =	0.00242		ϕVc [kN] =	177.81	Cumple
ϕ =	0.80		Δ [mm] =	4.38	
ϕMn [kN-m] =	53.81	Cumple	$\Delta_{m\acute{a}x.}$ [mm] =	5	Cumple

Figura 26. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 5m de longitud

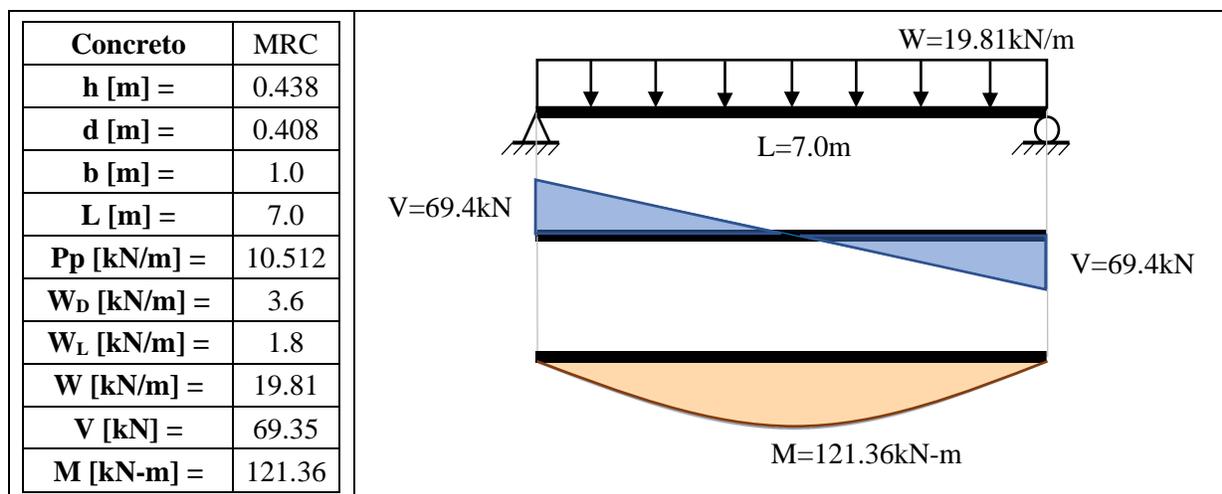


Figura 27. Esfuerzos en placa maciza MRC de 7m de longitud

La figura 27 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 7m. Por otra parte, la figura 28 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 7m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 43.8cm de espesor, el refuerzo requerido es una barra de acero #4 C/14cm (y transversal #4 C/17cm) lo que genera un área de acero de 5.92cm²/m. El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.78.

f'c [MPa] =	32.4			
Fcr [MPa] =	3.53			
Ec [GPa] =	15.49			
Fy [MPa] =	420			
Mu [kN-m] =	121.36			
ρ =	0.00196			
As =	7.99			
As (real) =	9.21	#4C/.14m		
ρ (real) =	0.00226			
ϕ =	0.78			
ϕMn [kN-m] =	139.65	Cumple		
			n = 12.91	
			Cc [m] = 0.2236	
			Ct [m] = 0.2144	
			y₁ [m] = 0.005	
			y₂ [m] = 0.184	
			I [mm⁴] = 0.007385	
			Mcr [kN-m] = 121.60	Cumple
			Vu [kN] = 69.35	
			ϕVc [kN] = 296.10	Cumple
			Δ [mm] = 5.42	
			$\Delta_{\text{máx.}}$ [mm] = 7	Cumple

Figura 28. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 7m de longitud

La figura 31 muestra los diagramas de esfuerzos en placas macizas de GRC y FRC.

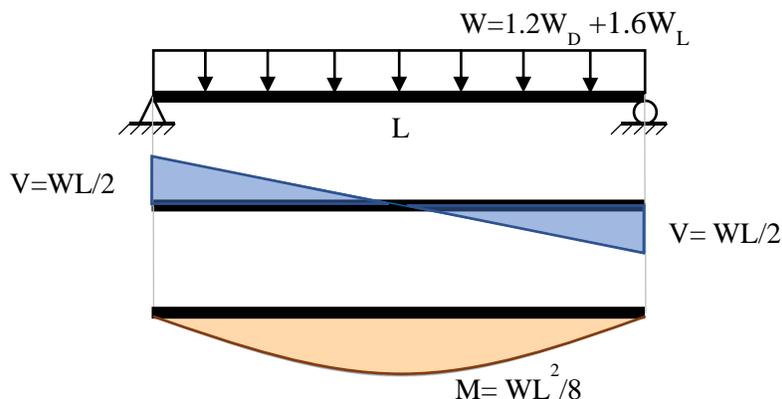


Figura 31. Diagrama de cortante y momento en placa maciza de GRC y FRC

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
Pp [kN/m] =	0.714		Pp [kN/m] =	0.844	
W _D [kN/m] =	3.6		W _D [kN/m] =	3.6	
W _L [kN/m] =	1.8		W _L [kN/m] =	1.8	
W [kN/m] =	8.06		W [kN/m] =	8.21	
Mu [kN-m] =	1.01		Mu [kN-m] =	1.03	
b [m] =	1.0		b [m] =	1.0	
h [m] =	0.035		h [m] =	0.04	
Ct [m] =	0.0175		Ct [m] =	0.02	
I [mm ⁴] =	0.000004		I [mm ⁴] =	0.000005	
Mcr [kN-m] =	2.82	Cumple	Mcr [kN-m] =	3.35	Cumple
φ =	0.36		φ =	0.31	
Vu [kN] =	4.03		Vu [kN] =	4.11	
φVc [kN] =	23.82	Cumple	φVc [kN] =	26.10	Cumple
Δ [mm] =	1.67		Δ [mm] =	1.45	
Δ _{máx.} [mm] =	2	Cumple	Δ _{máx.} [mm] =	2	Cumple

Figura 32. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 1m de longitud

La figura 32 muestra el diseño de placa maciza de 1m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC. Esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 35mm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos

estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales, y además tiene una resistencia a la flexión alta. Lo cual se puede evidenciar, debido a que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 36% del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 40mm de espesor, con un factor phi de 0.31, lo cual indica que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 31% del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
Pp [kN/m] =	2.1624		Pp [kN/m] =	2.4476	
W_D [kN/m] =	3.6		W_D [kN/m] =	3.6	
W_L [kN/m] =	1.8		W_L [kN/m] =	1.8	
W [kN/m] =	9.79		W [kN/m] =	10.14	
Mu [kN-m] =	11.02		Mu [kN-m] =	11.40	
b [m] =	1		b [m] =	1	
h [m] =	0.106		h [m] =	0.12	
Ct [m] =	0.053		Ct [m] =	0.058	
I [mm⁴] =	0.000099		I [mm⁴] =	0.000130	
Mcr [kN-m] =	25.82	Cumple	Mcr [kN-m] =	28.21	Cumple
φ =	0.43		φ =	0.40	
Vu [kN] =	14.69		Vu [kN] =	15.21	
φVc [kN] =	72.15	Cumple	φVc [kN] =	75.70	Cumple
Δ [mm] =	5.92		Δ [mm] =	5.96	
Δ_{máx.} [mm] =	6	Cumple	Δ_{máx.} [mm] =	6	Cumple

Figura 33. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 3m de longitud

La figura 33 muestra el diseño de placa maciza de 3m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC. Esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 10.6cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos

estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales, y además tiene una resistencia a la flexión alta. Lo cual se puede evidenciar, debido a que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 43% del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 12cm de espesor, con un factor phi de 0.4, lo cual indica que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 40% del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
Pp [kN/m] =	3.8148		Pp [kN/m] =	4.3677	
W_D [kN/m] =	3.6		W_D [kN/m] =	3.6	
W_L [kN/m] =	1.8		W_L [kN/m] =	1.8	
W [kN/m] =	11.78		W [kN/m] =	12.44	
Mu [kN-m] =	36.81		Mu [kN-m] =	38.88	
b [m] =	1		b [m] =	1	
h [m] =	0.187		h [m] =	0.21	
Ct [m] =	0.0935		Ct [m] =	0.1035	
I [mm⁴] =	0.000545		I [mm⁴] =	0.000739	
Mcr [kN-m] =	80.37	Cumple	Mcr [kN-m] =	89.84	Cumple
φ =	0.46		φ =	0.43	
Vu [kN] =	29.44		Vu [kN] =	31.10	
φVc [kN] =	127.28	Cumple	φVc [kN] =	135.09	Cumple
Δ [mm] =	10.00		Δ [mm] =	9.93	
Δ_{máx.} [mm] =	10	Cumple	Δ_{máx.} [mm] =	10	Cumple

Figura 34. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 5m de longitud.

