	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(119)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Andrea Tatiana Meriño Orozco Yulieth Lined Pallares Garzón		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Haidee Yulady Jaramillo		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio)		
TITULO EN INGLES	Analysis of the physical and mechanical properties of mortar for paneling with 1:4 dosage with addition of natural fiber (horse hair) and synthetic fiber (glass)		
RESUMEN (70 palabras)			
Proyecto de investigación referente al uso alternativo de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio) como sustituto parcial de la arena en el mortero de dosificación 1:4.			
El desarrollo de este proyecto permitió corroborar las propiedades físicas y mecánicas que se obtienen en el mortero con la inclusión de estas fibras, comprobándose que son adecuadas en porcentajes menores al 1%.			
RESUMEN EN INGLES			
Research project regarding the alternative use of natural fiber (horse hair) and synthetic fiber (glass) as a partial substitute for sand in mortar with a 1:4 dosage.			
The development of this Project allowed to corroborate the physical and mechanical properties obtained in the mortar with the inclusión of these fibers, proving that they are adequate in percentages lower than 1%.			
PALABRAS CLAVES	Mortero, Pañete, Fibras, Pelo de caballo, y Vidrio.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Mortar, Cloth, Fibers, Horse Hair, and Glass.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 119	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL MORTERO
PARA PAÑETE CON DOSIFICACIÓN 1:4 CON ADICIÓN DE FIBRA NATURAL (PELO
DE CABALLO) Y FIBRA SINTÉTICA (VIDRIO)

Autor

ANDREA TATIANA MERIÑO OROZCO

YULIETH LINED PALLARES GARZÓN

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

MSc. HAIDEE YULADY JARAMILLO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2021

Agradecimientos

Los autores de esta monografía expresan su cordial agradecimiento al MSc. Haidee Yulady Jaramillo, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda, especialmente a los ingenieros Yasir Quintero Pérez y Luis Miguel Duarte Vergara por el acompañamiento y colaboración en todas las etapas del proyecto.

Finalmente agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos y las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.

Andrea Tatiana Meriño Orozco

Yulieth Lined Pallares Garzón

Dedicatoria

Agradecer primeramente a Dios, por guiar cada uno de mis pasos, por llenarme de fuerzas en los momentos duros, pero también por llenar de alegría mi corazón en los momentos gratificantes.

A mi mama, Maribeth Orozco Romero, quien es el pilar de mi vida, gracias por todo tu apoyo, por creer en mí, por estar siempre cuando más lo necesité, siempre supiste que este título llegaría, lo has esperado tanto como yo, hoy te puedo decirte gracias mama por todo tu esfuerzo y tu amor, a mi hermano, a mi abuela y a toda mi familia gracias por acompañarme en este proceso, a mi papá, Hugues, en el cielo siempre has sido y seguirás siendo mi ángel acompañándome siempre.

En especial quiero agradecerte a ti amor, Cristhian Vargas, tú estuviste conmigo en este camino, te alegraste por mis logros, pero también sentías tristeza cuando yo lo estaba, gracias por tus palabras de apoyo, de aliento que me animaron para seguir, por tu compromiso para conmigo y por estar siempre a mi lado, pido a Dios que sigamos construyendo juntos un presente y un futuro bajo su bendición. Por ultimo agradecer a mi directora de grado por guiarnos, a los dos compañeros ingenieros por su colaboración y dedicación.

Andrea Tatiana Meriño Orozco

Dedicatoria

Agradezco en primer lugar a Dios, su tiempo es perfecto y así él lo dispuso; le doy gracias por permitirme alcanzar esta meta, por acompañarme en este largo camino, por ser mi brújula en todo momento, gracias Dios porque no me dejaste decaer; tu amor y bondad no tiene fin, este logro no hubiese sido posible sin tu ayuda, aquí estoy con el corazón lleno de gratitud por tus bendiciones.

Dedico este logro a mis padres, Hilva Garzón, y Pedro Pallares, esas personas que tienen un corazón gigante, que me aman y piensan en mi bienestar antes que el de ellos, que me apoyaron en todo momento y lo siguen haciendo; este título, hoy alcanzado es más de ustedes que mío. Mis padres quienes son mi orgullo, con su gran amor hacen este sueño posible, gracias por su apoyo, esta meta que hoy alcanzamos es de ustedes y para ustedes; hoy me siento invadida de felicidad, pues su lucha y esfuerzo hoy se ve reflejado. Infinitos agradecimientos a mis hermanos por su apoyo incondicional.

Finalmente agradezco a mi pareja por su acompañamiento y motivación durante este proceso, gracias por ayudarme a crecer en mi vida profesional, eres un ángel que Dios colocó en mi camino. Gracias por todo.

Yulieth Lined Pallares Garzón

Tabla de contenido

Introducción.....	xx
Capítulo 1. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio)	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Delimitaciones.....	5
1.5.1 Operativas.....	5
1.5.2 Conceptuales.....	6
1.5.3 Geográficas.....	6
1.5.4 Temporales.	6
Capítulo 2. Marco referencial.....	7
2.1 Marco histórico.....	7
2.2 Marco teórico.....	9
2.2.1 Teorías.....	9
2.2.2 Estado del arte.	13

2.3 Marco conceptual	16
2.3.1 Mortero.....	16
2.3.2 Fibras naturales.....	17
2.3.3 Fibras sintéticas.....	19
2.3.4 Pelo de caballo.....	20
2.3.5 Fibra de Vidrio.	21
2.3.6 Ensayo de ultrasonido.....	23
2.3.7 Resistencia a la flexión.....	25
2.3.8 Resistencia a la compresión.....	25
2.4 Marco legal.....	26
Capítulo 3. Diseño metodológico.....	29
3.1 Tipo de investigación	29
3.2 Población.....	29
3.3 Muestra.....	29
3.4 Instrumentos para la recolección de información.....	30
3.5 Análisis de información.....	31
Capítulo 4. Resultados.....	33
4.1 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio)	33

4.1.1 Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la fabricación del mortero para pañete con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).	33
4.1.2 Realizar el diseño de mezcla para la elaboración del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).	38
4.1.3 Obtener las propiedades mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).	46
4.1.4 Determinar las propiedades físicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo) por medio del ensayo de Ultrasonido.	55
4.1.5 Comparación de los costos de fabricación del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).	58
Conclusiones.....	62
Recomendaciones	64
Referencias	65
APÉNDICES	69

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Aspecto del mortero empleado en obra.....	17
<i>Figura 2.</i> Esquilado del pelo de caballo.....	20
<i>Figura 3.</i> Fibras de vidrio.....	22
<i>Figura 4.</i> Equipo para ensayo de Ultrasonido.....	23
<i>Figura 5.</i> Aspecto del cemento empleado en la investigación.....	34
<i>Figura 6.</i> Arena empleada para la fabricación de las probetas de mortero.....	35
<i>Figura 7.</i> Granulometría de la arena empleada.....	35
<i>Figura 8.</i> Pelo de caballo recolectado para la investigación.....	36
<i>Figura 9.</i> Pelo de caballo triturado.....	37
<i>Figura 10.</i> Fibra de vidrio adquirida para la investigación.....	37
<i>Figura 11.</i> Fibra de vidrio triturada.....	38
<i>Figura 12.</i> Mezcla de mortero con adición de 5% de fibra.....	39
<i>Figura 13.</i> Moldes de icopor empleados para la fabricación de los cubos y vigas de mortero.....	43
<i>Figura 14.</i> Materiales antes de mezclado.....	43
<i>Figura 15.</i> Materiales después del mezclado.....	44
<i>Figura 16.</i> Colocación del mortero en los moldes.....	44
<i>Figura 17.</i> Probetas de mortero fabricadas realizadas.....	45

<i>Figura 18.</i> Retiro de las probetas de mortero del molde de icopor.	45
<i>Figura 19.</i> Cubo de mortero para pañete después de obtener su resistencia final a compresión.....	47
<i>Figura 20.</i> Gráfico de resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 7 días. ...	48
<i>Figura 21.</i> Gráfico de resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 28 días ..	49
<i>Figura 22.</i> Viga de mortero después de resistir su máximo esfuerzo a flexión.	52
<i>Figura 23.</i> Gráfico de resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 14 días.	53
<i>Figura 24.</i> Gráfico de resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 28 días	54
<i>Figura 25.</i> Ejecución del ensayo de ultrasonido en cubos de mortero para pañete	56
<i>Figura 26.</i> Gráfico del valor de la Velocidad de Pulso Ultrasónico según el porcentaje de fibra adicionado al mortero.....	57
<i>Figura 27.</i> Gráfico del valor unitario del mortero con adición de fibras de vidrio y pelo de caballo.....	61
<i>Figura 28.</i> Formato de ensayo de granulometría..	70
<i>Figura 29.</i> Formato diseño de mezclas cubos de mortero.....	71
<i>Figura 30.</i> Formato diseño de mezclas vigas de mortero.	72
<i>Figura 31.</i> Pesaje de arena para mezclas de mortero.	73
<i>Figura 32.</i> Pesaje del cemento para mezclas de mortero.	73
<i>Figura 33.</i> Pesaje de las fibras para mezclas de mortero.	74

<i>Figura 34.</i> Proceso de mezclado en las mezclas de mortero.....	74
<i>Figura 35.</i> Adición de agua en las mezclas de mortero	75
<i>Figura 36.</i> Conformación de las probetas de mortero.....	75
<i>Figura 37.</i> Marcación y numeración de las probetas de mortero.....	76
<i>Figura 38.</i> Proceso de mezclado en las mezclas de mortero.....	76
<i>Figura 39.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0% de fibras.	77
<i>Figura 40.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0% de fibras.	77
<i>Figura 41.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras.	78
<i>Figura 42.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras.....	78
<i>Figura 43.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras.....	79
<i>Figura 44.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras.....	79
<i>Figura 45.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras.....	80

<i>Figura 46.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras.....	80
<i>Figura 47.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0% de fibras.	81
<i>Figura 48.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0% de fibras.	81
<i>Figura 49.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras.....	82
<i>Figura 50.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras.....	82
<i>Figura 51.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras.....	83
<i>Figura 52.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras.....	83
<i>Figura 53.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras.....	84
<i>Figura 54.</i> Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras.....	84
<i>Figura 55.</i> Formato resistencia a la compresión a los 7 días de los cubos de mortero.	85
<i>Figura 56.</i> Formato resistencia a la compresión a los 28 días de los cubos de mortero.	86

<i>Figura 57.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0% de fibras.	87
<i>Figura 58.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0% de fibras.	87
<i>Figura 59.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras.	88
<i>Figura 60.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras.	88
<i>Figura 61.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras.	89
<i>Figura 62.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras.	89
<i>Figura 63.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras.	90
<i>Figura 64.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras.	90
<i>Figura 65.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0% de fibras.	91
<i>Figura 66.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0% de fibras.	91

<i>Figura 67.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras.	92
<i>Figura 68.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras.	92
<i>Figura 69.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras.	93
<i>Figura 70.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras..	93
<i>Figura 71.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras.	94
<i>Figura 72.</i> Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras..	94
<i>Figura 73.</i> Formato ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días.....	95
<i>Figura 74.</i> Formato ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días.	96
<i>Figura 75.</i> Cubos de morteros ensayados por ultrasonido.....	97
<i>Figura 76.</i> Calibración de equipos del ensayo ultrasonido.....	97
<i>Figura 77.</i> Ensayo por ultrasonido cubo con 0% de fibras.	98
<i>Figura 78.</i> Ensayo por ultrasonido cubo con 0,5% de fibras..	98
<i>Figura 79.</i> Ensayo por ultrasonido cubo con 1,5% de fibras.....	99
<i>Figura 80.</i> Ensayo por ultrasonido cubo con 2,5% de fibras..	99

Lista de tablas

Tabla 1. Usos recomendados para el mortero de acuerdo a su dosificación	11
Tabla 2. Número de probetas de pañete o mortero para cada ensayo	30
Tabla 3. Cantidad de mortero por cm^3	40
Tabla 4. Volumen de un cubo de mortero	40
Tabla 5. Volumen de una viga de mortero	40
Tabla 6. Cantidad de material requerido para la fabricación de los cubos.....	41
Tabla 7. Cantidad de material requerido para la fabricación de las vigas	41
Tabla 8. Cantidad de materiales utilizados en cada mezcla	42
Tabla 9. Resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 7 días.....	48
Tabla 10. Resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 28 días.....	49
Tabla 11. Clasificación del mortero de acuerdo a su resistencia a la compresión	50
Tabla 12. Resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 14 días	53
Tabla 13. Resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 28 días	54
Tabla 14. Resultados del ensayo de ultrasonido en los cubos de mortero para pañete	57
Tabla 15. Valor unitario del mortero con 0% de fibras.....	59
Tabla 16. Valor unitario del mortero con 0,5% de fibras	59
Tabla 17. Valor unitario del mortero con 1,5% de fibras.....	60

Tabla 18. Valor unitario del mortero con 2,5% de fibras	60
Tabla 19. Valor unitario de los morteros estudiados	61

Lista de apéndices

Apéndice A. Formato de ensayo de granulometría	70
Apéndice B. Formato diseño de mezclas	71
Apéndice C. Registro fotográfico del diseño de mezclas.....	73
Apéndice D. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la compresión.....	77
Apéndice E. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la flexión.	87
Apéndice F. Registro fotográfico del ensayo de Ultrasonido.....	97

Introducción

En las últimas décadas se ha priorizado la búsqueda de materiales que permitan mitigar los impactos generados por el sector de la construcción en el medio ambiente. La fabricación de materiales como el mortero, el cual demanda altas cantidades de recursos no renovables, como la arena, ha motivado la inclusión de materiales alternativos que permitan disminuir su extracción. Es así como en la actualidad se ha motivado la inclusión de fibras naturales, como el pelo de caballo, además de fibras sintéticas, como el vidrio (Mondragón, 2012).

