



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“USO DE FIBRAS DE ABACÁ PARA LA ELABORACIÓN DE
UN MORTERO CON CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN
MEJORADA PARA ENLUCIDOS”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

**Baño García Vanessa Nataly
Mera Yanez Carlos Daniel**

Tutor:

PhD. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez.

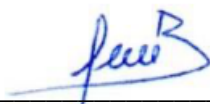
Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Vanessa Nataly Baño García, con cédula de ciudadanía 0604753020 y Mera Yanez Carlos Daniel con cédula de ciudadanía 0704406933, autores del trabajo de investigación titulado: “Uso de fibras de abacá para la elaboración de un mortero con capacidad de deformación mejorada para enlucidos”, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 07 de marzo de 2024.



Vanessa Nataly Baño García

C.I: 0604753020



Carlos Daniel Mera Yanez

C.I: 0704406933

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Oscar Cevallos, Ph.D catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: USO DE FIBRAS DE ABACÁ PARA LA ELABORACIÓN DE UN MORTERO CON CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN MEJORADA PARA ENLUCIDOS, bajo la autoría de Vanessa Nataly Baño García y Carlos Daniel Mera Yanez; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 22 días de febrero de 2024.



Firmado electrónicamente por:
**OSCAR ALFREDO
CEVALLOS VELASQUEZ**

Ing. Oscar Cevallos, Ph.D

C.I: 0602214892

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación, USO DE FIBRAS DE ABACÁ PARA LA ELABORACIÓN DE UN MORTERO CON CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN MEJORADA PARA ENLUCIDOS presentado por Vanessa Nataly Baño García, con cédula de identidad número 0604753020 y Carlos Daniel Mera Yanez con cedula de identidad número 0704406933, bajo la tutoría de Mg. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez, Ph.D certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 18 días del mes de marzo del 2024.

Ing. Marco Javier Palacios Carvajal, Mgs

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Jorge Eugenio Nuñez Vivar, Mgs

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Diejo Javier Barahona Rivadeneira, Mgs

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICACIÓN

Que, **VANESSA NATALY BAÑO GARCÍA** con CC: **0604753020** y **CARLOS DANIEL MERA YANEZ** con CC: **0704406933** estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**USO DE FIBRAS DE ABACÁ PARA LA ELABORACIÓN DE UN MORTERO CON CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN MEJORADA PARA ENLUCIDOS**", cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 06 de marzo de 2024

Ing. Oscar Cevallos, Ph.D
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen, fuente de luz, sabiduría y amor infinito, dedico este trabajo. En cada paso de mi camino, ustedes han estado presentes, guiándome y sosteniéndome.

A mis queridos padres Carmita y Ángel, quienes han sido mi soporte y apoyo incondicional a lo largo de este viaje académico. Su perseverancia, paciencia, sacrificio y amor han sido mi mayor inspiración. Gracias por creer en mí y por ser mi faro en las tormentas.

A mi familia en especial a mis abuelitos, tíos y primos, cuyas historias y sabiduría han enriquecido mi vida y mi perspectiva. Su cariño y aliento han sido fundamentales en mi trayectoria. Que esta tesis sea un homenaje a su compañía y los momentos compartidos en esta travesía llamada vida.

A mis amigos que han sido los compañeros de ruta más valiosos, con quienes los días grises se transformaron en arcoíris y las preocupaciones en anécdotas. A ustedes, con quienes he compartido risas, secretos y aventuras, les dedico este logro. Que sigamos escribiendo historias juntos.

Y a ti, Carlos Daniel, mi compañero de tesis. Juntos construimos este proyecto enfrentando desafíos, celebrando logros, compartiendo risas, desvelos e ideas. Tu amistad y colaboración han sido invaluable.

Esta tesis está dedicada a todos ustedes, con gratitud y sincero afecto. Cada paso en este camino académico lleva la huella de su cariño y apoyo.

Vanessa

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi madre Ana Yanez que ha sido la persona más importante en mi camino y en mi vida, me ha convertido en la persona que he llegado a ser hasta ahora y con su lucha y perseverancia me han enseñado a no rendirme pese a los malos tiempos.

Se lo dedico a mi padre Daniel Mera que con su apoyo incondicional me ha traído hasta aquí, con su carácter firme me ha dado valores de los que me siento orgulloso. Me ha enseñado que con la suficiente disciplina uno logra lo que se propone.

A mis hermanos Jefferson Alejandro, Melany Mishel y Cristhina Monserath quienes han sido coparticipes de alegrías, aventuras y tristezas a lo largo de mi vida y en este camino universitario, que llega a su final.

Finalmente le dedico este trabajo a toda mi familia, amigos, mentores que estuvieron ahí cuando necesite una mano amiga, un consejo una ayuda.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciéndole a Dios y la Virgen por darme salud, vida, valor y colocar a las personas correctas en mi vida durante todo este proceso.

A mis padres ya que sin su apoyo, valores y compañía nada de esto sería posible. Cada sacrificio y cada esfuerzo que han hecho por apoyarme ha sido un regalo que no puedo medir con palabras.

Al ingeniero Oscar Cevallos por su paciencia y orientación. Gracias por compartir sus conocimientos, por las correcciones minuciosas y por su compromiso constante como tutor y docente.

A las ingenieras Cristina Polo, Michelle Bonilla y al técnico Hector Pala quienes desde el primer día en laboratorio supieron guiarnos, apoyarnos y aconsejarnos para salir adelante con cada duda o problema que pudiésemos presentar.

Agradezco a mi familia que siempre ha sido un pilar fundamental en mi vida. A mis abuelitos, tíos y primos, por incentivar me en mis estudios y mostrarme que con esfuerzo todo se consigue.

Finalmente agradezco a mi compañero de tesis que tomó este desafío junto a mí y me apoyo a lo largo de todo el proceso. También gracias a mis amigos que siempre estuvieron prestos a escucharme y motivarme a salir adelante.

Vanessa

A mis queridos padres, quienes han sido mi apoyo inquebrantable a lo largo de este camino. Sin ustedes a mi lado, nada de esto habría sido posible. Gracias por todo, mamá y papá.

A mis hermanos, con quienes he compartido risas, lágrimas y momentos inolvidables. Quienes nunca han dejado de creer en mí.

A mis amigos, esos compañeros de aventuras universitarias que han llenado mi vida de risas, complicidad y recuerdos imborrables. Gracias por ser parte de esta etapa inolvidable.

A mi compañera de tesis, Vanessa Nataly, por su incansable lucha y perseverancia en la elaboración de este trabajo. Juntos hemos sorteado obstáculos y celebrado pequeñas victorias. Con el objetivo siempre en frente.

A mi tutor el ingeniero Oscar Cevallos, cuya guía y apoyo han sido fundamentales en este proceso. Su experiencia y dedicación han marcado la diferencia.

Y finalmente, agradezco a la vida y al destino por cruzar mi camino con las personas correctas, en el momento exacto. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón.

Carlos

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	
DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 Introducción.....	19
1.2 Planteamiento del problema.....	20
1.3 Justificación.....	20
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1 General.....	20
1.4.2 Específicos.....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Agregado fino.....	22
2.2 Polvo de Piedra.....	22
2.3 Cemento.....	22
2.3.1 Cemento Portland.....	22
2.4 Clasificación de los morteros de albañilería.....	22
2.4.1 Mortero para enlucidos.....	23
2.4.2 Mortero fibro-reforzado.....	23
2.4.3 Curado del mortero.....	24
2.5 Fibras naturales.....	24
2.5.1 Tratamiento para fibras vegetales naturales.....	24
2.5.2 Tratamiento con Hidróxido de Sodio (NaOH).....	25

2.5.3	Fibra de abacá	25
2.5.4	Propiedades de las fibras de abacá.....	26
2.6	Estado del arte	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		29
3.1	Tipo de Investigación	29
3.2	Diseño de Investigación	29
3.3	Técnicas de Recolección de Datos	29
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra	30
3.4.1	Población	30
3.4.2	Muestra	30
3.5	Procesamiento y Análisis	31
3.6	Materiales	31
3.6.1	Agregado Fino-Polvo de piedra.....	31
3.6.2	Cemento Portland	31
3.6.3	Fibra de abacá	31
3.6.4	Hidróxido de Sodio.....	32
3.7	Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	32
3.7.1	Obtención de fibra de abacá.....	32
3.7.2	Obtención del agregado fino.....	32
3.7.3	Método de elaboración de probetas	33
3.8	Métodos de Ensayo	33
3.8.1	Consideraciones en la fabricación del mortero y probetas	33
3.8.2	Ensayos realizados en fibras	34
3.8.3	Ensayos realizados en agregados	34
3.8.4	Ensayos sobre los morteros.....	35
3.9	Análisis estadístico	35
3.9.1	Media	35
3.9.2	Desviación estándar	35
3.9.3	Coefficiente de variación	35
3.9.4	Análisis ANOVA	36
3.9.5	Hipótesis.	36