La figura 34 muestra el diseño de placa maciza de 5m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC. Esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 18.7cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos

estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales, y además tiene una resistencia a la flexión alta. Lo cual se puede evidenciar, debido a que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 46% del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 21cm de espesor, con un factor phi de 0.43, lo cual indica que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 43% del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
Pp [kN/m] =	5.6712		Pp [kN/m] =	6.4988	
W_D [kN/m] =	3.6		W_D [kN/m] =	3.6	
W_L [kN/m] =	1.8		W_L [kN/m] =	1.8	
W [kN/m] =	14.01		W [kN/m] =	15.00	
Mu [kN-m] =	85.78		Mu [kN-m] =	91.87	
b [m] =	1		b [m] =	1	
h [m] =	0.278		h [m] =	0.31	
Ct [m] =	0.139		Ct [m] =	0.154	
I [mm⁴] =	0.001790		I [mm⁴] =	0.002435	
Mcr [kN-m] =	177.62	Cumple	Mcr [kN-m] =	198.90	Cumple
φ =	0.48		φ =	0.46	
Vu [kN] =	49.02		Vu [kN] =	52.49	
φVc [kN] =	189.22	Cumple	φVc [kN] =	201.01	Cumple
Δ [mm] =	13.90		Δ [mm] =	13.96	
Δ_{máx.} [mm] =	14	Cumple	Δ_{máx.} [mm] =	14	Cumple

Figura 35. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 7m de longitud

La figura 35 muestra el diseño de placa maciza de 7m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC. Esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 27.8cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos

estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales, y además tiene una resistencia a la flexión alta. Lo cual se puede evidenciar, debido a que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 48% del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 31cm de espesor, con un factor phi de 0.46, lo cual indica que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 46% del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
Pp [kN/m] =	7.6704		Pp [kN/m] =	8.8409	
W_D [kN/m] =	3.6		W_D [kN/m] =	3.6	
W_L [kN/m] =	1.8		W_L [kN/m] =	1.8	
W [kN/m] =	16.40		W [kN/m] =	17.81	
Mu [kN-m] =	166.10		Mu [kN-m] =	180.32	
b [m] =	1		b [m] =	1	
h [m] =	0.376		h [m] =	0.42	
Ct [m] =	0.188		Ct [m] =	0.2095	
I [mm⁴] =	0.004430		I [mm⁴] =	0.006130	
Mcr [kN-m] =	324.93	Cumple	Mcr [kN-m] =	368.09	Cumple
φ =	0.51		φ =	0.49	
Vu [kN] =	73.82		Vu [kN] =	80.14	
φVc [kN] =	255.93	Cumple	φVc [kN] =	273.45	Cumple
Δ [mm] =	17.99		Δ [mm] =	17.98	
Δ_{máx.} [mm] =	18	Cumple	Δ_{máx.} [mm] =	18	Cumple

Figura 36. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 9m de longitud

La figura 36 muestra el diseño de placa maciza de 9m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC. Esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 37.6cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos

estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales, y además tiene una resistencia a la flexión alta. Lo cual se puede evidenciar, debido a que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 51% del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 42cm de espesor, con un factor ϕ de 0.49, lo cual indica que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 49% del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

Se realizaron curvas de tendencia de diseño con el fin de relacionar la longitud entre apoyos para sistemas de placas simplemente apoyadas con el espesor de la placa. La figura 37 muestra una curva con tendencia lineal que divide en dos partes las zonas de diseño, es decir, bajo la curva, los espesores de placa no cumplen con alguna de las condiciones de diseño; chequeo de momento, cortante o máxima deflexión. Mientras, que los espesores calculados sobre la curva de diseño si cumplirían con todas las condiciones de diseño para elementos sometidos a esfuerzos de flexión y cortante. Se debe destacar que, para tener un tamaño óptimo de la sección, es decir, una sección que cumpla con requisitos de diseño, pero si generar sobrecostos por sobredimensionamiento de la estructura, se recomienda utilizar los espesores que sean calculados al cruzarse con la curva de diseño.

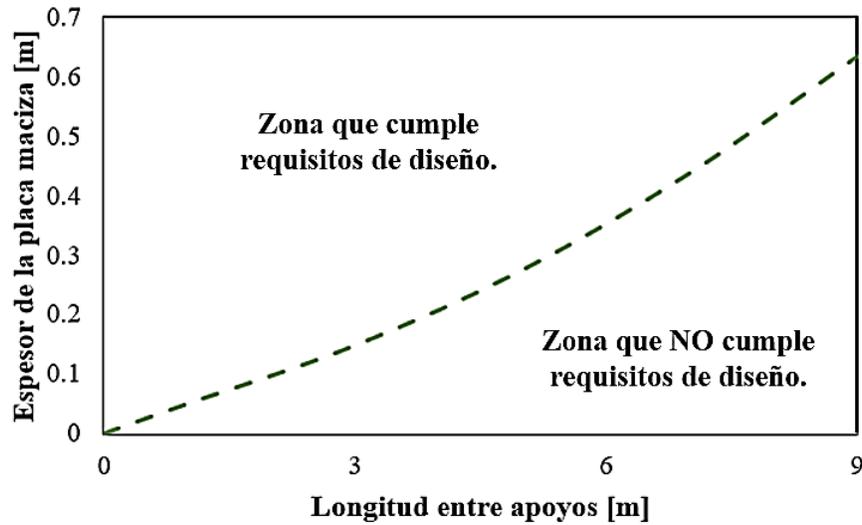


Figura 37. Curva para determinar altura de placa maciza en MRC según su longitud

Al igual que lo mostrado en la figura 37, la figura 38 muestra una curva de diseño con dos zonas; una que cumple con requisitos de diseño y la otra que no lo hace. La principal diferencia entre las dos figuras mencionadas, es que la primera (figura 37) muestra el diseño para placas simplemente apoyadas fabricadas con concreto convencional reforzado con acero, mientras que la segunda (figura 38) muestra el diseño para placas simplemente apoyadas fabricadas con concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio tipo AR.

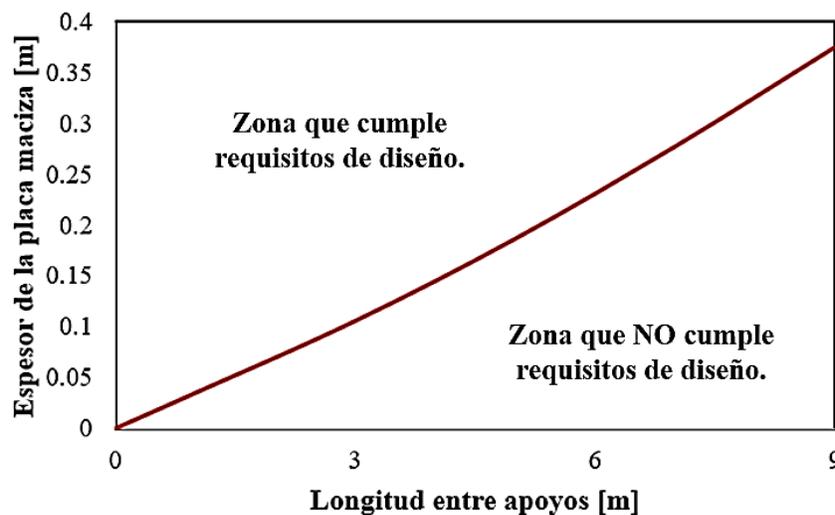


Figura 38. Curva para determinar altura de placa maciza en GRC según su longitud

Por otra parte, la Figura 39 muestra la curva de diseño para para placas simplemente apoyadas fabricadas con concreto fibro-reforzado con fibras vegetales, que para el caso se trató de fibras de fique.

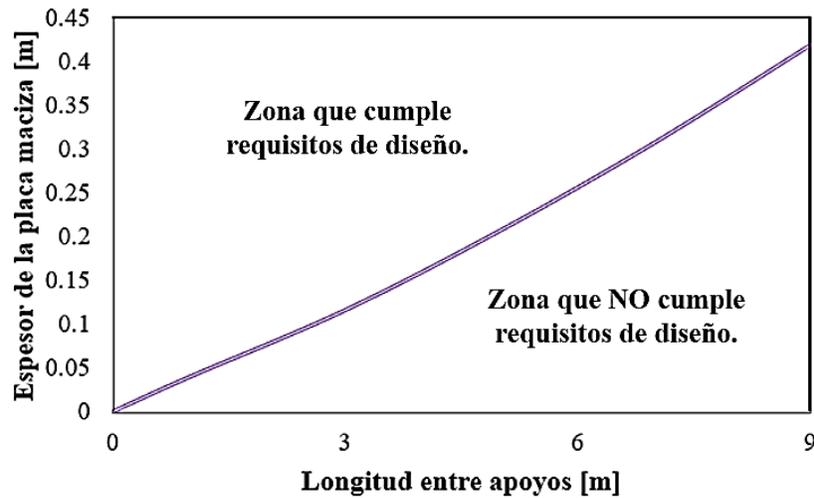


Figura 39. Curva para determinar altura de placa maciza en FRC según su longitud

Se realiza una comparación entre las tres curvas de tendencia de diseño de placas simplemente apoyadas con diferentes tipos de concreto (figura 40). Los resultados muestran que el concreto convencional es el más desfavorable, puesto que se requiere de espesores de placa mayores para cumplir con los requisitos de diseño, siendo las placas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio las que requieren de espesores menores.