En Colombia anualmente se producen enormes cantidades de ambos tipos de fibras, por un lado las fibras sintéticas son comunes en la mayor parte de actividades humanas, y por otra parte, el país cuenta con un sector equino del cual se extraen toneladas de pelo o fibra natural, que son totalmente desechadas, por esta razón, esta investigación estuvo orientada hacia la determinación de las características obtenidas en el mortero para pañete con la adición de este tipo de fibras, con el fin de corroborar si pueden convertirse en una opción viable para el sector de la construcción.

Capítulo 1. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio)

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente residuos de vidrio en grandes cantidades son generadas, y no son debidamente reutilizadas, y al tratarse de un producto no biodegradable tienden a presentarse graves afectaciones al medio ambiente, debido a su acumulación en campos abiertos donde se genera una alta proliferación de insectos, además, representan un peligro para personas y animales. Las actividades industriales, comerciales, hospitalarias, y de uso doméstico, representan la mayor producción de los restos de vidrio (Arciniegas & Fonseca, 2004).

Otro producto, aunque de origen natural, que es poco aprovechado es el pelo de caballo. Dado que Colombia cuenta con una de las industrias equinas más grandes del mundo, se generan anualmente enormes desperdicios derivados del esquilado de los caballos, los cuales en su mayoría son depositados directamente en fuentes naturales (Portafolio, 2018).

En México, diversas culturas indígenas siguen empleando artesanalmente el pelo de caballo como estabilizador en el adobe, material con el cual realizan su mayoría de

construcciones. Así mismo, numerosas investigaciones han utilizado esta fibra en la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida. En otros estudios se ha empleado como sustituto del cemento, adicionándose como ceniza en el concreto (Arteaga, Medina, & Gutiérrez, 2011; Álvarez, Mercedes, & Bedolla, 2009).

Con el fin de demostrar otra alternativa de aprovechamiento tanto para los residuos de fibra de vidrio, como de los pelos de caballo, se propuso su utilización adicionándose en el mortero para pañete de dosificación 1:4, para observar si el empleo de estos materiales permite mejorar las propiedades físico-mecánicas del pañete, ya que este, en su forma convencional de fabricación, presenta en su comportamiento baja capacidad de absorción de energía debido a su fragilidad a las sollicitaciones mecánicas.

1.2 Formulación del problema

¿Es adecuada la adición de fibras naturales (pelo de caballo) y fibras sintéticas (vidrio) para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Analizar las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio).

1.3.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la fabricación del mortero para pañete con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).
- Realizar el diseño de mezcla para la elaboración del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).
- Obtener las propiedades mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).
- Determinar las propiedades físicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo) por medio del ensayo de Ultrasonido.
- Comparación de los costos de fabricación del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).

1.4 Justificación

La inclusión de fibras en el mortero para pañete es una técnica empleada desde la antigüedad existiendo registros de la época del Neolítico en la región de Mesopotamia. Desde entonces, la inclusión de fibras en los pañetes ha ido avanzando junto con la evolución del conocimiento y los materiales disponibles, así como la función y finalidad del mortero en la construcción (Riaño & Ayala, 2019).

Aunque existen diferentes clasificaciones para distinguir los tipos de fibras, es usual dividir las fibras en dos clases: naturales y sintéticas, siendo las primeras obtenidas directamente de un material natural, como la madera, el coco, bambú, pelo de caballo, entre otros; mientras que las fibras sintéticas son aquellas que se derivan de materiales procesados industrialmente, como el vidrio, el carbono y el plástico. La adición de fibras tanto naturales como sintéticas, están encaminadas a mejorar el comportamiento del mortero (Bustillo, 2008; Santillán, 2020).

Dado que para la elaboración del mortero para pañete se requieren materias primas no renovables, como la arena, se busca con el uso de las fibras de pelo de caballo (natural) y de vidrio (sintética) reducir la demanda de este material, además de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mortero, brindando de esta manera una alternativa sustentable para el sector de la construcción (Castro, 2016).

El mortero para pañete propuesto en esta investigación cumple con los requisitos para ser clasificado como un ecomaterial, al utilizar un recurso totalmente natural (pelo de cabello) y otro reciclado (fibra de vidrio), cumpliendo de esta manera uno de los principales componentes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que es la creación de ciudades y comunidades sostenibles, ya que con este material para la construcción se promueve la utilización de materiales de bajo impacto ambiental o ecológicos y reciclados (Escuela de Organización Industrial, 2011; Uribe, 2012).

Con el desarrollo de ensayos de laboratorio basados en la norma ASTM C270 *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando especímenes cúbicos de 2 in o 50 mm)*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*, se verificó que el mortero cumpliera con las exigencias normativas actuales.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Operativas.

Para la realización de este trabajo de grado se hizo necesario la utilización del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, además de los laboratorios particulares: GEOTEC y Suelos y Concretos, los cuales se encuentran

debidamente certificados para llevar a cabo los ensayos requeridos para la investigación. El costo de los ensayos llevados a cabo en el laboratorio particular fue asumido en su totalidad por los estudiantes.

La adquisición de los materiales necesarios para desarrollar la investigación: fibra de vidrio y pelo de caballo, fue asumida por los estudiantes. En el caso específico del pelo de caballo, este fue adquirido en varias pesebreras del departamento del Cesar.

1.5.2 Conceptuales.

Se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos: morteros, fibras naturales y sintéticas, pelo de caballo, vidrio, ultrasonido, resistencia a flexión, y resistencia a compresión.

1.5.3 Geográficas

La investigación fue realizada en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.4 Temporales.

El tiempo de desarrollo de la investigación fue de 4 meses.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

El inicio de la utilización del mortero se remonta a la Antigüedad. Su uso estuvo destinado al agarre o unión dentro de la construcción, como revestimiento para la protección y decoración, así como la impermeabilización y la pavimentación de suelos. Las técnicas antiguas fundamentaron la base de los métodos actuales, aunque anteriormente el conglomerante comúnmente empleado era la cal, posteriormente, como el desarrollo del cemento portland, se consolidó la denominación generalizada del mortero, es decir, de una mezcla de cemento y arena (Alejandre, 2019).

En la ciudad de Jericó, se encontraron las primeras evidencias referentes al uso del mortero en la Antigüedad, las cuales datan del año 7000 a.C, donde se empleaba mortero de cal para recubrir las casas de ladrillo. Los egipcios, emplearon morteros de yeso en el año 2600 a.C. para pulir los bloques de la pirámide de Keops. La técnica de utilización de mortero fue tomada de Egipto posteriormente por los griegos y los romanos (Giordani & Leone, 2020).

Los romanos fueron los primeros en adicionar cenizas volcánicas, puzolanas, al mortero. Fue tal la calidad alcanzada por el mortero romano, que estudios comparativos han demostrado

que este era incluso más resistente que el mortero usado en la actualidad. Entre los factores que condicionó la calidad de este mortero se encuentran: adecuada proporción de las mezclas, elección de los materiales, la correcta corrección y apagado de la cal, así como el añadir los aditivos disponibles en ese entonces, especialmente aceites (Alvarez, Martín, & García, 1995).

No hubo ningún progreso técnico referentes al uso del mortero desde la caída del Imperio Romano. Además, durante el periodo feudal se hizo común la construcción transitoria, por lo cual no se prestó especial interés en la calidad de los materiales. Sin embargo, durante la época del Renacimiento, los constructores centraron su interés en el uso de mezclas, como la del mortero, por lo cual se retomó su uso y se mejoró la calidad de la misma con la adición de aditivos orgánicos, como la goma arábiga, cerveza, azúcar, la albumina de huevo, entre otros. Con la aparición del cemento Portland en el Siglo XIX, el uso del mortero se difundió a la par del concreto, por lo tanto, la definición actual de mortero está asociada principalmente al uso del cemento y la arena (Salamanca, 2001).

Desde finales del siglo XIX, los principios generales para la fabricación del cemento Portland no han sufrido cambios significativos. Así mismo, las técnicas de uso de mortero de arena y cemento se consideran tradicionales, sin embargo, ante las nuevas iniciativas en pro de la preservación de los recursos naturales, se ha buscado la manera de generar nuevas alternativas para el uso del mortero, especialmente mediante la inclusión de nuevos materiales, como las fibras (González, 2016).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Teorías.

2.2.1.1 Clasificación del mortero.

Actualmente existen diversas formas de clasificar los morteros. Entre las clasificaciones más importantes se encuentran: Por su tipo de composición: mortero de cemento, calcáreos, combinados, celulares, y poliméricos; por su tipo de preparación: premezclado y preparado in situ; por la función que cumplen: mortero sin función estructural o mortero de recubrimiento, y mortero con función estructural (Arciniegas & Fonseca, 2004)

De acuerdo a la ASTM C270 y la NTC 3329, los morteros se clasifican según propiedades, o por sus proporciones. Por propiedades se toma como referente la resistencia a la compresión, ya que a efectos de diseño, es la propiedad más importante. En cuanto a las proporciones, se basa en el conocimiento previo de los pesos unitarios de los materiales que componen el mortero (Salamanca, 2001).

Estas normas establecen 4 clasificaciones del mortero de acuerdo a su resistencia a la compresión:

- **Tipo M (Resistencia mínima a la compresión 17 MPa):** Es un mortero de alta resistencia, que ofrece mayor durabilidad que otro tipo de morteros, recomendándose para mamposterías reforzadas o sin refuerzo, pero que se encuentran sometidas a grandes cargas de compresión, así como altas cargas laterales de viento y temblores.
- **Tipo S (Resistencia mínima a la compresión 12,5 MPa):** Es el mortero que alcanza la más alta característica de adherencia posible en un mortero. Se recomienda para estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que requieran a la vez de una alta características de adherencia.
- **Tipo N (Resistencia mínima a la compresión 5 MPa):** Es un mortero de propósito general, recomendado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es ideal en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones, representando la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.
- **Tipo O (Resistencia mínima a la compresión 2,5 MPa):** Es un mortero de baja resistencia, que puede usarse en paredes y divisiones sin carga o para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos. Son recomendados en construcciones de vivienda de uno o

dos pisos. Son el tipo de mortero preferidos por albañiles por su trabajabilidad y bajo costo.

2.2.1.2 Usos del mortero de acuerdo a su dosificación.

La relación del mortero corresponde a su dosificación cemento:arena. De acuerdo a la dosificación se recomiendan determinados usos para el mortero, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Usos recomendados para el mortero de acuerdo a su dosificación.

Dosificación mortero	Usos
1:1	Rellenos e impermeabilizaciones
1:2	Rellenos, tanques subterráneos e impermeabilizaciones
1:3	Pisos, e impermeabilizaciones menores
1:4	Pañetes finos, muros y baldosines
1:5	Pañetes no muy finos, baldosines, mampostería, y pega de ladrillos, exteriores
1:6 y 1:7	Pañetes no muy finos, pega de ladrillos, baldosines, exteriores
1:8 y 1:9	Estabilización de taludes.

Nota: Recomendaciones basadas en las aplicaciones dadas hasta la fecha en el mortero. Adaptada de Arciniegas & Fonseca, 2004.

2.2.1.3 Clasificación de las fibras.

De acuerdo a su tamaño, las fibras se encuentran clasificadas en dos grupos (Riaño & Ayala, 2019):

- **Microfibras:** Normalmente corresponden a fibras de polipropileno, nylon, polietileno, plástico, entre otros, que permiten reducir la segregación de las mezclas y previenen la aparición de fisuras durante la construcción. Este tipo de fibras tienen una longitud que oscila entre los 12 y los 75 mm.
- **Macrofibras:** Corresponden a materiales como el vidrio, sintéticos, acero, entre otros, los cuales pueden ser usados en todo el espesor y dirección del elemento a reforzar. Las fibras incrementan la tenacidad de las mezclas y aumentan la capacidad de carga posterior al agrietamiento, al actuar como malla electrosoldada y varillas de refuerzo. La longitud de este tipo de fibras oscila entre los 13 a los 70 mm.

Según el origen de las fibras, es de común aceptación la siguiente clasificación (Mendoza, Orjuela, & Silva, 2011):

- **Fibras naturales:** Son aquellas disponibles directamente en la naturaleza, pueden ser de origen vegetal (algodón, lino, cáñamo,...), animal (Seda, lana, y pelo de diferentes animales), y mineral (carbón, metales, entre otros).
- **Fibras Químicas:** Se obtienen a partir de polímeros de diferente procedencia, por medio de reacciones de tipo químico.
- **Fibras sintéticas:** Son aquellas obtenidas mediante procedimientos industrializados, con los cuales se obtienen materiales con color, brillo, resistencia y capacidad de aislamiento térmico que no poseen las fibras naturales. Dentro de este tipo de fibras se encuentran el vidrio y la cerámica.

2.2.2 Estado del arte.

A continuación se listan los trabajos e investigaciones que se relacionan directamente con el presente proyecto:

En la Universidad Industrial de Santander, ubicada en la ciudad de Bucaramanga, en el año 2014, se llevó a cabo la investigación titulada: “UTILIZACIÓN DE VIDRIO RECICLADO EN MORTEROS”. Como resultado del estudio se demostró que la adición de vidrio permite que las

propiedades mecánicas de flexión, compresión y tracción aumenten, así como mejorar la absorción capilar, permeabilidad, resistencia al ataque de sulfatos, porosidad, y difusión al ion cloro (Arciniegas & Fonseca, 2004).

En la ciudad de Madrid, España, la Universidad Politécnica de Madrid llevo a cabo en el año 2018, la investigación titulada: “MORTEROS CON PROPIEDADES MEJORADAS DE DUCTILIDAD POR ADICIÓN DE FIBRAS DE VIDRIO, CARBONO Y BASALTO”. El propósito era evaluar el efecto producido por la incorporación de diferentes cantidades de fibras de carbono, vidrio y basalto en el mortero, enfocándose en el análisis de la capacidad de absorción de energía de estos materiales. Los resultados del estudio resaltan el aumento de la capacidad de absorción de energía con el uso de estas fibras (Bustos, 2018).