3.9.6	Métodos de análisis y procesamiento de datos	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
4.1	Caracterización de las fibras	37
4.1.1	Tratamiento y corte de la fibra.....	37
4.1.2	Propiedades físicas y mecánicas de las fibras.....	37
4.1.3	Microscopía	40
4.2	Caracterización del Agregado fino.....	42
4.2.1	Propiedades físicas del agregado fino.....	42
4.3	Dosificación	44
4.3.1	Propiedades del mortero	44
4.4	Fase 1: Ensayos con dosificación 1:5.....	45
4.4.1	Compresión de Cubos – FASE 1	45
4.4.2	Flexión de primas – FASE 1.....	49
4.5	Fase 2: Ensayos con dosificaciones mejoradas 1:4,4 y 1:3,4.....	52
4.5.1	Compresión de Cubos – FASE 2	52
4.5.2	Flexión de primas – FASE 2.....	56
4.6	Ensayos en probetas de material compuesto-FASE 2.....	59
4.6.2	Tracción de probetas de material compuesto – FASE 2.....	62
4.7	Ensayos de absorción y densidad -FASE 2.....	65
4.7.1	Ensayo de Absorción en Cubos – FASE 2	65
4.7.2	Ensayo de Absorción en probetas de material compuesto – FASE 2.....	66
4.7.3	Ensayo de Densidad en Cubos – FASE 2	67
4.7.4	Ensayo de Densidad en probetas de material compuesto – FASE 2	68
4.8	Análisis de costos de fabricación de los diferentes tipos de mortero.....	70
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....		72
5.1	Conclusiones	72
5.2	Recomendaciones.....	75
BIBLIOGRAFÍA		76
ANEXOS		82

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Caracterización de la calidad de la fibra de abacá.....	26
Tabla 2 Composición química del abacá.....	27
Tabla 3 Muestra de la investigación.....	30
Tabla 4 Resultados de caracterización de la fibra de abacá.....	37
Tabla 5 Diámetro de fibras no tratadas observadas bajo el microscopio.....	41
Tabla 6 Diámetro de fibras tratadas observadas bajo el microscopio.....	41
Tabla 7 Resultados de caracterización del agregado fino.....	42
Tabla 8 Nomenclatura de los diferentes tipos de mortero de la fase 1 y 2.....	44
Tabla 9 Resultados de fluidez y tiempo de fraguado de la fase 1 y 2.....	44
Tabla 10 Resultados de compresión de cubos - fase 1.....	46
Tabla 11 Resultados flexión de prismas - fase 1.....	49
Tabla 12 Resultados compresión de cubos - fase 2.....	52
Tabla 13 Análisis ANOVA de los resultados de resistencia y deformación unitaria en compresión de cubos.....	54
Tabla 14 Resultados flexión de prismas - fase 2.....	56
Tabla 15 Análisis ANOVA de los resultados de resistencia y deformación unitaria en flexión de prismas.....	57
Tabla 16 Resultados de flexión de probetas de material compuesto.....	60
Tabla 17 Resultados de tracción de probetas de material compuesto s.....	62
Tabla 18 Análisis ANOVA de los resultados deflexión y tracción de material compuesto.....	64
Tabla 19 Resultados de absorción en cubos.....	65
Tabla 20 Resultados de absorción en probetas de material compuesto.....	66
Tabla 21 Resultados de densidad en cubos.....	67
Tabla 22 Resultados de densidad en probetas de material compuesto.....	69
Tabla 23 Análisis ANOVA de los resultados de absorción y densidad en cubos y probetas de material compuesto.....	70
Tabla 24 Resumen de análisis de precios unitarios.....	70
Tabla 25 Orden de los tamices en el ensayo de granulometría de agregado fino.....	86
Tabla 26 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero de control con dosificación 1:5.....	88

Tabla 27 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero de control con dosificación 1:5.	89
Tabla 28 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,3%.	89
Tabla 29 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,3%.	89
Tabla 30 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,5%.	89
Tabla 31 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,5%.	89
Tabla 32 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,75%.	90
Tabla 33 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,75%.	90
Tabla 34 Dosificaciones empleadas para mejorar las capacidades mecánicas del mortero con refuerzo de fibras vegetales de abacá.	90
Tabla 35 Dosificaciones empleadas en la fase 2 de la investigación.	90
Tabla 36 Dosificación (1:4,4) para elaboración de cubos incorporando un 0,3% de fibra.	91
Tabla 37 Dosificación (1:4,4) para elaboración de prismas incorporando un 0,3% de fibra.	91
Tabla 38 Dosificación (1:4,4) para elaboración de FRCM incorporando un 0,3% de fibra.	91
Tabla 39 Dosificación (1:3,4) para elaboración de cubos incorporando un 0,5% de fibra.	91
Tabla 40 Dosificación (1:3,4) para elaboración de prismas incorporando un 0,5% de fibra.	91
Tabla 41 Dosificación (1:3,4) para elaboración de FRCM incorporando un 0,5% de fibra.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de obtención de la fibra de abacá.	25
Figura 2 Categorías de calidad de la fibra de abacá.	26
Figura 3 Diagrama del proceso para recolección y validación de fuentes bibliográficas. .	29
Figura 4 Diagrama de recolección y análisis de datos.	30
Figura 5 Ubicación de la mina Cerro Negro.	31
Figura 6 Hacienda Furukawa productora de la fibra de abacá.	31
Figura 7 Secado de la fibra de abacá.	32
Figura 8 Tamizado del material fino.	33
Figura 9 Resultados del ensayo de tracción del hilo de abacá no tratado.	38
Figura 10 Resultados del ensayo de tracción del hilo de abacá tratada con NaOH.	39
Figura 11 Curvas comparativas del ensayo de tracción de hilo de abacá con FNT y FT. .	40
Figura 12 Imagen de la fibra sin tratar siendo medida bajo el microscopio.....	41
Figura 13 Imagen de la fibra con tratamiento siendo medida bajo el microscopio.....	41
Figura 14 Contenido de material orgánico.	43
Figura 15 Variación de la resistencia promedio a compresión de los diferentes tipos de mortero - fase 1.....	46
Figura 16 Variación de la deformación unitaria promedio del ensayo a compresión de los diferentes tipos de mortero - fase 1.	47
Figura 17 Fallas a compresión en cubos de mortero - Fase 1.	48
Figura 18 Curvas características del ensayo a compresión de cubos - Fase 1.	48
Figura 19 Variación de la resistencia y deformación unitaria promedio a flexión de los diferentes tipos de mortero - fase 1.	50
Figura 20 Fallas a flexión en prismas de mortero - Fase 1.....	50
Figura 21 Curvas características del ensayo a flexión de prismas - Fase 1.....	51
Figura 22 Variación de la resistencia y deformación unitaria de compresión de cubos de los diferentes tipos de mortero.	53
Figura 23 Fallas a compresión en cubos de mortero - fase 2.....	55
Figura 24 Curvas características del ensayo a compresión de cubos - Fase 2.	55
Figura 25 Variación de la resistencia y deformación unitaria promedio a flexión de los diferentes tipos de mortero de la fase 1 y 2.	57
Figura 26 Fallas a flexión en prismas de mortero - fase 2.....	58
Figura 27 Curvas características del ensayo a flexión de prismas - Fase 2. con 0.5%.....	59

Figura 28 Variación de la resistencia y deformación unitaria promedio de flexión de probetas de material compuesto de los diferentes tipos de mortero.	60
Figura 29 Falla a flexión en probetas de material compuesto de los diferentes tipos de mortero	61
Figura 30 Curvas características del ensayo a flexión de probetas de material compuesto - Fase 2.....	62
Figura 31 Falla a tracción en probetas de material compuesto de los diferentes tipos de mortero.	63
Figura 32 Curvas características del ensayo a tracción de probetas de material compuesto - Fase 2.....	64
Figura 33 Porcentajes de absorción en cubos de los diferentes tipos de mortero.	66
Figura 34 Porcentaje de absorción en cubos y material compuesto de los diferentes tipos de mortero.	67
Figura 35 Densidad de cubos de los diferentes tipos de mortero.	68
Figura 36 Densidad de cubos y probetas de material compuesto de control, 0,3% y 0,5% fibra a 28 días.	69
Figura 37 Fibras sumergidas en solución NaOH 0,3%.	82
Figura 38 Ensayo de densidad específica.....	83
Figura 39 Ensayo de densidad lineal.....	83
Figura 40 Ensayo de absorción de las fibras -Peso seco.	84
Figura 41 Imagen obtenida en la vista del microscopio de fibra tratada con NaOH.....	84
Figura 42 Preparación de las probetas para ensayar.....	85
Figura 43 Equipo para el ensayo de tracción.....	85
Figura 44 Ensayo de densidad de agregado fino.	86
Figura 45 Ensayo de contenido orgánico.	87
Figura 46 Ensayo de MUS (a) y MUC (b).	87
Figura 47 Ensayo de absorción del agregado fino.....	88
Figura 48 Equipo para ensayo de fluidez en morteros	92
Figura 49 Ensayo de fluidez en morteros	92
Figura 50 Esquema del equipo VICAT	93
Figura 51 Ensayo de tiempo de fraguado	94
Figura 52 Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo	94
Figura 53 Probetas elaboradas para los ensayos de compresión	95

Figura 54 Ensayo de compresión de cubos de mortero	95
Figura 55 Orden de apisonamiento en el molde de los especímenes	96
Figura 56 Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.....	96
Figura 57 Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.....	97
Figura 58 Elaboración del FRCM.	97
Figura 59 Material compuesto en balanza de muestras.....	98
Figura 60 Muestra dentro del horno de secado.	98
Figura 61 Ensayo de flexión del FRCM.....	99
Figura 62 Placas de acero colocadas como mordazas en las probetas de material compuesto a ser ensayadas.....	99
Figura 63 Diagrama del equipo preparado para el ensayo de tracción de probetas de material compuesto.....	100