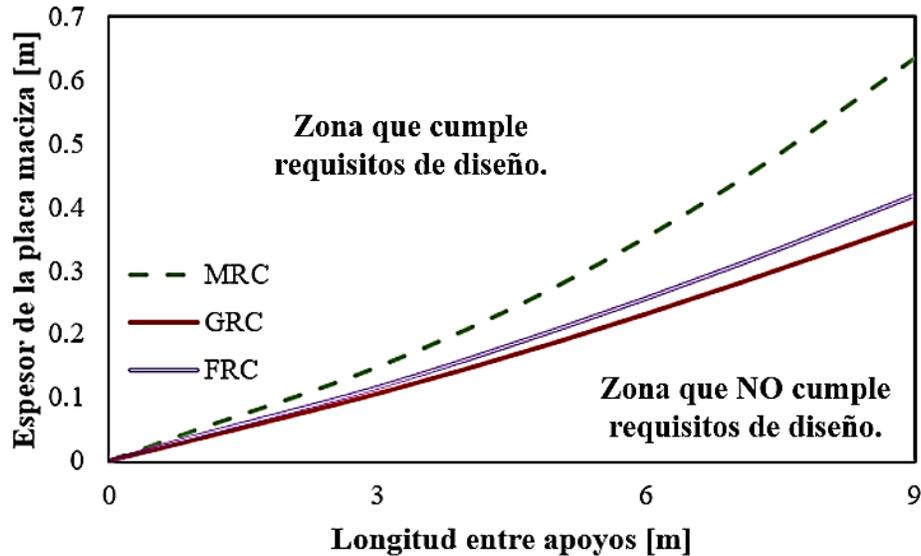


Figura 40. Comparación de curvas de diseño MRC, GRC y FRC

Sin embargo, es de apreciarse que los volúmenes de concreto son relativamente grandes, sobre todo en placas con longitudes entre ejes mayores a 5 metros. Por tal motivo, se realiza el diseño de las mismas placas con sistema de losa aligerada o nervada en una dirección.

4.2.2 Diseño de placas aligeradas con nervadura de concreto reforzado y losetas en concreto reforzado con acero y concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales. Se diseñan placas aligeradas, considerando la siguiente configuración: viguetas de concreto reforzado convencional ($f'_c = 28\text{MPa}$) y; losetas de concreto MRC, GRC y FRC. Se determinan las curvas de diseño variando su longitud entre ejes de apoyos de 0 hasta 9m.

- **Ecuaciones para diseño a flexión y cortante de viguetas en concreto reforzado.**

Ecuación de momento nominal (requiere de una cuantía de acero), es:

$$M_U = \phi M_n = \phi F_y \rho \left(1 - 0.59 \rho \frac{F_y}{f'_c} \right) b d^2$$

La cuantía de acero se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{0.85f'_c}{F_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{0.85\phi f'_c b d^2}} \right)$$

Siendo M_U el momento máximo presente en la viga.

La ecuación de cortante en placas macizas se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'_c} b d + \frac{\phi A_v F_y d}{S}$$

- **Chequeo de deflexión máxima para control de deformaciones en placas que están sujetas a elementos susceptibles a dañarse por deflexiones grandes.**

Con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de las diferentes placas diseñadas, la deflexión máxima calculada no podrá ser superior a $L/500$. La deflexión en placas simplemente apoyadas se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta = \frac{5WL^4}{384EI} \leq \frac{L}{500}$$

La carga W para todos los casos será $W = 1.2W_D + 1.6W_L$. W_D es la carga muerta que incluye el peso propio de la placa y una carga sobrepuesta que se definió como 3.6 kN/m^2 . W_L es la carga viva que corresponde al uso que tendrá la placa, si se asume un uso residencial, donde la carga viva corresponde al peso de tráfico de personas $W_L = 1.8 \text{ kN/m}^2$.

Para fines prácticos de comparación, se realizará el diseño de la loseta con 1m de longitud. Es decir, que la separación entre las viguetas será de un metro (1m). Se pretende que la propuesta

sea con placas prefabricadas, por lo que, no se requerirá de aligeramientos para el montaje del sistema de placa. Es decir, la propuesta mostrará como proceso de construcción, la elaboración de las viguetas en el sitio y las placas será prefabricadas y será puestas sobre las viguetas una vez hallan alcanzado al menos el 75% de la resistencia máxima. La figura 41 muestra la configuración de la sección tipo de placa aligerada con viguetas de concreto reforzado y loseta superior de concreto MRC, GRC o FRC.

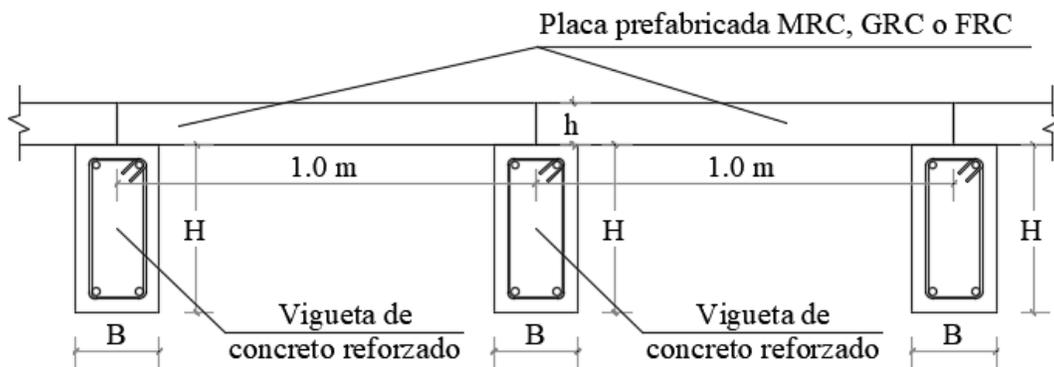


Figura 41. Sección tipo de placa aligerada

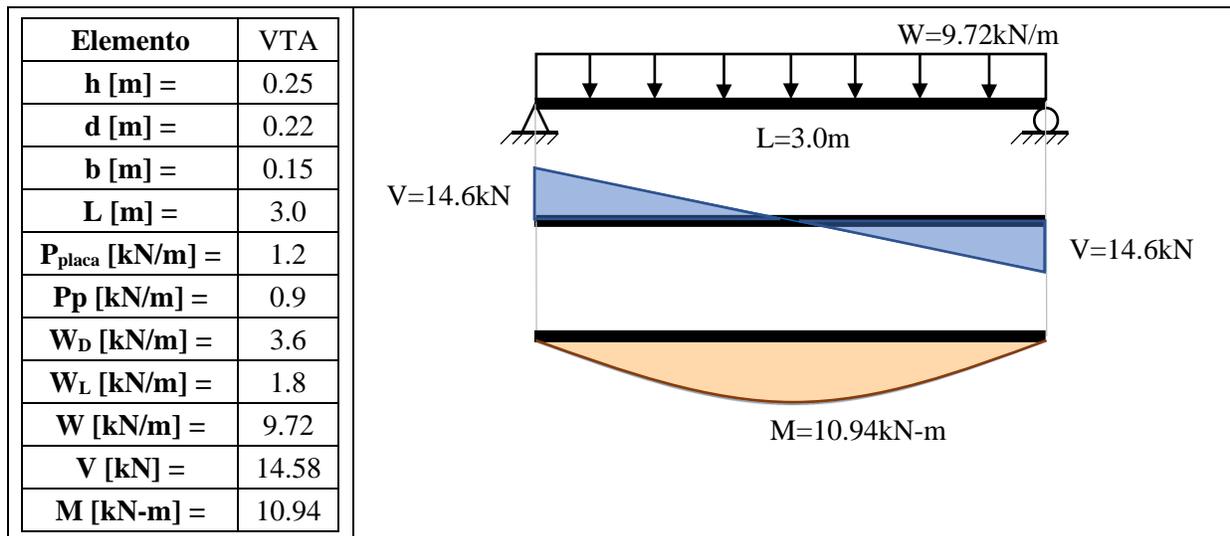


Figura 42. Esfuerzos sobre la vigueta de 3m de longitud

La figura 42 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 3m. Por otra parte, la figura 43 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 3m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15x25 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #3 (y transversal E#3 C/30cm) lo que genera un área de acero de 1.42cm^2 . El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.87.