En la ciudad de Chimbote, Perú, en el año 20128, se llevó a cabo en la Universidad San Pedro la investigación titulada: “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO $f'c=210$ KG/CM², SUSTITUYENDO EL CEMENTO POR 10% DE CENIZA DE TUSA DE MAÍZ Y 5% DE CENIZA DE COLA DE CABALLO”. Como conclusión general de este ensayo los autores indican que la adición de ambos tipos de cenizas representan un aumento de la resistencia del concreto respecto al concreto convencional, en todos los períodos de ensayo: 7, 14 y 28 días (Pérez, 2018).

En el año 2020, en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia, la Universidad La Gran Colombia efectuó la investigación titulada: “USO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DEL MORTERO DE PEGA DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL (FIBRA DE FIQUE)”, con la cual demostraron que la adición de este tipo de fibras permite obtener una mayor resistencia (Porrás & Guzmán, 2020).

En el año 2020, la Escuela de Caminos de la ciudad de Barcelona, España, desarrolló la investigación titulada “UTILIZACIÓN DE FIBRAS NATURALES PARA EL DESARROLLO DE MORTEROS REFORZADOS CON FIBRAS”, en las que realizaron una comparación de fibras de origen vegetal con fibras sintéticas (polivinilo), realizando ensayos para determinar sus propiedades mecánicas, como resultado indicaron que el uso de fibras naturales representa mayores ventajas, ya que el uso de polivinilo perturba el comportamiento del mortero en estado fresco, al disminuir el escurrimiento y por consecuencia dificultar su puesta en obra, haciendo necesario la inclusión de aditivos que mejoren la trabajabilidad (Santillán, 2020).

Con este conjunto de investigaciones, se buscó obtener las bases teórico-prácticas que permitieran el desarrollo del presente trabajo, especialmente en lo concerniente a los métodos a emplear para realizar el diseño de mezcla, los porcentajes de fibras (pelo de caballo y vidrio) a emplear, así como los ensayos de laboratorio necesarios para obtener la mejor caracterización del mortero fabricado.

2.3 Marco conceptual

Para el desarrollo del trabajo de grado fue necesario tener presente los siguientes conceptos:

2.3.1 Mortero.

A la mezcla homogénea resultante de la adición de cemento, agregados finos, agua, y ocasionalmente aditivos, se le conoce como mortero, el cual puede ser considerado como un concreto, pero sin agregado grueso. La función estructural que desarrollan los morteros permite que sean empleados en determinados elementos, aunque su principal función es servir de pega o de relleno. Otro tipo de morteros no cumplen funciones estructurales, y son aquellos destinados al recubrimiento en forma de pañetes, revoques o repellos. En Colombia, su principal uso está destinado a las obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, entre otros usos. En la figura 1 se observa el aspecto común de este material (Gómez, 2017).

Lo morteros son empleados frecuentemente en elementos no estructurales en las edificaciones, tales como muros de fachada, interiores, parapetos y antepechos, entre otros. Su uso está normalizado por la NTC 3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería (ASTM C270)*. Aunque el mortero no cumpla una función propiamente estructural, su calidad debe ser la adecuada para garantizar que no se presenten desprendimientos excesivos

durante eventos sísmicos, que puedan conllevar a pérdidas de vidas humanas, o a incrementar los daños en la edificación (Mendoza, Orjuela, & Silva, 2011).



Figura 1. Aspecto del mortero empleado en obra. Obtenido de:
<https://constructivo.com/noticia/como-elaborar-los-morteros-mas-utilizados-en-las-obras-1577369796>

En un muro de mampostería, el mortero representa entre un 10 y un 20% del volumen total del material, no obstante, su efecto en el comportamiento de la pared es mucho mayor de lo que indica tal porcentaje. Por esta razón se considera fundamental garantizar que la calidad de los materiales sea la requerida de acuerdo a las normas estipuladas (Salamanca, 2001).

2.3.2 Fibras naturales.

Las fibras naturales son aquellas que son obtenidas de una planta o un animal. La mayoría de estas fibras suelen emplearse en la industria textil, así como para la fabricación de sogas. Con la búsqueda de nuevas soluciones que permitan disminuir el uso de materiales no renovables, se

ha buscado alternativas para incentivar el empleo de fibras naturales, ya que estas representan una opción totalmente ecológica para ser adicionada en materiales de gran demanda, como lo es concreto y el mortero (Mondragón, 2012).

2.3.2.1 Fibras vegetales.

Dentro de este conjunto de fibras destacan la abaca, el bonote, el algodón, la lina, el cáñamo, el yute, el ramio, y el sisal. Cada una de estas fibras brinda ventajas para la fabricación de distintos materiales, especialmente textiles. Así mismo, su disponibilidad está condicionada a las características geográficas y climáticas de cada región, de ahí el hecho, de que algunas fibras sean más costosas que otras (Riaño & Ayala, 2019).

2.3.2.2 Fibras animales.

Dentro de este conjunto de fibras destacan: la alpaca, la angora, el camello, la cachemira, el mohair, la seda y la lana. Cada una de estas fibras es de uso común en muchas regiones, siendo la seda y la lana las más conocidas a nivel mundial, especialmente por las facilidades que ofrecen y por su resistencia (Uribe, 2012).

2.3.3 Fibras sintéticas.

Las fibras sintéticas engloban el conjunto de fibras obtenidas de polímeros sintéticos derivados del petróleo, así como aquellas fibras inorgánicas, como el vidrio. Estas fibras comúnmente son empleadas con usos industriales para la fabricación de velas de barcos, paracaídas, cordelería, así como en la industria textil (Bustos, 2018).

Las fibras sintéticas han cobrado gran importancia dentro del sector de la construcción, debido a que su uso permite controlar grietas causadas por temperatura o para mejorar el desempeño post-agrietamiento de los elementos del concreto o del mortero sometidos a flexión y tensión, lo cual permite reemplazar o disminuir el uso de mallas electrosoldadas y de las barras de acero (ULTRACEM, 2020).

El uso de fibras ofrece grandes beneficios, ya que se distribuyen tridimensionalmente en la masa de mortero y aseguran su efectividad, evitando las dificultades de colocación que se presentan en el mortero convencional. La aplicación de las fibras no causa sobrecostos y es de rápida instalación. Las fibras no son susceptibles a los efectos de la corrosión (ULTRACEM, 2020).

Actualmente las fibras sintéticas se encuentran normalizadas en la ASTM C1116, donde se clasifican las fibras en base a su composición: acero, vidrio, sintéticas y naturales.

2.3.4 Pelo de caballo.

El pelo de caballo, clasificado como una fibra de origen natural, hace referencia al obtenido de la crin o de la cola del caballo, y que es recortado para mantener figuras estéticas en estos animales. Este material es en la actualidad poco utilizado, por lo que generalmente es desechado. Al proceso de corte del pelo de caballo se denomina como esquilado, en la figura 2 se observa este proceso (Pérez, 2018).



Figura 2. Esquilado del pelo de caballo. Obtenido de:
<https://www.youtube.com/watch?v=SfApPXR8Uo8>

El pelo, que es una característica de los mamíferos, cumple una función importante en el aislamiento térmico y la percepción sensitiva y también como barrera contra lesiones cutáneas químicas, físicas, actínicas y microbianas (Scott, 1990). La capacidad del manto piloso para regular la temperatura corporal tiene una estrecha correlación con su longitud, espesor y densidad por unidad de superficie y con la medulación de las fibras pilosas individuales. En general, los mantos pilosos compuestos por fibras lagas, finas y poco meduladas y con

profundidad del manto que incrementa por la piloerección son los que logran aislamiento térmico más eficiente frente a temperaturas ambientales bajas. El color del manto también cumple un papel en la regulación térmica; los mantos de colores claros son más eficientes en climas cálidos y soleados. El lustre del manto es importante para reflejar la luz solar. La transglutaminasa es un marcador de folículos pilosos en fase anágena temprana y es importante en la formación enlaces cruzados de proteínas que contribuyen a la forma y a la elevada resistencia del pelo (Song, 1991). 20 El diámetro del tallo piloso depende en gran parte del volumen del epitelio de la matriz pilosa y la longitud final del tallo piloso depende de la forma del folículo piloso: los folículos rectos producen pelos lacios y los folículos en espiral, pelo ondulado (Scott, 1990).

2.3.5 Fibra de Vidrio.

El vidrio es fabricado en diversas composiciones, siendo de naturaleza inorgánica. En el campo industrial, estas fibras suelen fundirse a altas temperaturas para la posterior conformación de telas de gran resistencia, las cuales son empleadas para la conformación de colchonetas, filamentos, espejos, velos, entre otros usos. La fibra adicionada en morteros o concretos, suele resultar de la trituración de botellas, envases, u otros productos hechos de vidrio, hasta que alcancen un diámetro o longitud deseada. En la figura 3 se observan fibras de vidrio después de ser trituradas previamente (Quintero, 2007).



Figura 3. Fibras de vidrio. Obtenido de: Bustos, 2018. Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto. Pág. 56.

Los orígenes del vidrio se remontan al Antiguo Egipto, época desde la que datan algunas piezas conservadas en el Museo de Londres. Sin embargo, en cuanto a la fibra de vidrio, los primeros registros datan del año 1713, época en la cual un diseñador francés desarrollo tejidos elaboradas con este material en la Academia de Ciencia de París (Francia), sin embargo, su uso estaba limitado. Fue a partir del año 1936 que comienza la producción a gran escala de la fibra de vidrio o lana de vidrio. En la actualidad la fibra de vidrio se utiliza comúnmente como un material aislante térmico. También se emplea como agente de refuerzo para muchos productos poliméricos, para dar como producto final un material compuesto muy fuerte y ligero denominado plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) (Suresh, 2019).

2.3.6 Ensayo de ultrasonido.

Es un método de ensayo que se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar, se caracteriza por ser aplicable a todo tipo de materiales. Está clasificado como un ensayo no destructivo. Las frecuencias, o emisiones, que son usadas para los ensayos por ultrasonido están por encima del límite perceptible por el oído humano, comúnmente en un rango de 500 kHz a 20 MHz. En la figura 4 se observa el equipo generalmente empleado para realizar este tipo de ensayos (Universidad de Burgos, 2020).



Figura 4. Equipo para ensayo de Ultrasonido. Obtenido en: <http://www.adatec.co.cr/route.php?url=equipovelocidadimpulsosultrasonicos>

El método del ultrasonido fue desarrollado por primera vez en Canadá por Leslie y Cheesman entre los años 1945 y 1949; de la misma forma en que también fue utilizado por Jones y Gatfield en Gran Bretaña, prácticamente al mismo tiempo. Fue empleado con mucho éxito desde la década de los 60 del siglo XX para diagnosticar el estado de concreto utilizado en

cortinas de presas. Su ensayo se encuentra especificado en la ASTM C-597 *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, y en Colombia su norma correspondiente es la NTC 4325 *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto* (Cruz, et al., 2015).

El ensayo de ultrasonido se encuentra clasificado dentro de los métodos no destructivos para determinar propiedades en el concreto. Entre las ventajas del uso de este método puede referirse a que cualquiera que sea el medio de propagación de las ondas, con este método se necesita una única medida para obtener un valor representativo, es decir que la dispersión de este ensayo resulta muy baja. Por otra parte, resulta un ensayo de muy bajo costo pues el equipo es barato, con elevada confiabilidad y de fácil manejo; sin dejar a un lado que se refiere a uno de los ensayos no destructivos al concreto, con lo que además se garantiza repetitividad y versatilidad. Varios autores consideran que aunque este ensayo no permita evaluar directamente la resistencia del concreto, correlacionando las medidas ultrasónicas con la resistencia a partir de una combinación del método con calibración en laboratorio, podría ofrecerse una estimación de la resistencia característica del concreto ensayado con una precisión de $\pm 20\%$ (Vidaud, 2016).

2.3.7 Resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión refleja los esfuerzos ocurridos en una muestra antes de ceder ante la aplicación de ensayos donde se emplean probetas de sección circular o rectangular, las cuales se fracturan o ceden al someterlo a una prueba de tres punto. Para su obtención deben realizarse los procedimientos descritos en la NTC 120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico (ASTM C348)* (Santillán, 2020).

2.3.8 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión indica el máximo esfuerzo que puede ser soportado por un material ante una carga de aplastamiento. Se refleja en una falla a la rotura, por lo que la compresión se define como una propiedad independiente. Cuando el material no se rompe ante la aplicación de la carga, se define a la compresión como la cantidad de esfuerzo que permite su deformación en determinada cantidad. Su cálculo se logra dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. Para su obtención deben realizarse los procedimientos descritos en la NTC 220 *Determinación de la resistencia morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas de lado (ASTM C109)* (Instron, 2020).

Con la obtención de la resistencia a la flexión y a la compresión se buscó determinar si la adición de fibras de pelo de caballo y vidrio en conjunto, permiten mejorar las propiedades mecánicas del mortero.

2.4 Marco legal

La continuidad de esta investigación estuvo sujeta a la congruencia que se mantuvo con respecto a los requisitos legales y normativos mencionados a continuación:

Capítulo 3 del Título D de la Norma Técnica Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), creada por la ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008/ modificada ley 945 de 2017).

Ley 603 de 2000, sobre la legalización del software para proteger la propiedad intelectual y evitar el incremento de piratería en Colombia.

Ley 1796 de 2016 o Ley de vivienda segura, en la cual se establecen medidas enfocadas a la protección del comprado de vivienda.

ASTM C-270 *Especificación estándar para mortero usado en mampostería* y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*, donde se indican las especificaciones del mortero para unidades de mampostería.

ASTM C-144 *Especificación estándar para agregados de mortero de albañilería*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-2240 *Agregados usados en morteros de mampostería*, donde se indican las especificaciones que deben cumplir los agregados empleados para la fabricación de mortero de mampostería.

ASTM C-1157 *Especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-121 *Especificación de desempeño para cemento hidráulico*, donde se indican las especificaciones que deben cumplir el cemento a emplear en el mortero.

ASTM C-109 *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando especímenes cúbicos de 2 in o 50 mm)*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado*, donde se indican las especificaciones para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente.