RESUMEN

En esta investigación se exploró el uso de fibras de abacá en la elaboración de morteros. Las fibras, tratadas con hidróxido de sodio para mejorar su adherencia y cortadas a 1,2 cm, se añadieron en proporciones de 0,3%, 0,5% y 0,75% en la fase 1; se observó que el tiempo de fraguado con la inclusión de fibras tratadas con NaOH es más rápido en comparación con un mortero de control sin fibra. En las pruebas de compresión, se encontró que una dosificación 1:5 (cemento: agregado fino) no cumple la resistencia necesaria para este tipo de morteros, cuando se incluyen los diferentes porcentajes de fibras. Por lo tanto, en la fase 2, se redujo la cantidad de agregado fino, y se trabajó con dosificaciones de 1:4,4 con 0,3% de fibra y 1:3,4 con 0,5% de fibra. Los resultados de los ensayos de flexión y compresión realizados en la fase 1 de investigación nos llevaron a descartar la dosificación con 0,75% de fibra porque este porcentaje de adición reduce sus propiedades mecánicas respecto a las dosificaciones fibro-reforzadas al 0,3% y 0,5%. También cabe mencionar que, dentro de la mezcla, la fibra formaba aglomeraciones que dificultaron su trabajabilidad. Además de la elaboración de probetas de cubos y prismas para los ensayos de compresión y flexión, se elaboraron probetas prismáticas denominadas FRCM (Material Compuesto Fibro-reforzado) para ser ensayadas a flexión y tracción con el fin de simular el comportamiento que el mortero puede presentar frente a estos esfuerzos. Los resultados fueron prometedores, pero se concluyó que se debe seguir investigando. Este proyecto de titulación ha demostrado el potencial de las fibras de abacá en la mejora de la resistencia y la capacidad de deformación de los morteros. Sin embargo, se requiere más investigación para optimizar la dosificación de las fibras y para entender completamente el comportamiento del mortero reforzado con fibras de abacá en condiciones reales de construcción.

Palabras claves: Fibra de abacá, deformación, mortero de enlucido, tratamiento con hidróxido de sodio, ensayo de compresión, ensayo de flexión, ensayo de tracción, Material compuesto fibro-reforzado (FRCM)

ABSTRACT

This research explored the use of abaca fibers in mortar production. The fibers, treated with sodium hydroxide (NaOH) to enhance their adhesion, were cut to 1.2 cm. They were added in proportions of 0.3%, 0.5%, and 0.75% during Phase 1. It was observed that the setting time with the inclusion of NaOH-treated fibers is faster compared to a control mortar without fibers. Compression tests found that a 1:5 ratio (cement: fine aggregate) does not meet the necessary strength for this type of mortar when different fiber percentages are included. Therefore, in Phase 2, the amount of fine aggregate was reduced, and dosages of 1:4.4 with 0.3% fiber and 1:3.4 with 0.5% fiber were used. The results of the bending and compression tests conducted in Phase 1 led us to discard the dosage of 0.75% fiber because this addition percentage reduces its mechanical properties compared to the fiber-reinforced dosages at 0.3% and 0.5%. It's worth mentioning that the fiber formed agglomerations within the mixture that hindered workability. In addition to preparing cube and prism specimens for compression and flexural tests, prismatic specimens called FRCM (Fiber-Reinforced Composite Material) were also fabricated. These were tested for bending and tensile strength to simulate the behavior of the mortar under these loads. The results were promising, but further research is needed. This graduation project has demonstrated abaca fibers' potential in improving mortars' strength and deformability. However, additional investigation is required to optimize fiber dosages and fully understand the behavior of abaca fiber-reinforced mortar under actual construction conditions.

Keywords: Abaca fiber, deformation, plaster mortar, sodium hydroxide treatment, compression test, bending test, tensile test, fiber reinforced composite material (FRCM)



Revised by

Mario N. Salazar

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1 Introducción

Las fibras naturales son materiales orgánicos que se obtienen de diversas fuentes vegetales y animales. En los últimos años, su uso en la industria de la construcción ha experimentado un auge. Se buscan alternativas a las fibras de acero o sintéticas en materiales compuestos (Jiang et al., 2018). Ecuador es un país que experimenta alta actividad sísmica. Las estructuras de sus viviendas se ven afectadas por la aparición de grietas en mamposterías. Aunque estas grietas no comprometen la integridad estructural de las viviendas, pueden causar preocupación entre los habitantes y afectar su percepción de seguridad (Sánchez et al., 2020).

El abacá, una planta que prospera en condiciones climáticas cálidas y húmedas, es un ejemplo destacado de estas fibras naturales. Gracias a su clima ideal, Ecuador es el segundo mayor exportador de abacá en el mundo, representando el 15% de las exportaciones globales (Richter et al., 2013). Diversas investigaciones han demostrado que las características mecánicas del abacá, entre otras fibras vegetales, muestran resultados prometedores en pruebas de tracción (Cai et al., 2016). En este contexto, el uso de fibras vegetales como el abacá en la construcción representa una oportunidad para mejorar la resistencia de los enlucidos de mortero frente a la actividad sísmica. Sin embargo, a pesar de su accesibilidad y bajo costo, el uso de estas fibras como refuerzo en la construcción sigue siendo un campo poco explorado.

Para esta investigación, primero se caracterizó el agregado a usarse en ensayos como los de granulometría, MUC, MUS, contenido orgánico, densidad específica y absorción. Para caracterizar la fibra, se realizaron ensayos tales como tracción de fibra, absorción, densidad específica, densidad lineal y su respectivo tratamiento con NaOH. Luego, para la elaboración de probetas, se realizó según lo solicitado en las diferentes normas de hormigones. Para compresión de cubos, se elaboraron probetas prismáticas de 50 x 50 x 50 mm, que se ensayaron desde los 7 hasta los 28 días. Para los ensayos de flexión, se elaboraron probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, que se ensayaron a los 28 días. Finalmente, para los ensayos de tracción, se elaboraron probetas de dimensiones 50 x 20 x 300 mm, que se ensayaron a los 28 días. Para cada ensayo, se tuvo en cuenta un mortero con dosificación de control, es decir, arena - cemento, y sus respectivas modificaciones sobre dicha dosificación para añadirle las cantidades de fibras desde 0,3%, 0,5% y 0,75%.

Por lo tanto, esta investigación busca llenar este vacío y explorar el potencial del abacá como fibra vegetal en la mejora de la capacidad de deformación del mortero con proyección a una mejor respuesta sísmica de las estructuras de construcción. Al hacerlo, esperamos mejorar la resiliencia de las viviendas en áreas de alta actividad sísmica, además también promover el uso sostenible y ecológico de los recursos naturales en la industria de la construcción.

1.2 Planteamiento del problema

En Ecuador, nos enfrentamos a un desafío dual significativo. Por un lado, existe la necesidad de manejar de manera sostenible los materiales orgánicos, que constituyen una gran proporción de los residuos diarios producidos. Por otro lado, la alta actividad sísmica en el país requiere que las secciones de mampostería en las estructuras de construcción sean capaces de resistir y deformarse adecuadamente para minimizar las grietas en las paredes. En este contexto, el abacá, una fibra vegetal, emerge como una solución potencial para ambos desafíos.

Las fibras de abacá, tratadas con hidróxido de sodio para mejorar su adherencia y cortadas a 1,2 cm, se pueden añadir a los morteros en proporciones de 0,3%, 0,5% y 0,75%. Este proceso no solo utiliza de manera efectiva un material orgánico abundante, sino que también puede mejorar la capacidad de deformación de los morteros, lo que es crucial para resistir la actividad sísmica.

Sin embargo, a pesar de su potencial, el uso de fibras de abacá en la industria de la construcción aún no se ha estudiado a fondo. Por lo tanto, nuestra investigación se centrará en explorar este campo poco explorado. Buscamos entender cómo la inclusión de fibras de abacá puede mejorar la capacidad de deformación de los morteros y, por ende, reducir la presencia de grietas en las paredes. Al hacerlo, esperamos contribuir a la construcción de un futuro más sostenible y resiliente.

1.3 Justificación

En Ecuador, nos enfrentamos a dos desafíos significativos: la subutilización de materiales orgánicos y la alta actividad sísmica. Al incorporar fibras de abacá en la industria de la construcción, podemos dar un uso efectivo a estos materiales, reduciendo su impacto en el medio ambiente y mejorando la capacidad de deformación de los morteros para resistir la actividad sísmica. A pesar de su accesibilidad y bajo costo, el uso de fibras de abacá en la construcción es un campo poco explorado. Esta investigación busca llenar este vacío y explorar el potencial de estas fibras. Los hallazgos podrían tener un impacto significativo en la industria de la construcción, proporcionando una alternativa más sostenible y resiliente a los materiales de construcción tradicionales. En resumen, esta investigación tiene el potencial de contribuir a la sostenibilidad ambiental, mejorar la seguridad, la resiliencia de nuestras viviendas, y revolucionar la industria de la construcción.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Diseñar un mortero fibro-reforzado con capacidad de deformación mejorada respecto al mortero tradicional, mediante la adición de cáñamo de manila (abacá) dentro de la mezcla cementicia, para obtener un material potencialmente usable como mortero para enlucido en paredes.