$f'c$ [MPa] =	28		n =	8.04	
Fcr [MPa] =	3.28		Cc [m] =	0.1275	
Ec [GPa] =	24.87		$y1$ [m] =	0.002	
Fy [MPa] =	420		$y2$ [m] =	0.093	
Mu [kN-m] =	10.94		I [mm ⁴] =	0.000204	
ρ =	0.00414		Vu [kN] =	14.58	
As =	1.36		Av =	7.10E-05	E#3 C/30cm
As (real) =	1.42	2#3	S [m] =	0.3	
ρ (real) =	0.00430		ϕVn [kN] =	55.07	Cumple
ϕ =	0.87		Δ [mm] =	2.02	
ϕMn [kN-m] =	11.36	Cumple	Δ_{max} [mm] =	6	Cumple

Figura 43. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 3m de longitud

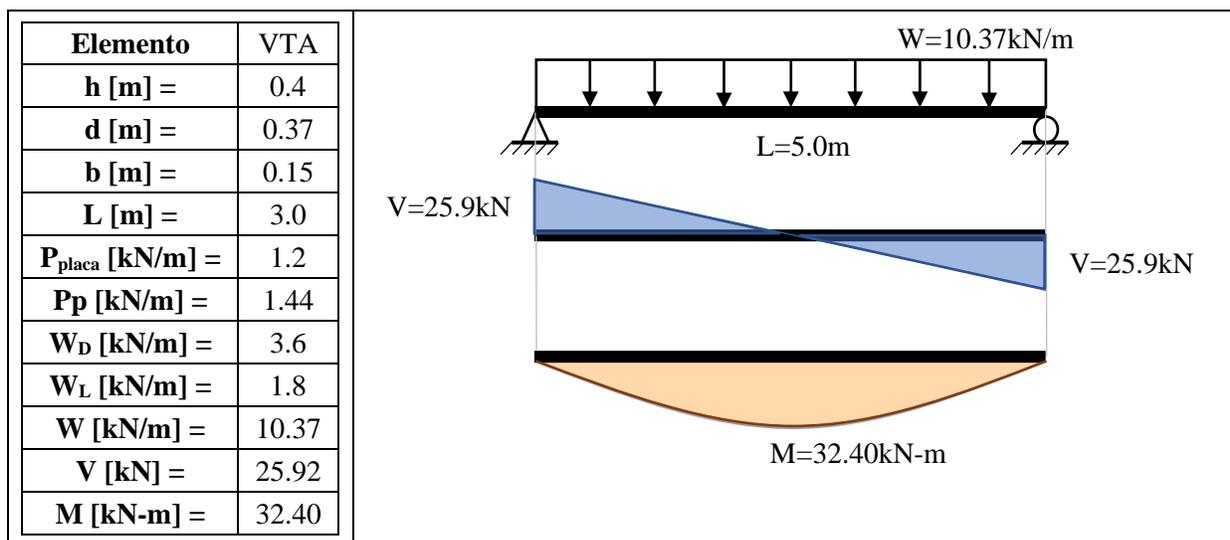


Figura 44. Esfuerzos sobre la vigueta de 5m de longitud

La figura 44 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 5m. Por otra parte, la figura 45 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 5m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15x40 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #4 (y transversal E#3 C/30cm) lo que genera un área de acero de 2.58cm^2 . El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.84.

$f'c$ [MPa] =	28		n =	8.04	
Fcr [MPa] =	3.28		Cc [m] =	0.2050	
Ec [GPa] =	24.87		$y1$ [m] =	0.005	
Fy [MPa] =	420		$y2$ [m] =	0.165	
Mu [kN-m] =	32.40		I [mm ⁴] =	0.000851	
ρ =	0.00434		Vu [kN] =	25.92	
As =	2.41		Av =	7.10E-05	E#3 C/30cm
As (real) =	2.58	2#4	S [m] =	0.3	
ρ (real) =	0.00465		ϕVn [kN] =	92.61	Cumple
ϕ =	0.84		Δ [mm] =	3.99	
ϕMn [kN-m] =	34.60	Cumple	Δ_{max} [mm] =	10	Cumple

Figura 45. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 5m de longitud

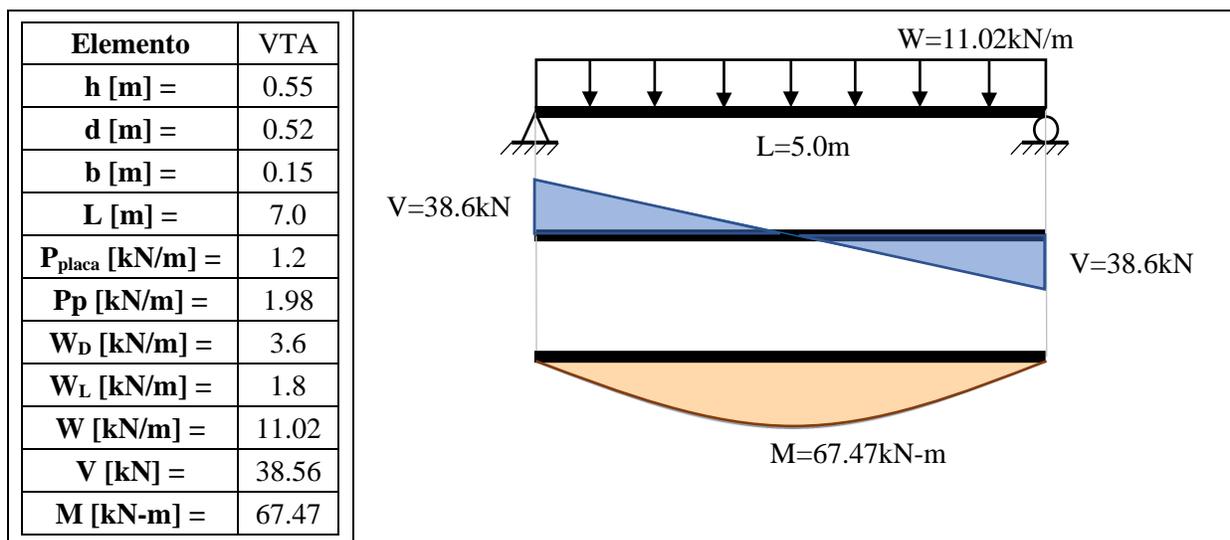


Figura 46. Esfuerzos sobre la vigueta de 7m de longitud

La figura 46 muestra los esfuerzos presentes sobre la viga por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 7m. Por otra parte, la figura 47 muestra el diseño a flexión y cortante de la viga de 7m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la viga es de 15x55 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #5 (y transversal E#3 C/30cm) lo que genera un área de acero de 3.98cm^2 . El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.81.

$f'c$ [MPa] =	28		n =	8.04	
Fcr [MPa] =	3.28		Cc [m] =	0.2830	
Ec [GPa] =	24.87		$y1$ [m] =	0.008	
Fy [MPa] =	420		$y2$ [m] =	0.237	
Mu [kN-m] =	67.47		I [mm ⁴] =	0.002242	
ρ =	0.00459		Vu [kN] =	38.56	
As =	3.58		Av =	7.10E-05	E#3 C/30cm
As (real) =	3.98	2#5	S [m] =	0.3	
ρ (real) =	0.00510		ϕVn [kN] =	130.16	Cumple
ϕ =	0.81		Δ [mm] =	6.18	
ϕMn [kN-m] =	74.70	Cumple	Δ_{max} [mm] =	14	Cumple

Figura 47. Diseño a flexión y cortante de viga de 7m de longitud

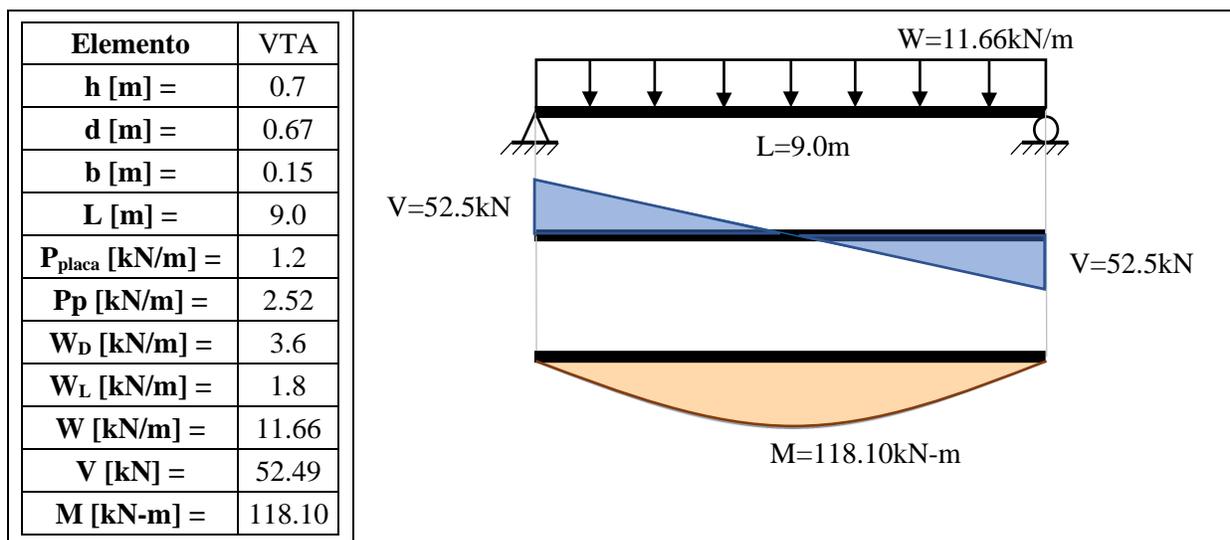


Figura 48. Esfuerzos sobre la viga de 9m de longitud

La figura 48 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 7m. Por otra parte, la figura 49 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 7m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15x70 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #6 (y transversal E#3 C/30cm) lo que genera un área de acero de 5.74cm². El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.77.