ASTM C-348 *Método de prueba estándar para resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, donde se indican las especificaciones para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente.

ASTM C-136 *Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-77 *Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*, donde se indica el método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

ASTM E-114 *Estándar practice for ultrasonic pulse-echo straight-beam examination by the contact method*, y la Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 4325 *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto*, donde se especifica el procedimiento de ensayo por ultrasonido en probetas de concreto y mortero.

Este conjunto de normas permitieron corroborar la calidad del mortero desarrollado en este trabajo, mediante la obtención de sus propiedades y las características requeridas para su clasificación.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

El presente proyecto correspondió a una investigación cuantitativa de tipo experimental, donde se realizaron ensayos de laboratorio a partir de la fabricación del mortero para pañete de dosificación 1:4 con adición de fibras de vidrio y de pelo de caballo, con el fin de comparar su comportamiento respecto al mortero comúnmente empleado.

3.2 Población

La población consistió en el mortero de pañete de dosificación 1:4 (cemento:arena) con adición de distintos porcentajes de fibras (vidrio y pelo de caballo). Los porcentajes adicionados fueron determinados en el diseño de mezcla del segundo objetivo de este trabajo.

3.3 Muestra

Se trabajó con un muestreo intencional u opinático, donde se seleccionó los materiales que permitieran la fabricación del mortero de dosificación 1:4, con adición de tres porcentajes

distintos de fibra: 0,5%, 1,5% y 2,5%. Para la realización de los ensayos para obtener las propiedades mecánicas fue necesario la realización de probetas, las cuales fueron ensayadas acorde a las Normas Técnicas Colombianas 220 y 120. Se estableció para la investigación un número mínimo de 3 probetas por cada porcentaje de fibras adicionado al pañete. El total de probetas ensayadas fue de 61. En la tabla 2 se detalla las probetas ensayadas en cada ensayo.

Tabla 2

Número de probetas de pañete o mortero empleadas para cada ensayo

Ensayo	Número de probetas
Resistencia a compresión	24
Resistencia a flexión	24
Ultrasonido	4
Total probetas	52

Nota: Número de probetas ensayadas. Autores, 2021.

3.4 Instrumentos para la recolección de información

Las técnicas de recolección de información utilizadas en el desarrollo de este proyecto fueron la observación, donde se empleó: lista de frecuencia y cámara fotográfica, además se emplearon los formatos de toma de datos y análisis disponibles en los laboratorios donde se efectuaran los ensayos al pañete o mortero.

3.5 Análisis de información

El objetivo principal de este proyecto estuvo enfocado en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio), para lo cual fue necesario analizar la información cuantitativa recolectada mediante un análisis estadístico descriptivo, donde se emplearon los siguientes parámetros: regresión, residuos, coeficiente de correlación múltiple, coeficiente de determinación, porcentaje de error, moda, media aritmética, media armónica, máximo y mínimo.

Para lograr tal propósito se plantearon 5 etapas:

La primera etapa consistió en caracterizar cada uno de los materiales a utilizar para la fabricación del mortero para pañete, especialmente la arena, sobre la cual se realizó un ensayo de granulometría para cumplir con lo establecido en la NTC-2240 *Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería*. Además se realizó el triturado de la fibra de vidrio, la cual fue adquirida en la Ferretería Miguel Mezclas de la ciudad de Ocaña. El mismo procedimiento se realizó para la fibra de pelo de caballo.

En la segunda etapa se realizó el diseño de mezcla para la elaboración del mortero para pañete. Se llevó a cabo la fabricación de probetas para el pañete con dosificación 1:4 sin adición

de fibras, y probetas para el pañete con dosificación 1:4 con adición de tres porcentajes de fibras de vidrio y pelo de caballo: 0,5%, 1,5% y 2,5%, respecto a la cantidad de arena adicionada.

En el tercer objetivo se realizaron los ensayos correspondientes para la obtención de las propiedades mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo), acorde a las normas de NTC-220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado*, y NTC-120 *Flexión de morteros de cemento hidráulico*. Se efectuó la respectiva categorización del mortero para pañete de acuerdo a la NTC-3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*.

En la cuarta etapa, se realizó el ensayo de Ultrasonido a los cubos de mortero para pañete en las instalaciones del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, con el fin de analizar las características físicas producidas por la adición de las fibras de vidrio y pelo de caballo.

Por último, en la quinta etapa, se compararon los costos de ejecución del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibras (vidrio y pelo de caballo) fabricados respecto al pañete con dosificación 1:4 empleado en las distintas construcciones de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio)

La adición de fibras tanto naturales como sintéticas en un material como el mortero, el cual es de uso frecuente en la construcción de edificaciones, está orientada hacia la búsqueda de una nueva alternativa de construcción sostenible, que permita el aprovechamiento de materiales, como las fibras de pelo de caballo y vidrio, que de otra manera serían totalmente desechados.

Esta investigación se realizó con el propósito de analizar las propiedades físicas y mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con adición de fibra natural (pelo de caballo) y fibra sintética (vidrio), para lo cual fue necesario el desarrollo de los objetivos específicos descritos a continuación:

4.1.1 Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la fabricación del mortero para pañete con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).

Los materiales utilizados en la investigación fueron:

1. Cemento. Se empleó cemento Tipo I, o gris de uso general, el cual es muy empleado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, razón por la cual fue seleccionado. En la figura 5 se observa el aspecto del cemento empleado para la fabricación de las probetas de mortero.



Figura 5. Aspecto del cemento empleado en la investigación. Autores, 2021.

2. Arena. Esta fue adquirida en un establecimiento ubicado en el Barrio Marabel de la ciudad de Ocaña. En la figura 6 se observa la arena empleada para la fabricación de las probetas de mortero.



Figura 6. Arena empleada para la fabricación de las probetas de mortero. Autores, 2021.

Esta arena fue sometida a un ensayo de granulometría, donde se constató que cumple con los requerimientos establecidos en la NTC-2240 *Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería*, como se observa en la figura 7. En el Apéndice A se muestra el formato entregado por el laboratorio Suelos y Concretos, para este ensayo.

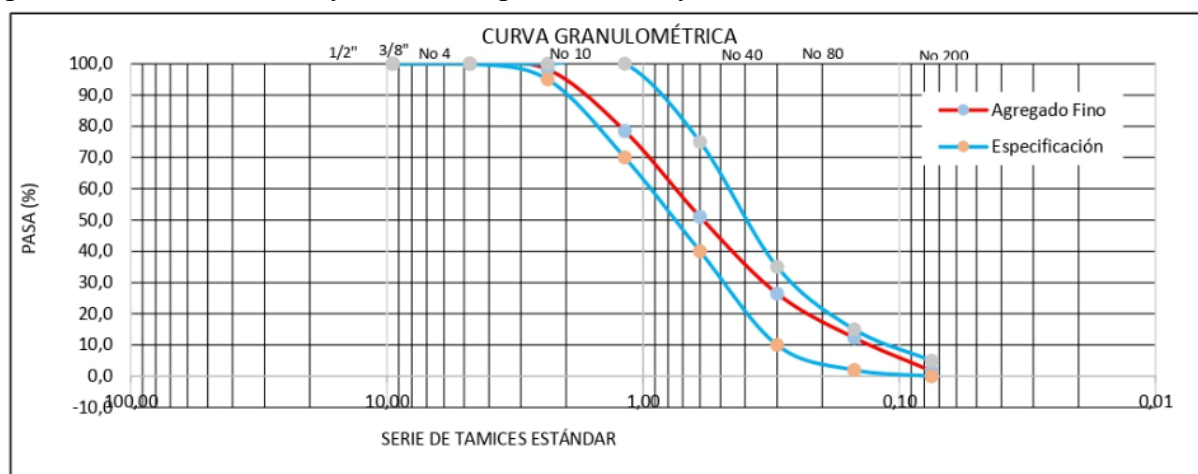


Figura 7. Granulometría de la arena empleada. Autores, 2021.

3. Pelo de caballo. Este material fue recolectado directamente después del esquilado de los caballos, por lo que no presentaron ningún tipo de contaminación (material orgánico vegetal, tintes, sprays, etc.). En la figura 8 se observa el pelo de caballo recolectado.



Figura 8. Pelo de caballo recolectado para la investigación. Autores, 2021.

Para facilitar su adición en el mortero, el pelo de caballo fue triturado manualmente empleado tijeras, hasta el menor tamaño posible, como se observa en la figura 9.



Figura 9. Pelo de caballo triturado. Autores, 2021.

4. Fibra de vidrio. Este material fue adquirido en la ferretería Miguel Mezclas del Barrio La Rotina de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander. En la figura 10 se observa este material.



Figura 10. Fibra de vidrio adquirida para la investigación. Autores, 2021.

Al igual que el pelo de caballo, fue necesario triturar la fibra de vidrio para facilitar su inclusión en el mortero. En la figura 11 se observa esta fibra después de triturada.



Figura 11. Fibra de vidrio triturada. Autores, 2021.

4.1.2 Realizar el diseño de mezcla para la elaboración del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).

El diseño de mezcla se basó en la adición de las fibras (vidrio y pelo de caballo) como sustituto del porcentaje de arena presente en el mortero. Basados en la bibliografía recopilada, se decidió inicialmente realizar un diseño de mezcla con adición de 0, 5, 10 y 15% de fibra respecto al porcentaje de arena, sin embargo, la mezcla con adición de 5% no era manejable, por lo que se decidió no continuar con la elaboración de los porcentajes de 10 y 15%, y disminuir los porcentajes de fibra en un nuevo diseño. En la figura 12 se observa la mezcla de mortero con adición de 5% de fibras.



Figura 12. Mezcla de mortero con adición de 5% de fibra. Autores, 2021.

Debido a la situación anterior, se decidió realizar un reajuste en los porcentajes de fibra a incluir en el mortero. Los nuevos porcentajes para el diseño de mezcla fueron 0, 0,5, 1,5 y 2,5%. Para iniciar con el diseño, se verificaron las normas NTC 220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado*, y la NTC 120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*. De acuerdo a estas dos normas, para conocer las propiedades del mortero, se deben fabricar cubos con dimensiones de 5x5x5 cm, y vigas de 4x4x16 cm.

Respecto a la adición de las fibras, se debe aclarar que se empleó una relación Pelo de caballo: Vidrio de 1:2, es decir, se empleó en todos los porcentajes el doble de fibra de vidrio, esto debido a que fue el material de mayor facilidad de adquisición, y que se contaba con una cantidad superior a la disponible de pelo de caballo.

La dosificación del mortero para pañete fue de 1:4, por lo que se determinó la cantidad de cemento a emplear por cada cm^3 , como se observa en la tabla 3.

Tabla 3

Cantidad de mortero por cm^3

Relación 1:4	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (l) Relación A/C (0,5)
1 m^3	364	1484	180
1 cm^3	0,000364	0,001484	0,000182

Nota: Autores, 2021.

Después se calculó el volumen, de cada cubo y viga, como se muestra en las tablas 4 y 5, respectivamente.

Tabla 4

Volumen de un cubo de mortero

Dimensiones probeta			Volumen probeta (cm^3)
Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	
5	5	5	125

Nota: Autores, 2021.

Tabla 5

Volumen de una viga de mortero

Dimensiones probeta			Volumen probeta (cm^3)
Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	
4	4	16	256

Nota: Autores, 2021.

Se realizó un total de 32 cubos y 32 vigas de mortero, divididas en 4 mezclas: 0%, 0,5%, 1,5% y 2,5%. Cada mezcla fue elaborada por separado, para lo cual fue necesario adicionar las siguientes cantidades para cada material como se observa en las tablas 6 y 7, respectivamente.

Tabla 6

Cantidad de material requerido para la fabricación de los cubos

Cantidad de fibra (%)	Material				
	Cemento (kg)	Arena (kg)	Pelo de caballo (kg)	Vidrio (kg)	Agua (l)
0	0,36	1,48	0,000000	0,00000	0,18000
0,5	0,36	1,48	0,002473	0,00495	0,18000
1,5	0,36	1,46	0,007420	0,01484	0,18000
2,5	0,36	1,45	0,012367	0,02473	0,18000
Total	1,46	5,87	0,02226	0,04452	0,72000

Nota: Autores, 2021.

Tabla 7

Cantidad de material requerido para la fabricación de las vigas

Cantidad de fibra (%)	Material				
	Cemento (kg)	Arena (kg)	Pelo de caballo	Vidrio	Agua (l)
0	0,75	3,04	0,00000	0,000	0,38
0,5	0,75	3,02	0,00507	0,250	0,38
1,5	0,75	2,99	0,01520	0,750	0,38
2,5	0,75	2,96	0,02533	1,250	0,38
Total	2,98	12,02	0,04559	2,250	1,52

Nota: Autores, 2021.

En la tabla 8 se muestra la cantidad que se empleó de cada material en cada una de las 4 mezclas elaboradas, y que permitieron la fabricación de los cubos y vigas. Se debe añadir que se empleó una relación de agua:cemento de 0,5.

Tabla 8

Cantidad de materiales utilizados en cada mezcla

Mezcla de mortero	Materiales (kg)					
	Cemento	Arena	Total Fibra	Pelo de Caballo	Vidrio	Agua
Mezcla 0%	1,11	4,52	-	-	-	0,555
Mezcla 0,5%	1,11	4,50	0,0226	0,0075	0,0151	0,555
Mezcla 1,5%	1,11	4,46	0,0678	0,0226	0,0452	0,555
Mezcla 2,5%	1,11	4,41	0,1131	0,0377	0,0754	0,555
Total	4,44	17,89	0,2035	0,0678	0,1357	2,2189

Nota: Autores, 2021.

En el Apéndice B se muestran los formatos empleados para los cálculos realizados en el diseño de mezcla.

Obtenidas las cantidades a emplear para el diseño de cada mezcla (para cada porcentaje de fibra), se hizo necesario fabricar manualmente los moldes de los cubos y vigas. Para esto se utilizó icopor. En la figura 13 se muestran los moldes fabricados.