1.4.2 Específicos

- a. Elaborar un diseño de mezcla para mortero fibro-reforzado, con la utilización de fibra de abacá y cemento portland tradicional, para uso potencial en enlucidos de edificación.
- b. Probar de forma experimental el comportamiento del mortero diseñado con refuerzo de fibra vegetal de abacá mediante ensayos de resistencia a flexión, tracción y compresión.
- c. Comparar los resultados de los ensayos del mortero reforzado con los de un mortero no reforzado.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Agregado fino

Es un material granular como la arena, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno que se usa en conjunto con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico (ACI 318-08, 2008). Los agregados tienen 3 clasificaciones que son según su origen, composición mineralógica y su tamaño. Por su origen existen agregados naturales y agregados artificiales. Por su composición mineralógica los agregados pueden ser silíceos y calcáreos (Paredes y Guillen, 2015); mientras que por su tamaño la norma ASTM C144-04 (1974) define al agregado fino para mortero de albañilería a aquel que pasa íntegramente el tamiz No. 4 y como mínimo en un 95% el tamiz No.8 en su granulometría.

2.2 Polvo de Piedra

El polvo de piedra es un agregado fino de origen artificial que se obtiene por la trituración de rocas de diferente naturaleza química (Álvarez, 2005); al ser una arena artificial posee partículas irregulares, mismas que cuando forman parte de un mortero hacen que dicho mortero tienda a tener una mejor adherencia, más resistencia a la compresión y una vida útil más prolongada (DASWELL, 2022).

2.3 Cemento

Se considera como cemento a todo tipo de producto o mezcla que tiene propiedades adhesivas (Barbudo y Yepez, 2014). Según el IECA (2023) el cemento es un conglomerante de varios compuestos como el clinker, caliza, cenizas volantes, materiales puzolánicos, entre otros, que están mezclados en proporciones adecuadas. De esta forma se obtiene el cemento como un material inorgánico finamente molido que al ser mezclado y amasado con agua forma una pasta, la cual tiene la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto (Giordani y Leone, s. f.). Por lo cual se define al cemento como un conglomerante hidráulico capaz de fraguar a través de reacciones químicas y procesos de hidratación (IECA, 2023). Se utiliza en la construcción para crear hormigones y morteros.

2.3.1 Cemento Portland

El cemento portland se llama así debido al color similar que tiene con la piedra caliza de portland una vez que ha fraguado. Se compone de minerales que contienen calcio, silicio, aluminio, hierro y magnesio (Pérez, 2004), que han pasado por un proceso térmico, de dosificación y molienda hasta convertirse en un conglomerante en forma de polvo finamente molido (Barbudo & Yepez, 2014). El cemento portland es un cemento hidráulico que tiene la ventaja de ser resistente, duradero, barato, de fácil acceso y manipulación (RUBI, 2023). Este tipo de cemento puede endurecer tanto al aire es decir a temperatura ambiente como bajo el agua (Barbudo & Yepez, 2014).

2.4 Clasificación de los morteros de albañilería

La norma NTE INEN 2518 (2010) cubre cuatro tipos de morteros denominados por las letras M, N, S y O, cada uno con características específicas que los diferencian. Por lo cual Delgado (2018) afirma que los morteros tipo M se caracterizan por su durabilidad, buen

comportamiento a compresión, congelamiento, cargas laterales, vientos y temblores; por este motivo se usa en cimentaciones, muros de contención, tuberías de aguas negras, etc. Los morteros tipo S tienen alta adherencia y buen desempeño frente a esfuerzos de compresión, se recomienda su uso cuando el mortero es el único medio que brinda adherencia entre la pared y el acabado final, como por ejemplo el revestimiento de cerámica, baldosines de barro o a su vez cuando se pretende que el mortero cumpla la función de acabado final (Delgado, 2018).

Por otra parte, según Delgado (2018) el mortero tipo N es un mortero económico, trabajable y resistente que se usa para estructuras a nivel del suelo y enchapes de mampostería. Sin embargo, el mortero más común en la construcción es el tipo O; a pesar de su baja resistencia a la compresión y gran contenido de cal; este mortero se usa solo en muros no portantes y acabados exteriores de hasta dos pisos (en zonas donde no hay presencia de congelamiento) (Delgado, 2018). Como requisito los morteros deben cumplir con la resistencia promedio a la compresión mínima a 28 días especificada en la norma NTE INEN 2518 (2010), la cual establece los siguientes valores de resistencia respectivamente: M – 17,2 MPa, S – 12,4 MPa, N – 5,2 MPa y O – 2,4 MPa.

2.4.1 Mortero para enlucidos

El mortero es una mezcla que se compone de agua, arena, conglomerante (cemento, cal o yeso) y aditivos de forma opcional; los cuales se integran siguiendo una dosificación que se establece según el uso que se le da al mortero. De acuerdo con Guerrero (1998) el mortero de enlucido se usa como revestimiento de la superficie de muros u otros elementos, a los que se les puede dar diversas formas, acabados y texturas.

Para realizar un mortero es importante que el diseño de la dosificación vaya de acuerdo con las propiedades, resistencia y características que se le desee dar. En el caso de morteros para mampostería se recomienda dosificaciones desde 1:4 hasta 1:7 (Civil, 2023).

Según Salamanca (2001) los morteros tradicionales tienen una relación de cemento y arena de 1:3, la cual se recomienda para usos en pisos e impermeabilizaciones; dosificaciones entre 1,4 y 1,5 se recomiendan para enlucidos finos y de exteriores; por otra parte, relaciones de 1,6 y 1,7 son recomendadas para enlucidos interiores (Civil, 2023). Sin embargo, es importante resaltar que la dosificación debe considerar las propiedades reales de los componentes a ser usados en obra, ya que estas influyen en el resultado final una vez que haya endurecido el mortero. Se aconseja que el diseño de la mezcla se realice a partir de especificaciones de trabajabilidad y resistencia a compresión en los 28 días, que son requeridas para un mortero de calidad (Salamanca, 2001).

2.4.2 Mortero fibro-reforzado

Los morteros fibro-reforzados son aquellos que contienen fibras, ya sean sintéticas o naturales. Se incorporan fibras a los morteros con el fin de mejorar su resistencia, durabilidad, beneficiar la capacidad de soportar cargas y se reducir la fisuración (Santillán, 2020). Existe gran interés en la incorporación de fibras vegetales naturales en mortero, ya que estas mejoran las características mecánicas del mismo, son renovables, de alta

disponibilidad y económicas (Santillán, 2020). Además, son una opción sostenible, ecológica y no tóxica a comparación de las fibras sintéticas.

2.4.3 Curado del mortero

Tanto el mortero como el concreto fraguan cuando se da la reacción de hidratación del cemento en condiciones de temperatura y humedad favorable. El curado es el método que busca mantener al mortero y concreto bajo una adecuada humedad y temperatura; con el fin de favorecer la hidratación del cemento y alcanzar las propiedades previstas al diseñar la mezcla (Salamanca, 2001). Existen dos prácticas de curado que se pueden distinguir para lograr mantener húmedo un mortero o concreto. La primera práctica suministra humedad adicional desde que empieza a fraguar. La segunda práctica consiste en prevenir la pérdida de humedad, al sellar la superficie con diversos materiales disponibles en el mercado como lonas o plásticos (Salamanca, 2001). Dentro de los métodos de curado más comunes se encuentra el curado por inmersión, aspersión, vaporización y por cubierta. El método de curado adecuado a aplicarse dependerá de las condiciones de obra y tipo de mortero (CAVE, 2007).

2.5 Fibras naturales

Según Marin y Laverde (2020) las fibras naturales son filamentos, fragmentos o hebras, que tienen un origen natural o biológico. Poseen características químicas, físicas y mecánicas que les dan cualidades de resistencia, flexibilidad, longitud y textura (Amigo et al., 2010). Las fibras naturales son de bajo costo, baja densidad, elevada resistencia específica y no presentan efectos abrasivos como las fibras de vidrio (Amigo et al., 2010). Además, su disponibilidad es alta lo que hace que su uso sea más accesible y generalizado (Santillán, 2020).

Existen tres tipos de fibras naturales que son derivadas de minerales, de origen animal y de origen vegetal (Marin & Laverde, 2020). Dentro de las fibras derivadas de minerales se encuentran el amianto o asbesto, wollastonita y paligorskita (Santillán, 2020). Para Rendón y Neyra (2020) las fibras de origen animal tienen dos orígenes, por secreción de glándulas especializadas (seda) y como el producto de folículos pilosos (lana de alpaca). Mientras que las fibras de origen vegetal son un conjunto de células que poseen lignina y celulosa, lo cual las hace durables y resistentes a fuerzas mecánicas (Rendón & Neyra, 2020). Algunas de las fibras vegetales naturales más usadas como refuerzo en polímeros son el yute, cáñamo, sisal, plátano, algodón, lino, kenaf, abacá, coco, bambú, entre otras (Amigo et al., 2010).