f'c [MPa] =	28		n =	8.04	
Fcr [MPa] =	3.28		Cc [m] =	0.3619	
Ec [GPa] =	24.87		y1 [m] =	0.012	
Fy [MPa] =	420		y2 [m] =	0.308	
Mu [kN-m] =	118.10		I [mm4] =	0.004686	
ρ =	0.00485		Vu [kN] =	52.49	
As =	4.87		Av =	7.10E-05	E#3 C/30cm
As (real) =	5.74	Malla XX-159	S [m] =	0.3	
ρ (real) =	0.00571		ϕVn [kN] =	167.70	Cumple
ϕ =	0.77		Δ [mm] =	8.55	
ϕMn [kN-m] =	138.02	Cumple	Δ_{max} [mm] =	18	Cumple

Figura 49. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 9m de longitud

Se realizó la curva de tendencia de diseño con el fin de relacionar la longitud entre apoyos para sistemas de placas simplemente apoyadas con la altura de la vigueta requerida para soportar las losetas de concreto prefabricado MRC, GRC o FRC. La figura 50 muestra una curva con tendencia lineal que divide en dos partes las zonas de diseño, es decir, bajo la curva, los espesores de placa no cumplen con alguna de las condiciones de diseño; chequeo de momento, cortante o máxima deflexión. Mientras, que los espesores calculados sobre la curva de diseño si cumplirían con todas las condiciones de diseño para elementos sometidos a esfuerzos de flexión y cortante. Se debe destacar que, para tener un tamaño óptimo de la sección, es decir, una sección que

cumpla con requisitos de diseño, pero si generar sobrecostos por sobredimensionamiento de la estructura, se recomienda utilizar los espesores que sean calculados al cruzarse con la curva de diseño. Además, con el fin de estandarizar la sección, se definió como base 15cm. Sin embargo, se puede hacer el estudio de diseño con un área equivalente de la sección.

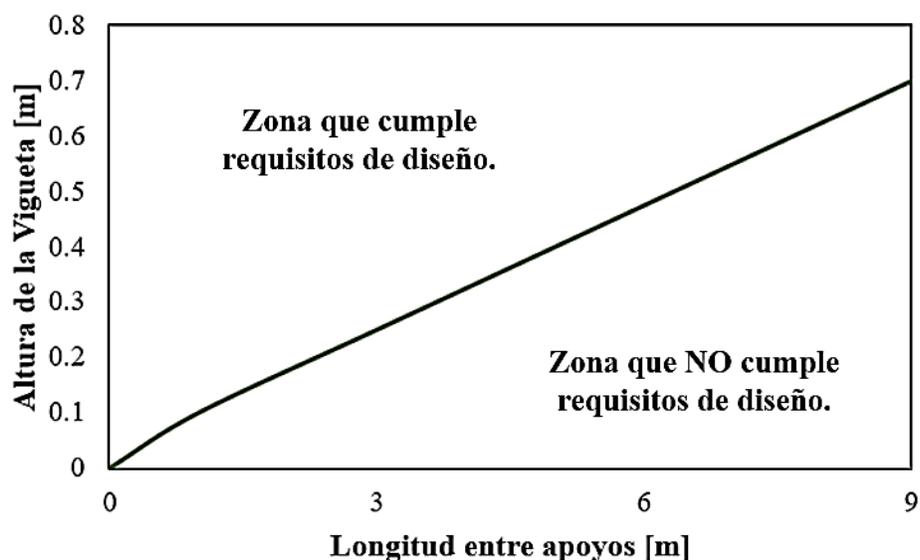


Figura 50. Curva de tendencia para dimensionamiento de vigueta

Por otro lado, se debe tener en cuenta que en este caso se está definiendo una sección tipo de vigueta en concreto reforzada, sin embargo, cabe la posibilidad de modificar el material de la vigueta. Es decir, puede hacerse un estudio simplificado en el cual se utilicen viguetas metálicas o de madera que resistan las sollicitudes de esfuerzos debido a las cargas para cada caso en particular. Ahora bien, el estudio de la placa aligerada realizado en este apartado, se realizó con las condiciones similares a las utilizadas para el diseño de las placas macizas, lo cual se hizo con el fin de poder realizar comparaciones. Por lo que, se puede tener en cuenta que las condiciones de las viguetas se pueden modificar y así mismo la placa prefabricada de MRC, GRC o FRC no cambiarían.

4.3 Comparar la Cantidad de Materiales Requeridos Para la Construcción de las Placas Diseñadas de Concreto Reforzado con Acero y Concreto Fibro-Reforzado con Fibras de Vidrio y Fibras Vegetales Mediante la Realización de Curvas de Tendencia

Se realizó el cálculo de las cantidades de materiales requeridas para la fabricación de placas macizas de MRC, GRC y FRC según sus necesidades de diseño. Además, se calculó las cantidades de materiales para el sistema de placas aligeradas con nervaduras de concreto reforzadas y losetas de MRC, GRC y FRC según sus necesidades de diseño. La tabla 12 muestra el volumen de concreto para cada una de las placas macizas diseñadas con longitud variable entre 0 y 9m de MRC, GRC y FRC.

Tabla 12. Volumen de concreto para placas macizas

	Placas macizas	h [m]	Vol [m ³ /m ²]
1m	MRC	0.05	0.05
	GRC	0.035	0.035
	FRC	0.04	0.04
3m	MRC	0.148	0.148
	GRC	0.106	0.106
	FRC	0.116	0.116
5m	MRC	0.275	0.275
	GRC	0.187	0.187
	FRC	0.207	0.207
7m	MRC	0.438	0.438
	GRC	0.278	0.278
	FRC	0.308	0.308
9m	MRC	0.634	0.634
	GRC	0.376	0.376
	FRC	0.419	0.419

La figura 51 muestra tres curvas de tendencia de la cantidad de concreto que se requiere en volumen para la fabricación de placas macizas según el tipo de refuerzo; acero, fibras de vidrio o fibras vegetales. Se evidencia que las placas de concreto MRC requieren de mayor tamaño y, por

lo tanto, un mayor volumen de concreto. Mientras que, las placas macizas de concreto GRC requieren las menores cantidad de concreto.

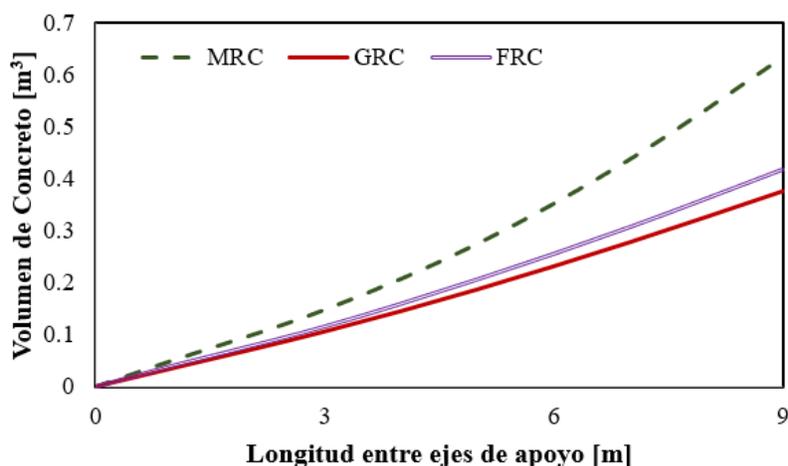


Figura 51. Cantidad de concreto en volumen según tipo de refuerzo

La tabla 13 muestra la cantidad de refuerzo; acero, fibras de vidrio y fibras vegetales, que se requieren para la construcción de placas macizas según su longitud.