Figura 13. Moldes de icopor empleados para la fabricación de los cubos y vigas de mortero. Autores, 2021.

Posteriormente se realizó la fabricación de las probetas para lo cual se mezclaban los distintos materiales en las cantidades especificadas para cada porcentaje de fibra (ver figuras 14 y 15).



Figura 14. Materiales antes de mezclado. Autores, 2021.



Figura 15. Materiales después del mezclado. Autores, 2021.

Las mezclas eran mezcladas o revueltas hasta que las fibras se encontraran uniformemente distribuidas. Después se adicionaba el agua requerida, se continuaba el mezclado, y finalmente el mortero era colocado en sus respectivos moldes, como se observa en la figura 16.



Figura 16. Colocación del mortero en los moldes. Autores, 2021.

El procedimiento fue realizado para todas las mezclas hasta completarse el número de cubos y vigas calculados, como se observa en la figura 17.



Figura 17. Probetas de mortero fabricadas realizadas. Autores, 2021.

Transcurridas las 24 horas necesarias para el fraguado completo del mortero, se procedió retirar las probetas del molde de icopor, como se observa en la figura 18.



Figura 18. Retiro de las probetas de mortero del molde de icopor. Autores, 2021.

Finalmente las probetas fueron marcadas con sus respectivos porcentajes de fibra adicionada y ubicadas en un depósito de agua para garantizar su curado. En el Apéndice C, se

muestra el registro fotográfico detallado del proceso realizado para la fabricación de las probetas de mortero.

4.1.3 Obtener las propiedades mecánicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).

Las propiedades mecánicas obtenidas en este objetivo son específicamente la resistencia a la compresión, y la resistencia a la flexión, cuyos ensayos fueron efectuados de acuerdo a las normas NTC 220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado*, y la NTC 120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, respectivamente.

4.1.3.1 Resistencia a la compresión.

De acuerdo a la NTC 220, los ensayos de resistencia a la compresión en cubos de morteros deben realizarse a los 7 y 28 días. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio GEOTEC ubicado en el barrio Villa Paraíso de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, empleando la maquina universal de ensayos y aplicando cargas a los cubos hasta obtener la resistencia final a la rotura. En la figura 19 se muestra un cubo después de finalizado el ensayo. El registro fotográfico de la obtención de esta propiedad se anexa en el Apéndice D, junto con los formatos entregados por el laboratorio.



Figura 19. Cubo de mortero para pañete después de obtener su resistencia final a compresión. Autores, 2021.

En las tablas 9 y 10, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, respectivamente, acompañados de su respectiva representación gráfica en las figuras 20 y 21.

Tabla 9

Resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 7 días

Fibra (%)	Dimensión Cubo (mm)		Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Largo	Ancho		
0	48	48	14,38	6,24
	48	50	12,07	5,03
	48	49	13,58	5,77
0,5	48	49	7,91	3,36
	47	48	7,86	3,48
	49	48	8,60	3,66
1,5	46	48	3,82	1,73
	48	48	3,87	1,68
	46	49	3,79	1,68
2,5	48	49	3,32	1,41
	48	48	3,29	1,43
	49	49	3,32	1,38

Nota: Autores, 2021.

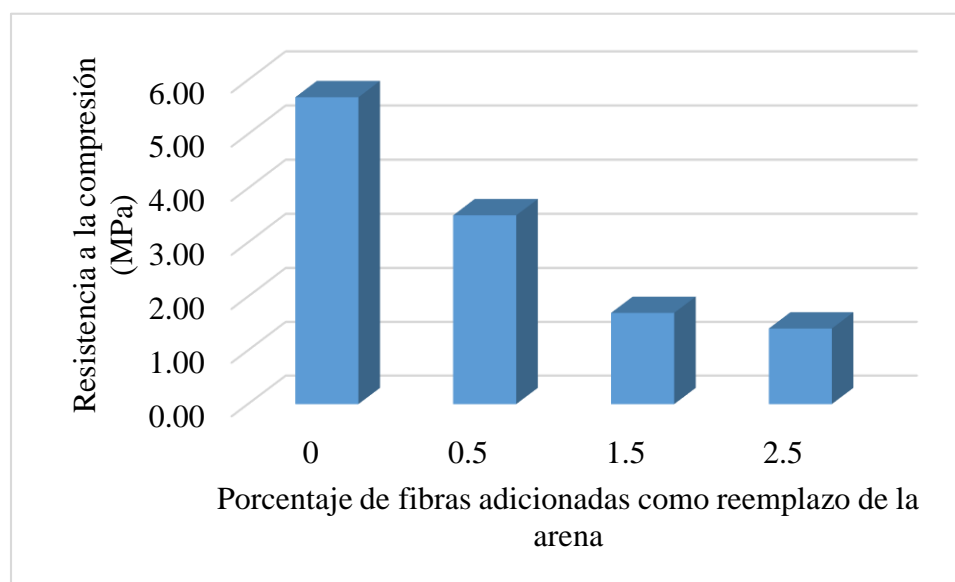


Figura 20. Gráfico de resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 7 días. Autores, 2021.

Tabla 10

Resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 28 días

Fibra (%)	Dimensión Cubo (mm)		Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Largo	Ancho		
0	48	49	16,69	7,10
	48	49	16,39	6,97
0,5	48	49	15,21	6,47
	48	49	11,28	4,80
	48	49	10,47	4,45
1,5	48	49	10,40	4,42
	48	49	5,90	2,31
	48	49	5,36	2,28
2,5	48	49	5,13	2,18
	49	49	5,47	2,28
	49	49	5,37	2,24
	49	49	4,56	1,90

Nota: Autores, 2021.

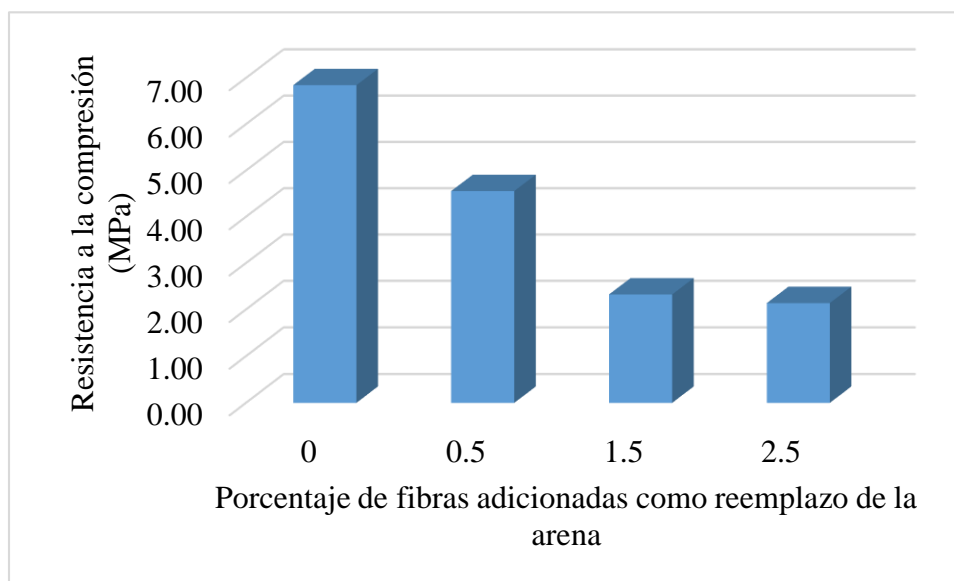


Figura 21. Gráfico de resistencia a la compresión del mortero para pañete a los 28 días. Autores, 2021.

Se observa en los resultados de las tablas y gráficas anteriores, que la adición de fibras para disminuir la cantidad de arena presente en el mortero para pañete, produce una disminución de la resistencia a la compresión. A los 7 días la resistencia disminuye, respecto al mortero sin fibras, un 38% para la adición de 0,5%, un 70% para la adición de 1,5%, y un 75% para la adición de 2,5%. Sin embargo, a los 28 días, la disminución es de 33% para la adición de 0,5%, de 66% para la adición de 1,5%, y de 69% para la adición de 2,5%. Estos resultados muestran que adiciones superiores al 0,5% de las fibras estudiadas no resultan convenientes.

De acuerdo a la NTC 3329 *Concretos Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*, los morteros pueden ser clasificados de acuerdo a su resistencia a la compresión.

Tabla 11

Clasificación del mortero de acuerdo a su resistencia a la compresión

Tipo	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
M	17,20
S	12,40
N	5,20
O	2,40

Nota: Tabla 2 de la NTC 3329.

Según esta clasificación, el mortero para pañete sin adición de fibras estudiado en esta investigación se encuentra clasificado como de tipo N. Con la adición de 0,5% de fibras en el

mortero, se obtiene una clasificación de tipo O, mientras que la adición de 1,5% y 2,5% no permite alcanzar la clasificación mínima, aunque los valores obtenidos se encuentran muy cerca del requerido para la clasificación tipo O (mínimo 2,4 MPa).

Los resultados de resistencia a la compresión muestran que una adición de 0,5% de fibras de vidrio y pelo de caballo respecto al contenido de arena, permite obtener un mortero para pañete que puede ser utilizado en unidades de mampostería con bajas exigencias estructurales, es decir, un mortero tipo O que puede ser empleado en divisiones de mampostería.

4.1.3.2 Resistencia a la flexión.

De acuerdo a la NTC 120, los ensayos de resistencia a la flexión en vigas de mortero deben realizarse a los 14 y 28 días. Al igual que los ensayos en los cubos, las vigas fueron ensayadas en el laboratorio GEOTEC, empleando la maquina universal. Se aplicó la carga en los dos tercios centrales de la viga como lo especifica la norma. En la figura 20 se observa el ensayo de una viga de mortero. El registro fotográfico de este ensayo se muestra en el Apéndice E, junto con los formatos de laboratorio.



Figura 22. Viga de mortero después de resistir su máximo esfuerzo a flexión. Autores, 2021.

En las tablas 11 y 12, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a flexión a los 14 y 28 días, respectivamente, y sus correspondientes gráficos en las figuras 23 y 24

Tabla 12

Resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 14 días

Fibra (%)	Dimensión Viga (mm)			Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Alto	Ancho	Largo		
0	38	38	155	1,89	5,29
	38	39	156	2,35	6,58
	39	37	158	2,06	5,77
0,5	39	39	157	1,71	4,79
	39	39	157	1,79	5,01
	39	39	157	1,84	5,15
1,5	36	36	156	1,46	4,09
	36	36	156	1,47	4,12
	36	36	156	1,39	3,89
2,5	37	37	157	1,36	3,81
	37	37	157	1,34	3,75
	37	37	157	1,60	4,48

Nota: Autores, 2021.

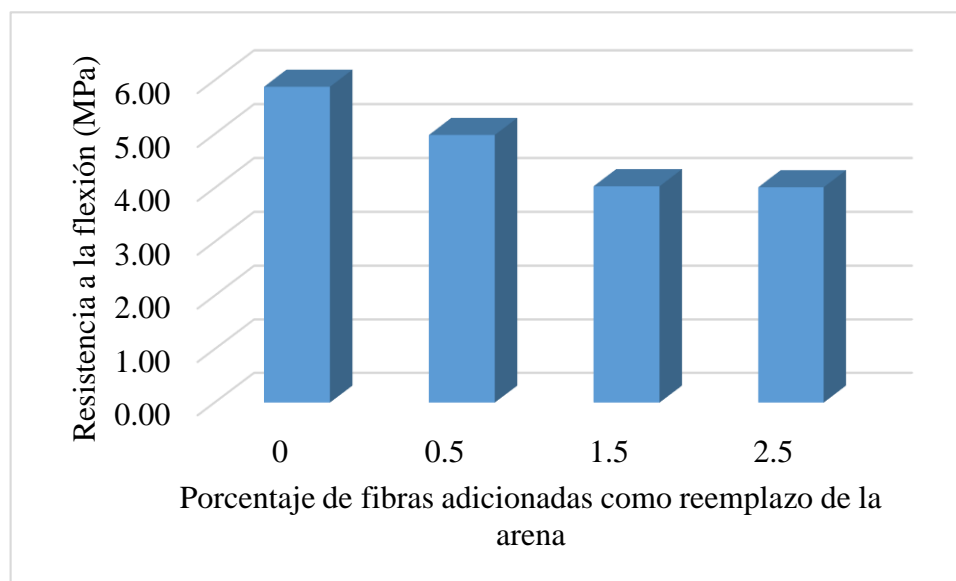


Figura 23. Gráfico de resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 14 días. Autores, 2021.

Tabla 13

Resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 28 días

Fibra (%)	Dimensión Viga (mm)			Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Largo	Ancho	Largo		
0	39	39	157	2,66	7,45
	39	39	157	2,37	6,64
	39	39	157	2,19	6,13
	39	40	158	2,12	5,94
0,5	39	40	158	2,15	6,02
	39	40	158	2,27	6,36
	39	39	158	1,36	3,81
1,5	39	39	158	1,39	3,89
	39	39	158	1,37	3,84
	37	38	157	1,48	4,14
2,5	37	38	157	1,46	4,09
	37	38	157	1,29	3,61

Nota: Autores, 2021.

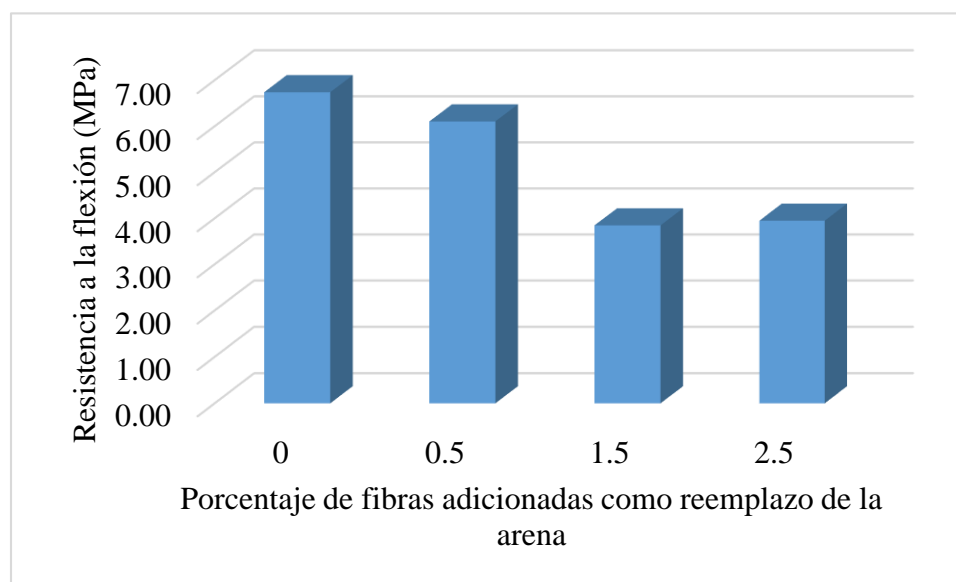


Figura 24. Gráfico de resistencia a la flexión del mortero para pañete a los 28 días. Autores, 2021.