2.5.1 Tratamiento para fibras vegetales naturales

Para introducir fibras naturales en un mortero o cualquier compuesto de base cementicia es necesario que las fibras primero sean tratadas. Las fibras vegetales sin tratamiento al entrar en contacto con el ambiente alcalino del mortero sufren deterioro y degradación debido a la composición química que poseen (Acevedo y Luna, 2021). Las fibras vegetales son susceptibles a tener variación en su regularidad y propiedades dependiendo de su origen y método de extracción, por lo cual según Acevedo y Luna (2021) lo más recomendable es la aplicación de tratamientos superficiales para remover impurezas que puedan afectar su

rendimiento. Existen tratamientos físicos y químicos para las fibras vegetales (Santillán, 2020).

Citando a Santillán (2020), dentro de los tratamientos físicos se encuentran el tratamiento de corona y el tratamiento con plasma; estos permiten modificar la rugosidad de la superficie y la cristalinidad de las fibras, sin producir cambios significativos en su estructura química (Acevedo & Luna, 2021). Dentro de los tratamientos químicos existen: tratamientos alcalinos, con ácidos y de pirólisis (Santillán, 2020); estos buscan que exista mejor adherencia de la fibra en las bases cementicias, usando reactivos como hidróxido de sodio, ácido sulfúrico o descomposición térmica respectivamente (Acevedo & Luna, 2021).

2.5.2 Tratamiento con Hidróxido de Sodio (NaOH)

Es un tratamiento químico alcalino que consiste en someter a las fibras naturales a una solución con una base fuerte (NaOH) lo que produce hinchamientos en las fibras, de esta forma estas cambian su estructura, dimensión, morfología y propiedades mecánicas (Acevedo & Luna, 2021).

Freire (2019) recomienda que este tratamiento se realice en una solución de agua e hidróxido de sodio al 3% del porcentaje en masa para disolver la lignina y extraer la celulosa de las fibras. Este tratamiento químico mejora la flexibilidad, tenacidad, resistencia a la ruptura y brinda una menor densidad sin dañar las celdas celulíticas (Flores y González, 2011). El tratamiento de hidróxido de sodio se usa también cuando se busca disminuir la absorción de agua en las fibras de hoja, como el abacá (Freire, 2019).

2.5.3 Fibra de abacá

Mora et al. (2021) asevera que la fibra de abacá se compone por células largas y delgadas provenientes de la estructura de soporte de la hoja de abacá y es conocida como cáñamo de manila o *musa textilis*. Se caracteriza por su brillo natural y el color blanco o amarillo dependiendo de la especie y lugar donde se cultivó (Uvidia, 2019)

El proceso para la obtención de la fibra de abacá se muestra mediante el flujograma mostrado en la Figura 1.

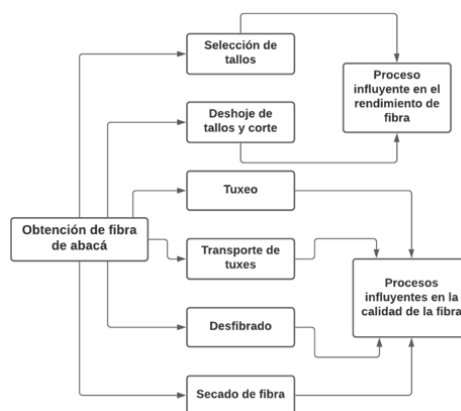


Figura 1 Proceso de obtención de la fibra de abacá.

Nota. Adaptado de *Determinación de los parámetros de la fibra de abacá (musa textilis) de las variedades bungalanón y tangongón que permita caracterizar la calidad (1-2)*, por J. Sancán, 2022, Tesis inédita, Universidad Técnica del Norte. CC BY-NC-SA 3.0

El tuxeo es el proceso de corte transversal del tallo de abacá y la separación de las capas de fibra y tallo existentes (Sancán, 2022). En Ecuador se realiza una clasificación de la calidad de la fibra según el color y diámetro en cinco rangos (Mora et al., 2021). En la Tabla 1 y Figura 2 se muestra como identificar la calidad de la fibra.

Tabla 1 Caracterización de la calidad de la fibra de abacá.

Rango de calidad	Color interno	Características de fibra
1-2	Color blanco	Hilos finos y suaves
3	Tonalidad clara en relación con el rango 4-5	Hilos un poco más finos que el rango 4-5
4	Similar al color del grado 5	Consistentemente gruesa
5	Casi blanco	Aspecto rústico, fuerte y demasiado grueso

Nota. Adaptado de *Determinación de los parámetros de la fibra de abacá (musa textilis) de las variedades bungalanón y tangongón que permita caracterizar la calidad (1-2)*, por J. Sancán, 2022, Tesis inédita, Universidad Técnica del Norte. CC BY-NC-SA 3.0

No hay diferencias relevantes en las calidades 1 y 2, por lo cual la segunda categoría que se observa en la Figura 2 representa estas dos calidades.

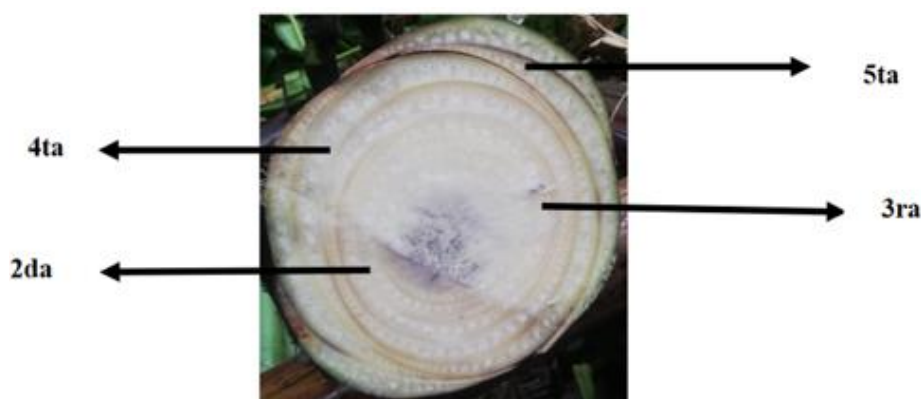


Figura 2 Categorías de calidad de la fibra de abacá.

Nota. Adaptado de *Determinación de los parámetros de la fibra de abacá (musa textilis) de las variedades bungalanón y tangongón que permita caracterizar la calidad (1-2)*, por J. Sancán, 2022, Tesis inédita, Universidad Técnica del Norte. CC BY-NC-SA 3.0

La producción de fibra de abacá se da en diferentes provincias del Ecuador como Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, los Ríos y Pichincha (Chang & Montero, 2015).

2.5.4 Propiedades de las fibras de abacá

Según Sancán (2022) varias de las propiedades que poseen las fibras de abacá son: su composición química, finura, longitud resistencia en seco y húmedo, higroscopicidad, entre otras. La composición química del abacá establecida por Sancán (2022) se especifica en la Tabla 2.

Tabla 2 Composición química del abacá.

Composición	Porcentaje (%)
Celulosa	63 – 70,1
Hemicelulosa	20 – 21,8
Pectina	0,6
Lignina	5,7 – 6
Extractiva	1,8

Nota. Adaptado de *Determinación de los parámetros de la fibra de abacá (musa textilis) de las variedades bungalanón y tangongón que permita caracterizar la calidad (1-2)*, por J. Sancán, 2022, Tesis inédita, Universidad Técnica del Norte. CC BY-NC-SA 3.0

El abacá es de las fibras naturales de mayor longitud pudiendo llegar hasta 6 metros aproximadamente (Sancán, 2022); tiene superficie lisa, flexible, suave, duradera y resistente (Anrango, 2020). En comparación con las fibras sintéticas de rayón y nylon, el abacá posee gran resistencia a la tracción y menor alargamiento a temperaturas húmedas o secas (Uvidia, 2019). Además, tiene la capacidad de absorber la humedad del aire e incorporarla a su estructura, lo que se denomina higroscopicidad. Esta fibra por naturaleza tiene su propia resistencia a la descomposición por agua salada (Sancán, 2022). Por otra parte, Santillán (2020) asevera que la fibra de abacá es considerada como una de las fibras vegetales naturales con verdadero potencial para refuerzo del concreto, ya que una de sus ventajas es su elevada resistencia a tracción y deformación.

En Filipinas existen aproximadamente 130 variedades de plantas de abacá conocidas, sin embargo, solo 14 de estas son usadas en el sector comercial y en Ecuador se puede encontrar 3 de estas variedades, las cuales son Bungalanón, Tangongón y Maguindanao, mismas que son las más deseadas en el mercado por sus propiedades y usos (Sancán, 2022).

2.6 Estado del arte

La industria de la construcción utiliza en sus procesos de transformación gran cantidad de recursos no renovables (Núñez, 2020), por lo cual se debe fomentar la reutilización de subproductos industriales y el uso de materiales renovables para mejorar la sostenibilidad en la industria de la construcción (Santillán, 2020). En este sentido Rendón y Neyra (2020) aseveran que la utilización de fibras vegetales es una alternativa ecológica, no tóxica, viable y necesaria, para sustituir el uso de fibras sintéticas y a su vez aportar en la reducción de la huella de carbono (Marin y Laverde, 2020).