Tabla 13. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para placas macizas

Placas macizas	As (X)	As (Y)	As [kg/m ²]	As [kg/m ²]	Fibra Vidrio	Fibra Vegetal
1m	MRC	XX-159	2.52	2.52		
	GRC				2.14	
	FRC					0.63
3m	MRC	XX-295	4.67	9.34		
	GRC				6.49	
	FRC					1.84
5m	MRC	#3C/.12m	#3C/.16m	5.23	4.06	18.57
	GRC					11.44
	FRC					3.28
7m	MRC	#4C/.14m	#4C/.17m	8.09	6.84	29.87
	GRC					17.01
	FRC					4.87
9m	MRC	#4C/.09m	#4C/.11m	12.04	10.03	44.14
	GRC					23.01
	FRC					6.63

Se evidencia que la cantidad de acero en peso es la mayor para todos los tipos de placas, mientras que la cantidad de fibras vegetales en peso es la que requiere menor cantidad. Sin embargo, debido a que el peso del acero, en comparación con el peso de las fibras, es mucho mayor, el volumen de refuerzo de acero requerido es menor que el volumen de refuerzo de fibras vegetales, del cual se requiere una cantidad similar al de las fibras de vidrio.

La tabla 14 y 15 muestran la cantidad de material de concreto en volumen y la cantidad de refuerzo en peso, respectivamente, requerido para la elaboración de losetas prefabricadas que serán utilizadas en los sistemas de placas aligeradas con nervaduras de concreto reforzados y losetas de MRC, GRC y FRC.

Tabla 14. Volumen de concreto para losetas de placa aligerada

Placa Aligerada		h [m]	Vol [m ³ /m ²]
1m	MRC	0.05	0.05
	GRC	0.035	0.035
	FRC	0.04	0.04

Tabla 15. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para losetas de placa aligerada

Placa Aligerada	As (X)	As (Y)	As [kg/m ²]	As [kg/m ²]	Fibra Vidrio	Fibra Vegetal
1m	MRC	XX-159	2.52	2.52		
	GRC				2.14	
	FRC					0.63

Por su parte, la tabla 16 muestra el volumen de concreto para construir las diferentes viguetas de concreto reforzado al variar su longitud.

Tabla 16. Volumen de concreto para viguetas de placa aligerada

Placa Aligerada	b [m]	h [m]	Vol [m³]
VTA 3m	0.15	0.25	0.0375
VTA 5m	0.15	0.40	0.06
VTA 7m	0.15	0.55	0.0825
VTA 9m	0.15	0.70	0.105

Por otra parte, la tabla 17 muestra la cantidad de acero de refuerzo requerido para cada vigueta diseñada según su longitud.

Tabla 17. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para viguetas de placa aligerada

Placa Aligerada	As (Pricp)	As (Secund)	As [kg/m²]		As [kg/m²]
VTA 3m	2#3	E#3 C/30cm	2.24	1.82	4.06
VTA 5m	2#4	E#3 C/30cm	3.98	2.55	6.52
VTA 7m	2#5	E#3 C/30cm	6.21	3.28	9.48
VTA 9m	2#6	E#3 C/30cm	8.94	4.00	12.94

4.3.1 Análisis de costos para las diferentes placas macizas y aligeradas diseñadas. Ahora bien, debido a que no es lógico comparar cantidad de refuerzo; acero, fibras de vidrio o fibras vegetales, en peso, puesto que cada material tiene diferente procedencia y, por lo tanto, un costo diferente. Con el fin de comparar en los mismos términos todas las placas diseñadas, se hace un análisis de costos, netamente del material que se requiere para su fabricación. La tabla 18 muestra el costo de materiales para concreto especial para fabricar MRC, GRC y FRC, es decir, el costo del cemento, arena de cuarzo, agua, plastificante y Forton® VF-774 necesarios para la fabricación de los concretos; costo que se fijó en COP \$1.250.837. Fijando una tasa promedio de cambio para el año 2022 de COP \$4.800 cada USD \$1, el costo de los materiales para fabricación del concreto especial sería de USD \$260.59.

Tabla 18. Costo de materiales para concreto especial para fabricar MRC, GRC y FRC

Materiales	Densidad	Vol [m³]	[kg]	Vlr./kg	Vlr. Total
Cemento	3100	0.298	922.86	\$ 698	\$ 643,692
Arena de cuarzo	2500	0.310	775.20	\$ 148	\$ 114,978
Agua	1000	0.305	304.54	\$ 30	\$ 9,136
Plastificante	1000	0.018	18.46	\$ 7,176	\$ 132,445
Forton® VF-774	1000	0.069	69.23	\$ 5,064	\$ 350,586
	Σ =	1		Σ =	\$ 1,250,837

El costo del acero depende de su procedencia, es decir, para mallas electrosoldadas el costo se ubica en COP \$7.340 (USD \$1.53), mientras que las barras de acero el costo se ubica en COP \$4.815 (USD \$1.00). Por otra parte, el costo de las fibras de vidrio es elevado, debido a que en Colombia no se produce este tipo de fibras, sino que son importadas desde EEUU o de Europa, el costo promedio en Colombia de este producto se ubica en COP \$29.167 (USD \$6.08). Mientras que, el costo de las fibras de fique, teniendo en cuenta el proceso de cortado y de tratamiento químico, se estima un costo de COP \$4.350 (USD \$0.91). La tabla 19 muestra el costo por metro cuadrado de cada uno de los tipos de placas macizas diseñadas.

Tabla 19. Costo por metro cuadrado de placa maciza

Placas macizas	Costo Concreto	Costo Acero de Refuerzo	Costo Fibra Vidrio	Costo Fibra Vegetal	Costo/m²
1m	MRC	\$ 62,542	\$ 18,497		\$ 81,039
	GRC	\$ 43,779		\$ 62,475	\$ 106,254
	FRC	\$ 50,033		\$ 2,754	\$ 52,787
3m	MRC	\$ 185,124	\$ 68,556		\$ 253,679
	GRC	\$ 132,589		\$ 189,210	\$ 321,799
	FRC	\$ 145,097		\$ 7,985	\$ 153,082
5m	MRC	\$ 343,980	\$ 89,431		\$ 433,411
	GRC	\$ 233,907		\$ 333,795	\$ 567,702
	FRC	\$ 258,923		\$ 14,250	\$ 273,173
7m	MRC	\$ 547,867	\$ 143,825		\$ 691,691
	GRC	\$ 347,733		\$ 496,231	\$ 843,963
	FRC	\$ 385,258		\$ 21,202	\$ 406,460

Placas macizas		Costo Concreto	Costo Acero de Refuerzo	Costo Fibra Vidrio	Costo Fibra Vegetal	Costo/m ²
9m	MRC	\$ 793,031	\$ 212,523			\$ 1,005,553
	GRC	\$ 470,315		\$ 671,161		\$ 1,141,475
	FRC	\$ 524,101			\$ 28,843	\$ 552,944

La figura 52 muestra el costo de fabricación en miles de COP de placas macizas de MRC, GRC y FRC, donde se evidencia que las placas fabricadas con fibras vegetales presentan los menores costos, mientras que las placas con fibras de vidrio son las más costosas. Por lo tanto, se puede deducir que las fibras vegetales son las más óptimas para el uso como refuerzo en placas. Sin embargo, es necesario que se estudie la durabilidad de dicho elemento, ya que al tratarse de un material de origen vegetal, puede ser desintegrado por reacciones químicas con el cemento en un lapso de tiempo corto.

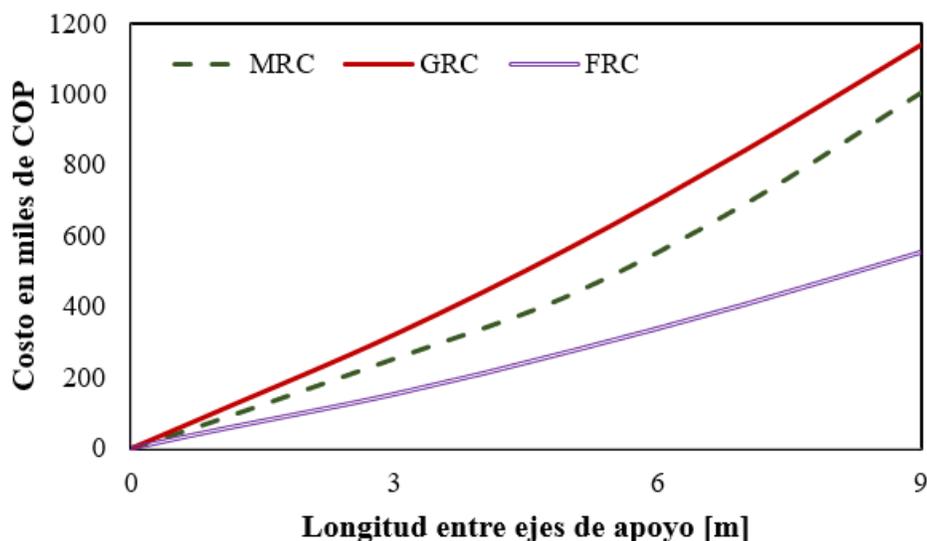


Figura 52. Costo en miles de COP de placas macizas de MRC, GRC y FRC

Se determinó el costo de los materiales para elaboración de las losetas prefabricadas que serán utilizadas en el sistema de placa aligerada.