Se observa en los resultados de las tablas y gráficas anteriores que a diferencia de la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión disminuye en menor porcentaje a medida que aumenta la adición de fibras. Respecto al mortero sin fibras a los 28 días, una adición de 0,5% de fibras genera una disminución del 9%, mientras que para las adiciones de 1,5% y 2,5%, la disminución es de 43 y 41%, respectivamente.

Estos resultados indican que la flexión es adecuada cuando la adición no es superior al 0,5%, con lo cual se obtienen un material que cumple con los requisitos mínimos establecidos en la NTC 3329, y que por tanto puede ser empleado en mamposterías no estructurales.

4.1.4 Determinar las propiedades físicas del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo) por medio del ensayo de Ultrasonido.

El ensayo de Ultrasonido fue efectuado de acuerdo a lo establecido en la NTC 4325 *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto*. Se realizaron las mediciones en 4 cubos de mortero para pañete, 1 por cada grupo estudiado. En la figura 25 se observa la realización del ensayo sobre una probeta de mortero. El registro fotográfico completo de este ensayo se muestra en el Apéndice F.



Figura 25. Ejecución del ensayo de ultrasonido en cubos de mortero para pañete. Autores, 2021.

En la tabla 14 se ilustran los resultados obtenidos en este ensayo. Se observa en los datos que el valor de la Velocidad de Pulso Ultrasónico es proporcional al aumento del porcentaje de fibra de vidrio y pelo de caballo presente en cada cubo. Así mismo, el peso de los cubos de mortero para pañete muestra una clara disminución a medida que aumenta el porcentaje de fibras. En la figura 26 se muestra el gráfico representativo de estos resultados.

Tabla 14

Resultados del ensayo de ultrasonido en los cubos de mortero para pañete

Fibra (%)	Velocidad de Pulso Ultrasonico			Peso Cubo (gr)
	Lectura	m/s	Promedio (m/s)	
0	1	21,80	19,83	250
	2	19,00		
	3	18,70		
0,5	1	23,50	22,83	248
	2	22,70		
	3	22,30		
1,5	1	33,10	30,43	234
	2	30,90		
	3	27,30		
2,5	1	34,20	31,90	220
	2	31,60		
	3	29,90		

Nota: Autores, 2021.

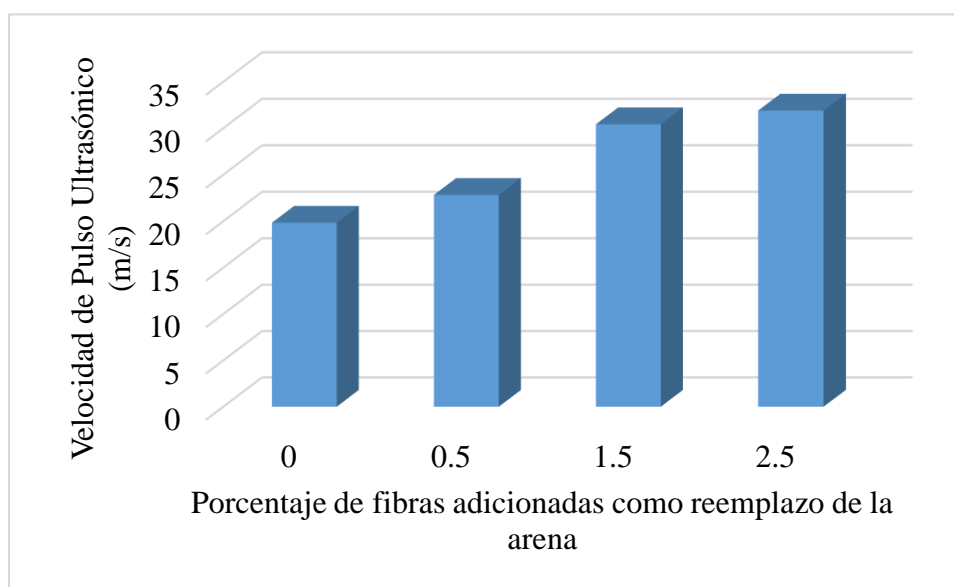


Figura 26. Gráfico del valor de la Velocidad de Pulso Ultrasonico según el porcentaje de fibra adicionado al mortero. Autores, 2021.

Los resultados del ensayo anterior, permiten corroborar la variación de la porosidad o del contenido de aire presente en los cubos de mortero para pañete. La inclusión de las fibras representa un aumento de la porosidad, lo que se ve reflejado en el aumento del valor de la Velocidad de Pulso Ultrasónico, lo que se correlaciona a su vez con los resultados del ensayo de compresión, pues a medida que disminuye esta resistencia, aumenta el valor de la Velocidad de Pulso Ultrasónico.

4.1.5 Comparación de los costos de fabricación del mortero para pañete con dosificación 1:4 con y sin adición de fibras (vidrio y pelo de caballo).

El mortero para pañete es uno de los materiales de construcción más empleados, y en la ciudad de Ocaña es utilizado en la mayor parte de edificaciones. Uno de los propósitos de la inclusión de materiales alternativos en el mortero, además de mejorar sus propiedades, es la de disminuir los costos de fabricación. Por tanto, en las siguientes tablas se muestran los precios unitarios del mortero con y sin adición de fibras, para los precios que actualmente se manejan en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

Tabla 15

Valor unitario del mortero con 0% de fibras

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364,00	\$600	\$218.400
Arena	kg	1484,00	\$250	\$371.000
Valor Unitario				\$589.400

Nota: Autores, 2021.

Tabla 16

Valor unitario del mortero con 0,5% de fibras

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364,00	\$600	\$218.400
Arena	kg	1409,80	\$250	\$352.450
Vidrio	kg	49,47	\$50	\$2.473
Pelo de caballo	kg	24,73	\$20	\$495
Valor Unitario				\$573.818

Nota: Autores, 2021.

Tabla 17

Valor unitario del mortero con 1,5% de fibras

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364,00	\$600	\$218.400
Arena	kg	1335,60	\$250	\$333.900
Vidrio	kg	98,93	\$50	\$4.947
Pelo de Caballo	kg	49,47	\$20	\$989
Valor Unitario				\$558.236

Nota: Autores, 2021.

Tabla 18

Valor unitario del mortero con 2,5% de fibras

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364,00	\$600	\$218.400
Arena	kg	1261,40	\$250	\$315.350
Vidrio	kg	148,40	\$50	\$7.420
Pelo de Caballo	kg	74,20	\$20	\$1.484
Valor Unitario				\$542.654

Nota: Autores, 2021.

En la tabla 19 se muestra en resumen del valor unitario de los morteros para pañete estudiados, en la figura 27 su representación gráfica.

Tabla 19

Valor unitario de los morteros estudiados

Fibra (%)	Valor Unitario
0	\$589.400
0,5	\$573.818
1,5	\$558.236
2,5	\$542.654

Nota: Autores, 2021.

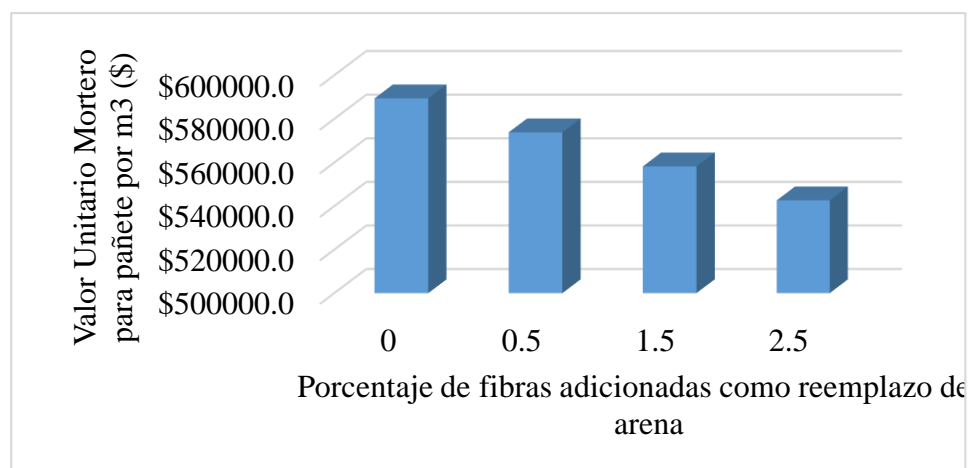


Figura 27. Gráfico del valor unitario del mortero con adición de fibras de vidrio y pelo de caballo. Autores, 2021.

Los resultados anteriores muestran que la reducción parcial de la arena en el mortero para pañete representa una reducción del valor unitario de 3% para adiciones de 0,5% de fibra, y de 5 y 8%, para adiciones de 1,5 y 2,5% de fibras. Esto indica un ahorro económico representativo para aquellas obras donde se empleen grandes volúmenes de mortero, y representan una alternativa sustentable para enfrentar la actual crisis del sector constructivo debido a la emergencia sanitaria generada por el Covid-19.

Conclusiones

La caracterización de los materiales utilizados para la fabricación del mortero, muestra que estos cumplen con las especificaciones necesarias para su empleo, principalmente la arena, la cual correspondió con los requisitos establecidos en la NTC 2240 *Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería*. Las fibras (vidrio y pelo de caballo), fueron trituradas manualmente hasta un tamaño aceptable para ser adicionadas al mortero.

El diseño de mezclas permitió la elaboración de cubos y vigas de mortero para pañete sin adición de fibras, además de 3 grupos con adición de tres porcentajes distintos de fibras: 0,5%, 1,5%, y 2,5%, respecto al contenido de arena. Los cubos y vigas fueron fabricados de acuerdo a las recomendaciones dadas por la NTC correspondiente para cada grupo.

Las propiedades mecánicas calculadas: resistencia a la compresión, y resistencia a la flexión, muestran que la inclusión de 0,5% de fibras de vidrio y pelo de caballo respecto al peso de la arena, es el mejor porcentaje con el cual se pueden utilizar estos materiales alternativos en el mortero para pañete. De las 2 propiedades, la resistencia a la flexión fue la que sufrió la menor modificación posible con un 9%, mientras que la resistencia a la compresión varió hasta en un 38%, ambos respecto al mortero sin fibras. El mortero para pañete con adición de 0,5% de fibras se encuentra clasificado como tipo O, por lo cual puede ser empleado en unidades de mampostería de acuerdo a la NTC 3329.

El ensayo de ultrasonido permitió determinar el valor de la Velocidad de Pulso Ultrasónico en el mortero para pañete, con lo que se constató que a mayor cantidad de fibras en el mortero, se produce un aumento de la Velocidad de Pulso Ultrasónico, que se traduce en un aumento de la porosidad, es decir, en del contenido de vacíos de aire. Estos valores se correlacionan con la resistencia a la compresión, pues a mayor Velocidad de Pulso Ultrasónico, menor resistencia posee el mortero para pañete. Esta porosidad en el mortero permite mejorar su capacidad para contrarrestar las humedades por capilaridad, lo que los convierte en una alternativa bioclimática para la adaptación de las construcciones hacia las cambiantes condiciones ambientales actuales.

En cuanto a los costos, la inclusión de las fibras en el mortero para pañete, representan una disminución del valor unitario, sin embargo, dado que la adición de 0,5% de fibras de vidrio y pelo de caballo, es el porcentaje que permite cumplir con las especificaciones mencionadas anteriormente, se establece que se puede obtener reducciones del valor unitario del mortero para pañete hasta en un 3% si se emplea este porcentaje de fibras (0,5%).

Con este proyecto de investigación, se demuestra que es viable la inclusión de materiales alternativos como el pelo de caballo y el vidrio en el mortero para pañete, y que esta representa una opción sustentable para el medio ambiente, en pro de la disminución del uso de materiales no renovables, como la arena.

Recomendaciones

Emplear otros porcentajes de inclusión de fibras de vidrio y pelo de caballo en mortero, especialmente en el margen entre 0,1% y 1%.

Realizar ensayos de Microscopía Electrónica de Barrido SEM, para conocer en detalle la composición físico-química del mortero, y analizar las variaciones que produce la inclusión de las fibras de vidrio y pelo de caballo.

De igual se puede utilizar cemento tipo estructural que permita mejorar la resistencia del mortero y así poder cumplir con la normatividad vigente establecida en el territorio colombiano.

Además se hace necesario que este tipo de investigaciones continúen formulándose ya que permite profundizar en la innovación y la creación de nuevo conocimiento, aplicado al área de la ingeniería y la construcción.