Actualmente el uso de fibras vegetales es más considerado frente a la demanda de materiales sostenibles. El sector de la construcción aplica un 26% de las fibras vegetales, aprovechando sus propiedades y comportamiento en las matrices cementicias (Marin & Laverde, 2020). Velásquez et al. (2016) asevera que un mortero reforzado con fibra natural es comparable con un mortero fibro-reforzado con vidrio, por lo cual se puede considerar el uso viable de fibras vegetales en lugar de sintéticas, ya que estas pueden llegar a igualar sus propiedades. Las fibras vegetales más estudiadas hasta ahora son el sisal, lino, cáñamo, eucalipto, coco y yute (Marin & Laverde, 2020). Sin embargo, Ecuador exporta y produce fibras naturales vegetales de abacá, las cuales se caracterizan por su buena resistencia

mecánica y resistencia al daño por agua salada (Sancán, 2022); por lo cual son una opción prometedora, poco estudiada y asequible para implementarse dentro del mortero.

Es así que esta investigación plantea el uso de fibra de abacá para la elaboración de un mortero fibro-reforzado que mejore su capacidad de deformación respecto al mortero tradicional. Los resultados que ha presentado el abacá en diferentes estudios respecto a un mortero sin fibra son alentadores, ya que alcanza buena resistencia a flexión, tracción, compresión, flexo-compresión (Freire, 2019; Palacios & Salas, 2023).

A pesar de que las fibras son actualmente más investigadas y presentan buenas propiedades, estas no garantizan la durabilidad del abacá a lo largo del tiempo. Sin embargo, la fibra de abacá presenta por si sola resistencia al agua, que con la implementación de un tratamiento pueden mejorar tanto su adherencia como durabilidad dentro de la matriz cementicia. Flores & González, (2011) además de Freire (2019) aseveran que el tratamiento con hidróxido de sodio permite mejorar la tenacidad, incrementar la resistencia a la ruptura, adherencia y disminuir la absorción de agua de las fibras de hoja. Además Palacios & Salas (2023) concluye en su investigación que las probetas con adición de fibra de abacá tratadas con hidróxido de sodio, al ser ensayadas durante ciclos de envejecimiento no presentan gran deterioro con el tiempo. En la presente investigación se trata las fibras con hidróxido de sodio al 3% como recomienda (Freire, 2019).

Se busca obtener un mortero que sea potencialmente usable en los enlucidos de paredes, por lo cual se usa un tamaño de fibra de 12 mm, que es la longitud estándar que poseen las fibras sintéticas diseñadas para morteros y hormigones en la empresa TESPECON (Viera et al., 2022). La proporción de fibra debe ser añadida entre 0,1% al 1% respecto al volumen de mortero con el fin de no disminuir la trabajabilidad de la mezcla y obtener buenos resultados (Viera et al., 2022). Uno de los principales resultados al incluir fibras en longitudes de 10 a 40 mm es que se reduce la fisuración por retracción plástica en el proceso de fraguado (Santillán, 2020).

Las mejoras en las propiedades mecánicas que presenta el uso de fibra de abacá en morteros a lo largo de las diferentes investigaciones son impresionantes. Sin embargo, ninguna ha evaluado la deformación del mortero. Por lo cual, bajo los parámetros adaptados (longitud y cantidad de fibra, tipo de tratamiento) se realizarán ensayos de compresión, flexión y tracción para evaluar el comportamiento del mortero y cumplir con los requerimientos normados para un mortero de enlucido.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es del tipo experimental con un alcance explicativo. En esta investigación, se manipula la variable independiente en este caso la cantidad de fibras vegetales de abacá y se mide el efecto sobre las variables dependientes que en esta investigación es la capacidad de deformación del mortero. Es importante recordar que, en una investigación experimental, se debe tener un control riguroso sobre las variables para poder establecer relaciones de causa y efecto en los resultados obtenidos.

El alcance explicativo se debe a que se buscó determinar las causas y los efectos de un fenómeno, en este caso, intentar explicar cómo el uso de fibras de abacá puede mejorar la capacidad de deformación de los enlucidos de mortero. En una investigación explicativa, se identifican las relaciones entre las variables y se establecen las causas y efectos, este tipo de investigación es muy útil para entender y explicar por qué ocurren ciertos fenómenos y cómo podemos manipularlos.

3.2 Diseño de Investigación

El presente trabajo investigativo tiene un enfoque cuantitativo, debido a que la investigación se basa en mediciones de propiedades físicas que presentan los morteros. El desarrollo de este proyecto está gobernado por la experimentación controlada de los morteros con diferentes dosificaciones. Además, se establece como variables independientes a las adiciones porcentuales de fibras de abacá, las mismas que causarán el cambio de las características de cada dosificación de mortero (variable dependiente). Estas razones nos conllevan a determinar un alcance experimental para el presente trabajo investigativo.

3.3 Técnicas de Recolección de Datos

La técnica que se emplea para la recolección de datos es la revisión de registros, el proceso cronológico de la misma es el que se explica en la Figura 3:

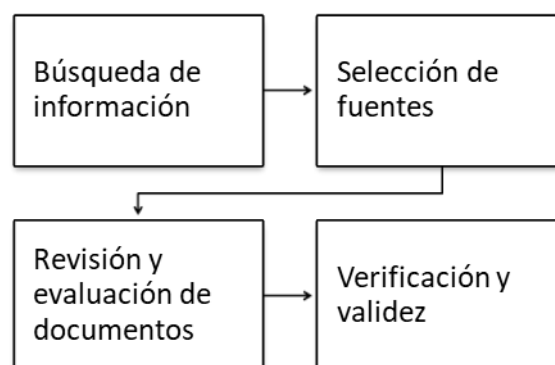


Figura 3 Diagrama del proceso para recolección y validación de fuentes bibliográficas.

Una vez concluida esta técnica se realiza una observación sistemática, estructurada y regulada de resultados, esto se detalla en la Figura 4 :

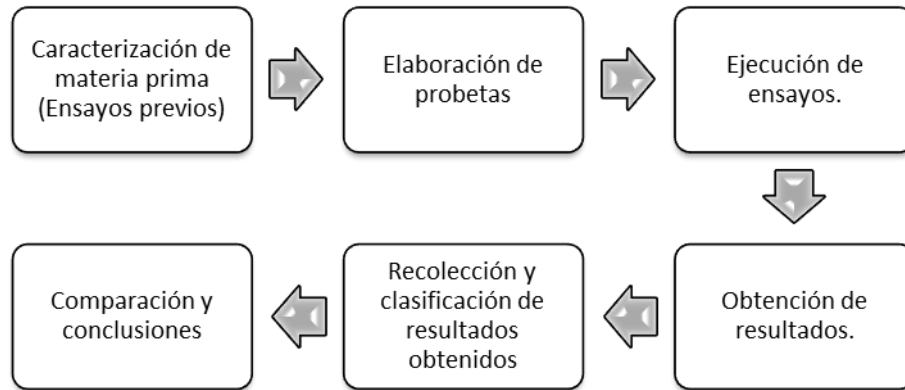


Figura 4 Diagrama de recolección y análisis de datos.

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

3.4.1 Población

La población considerada para esta investigación va desde los cubos de mortero para la experimentación a compresión, siguiendo por los prismas de mortero para ensayos de flexión y terminando con probetas de material compuesto (FRCM) de mortero para ensayos de tracción y flexión, además de las probetas designadas para los ensayos de absorción y densidad.

3.4.2 Muestra

En esta investigación se utilizó como muestra los elementos de mortero reforzados con fibra de abacá apropiados para cada tipo de ensayo. Para el estudio, se utilizó un total de 90 cubos de mortero, 18 prismas de mortero y 15 probetas de material compuesto (ver Tabla 3). Estos elementos fueron ensayados en sus respectivas edades para determinar sus características mecánicas.

Tabla 3 Muestra de la investigación.

Cubos	
Mortero de control	12
Mortero 0,3% Fibra	33
Mortero 0,5% Fibra	33
Mortero 0,75% Fibra	12
Prismas	
Mortero de control	3
Mortero 0,3% Fibra	6
Mortero 0,5% Fibra	6
Mortero 0,75% Fibra	3
Material Compuesto (FRCM)	
Mortero de control	3
Mortero 0,3% Fibra	6
Mortero 0,5% Fibra	6
Total de elementos	123

3.5 Procesamiento y Análisis

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario realizar ensayos de laboratorio, con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas de los materiales que se usaron para la fabricación del mortero fibro-reforzado.

3.6 Materiales

3.6.1 Agregado Fino-Polvo de piedra

El agregado empleado para realizar las diferentes mezclas de mortero fue polvo de piedra. Este se obtuvo de una de las canteras existentes en la provincia de Chimborazo, precisamente en la mina de Cerro Negro. La principal cualidad por la que nos declinamos por este agregado fue por la demanda existente del material de esta mina en las construcciones de la ciudad de Riobamba. En la Figura 5 se observa la localización de la mina de Cerro Negro, ubicada a las afueras de la ciudad:



Figura 5 Ubicación de la mina Cerro Negro.

3.6.2 Cemento Portland

Otra de las materias primas para la elaboración de morteros es el cemento. Para la elaboración de las diferentes probetas se optó por usar el cemento hidráulico tipo GU de la empresa “Cemento Chimborazo”.

3.6.3 Fibra de abacá

La fibra de abacá es el componente principal que estará presente en nuestra investigación. Esta fibra tiene excelentes propiedades mecánicas, como lo demuestra el estudio de Muñoz et al. (2021), además de la alta producción de esta fibra en el país. La empresa Furukawa, ubicada en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, es una de las principales productoras de esta fibra para su venta en el mercado nacional e internacional. Las fibras usadas en este estudio fueron proporcionadas por esta empresa (ver Figura 6).