Tabla 20. Costo por metro cuadrado de losetas de placa aligerada

Placa Aligerada	Costo Concreto	Costo Acero de Refuerzo	Costo Fibra Vidrio	Costo Fibra Vegetal	Costo/m²
1m	MRC	\$ 62,542	\$ 18,497		\$ 81,039
	GRC	\$ 43,779	\$ 62,475		\$ 106,254
	FRC	\$ 50,033		\$ 2,754	\$ 52,787

Tabla 21. Costo de materiales para concreto convencional de 28MPa

Materiales	UN	Cant.	Vlr. Unitario	Vlr Total
Cemento	kg	510	\$ 698	\$ 355,725
Arena de rio	m ³	0.65	\$ 138,150	\$ 89,798
Grava	m ³	0.85	\$ 126,000	\$ 107,100
Agua	Lt	255	\$ 30	\$ 7,650
Aditivos	kg	10.20	\$ 7,176	\$ 73,193
			Σ =	\$ 633,466

La tabla 21 muestra el costo de los materiales para la fabricación de concreto convencional. Dicho concreto será utilizado únicamente en el desarrollo de las viguetas, puesto que éstas serán elaboradas en sitio. Mientras que las losetas prefabricadas serán elaboradas con concreto especial para MRC, GRC y FRC. El costo de concreto convencional se estima en COP \$633.466 (USD \$131.97).

La tabla 22 muestra el costo por metro cuadrado de placas aligeradas fabricadas en un sistema de vigueta de concreto convencionales reforzadas y losetas en concreto especial MRC, GRC y/o FRC.

Tabla 22. Costo por metro cuadrado de placa aligerada

Placa Aligerada	Costo Concreto	Costo Acero	Costo/m	Costo/m²	
3m	MRC	\$ 23,755	\$ 18,676	\$ 42,431	\$ 123,470
	GRC	\$ 23,755	\$ 18,676	\$ 42,431	\$ 148,685
	FRC	\$ 23,755	\$ 18,676	\$ 42,431	\$ 95,218
5m	MRC	\$ 38,008	\$ 30,010	\$ 68,018	\$ 149,057
	GRC	\$ 38,008	\$ 30,010	\$ 68,018	\$ 174,273
	FRC	\$ 38,008	\$ 30,010	\$ 68,018	\$ 120,805
7m	MRC	\$ 52,261	\$ 43,626	\$ 95,887	\$ 176,926
	GRC	\$ 52,261	\$ 43,626	\$ 95,887	\$ 202,142
	FRC	\$ 52,261	\$ 43,626	\$ 95,887	\$ 148,674
9m	MRC	\$ 66,514	\$ 59,542	\$ 126,056	\$ 207,095
	GRC	\$ 66,514	\$ 59,542	\$ 126,056	\$ 232,311
	FRC	\$ 66,514	\$ 59,542	\$ 126,056	\$ 178,843

La figura 53 muestra la tendencia del costo en miles de COP para el sistema de placas aligeradas con nervaduras de concreto reforzados y losetas de MRC, GRC y FRC según sus necesidades de diseño. Se evidencia una tendencia lineal paralela entre los tres tipos de losetas, siendo la placa aligerada con viga de concreto reforzado y loseta de FRC la que presenta menores valores, lo cual indica que es el más eficiente. Mientras que la placa aligerada con loseta de concreto GRC presenta los valores más altos haciendo ineficiente su utilización en el campo de la construcción.

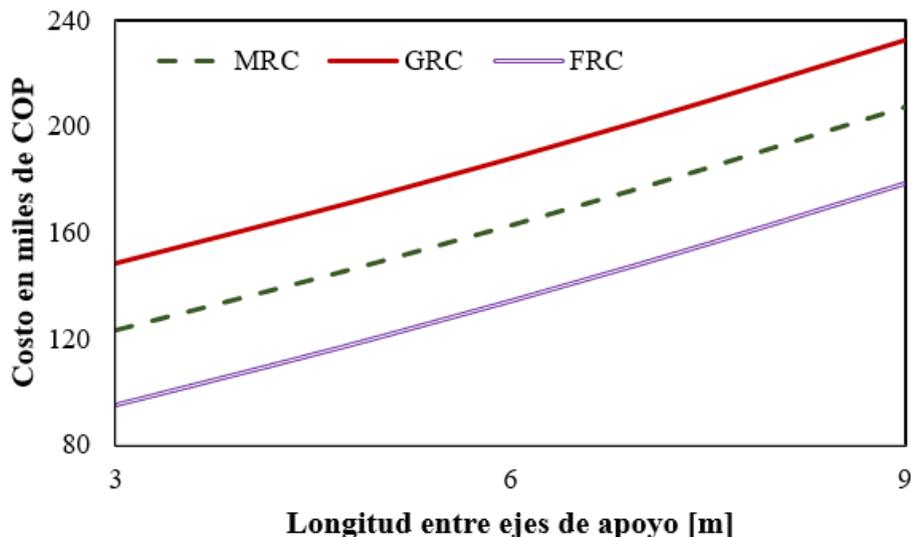


Figura 53. Costo en miles de COP de placas aligeradas

De tal forma que, si se hace un análisis general de los tipos de placas diseñadas, se puede concluir que las placas aligeradas con viguetas de concreto reforzado y loseta de concreto fibro-reforzado con fibras vegetales de fique, es el tipo de placas más eficiente; más eficiente que otros tipos de placas aligeradas y aún más eficiente que todos los tipos de placas macizas. Aunque, es necesario realizar un análisis más profundo, donde se involucre otros costos directos; como la mano de obra y la utilización de equipos. Así como, la utilización de otros tipos de viguetas; como lo son las viguetas de acero o viguetas de madera que puedan ser más eficientes para salvar luces más grandes o que generen mejores costos de construcción.

5. Conclusiones

Se desarrolló concreto fibro-reforzado con diferentes tipos de fibras; fibras de vidrio (GRC), fibras de fique (FRC-1), fibras de vástago de plátano (FRC-2), fibras de bagazo de caña de azúcar (FRC-3) y fibras de bambú o guadua (FRC-4). Se determinaron las propiedades mecánicas de los concretos a través de ensayos de laboratorio; flexión y compresión, con los que, se calculó la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión o módulo de rotura y el módulo de elasticidad. Se identificó que, el concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio es el que mejor resultado presenta, ya que resiste la mayor carga de rotura a la flexión, además, se evidencia que la pendiente de la curva en la zona elástica es la inclinada y, por lo tanto, es el tipo de concreto más rígido después del concreto convencional. Además, se determinó que todas las propiedades mecánicas están dentro de los rangos presentados por Comino Almenara (1995) que a su vez referencia Lalinde-Castrillón (2020) en su tesis doctoral. Sin embargo, una de las diferencias más notorias se tiene en la resistencia a la compresión, ya que el rango determinado para los concretos fibro reforzados está entre 20 y 30 MPa, lo cual dista del rango 40-60 MPa. El motivo principal se debe a que el cemento utilizado en para la investigación propia no es un cemento estructural, sino que este es un cemento tipo UG de uso general.

Se realizó el diseño de placas macizas y placas aligeradas n viguetas de concreto reforzado y loseta de concreto MRC, GRC y/o FRC. Se realizaron curvas de tendencia para todos los tipos de placas diseñadas. Se realizó una comparación entre las tres curvas de tendencia de diseño de placas simplemente apoyadas con diferentes tipos de concreto. Los resultados muestran que el concreto convencional es el más desfavorable, puesto que se requiere de espesores de placa mayores para cumplir con los requisitos de diseño, siendo las placas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio las que requieren de espesores menores. Sin embargo, es de apreciarse que

los volúmenes de concreto son relativamente grandes, sobre todo en placas con longitudes entre ejes mayores a 5 metros. Por tal motivo, se realiza el diseño de las mismas placas con sistema de losa aligerada o nervada en una dirección. Se realizó la curva de tendencia de diseño con el fin de relacionar la longitud entre apoyos para sistemas de placas simplemente apoyadas con la altura de la vigueta requerida para soportar las losetas de concreto prefabricado MRC, GRC o FRC. Por otro lado, se debe tener en cuenta que en este caso se está definiendo una sección tipo de vigueta en concreto reforzado, sin embargo, cabe la posibilidad de modificar el material de la vigueta. Es decir, puede hacerse un estudio simplificado en el cual se utilicen viguetas metálicas o de madera que resistan las solicitudes de esfuerzos debido a las cargas para cada caso en particular.