Referencias

- Alejandro, F. (2019). *Historia, caracterización y restauración de morteros*. Tesis de Doctorado, Universidad de Sevilla.
- Álvarez, A., Mercedes, E., & Bedolla, J. (2009). El tapial y los morteros de cal en las construcciones históricas de Tiripetio (Morelia, México). *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 23-24.
- Alvarez, J., Martín, A., & García, P. (1995). *Historia de los morteros*.
- Arbeláez, A. (1997). Morteros reforzados con fibras de bambu. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 50(2), 131-151.
- Arciniegas, D., & Fonseca, A. (2004). *Utilización de vidrio reciclado en morteros*. Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Arteaga, K., Medina, O., & Gutiérrez, Ó. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Revista Facultad de Ingeniería*, 55-68.
- Bustillo, M. (2008). Los morteros en la construcción. *Tierra y tecnología*, 33, 31-38.
- Bustos, A. (2018). *Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Castro, J. (2016). *Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

- Cruz, et al. (2015). Relación entre los ensayos ultrasónico y convencional para determinar la resistencia del concreto simple a la compresión. *INGE CUC*, 12(1), 94-98.
- Escuela de Organización Industrial. (2011). *Ecomateriales y Construcción Sostenible*.
- Giordani, C., & Leone, D. (2020). *Morteros y hormigones*. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Nacional, Rosario, Argentina.
- Gómez, M. (2017). *Análisis térmico del mortero adicionado con fibra de coco*. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- González, J. (2016). *Estudio del mortero de pega usado en el cantón Cuenca. Propuesta de mejora, utilizando adiciones de cal*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Perú.
- Instron. (2020). *Resistencia a la compresión*. Obtenido de Instron.com.ar:
<https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>
- Iturralde, A., & Rocafuerte, A. (2019). *Estudio del comportamiento mecánico del mortero hidráulico y prototipo con adición de viruta de la madera*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.
- Mendoza, J., Orjuela, J., & Silva, L. (2011). *Elaboración de mortero con fibras sintéticas (nailón, cáñaño industrial) y naturales (colino de piña) para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas*. Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia.
- Mondragón, J. (2012). *Fibras textiles*.

- Pérez, J. (2018). *Resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm², sustituyendo el cemento por 10% de ceniza de tusa de maíz y 5% de ceniza de cola de caballo*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Chimbote, Perú.
- Porras, M., & Guzmán, S. (2020). *Uso de materiales alternativos para mejorar la resistencia del mortero de pega de mampostería estructural (fibra de fique)*. Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia.
- Portafolio. (2018). *Cuál es el aporte de los equinos al progreso económico colombiano*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/negocios/cual-es-el-aporte-de-los-equinos-al-progreso-economico-colombiano-520174>
- Quintero, C. (2007). *Manual práctico sobre poliester (plásticos) reforzado con fibra de vidrio (PRFV)*. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias D.T Y C., Colombia.
- Riaño, M., & Ayala, C. (2019). *Influencia de fibras tipo PET en las características de resistencia y durabilidad del mortero de cemento hidráulico*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Salamanca, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 41-48.
- Santillán, N. (2020). *Utilización de fibras naturales para el desarrollo de morteros reforzados con fibras*. Escuela de Caminos, Barcelona, España.
- Suresh, L. (2019). *Fibra de vidrio*. Universidad Complutense.

ULTRACEM. (2020). *Aplicaciones de las fibras sintéticas en proyectos residenciales*. Bogotá, Colombia.

Universidad de Burgos. (2020). *Microscopía Electrónica de Barrido* .

Uribe, C. (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible*. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Vidaud, E. (2016). Ultrasonido: Aplicación para la determinación del módulo de elasticidad dinámico. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 31-35.

APÉNDICES

Apéndice A. Formato de ensayo de granulometría

SUELOS Y CONCRETOS SAS		GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO - NTC 77					
LABORATORIO SUELOS Y CONCRETOS		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL MORTERO PARA PAÑETE CON DOSIFICACIÓN 1:4 CON ADICIÓN DE FIBRA NATURAL (PELO DE CABALLO) Y FIBRA SINTÉTICA (VIDRIO)					
PROYECTO		OCAÑA, NORTE DE SANTANDER					
LOCALIZACIÓN		ANDREA MERIÑO Y YULIETH PALLARES			FECHA	04/06/2021	
SOLICITANTE		MODULO DE FINURA =				2,34	
TAMIZ	Peso Retenido gr.	% Retenido	% Retenido Acumulad	% Pasa	ESPECIFICACIÓN		
Pulg.	mm				Mín	Máx	
3/8"	9,50	0,00	0,0	100,0	100	100	
No. 4	4,75	53,29	3,2	100,0	100	100	
No. 8	2,36	65,78	3,9	98,2	95	100	
No. 16	1,18	332,20	19,7	78,5	70	100	
No. 30	0,60	463,21	27,5	51,0	40	75	
No. 50	0,30	414,32	24,6	26,5	10	35	
No. 100	0,15	238,67	14,2	12,3	2	15	
No. 200	0,075	83,46	4,9	1,7	0	5	
P200	>0,0075	35,17	2,1	-0,4			
Total	1686,10						

CURVA GRANULOMÉTRICA

Observaciones Agregado Fino cumple con Especificación NTC 77- Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

Elaboro: Luis Fernando Ojeda Jaime
Nombre: Luis Fernando Ojeda Jaime
Cargo: Laboratorista Suelos y Concretos

Reviso: Eider López Angarita
Nombre: Eider López Angarita
Cargo: Ing. Civil Suelos y Concretos SAS
MP: 54202-269141

Figura 28. Formato de ensayo de granulometría. Autores, 2021.

Apéndice B. Formato diseño de mezclas

Diseño de mezclas											
Consideraciones para la realización del mortero											
Mortero para pañete con dosificación 1:4.											
En 1 m ³ de mortero para pañete: 364 kg de cemento y 1484 kg de arena.											
En 1 cm ³ de mortero para pañete: 0,000364 kg de cemento y 0,001484 kg de arena.											
Relación agua cemento recomendada de 0,5 o 9% del peso total del mortero.											
Se fabricaran probetas con 3 porcentajes diferentes de adición de fibra de vidrio y pelo de caballo.											
En total serán 4 grupos de probetas de mortero para pañete.											
Estimativos											
Cubos de Mortero											
Dimensiones probeta (cubo)				Volumen probeta (cm ³)		<table border="1"> <tr> <td>Probetas por mezcla</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Total Probetas</td> <td>32</td> </tr> </table>		Probetas por mezcla	8	Total Probetas	32
Probetas por mezcla	8										
Total Probetas	32										
Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)									
5	5	5	125								
Relación 1:4		Cemento (kg)	Arena (kg)								
1 m ³		364	1484								
1 cm ³		0,000364	0,001484								
Cantidad de fibra (%)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Pelo de caballo (kg)	Vidrio (kg)	Porcentaje fibras	Cantidad fibras (kg)	Cantidad fibras (gr)				
0	0,36	1,48	0,000000	0,000000	0	0	0				
0,5	0,36	1,48	0,002473	0,00495	0,5	0,0074	7,4200				
1,5	0,36	1,46	0,007420	0,01484	1,5	0,0223	22,2600				
2,5	0,36	1,45	0,012367	0,02473	2,5	0,0371	37,1000				
Total	1,46	5,87	0,02226	0,04452		0,0668	66,7800				

Figura 29. Formato diseño de mezclas cubos de mortero. Autores, 2021.

Apéndice C. Registro fotográfico del diseño de mezclas

1. Pesaje de la arena.



Figura 31. Pesaje de arena para mezclas de mortero. Autores, 2021.

2. Pesaje del cemento.



Figura 32. Pesaje del cemento para mezclas de mortero. Autores, 2021.

3. Pesaje de las fibras.



Figura 33. Pesaje de las fibras para mezclas de mortero. Autores, 2021.

4. Mezclado de los materiales.



Figura 34. Proceso de mezclado en las mezclas de mortero. Autores, 2021.

5. Adición del agua.



Figura 35. Adición de agua en las mezclas de mortero. Autores, 2021.

6. Conformación de probetas en los moldes.



Figura 36. Conformación de las probetas de mortero. Autores, 2021.

7. Marcación de las probetas.



Figura 37. Marcación y numeración de las probetas de mortero. Autores, 2021.

8. Curado de las probetas en depósito de agua.



Figura 38. Proceso de mezclado en las mezclas de mortero. Autores, 2021.

Apéndice D. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la compresión.

1. A los 7 días.

Cubos con 0% de fibras.



Figura 39. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.



Figura 40. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.

Cubos con 0,5% de fibras.



Figura 41. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 42. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.

Cubos con 1,5% de fibras.



Figura 43. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 44. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.

Cubos con 2,5% de fibras.



Figura 45. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 46. Ensayo resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.

2. A los 28 días.

Cubos con 0% de fibras.



Figura 47. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.



Figura 48. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.

Cubos con 0,5% de fibras.



Figura 49. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 50. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.

Cubos con 1,5% de fibras.



Figura 51. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 52. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.

Cubos con 2,5% de fibras.



Figura 53. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 54. Ensayo resistencia a la compresión a los 28 días en cubos de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.

CONTROL DE CALIDAD - MORTERO HIDRAULICO - RESISTENCIA A LA COMPRESION (III)																						
PROYECTO		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL PAÑETE CON DOSIFICACION 1:4 CON ADICION DE FIBRA NATURAL (PELO DE CABALLO) Y FIBRA SINTETICA (VIDRIO)																				
SOLICITO		ESTUDIANTES ANDREA MERIÑO Y YULIETH PALLARES			FECHA ENSAYO			JUNIO 03 A 04 DE 2021			NORMA			INVIAS 323-2013		REMISION		CM - 0001				
ELEMENTO		CUBOS DE MORTERO - MEZCLA DE PRUEBA			RESISTENCIA Fc			210 Kg/cm ²			DOSIFICACION			1.0 : 4.0			EQUIPO			PRENSA DOBLE RANGO PC-1 60 / MARCA PINZUAR		
DOSIFICACION	CUBO Nº	MUESTRA	DOSIFICACION MEZCLA	FECHAS		EDAD (Dias)	DATOS DE LA PROBETA						CARGA APLICADA (KN)	RESISTENCIA CORREGIDA				PORCENTAJE RESPECTO Fc	TIPO DE FALLA			
				TOMA	ROTURA		LARGO (cm)	ALTO (cm)	ANCHO (cm)	PESO (gr)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)		DENSIDAD (gr/cm ³)	REAL A LA FECHA (Kg/cm ²)	ESTIMADA A 28 DIAS (Kg/cm ²)	F.S.1			F.S.2		
CUBOS DE MORTERO % DE FIBRA = 0,0%	1	LOTE 1 MUESTRA 1	1.0 : 4.0	27/05/2021	03/06/2021	7	5,00	5,00	5,00	249,7	25,00	125,00	1,9976	14,38	58,65	837,5			27,92%	COLUMNAR		
	2	LOTE 1 MUESTRA 2					4,80	4,80	4,80	246,1	23,04	110,59	2,2263	12,07	53,41	762,8			25,43%	COLUMNAR		
	3	LOTE 1 MUESTRA 3					4,80	5,00	4,90	250,1	23,52	117,60	2,1267	13,58	58,87	840,7			28,02%	COLUMNAR		
CUBOS DE MORTERO % DE FIBRA = 5,0%	1	LOTE 2 MUESTRA 1	1.0 : 4.0	27/05/2021	03/06/2021	7	4,80	4,90	4,85	204,8	23,28	114,07	1,7954	4,85	21,24	303,3			10,11%	COLUMNAR		
	2	LOTE 2 MUESTRA 1					4,60	5,00	4,80	229,9	22,08	110,40	2,0824	5,23	24,15	344,9			11,50%	COLUMNAR		
CUBOS DE MORTERO % DE FIBRA = 0,5%	1	LOTE 3 MUESTRA 1	1.0 : 4.0	28/05/2021	04/06/2021	7	4,80	4,90	4,85	237,9	23,28	114,07	2,0855	7,91	34,64	494,7			16,49%	COLUMNAR		
	2	LOTE 3 MUESTRA 2					4,70	4,80	4,75	241,2	22,33	107,16	2,2508	7,86	35,90	512,6			17,09%	COLUMNAR		
	3	LOTE 3 MUESTRA 3					4,90	4,80	4,85	257,6	23,77	114,07	2,2582	8,60	36,90	526,9			17,56%	COLUMNAR		
CUBOS DE MORTERO % DE FIBRA = 1,5%	1	LOTE 4 MUESTRA 1	1.0 : 4.0	28/05/2021	04/06/2021	7	4,60	4,80	4,70	240,9	21,62	103,78	2,3213	3,82	18,02	257,3			8,58%	COLUMNAR		
	2	LOTE 4 MUESTRA 2					4,80	4,80	4,80	230,5	23,04	110,59	2,0842	3,87	17,13	244,6			8,15%	COLUMNAR		
	3	LOTE 4 MUESTRA 3					4,60	4,90	4,75	245,8	21,85	107,07	2,2958	3,79	17,67	252,5			8,42%	COLUMNAR		
CUBOS DE MORTERO % DE FIBRA = 2,5%	1	LOTE 5 MUESTRA 1	1.0 : 4.0	28/05/2021	04/06/2021	7	4,80	4,90	4,85	235,2	23,28	114,07	2,0619	3,31	14,50	207,0			6,90%	COLUMNAR		
	2	LOTE 5 MUESTRA 2					4,80	4,80	4,80	236,2	23,04	110,59	2,1358	3,29	14,56	207,9			6,93%	COLUMNAR		
	3	LOTE 5 MUESTRA 3					4,90	4,90	4,90	232,8	24,01	117,65	1,9788	3,32	14,10	201,3			6,71%	COLUMNAR		

RESISTENCIA ESTIMADA EN % DE Fc				
EDAD - DIAS	3	7	14	28
RESISTENCIA Fc	40%	70%	80%	100%

TIPOS DE FALLA						
(a) CÓNICO	(b) CONO/HENDIDURA	(c) COLUMNAR	(d) CÓNICO	(e) CONO/CORTE	(f) LATERAL	(g) ACENADA

NOTA: ESTOS RESULTADOS REFLEJAN ÚNICAMENTE LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

ENSAYO	OMAR ASCANIO FLOREZ LABORATORISTA	REVISO	ING. ALDEMAR SALCEDO TORRES M.P. 15217 - 091719 B/C
--------	--------------------------------------	--------	--

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA Y LABORATORIO DE MATERIALES	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CUBOS NORMALES DE MORTERO NORMA INVIAS - E 323/2013	Calle 3 No. 28-23 Ciudad / Costa Rica Tel. 011 724 6240 - 724 632 7632 www.instituto-tecnologico-cr.com
---	---	---

Figura 55. Formato resistencia a la compresión a los 7 días de los cubos de mortero. Laboratorio Geotec, 2021.