Figura 6 Hacienda Furukawa productora de la fibra de abacá.

3.6.4 Hidróxido de Sodio

Este compuesto químico es el empleado para el tratamiento de las fibras de abacá. Según diferentes investigaciones, como la de Hidalgo & Peñafiel (2022) , este es uno de los tratamientos prometedores para las fibras vegetales que serán incorporadas dentro de matrices cementicias.

3.7 Métodos de análisis y procesamiento de datos

3.7.1 Obtención de fibra de abacá

El proceso para obtener la fibra de abacá es bastante laborioso y requiere de procedimientos específicos. Comienza con el corte del tallo de la planta de abacá, seguido por la selección de las tiras. En esta etapa, se seleccionan las mejores ‘chantas’ (tiras), que son limpiadas manualmente para continuar con el desfibrado. Posteriormente, las chantas pasan a una máquina desfibradora que, impulsada por un motor, hace girar un trompo de madera que es el que desfibra las tiras elegidas. Una vez realizado todo este proceso y obtenido las cantidades apropiadas de fibra, se sigue con el secado de las lianas desfibradas. Estas van a los tendales para obtener flexibilidad con un secado natural (ver Figura 7).

Los últimos pasos son referentes a la comercialización. Primero, se empaquetan los manojos de hilos en bultos que pueden pesar hasta 120 kilos por bulto. Finalmente, la exportación se traslada a los mercados nacionales, donde se satisfacen ciertas cantidades demandadas internamente, y la mayor parte de la producción se envía en buques para su comercialización internacional.

Es importante mencionar que el abacá, también conocido como cáñamo de Manila o *Musa textilis*, se extrae del tallo de la planta. La fibra de abacá es muy resistente y es considerada la más fuerte de las fibras naturales.



Figura 7 Secado de la fibra de abacá.

3.7.2 Obtención del agregado fino

Para la elaboración de las matrices cementicias, uno de los materiales fundamentales es el agregado fino. En este caso, usamos el polvo de piedra (ver Figura 8), que se obtuvo de manera manual. Nos trasladamos a la mina de la provincia y compramos sacos de este material para todas las probetas que se deben realizar como muestra de ensayo en la investigación.



Figura 8 Tamizado del material fino.

3.7.3 Método de elaboración de probetas

Con la información obtenida previo a la investigación, tanto en revistas como en artículos científicos, observamos que en la mayoría de las investigaciones los porcentajes de incorporación de fibras vegetales dentro de matrices cementicias varían desde 0,1% hasta el 1,2%. Cada una de estas investigaciones presentó resultados diferentes. Esta información nos sirvió para optar por los siguientes porcentajes: 0,3%, 0,5% y 0,75% de fibra respecto al volumen de la probeta. Además, trabajamos con la dosificación recomendada en obra para la elaboración de mortero para enlucido 1:5 (cemento: agregado fino) inicialmente es un punto de partida, según lo que recomienda Salamanca (2001). Sin embargo, esta dosificación fue modificada, a lo largo de la investigación, para mejorar capacidades mecánicas específicas del mortero ensayado. Las diferentes probetas de mortero fueron elaboradas mediante procesos manuales.

3.8 Métodos de Ensayo

3.8.1 Consideraciones en la fabricación del mortero y probetas

Hay que considerar que la fibra de abacá utilizada se caracteriza como de primera calidad debido a su color blanco e hilos finos además que posee una gran longitud y resistencia. Estas características dificultan la manejabilidad de la fibra al momento de cortarla a la longitud determinada de 12 mm; por lo cual es recomendable usar tijeras afiladas con una marca de la dimensión deseada para facilitar el proceso y ser exactos.

Al manipular el hidróxido de sodio se debe usar guantes de seguridad, mandil de laboratorio y trabajar en un ambiente ventilado. Al realizar la solución para tratar las fibras se debe pesar la cantidad de hidróxido de sodio de forma rápida y precisa, ya que este es higroscópico es decir que absorbe humedad del aire, lo que causa que se vuelva acuoso si esta mucho tiempo expuesto. Por otra parte, se debe integrar el hidróxido de sodio por partes al agua ya que este al disolverse libera calor.

Para pesar la cantidad de fibra a usarse según el volumen de mortero se recomienda no pesar fibra que acabe de ser secada ya que el calor le da más masa a la fibra. Es importante dejar enfriar la fibra dentro de un desecador para que esta no absorba humedad cuando se

enfrié. Al pesar la cantidad de fibra hay que almacenarla en una funda hermética para evitar contaminarla, así como almacenarla en un lugar fresco, seco y oscuro.

Un dato importante para considerar es que, dentro del proceso de tratamiento con NaOH al lavar las fibras, el agua hace que estas se adhieran entre en sí, por lo cual se vuelve difícil separarlas. En esta investigación se realiza mortero con adición de fibras sueltas por lo cual al elaborarlo este dato es importante, ya que hay que considerar la dispersión y distribución de la fibra dentro de la matriz cementicia. Por lo cual para elaborar el mortero primero se pesa e integra el agregado fino y cemento; luego en este punto se integra las fibras mezclando para que estas se distribuyan y finalmente se adiciona el agua. Para una correcta homogenización se recomienda realizar la mezcla de forma manual para evitar que las fibras se enreden entre sí.

Para la elaboración de probetas se debe adicionar el mortero de manera uniforme en el molde. Brindando un correcto vibrado de las probetas según como se especifique en la normativa. Con el fin de evitar un mortero poroso ya que esto puede afectar la resistencia de las probetas al ser ensayadas. Se debe identificar cada muestra realizada para no confundirlas entre sí.

Al desmoldar las probetas 24 horas después de su elaboración se debe tener cuidado para evitar golpes en estas o daños en sus vértices o aristas. Por otra parte, se debe dejar curar las probetas en agua potable para evitar impurezas.

3.8.2 Ensayos realizados en fibras

Para determinar las características que presenta la fibra de abacá se realizaron una serie de ensayos. Los ensayos incluyeron el corte y tratamiento de la fibra con NaOH, pruebas de absorción, uso de microscopía para determinar el diámetro de las fibras y pruebas de tracción para evaluar su resistencia. En el Anexo 1 es donde se demuestra el procedimiento para el tratamiento de la fibra. El Anexo 2 donde se muestra la norma y el procedimiento para obtener la densidad de la fibra (T – NT). El Anexo 3 es donde se muestra el procedimiento para obtener la densidad lineal. El Anexo 4 es el procedimiento para encontrar el porcentaje de absorción. El Anexo 5 donde se describe la obtención del diámetro de la fibra. Finalmente, el Anexo 6 donde se describe el procedimiento para obtener características mecánicas de las fibras, como es la tracción.

3.8.3 Ensayos realizados en agregados

En esta sección, se realizaron una serie de ensayos para determinar las características del polvo de piedra, que se utilizó como agregado fino. Los ensayos son los principales que demanda la normativa ecuatoriana para que este agregado se considere apto de ser usado en una matriz cementicia. En el Anexo 7 se muestra el procedimiento para ensayar la granulometría del agregado. En el Anexo 8 se describe el procedimiento para obtener la densidad del agregado. En el Anexo 9 se muestra el procedimiento para determinar el contenido orgánico que contiene el agregado. El Anexo 10 describe el procedimiento para determinar MUC y MUS. Finalmente, el Anexo 11 detalla el procedimiento para determinar el porcentaje de absorción que tiene el polvo de piedra.

3.8.4 Ensayos sobre los morteros.

Para este punto de la investigación, se realizaron una serie de ensayos para determinar las características físicas y mecánicas del mortero tanto en estado fresco como endurecido. Además de probar distintas dosificaciones que podrían tener potencial en la investigación mismas que se pueden revisar en la sección de anexos que van desde el Anexo 12 hasta el Anexo 17. En la fase de estado fresco, se ensayó la fluidez descrita el procedimiento en el Anexo 18. El tiempo de fraguado del mortero que se puede ver es como se hizo en el Anexo 20. En la fase de estado endurecido, se determinó la densidad procedimiento que se puede revisar en el Anexo 19. El porcentaje absorción detallada en el Anexo 25. La Resistencia a la compresión se muestra en el Anexo 21. La resistencia a la flexión en prismas se puede ver el procedimiento en el Anexo 22 y en material compuesto en el Anexo 26. Para las características que debe tener el FRCM se puede ver el Anexo 23. Además de la resistencia a la tracción en material compuesto Anexo 27.

3.9 Análisis estadístico

3.9.1 Media

La media es un indicador representativo de un grupo de datos, y existen diversas formas de calcularla, como la media aritmética, la mediana, la moda, la media geométrica y la media armónica. En este estudio, se empleará la media aritmética, que se define como el resultado de dividir la suma total de un conjunto de números por la cantidad de estos números (Spiegel & Stephens, 2009).