Se realizó una comparación entre la cantidad de materiales de los diferentes tipos de placas diseñadas. Y al tenerse que por la diferencia de procedencia de los materiales no era posible realizar una comparación lógica, se realizó un análisis de costo que conllevaría la utilización de los diferentes materiales para su construcción. Las placas fabricadas con fibras vegetales presentan los menores costos, mientras que las placas con fibras de vidrio son las más costosas. Por lo tanto, se puede deducir que las fibras vegetales son las más óptimas para el uso como refuerzo en placas. Sin embargo, es necesario que se estudie la durabilidad de dicho elemento, ya que, al tratarse de un material de origen vegetal, puede ser desintegrado por reacciones químicas con el cemento en un lapso de tiempo corto. Por otra parte, se evidencia que la placa aligerada con viga de concreto reforzado y loseta de FRC presenta menores valores, lo cual indica que es el más eficiente. Mientras que la placa aligerada con loseta de concreto GRC presenta los valores más altos haciendo indeficiente su utilización en el campo de la construcción.

Referencias Bibliográficas

- 123rf. (2022). *Sugar cane for recycling energy Sugarcane bagasse reuse for nature fiber paper and biofuel recycle fuel ferment materials*. Recuperado de:
https://www.123rf.com/photo_90389978_sugar-cane-for-recycling-energy-sugarcane-bagasse-reuse-for-nature-fiber-paper-and-biofuel-recycle-f.html
- Agudelo, J., Riveros, J. & Contreras, Y. (2016). *Elaboración de paneles a base de aserrín y polímeros en la ciudad de Villavicencio-Meta*. Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio, Colombia.
- American Concrete Institute. (2002). *Report on Fiber Reinforced Concrete. 544.1R-96. Committee 544*. Michigan: ACI.
- Bejarano, D. (2019). *Estudio de la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunt*. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Beltrán, A., Díaz, García, E. & Pastrán, C. (2013). Evaluación del comportamiento mecánico de un concreto reforzado con fibras textiles de vidrio sometido a cargas de flexión para su uso en la elaboración de elementos urbanísticos prefabricados. *Revista Tekhnê*, 10(1), 5-18.
- Blazy, J. & Blazy, R. (2021). Polypropylene fiber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces. *Case Studies in Construction Materials*, 14(49), 1-15.
- Campoy, N., Gaxiola, J., Chávez, O., Millán, J., Rojas, E. & De la Rosa, D. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. *Ingeniería*

Investigación y Tecnología, 22(1), 1-11.

Carrillo, J., Aperador, W. & González, G. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14(3), 435-450.

Castañó, I. & Trigos, D. (2017). *Diseño estructural participativo con desechos orgánicos, una alternativa panameña para Colombia*. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Castañó, N. & Villa, E. (2016). *Prefabricados de GRC manportables para recubrimiento de fachadas*. Trabajo de grado. Universidad de la Gran Colombia. Bogotá, Colombia.

Causil, R. & Guzman, V. (2016). *Caracterización de las fibras de capacho de maíz (Zea Mays) como material de refuerzo alternativo para el concreto mediante ensayos mecánicos*. Tesis de grado. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

Cheng, C., He, J., Zhang, J. & Yang, Y. (2019). Study on the time-dependent mechanical properties of glass fiber reinforced cement (GRC) with fly ash or slag. *Construction and Building Materials*, 4(217), 128-136.

Comino, P. (1995). *La Realizaciones en GRC en la construcción*. Sevilla: Congreso de materiales Compuestos.

Coral, J. (2019). *Comportamiento del concreto con cascarilla de café y posibilidades ante textura y color*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

- Díaz, P. (2016). Concreto reforzado con fibra natural de origen animal (plumas de aves). *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 3(2), 92-95.
- Dittenber, D. & Gangarao, H. (2012). “Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure”. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(8), 1419-1429.
- Elbehiry, A., Elnawawya, O., Kassemb, M., Zahera, A., Uddinc, N. & Mostafac, M. (2020). Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars. *Revista Case Studies in Construction Materials*, 4(2), 1-15.
- Enfedaque, A., Gálvez, J. & Suárez, F. (2015). “Analysis of fracture tests of glass fibre reinforced cement (GRC) using digital image correlation” *Construction and Building Materials*, 75(1), 472-487.
- Fundación Amigos del Prado. (1996). *Norma UNE-EN 196-1: 1996. Métodos de ensayos de cementos*. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0008416>
- Fundación Amigos del Prado. (1998). *Norma UNE-EN 1170-5: 1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Medida de la resistencia a flexión, método denominada ensayo completo a flexión*. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0009526>
- Galvis, S. (2013). “Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique”. *Revista Ingenierías*, 16(61), 27-37.

- García, C., Olaya, J. & Salazar, J. (1984). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Revista Ingeniería e Investigación*, 1(01), 51-56.
- Gram, H. (1988). Durability of Natural fibres in concreto., Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete. *Concrete Technology and Design*, 4(2), 1-15.
- Juarez, C., Rodríguez, P., Rivera, R. & Rechy, M. (2004). “Uso de fibras vegetales de lechuguilla como refuerzo en concreto”. *Revista Ingenierías*, 6(22), 1-15.
- Kumar, D., Rex, V., Gokulnath, K. & Saravanan, B. (2020). High performance glass fiber reinforced concrete. *Materials Today: Proceedings*, 33(1), 784-788.
- Lalinde, L. (2020). *Estudio de compuestos de GRC y adiciones activas: Propiedades mecánicas, envejecimiento acelerado y durabilidad*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Martínez, J. & Poveda, J. (2018). *Evaluación de la utilización de las fibras de guadua como refuerzo del concreto para minimizar el proceso de fisuración*. Tesis de grado. Universidad La Gran Colombia. Bogotá, Colombia.
- Muñoz, M., Hidalgo, M. & Mina, J. (2014). Fibras de Fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 60-70.
- Muñoz, C. (2007). *Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de vidrio*. Tesis de grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Osorio, J., Varón, F. & Herrera, J. (2007). “Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar”. *Revista Dyna*, 74(153), 69-79.

- Peñaranda, M. & Rincón, M. (2016). *Análisis comparativo del comportamiento a flexión y compresión del concreto con adición de macro-fibras de plástico reciclado*. Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.
- Quintero S. & González, L. (2006). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*, 4(20), 134-150.
- Quintero, C. & Mahecha, J. (2016). *Propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de PET reciclado*. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Saavedra, J. & Ortega, C. (2020). *Comportamiento mecánico a la flexión y compresión del concreto reforzado con fibra de fique en vigas y cilindros*. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Sathishkumar, T., Navaneethakrishnan, P. & Shankar, S. (2012). “Tensile and flexural properties of snake grass natural fiber reinforced isophthallic polyester composites”. *Composites Science and Technology*, 72(10), 1183-1190.
- Sika. (2017). *Concreto reforzado con fibras*. Recuperado de:
<https://col.sika.com/es/construccion/concreto/produccion-de-concreto-mortero-y-cemento/fibras-para-concreto-y-mortero.html>
- Structuralia. (s.f.). *Características, ventajas y aplicaciones de panel GRC. (Ingeniería Civil y Transporte)* Recuperado de: <https://blog.structuralia.com/panel-grc>
- SumiGlas S.A. (2021). *SumiGlas S.A. Tecnología al servicio de los materiales compuestos*. Recuperado de: <https://sumiglas.com/>

- Taborda, J., Cañas, A. & Tristancho, J. (2017). Comparative study of the mechanical properties of the polyester resin reinforced with bamboo fiber as the substitute material fiberglass. *Revista Dyna*, 84(202), 35-41.
- Tami, J. & Landínez, P. (2019). *Análisis del desempeño mecánico y de porosidad de una matriz de concreto reforzado con diferentes porcentajes de fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado (Proceeding)*. Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.
- Vanegas, O., Martínez, J. & Poveda, J. (2019). *De la utilización de las fibras de guadua como refuerzo del concreto para minimizar el proceso de fisuración*. Medellín: Editorial IAI.
- Vetrotex, C. (s.f.). *Guía para la producción por premix, Cem-Fil Producción de GRC*.
- Recuperado de:
<https://www.hormigonespecial.com/~pdfs/CemFIL%20Tecnica%20basica%20GRC%20Proyeccion%20simultanea.pdf>
- Yildizel, S., Tayeh, B. & Calis, G. (2020). Experimental and modelling study of mixture design optimisation of glass fibre-reinforced concrete with combined utilisation of Taguchi and Extreme Vertices Design Techniques. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2093-2106.