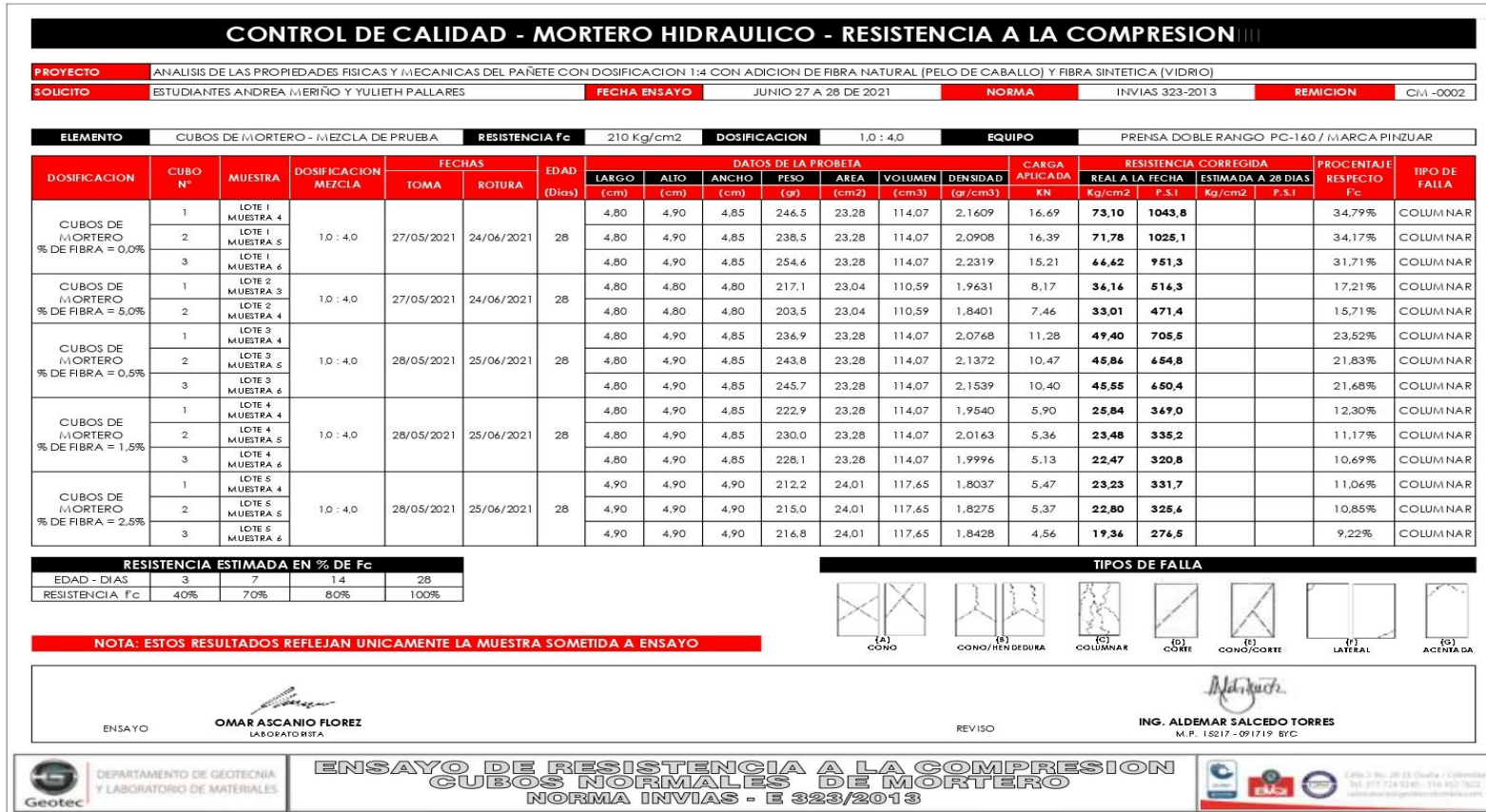


Figura 56. Formato resistencia a la compresión a los 28 días de los cubos de mortero. Laboratorio Geotec, 2021.

Apéndice E. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la flexión.

1. A los 14 días.

Vigas con 0% de fibras.



Figura 57. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.



Figura 58. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.

Vigas con 0,5% de fibras.



Figura 59. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 60. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.

Vigas con 1,5% de fibras.



Figura 61. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 62. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.

Vigas con 2,5% de fibras.



Figura 63. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 64. Ensayo resistencia a la flexión a los 14 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.

2. A los 28 días.

Vigas con 0% de fibras.



Figura 65. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.



Figura 66. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0% de fibras. Autores, 2021.

Vigas con 0,5% de fibras.

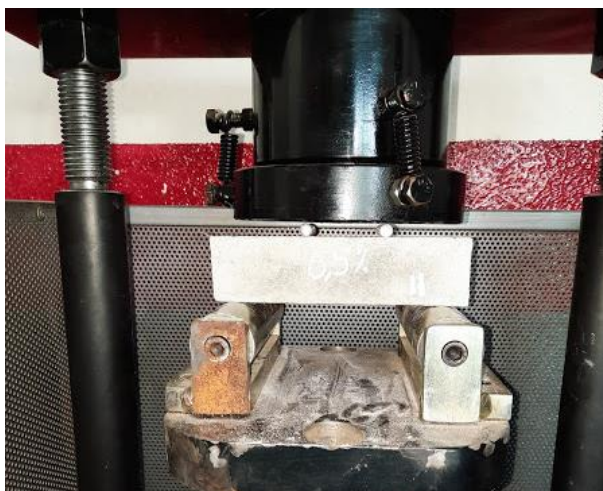


Figura 67. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 68. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 0,5% de fibras. Autores, 2021.

Vigas con 1,5% de fibras.



Figura 69. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 70. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 1,5% de fibras. Autores, 2021.

Vigas con 2,5% de fibras.



Figura 71. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 72. Ensayo resistencia a la flexión a los 28 días en vigas de mortero con 2,5% de fibras. Autores, 2021.







ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION - VIGAS NORMALES DE MORTERO													
OBRA	ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL PAÑETE CON DOSIFICACION 1:4 CON ADICION DE FIBRA NATURAL (PELO DE CABALLO) Y FIBRA SINTETICA (VIDRIO)										REMISION	VMR - 001	
SOLICITO	ESTUDIANTES ANDREA MERIÑO Y YULIEH PALLARES			ELEMENTO	VIGAS DE PRUEBA		FECHA DE ENSAYO	JUNIO 10 A 11 DE 2021			NORMA	INV-E414/2013	
DOSIFICACION	1.0 : 4.0			EQUIPO	PRENSA DOBLE RANGO PC-160 / MARCA PINZUAR								
LOCALIZACION DE LA MUESTRA	MUESTRA	FECHAS		EDAD (Dias)	DIMENSIONES			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	VELOCIDAD DE CARGA (MPa/min)	CARGA MAXIMA KN	MODULO DE ROTURA		TIPO DE FALLA
		TOMA	ROTURA		ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	AREA (mm) ²				Kg/cm2	Mpa	
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 0.0%	LOTE 1 MUESTRA 1	27/05/2021	10/06/2021	14	38,00	38,00	1444	135,0	1,052	1,89	46,50	4,65	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 1 MUESTRA 2				38,00	39,00	1482	136,0	1,052	2,35	54,75	5,68	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 1 MUESTRA 3				39,00	37,00	1443	138,0	1,052	2,06	50,51	5,05	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 5,0%	LOTE 2 MUESTRA 1	27/05/2021	10/06/2021	14	38,00	38,00	1444	139,0	1,052	1,99	50,41	5,04	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 2 MUESTRA 2				38,00	38,00	1444	140,0	1,052	2,15	54,85	5,49	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 0,5%	LOTE 3 MUESTRA 1	28/05/2021	11/06/2021	14	39,00	39,00	1521	137,0	1,052	1,71	39,49	3,95	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 3 MUESTRA 2				39,00	39,00	1521	137,0	1,052	1,79	41,34	4,13	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 3 MUESTRA 3				39,00	39,00	1521	137,0	1,052	2,84	65,59	6,56	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 1,5%	LOTE 4 MUESTRA 1	28/05/2021	11/06/2021	14	36,00	36,00	1296	136,0	1,052	1,46	42,56	4,26	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 4 MUESTRA 2				36,00	36,00	1296	136,0	1,052	1,47	42,85	4,28	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 4 MUESTRA 3				36,00	36,00	1296	136,0	1,052	1,39	40,52	4,05	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 2,5%	LOTE 5 MUESTRA 1	28/05/2021	11/06/2021	14	37,00	37,00	1369	137,0	1,052	1,36	36,78	3,68	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 5 MUESTRA 2				37,00	37,00	1369	137,0	1,052	1,34	36,24	3,62	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 5 MUESTRA 3				37,00	37,00	1369	137,0	1,052	1,60	43,27	4,33	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
OBSERVACIONES													
NOTA: ESTOS RESULTADOS REFLEJAN UNICAMENTE LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO													
 ENSAYO OMAR ASCANIO FLOREZ LABORATORISTA				 REVISO ING. ALDEMAR SALCEDO TORRES M.P. 15217 - 091719 BYC									
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA Y LABORATORIO DE MATERIALES				ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION VIGAS NORMALES DE MORTERO NORMA INVIAS - E 414/2013						   Calle 2 No. 38-43 Esquina 7 Cali Tel: 317 224 8240 - 316-412 7432 laboratorio@geoteccolombiana.com			

Figura 73. Formato ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días. Laboratorio Geotec, 2021.





ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION - VIGAS NORMALES DE MORTERO													
OBRA	ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL PAÑETE CON DOSIFICACION 1:4 CON ADICION DE FIBRA NATURAL (PELO DE CABALLO) Y FIBRA SINTETICA (VIDRIO)										REMISION	V/MR - 002	
SOLICITO	ESTUDIANTES ANDREA MERIÑO Y YULIETH PALLARES	ELEMENTO	VIGAS DE PRUEBA			FECHA DE ENSAYO	JUNIO 24 A 25 DE 2021			NORMA	INV-E414/2013		
DOSIFICACION	1,0 : 4,0			EQUIPO	PRENSA DOBLE RANGO PC-160 / MARCA PINZUAR								
LOCALIZACION DE LA MUESTRA	MUESTRA	FECHAS		EDAD (Dias)	DIMENSIONES			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	VELOCIDAD DE CARGA (MPa/min)	CARGA MAXIMA KN	MODULO DE ROTURA		TIPO DE FALLA
		TOMA	ROTURA		ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	AREA (mm) ²				Kg/cm ²	Mpa	
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 0,0%	LOTE 1 MUESTRA 4	27/05/2021	24/06/2021	28	39,00	39,00	1521	137,0	1,052	2,66	61,43	6,14	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 1 MUESTRA 5				39,00	39,00	1521	137,0	1,052	2,37	54,74	5,47	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 1 MUESTRA 6				39,00	39,00	1521	137,0	1,052	2,19	50,58	5,06	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 5,0%	LOTE 2 MUESTRA 3	27/05/2021	24/06/2021	28	39,00	38,00	1482	138,0	1,052	2,20	52,53	5,25	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 2 MUESTRA 4				39,00	38,00	1482	138,0	1,052	2,18	52,05	5,21	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 0,5%	LOTE 3 MUESTRA 4	28/05/2021	25/06/2021	28	39,00	40,00	1560	138,0	1,052	2,12	48,09	4,81	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 3 MUESTRA 5				39,00	40,00	1560	138,0	1,052	2,15	48,77	4,88	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 3 MUESTRA 6				39,00	40,00	1560	138,0	1,052	2,27	51,49	5,15	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 1,5%	LOTE 4 MUESTRA 4	28/05/2021	25/06/2021	28	39,00	39,00	1521	138,0	1,052	1,36	31,64	3,16	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 4 MUESTRA 5				39,00	39,00	1521	138,0	1,052	1,39	32,34	3,23	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 4 MUESTRA 6				39,00	39,00	1521	138,0	1,052	1,37	31,87	3,19	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
VIGAS DE MORTERO % DE FIBRA = 2,5%	LOTE 5 MUESTRA 4	28/05/2021	25/06/2021	28	37,00	38,00	1406	137,0	1,052	1,48	38,98	3,90	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 5 MUESTRA 5				37,00	38,00	1406	137,0	1,052	1,46	38,45	3,84	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
	LOTE 5 MUESTRA 6				37,00	38,00	1406	137,0	1,052	1,20	31,60	3,16	NORMAL ACERRADA SIMETRICA
OBSERVACIONES													
NOTA: ESTOS RESULTADOS REFLEJAN UNICAMENTE LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO													
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  OMAR ASCANIO FLOREZ <small>LABORATORISTA</small> </div> <div style="text-align: center;">  ING. ALDEMAR SALCEDO TORRES <small>M.P. 18217 - 091719 BYC</small> </div> </div>													
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA Y LABORATORIO DE MATERIALES			ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION VIGAS NORMALES DE MORTERO NORMA INVIAS - E 414/2013						 <small>Calle 2 No. 28-49 Barrios Unidos, Bogotá Tel: 317 724 8248 - 316 452 7622 Web: www.geotecnia.com</small>				

Figura 74. Formato ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días. Laboratorio Geotec, 2021.

Apéndice F. Registro fotográfico del ensayo de Ultrasonido.



Figura 75. Cubos de morteros ensayados por ultrasonido. Autores, 2021.



Figura 76. Calibración de equipos del ensayo ultrasonido. Autores, 2021.



Figura 77. Ensayo por ultrasonido cubo con 0% de fibras. Autores, 2021.



Figura 78. Ensayo por ultrasonido cubo con 0,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 79. Ensayo por ultrasonido cubo con 1,5% de fibras. Autores, 2021.



Figura 80. Ensayo por ultrasonido cubo con 2,5% de fibras. Autores, 2021.