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N x}{N} = \frac{\sum x}{N}$$

3.9.2 Desviación estándar

La variabilidad de los datos en relación con la media se denomina dispersión o variación. Existen varias medidas de dispersión que se pueden calcular, como el rango, la desviación media y la desviación estándar. En este estudio, se utilizará la desviación estándar para determinar la dispersión de los datos obtenidos en relación con la media de las pruebas realizadas (Spiegel & Stephens, 2009).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}}$$

3.9.3 Coeficiente de variación

Si la desviación estándar, que representa la dispersión absoluta, es 's' y la media es \bar{X} , entonces el coeficiente de variación o de dispersión se refiere a la dispersión relativa. Por ejemplo, una variación de 10 pulgadas en una distancia de 1000 pies se interpreta de manera muy diferente a la misma variación de 10 pulgadas en una distancia de 20 pies. Este efecto se puede cuantificar utilizando la dispersión relativa (Spiegel & Stephens, 2009).

$$\text{Coeficiente de variación (CV)} = \frac{s}{\bar{X}}$$

3.9.4 Análisis ANOVA

El análisis ANOVA, que es un análisis de varianza. Este facilita la creación de una tabla que examina la variación de datos. Este análisis permite determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre dos o más grupos, y se puede llevar a cabo utilizando el software Excel (Lira, 2021).

3.9.5 Hipótesis.

La hipótesis que se plantea para el desarrollo de este trabajo de investigación es: la incorporación de fibras vegetales de abacá en cantidades controladas y con el tratamiento adecuado con hidróxido de sodio (NaOH) ayudan a mejorar las capacidades de deformación de un mortero para enlucidos frente a acciones de compresión, flexión y tracción.

3.9.6 Métodos de análisis y procesamiento de datos

En el presente estudio, se optó por un enfoque cuantitativo debido a su naturaleza experimental, en la que se llevaron a cabo pruebas para evaluar las propiedades físicas de los morteros de enlucido. Los datos numéricos obtenidos se procesaron mediante software especializado, lo que permitió un análisis preciso e interpretable de los valores obtenidos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de las fibras

4.1.1 Tratamiento y corte de la fibra

Se cortó la fibra de abacá en una longitud de 12mm y se trató con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3% para esta investigación. El tratamiento químico brindó buena adhesión de las fibras a la matriz cementicia. Mientras que el tamaño de la fibra permitió una buena distribución de estas dentro de la mezcla y una buena trabajabilidad del mortero fibro-reforzado.

4.1.2 Propiedades físicas y mecánicas de las fibras

Las fibras vegetales de abacá fueron sometidas a varios ensayos de caracterización, donde se ensayó muestras de fibra sin tratamiento (FNT) y fibras tratadas con NaOH (FT). A las fibras se les realizó ensayos de: densidad aparente, porcentaje de absorción, densidad lineal y resistencia a tracción. Los resultados de los ensayos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Resultados de caracterización de la fibra de abacá.

Tipo de fibra	Nombre comercial	Procedencia			
Fibra vegetal	Abacá	Santo Domingo de los Tsáchilas			
Propiedad	Tipo de fibra	Resultado Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	
Densidad Aparente	FNT	1,213 g/cm ³	0,009	0,781	
	FT	1,216 g/cm ³	0,009	0,705	
Densidad Lineal	FNT	58,120 g/km	0,811	1,396	
	FT	58,022 g/km	1,100	1,896	
Porcentaje de Absorción	FNT	77,006 %	1,612	2,093	
	FT	76,673 %	0,288	0,376	
Resistencia a tracción	FNT	593,847 MPa	19,466	3,109	
	FT	482,398 MPa	29,741	6,165	
Deformación unitaria a tracción	FNT	2,200 %	0,002	11,230	
	FT	1,500 %	0,001	7,818	

Nota: **FNT**=Fibra no tratada; **FT**= Fibra tratada.

La fibra de abacá tiene una densidad aparente de 1,214 g/cm³ entre las fibras no tratadas y tratadas. La densidad del agua a la misma temperatura es de 997,5 kg/m³, por lo cual comparando estos datos se evidencia que la fibra de abacá es más densa que el agua. La densidad puede influir en cómo interactúa la fibra de abacá con el agua, cemento y agregado fino dentro de la matriz cementicia. La densidad de la fibra también se relaciona con las propiedades físicas y mecánicas que le puede aportar al mortero. El dato de la densidad de la fibra es relevante ya que influye en el cálculo de la cantidad de fibra para cada tipo de probeta.

Se calculó la densidad lineal de las fibras no tratadas y tratadas de abacá para comprender como se distribuye la masa a lo largo de su longitud. La densidad lineal de las fibras no tratadas es de 58,12g/km y de las fibras tratadas de 58,02 g/km. Estos resultados reflejan que las muestras de fibra no tratada son 0,2% más densas que las de fibra tratada. Esta diferencia

es mínima y no refleja variabilidad, por lo cual indica una distribución homogénea de la masa a lo largo de la fibra con y sin tratamiento.

Para las fibras no tratadas se obtuvo en promedio una absorción del 77% y para las fibras tratadas con NaOH un promedio de 76,6%. Al ser fibras naturales, tanto las fibras con y sin tratamiento tienen una alta capacidad de absorción de agua debido a su estructura y composición. Sin embargo, el tratamiento con NaOH si reduce ligeramente la capacidad de absorción de agua en las fibras, lo cual es beneficioso. La absorción de agua en las fibras influye en la resistencia, durabilidad y comportamiento que el mortero puede llegar a tener (Bustos et al., 2018). La desviación estándar y coeficiente de variación de las fibras tratadas son menores comparados con los de las fibras no tratadas, lo cual sugiere que el tratamiento con NaOH puede haber hecho que las fibras de abacá sean más uniformes en su capacidad de absorción de agua.

Para evaluar el comportamiento mecánico de las fibras bajo cargas de tracción se seleccionaron fibras según los diámetros obtenidos en microscopía de fibra con y sin tratamiento de NaOH (ver Tabla 5 y Tabla 6). El diámetro se usa en el cálculo del área del hilo y por ende en la resistencia de cada probeta. En la Tabla 4 se muestra los resultados de resistencia a tracción con su deformación unitaria de las fibras no tratadas y tratadas respectivamente. Mientras que en la Figura 9 y Figura 10 se representan las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria de cada probeta de fibra sin tratar y con tratamiento que fueron ensayadas.

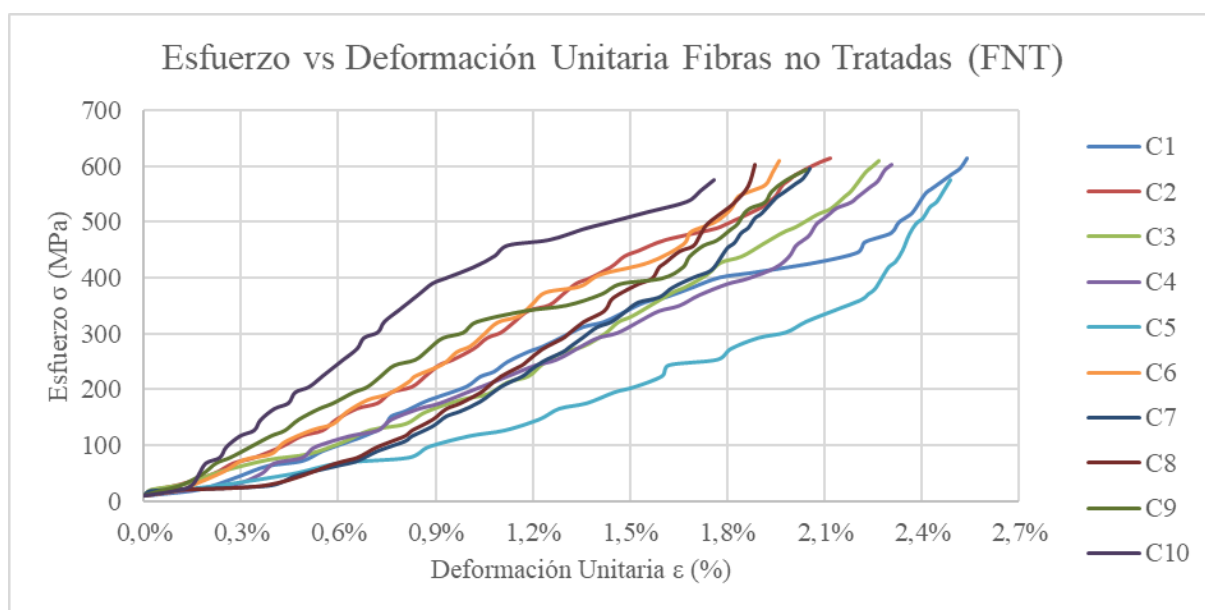


Figura 9 Resultados del ensayo de tracción del hilo de abacá no tratado.

Los resultados del ensayo de tracción de las fibras no tratadas de la Tabla 4 muestran una resistencia a tracción promedio de 593,84 MPa con una deformación unitaria promedio de 2,2%. En resistencia existe una desviación estándar del 19,46% y un coeficiente de variación de 3,10% que son ligeramente elevados y evidencian que existe dispersión y variabilidad en la resistencia a tracción entre las diferentes muestras de fibra. En deformación la desviación estándar es del 0,24% y el coeficiente de variación de 11,23% lo que significa que los

resultados están agrupados alrededor de la media y tienen variabilidad entre las diferentes muestras. Estas variaciones se atribuyen a factores como diferencias en la calidad de la fibra, el proceso de fabricación del hilo, impurezas presentes en las fibras o incluso las condiciones ambientales durante el ensayo. La Figura 10 evidencia de forma notoria la variabilidad existente entre las diez muestras de fibras no tratadas ensayadas a tracción.

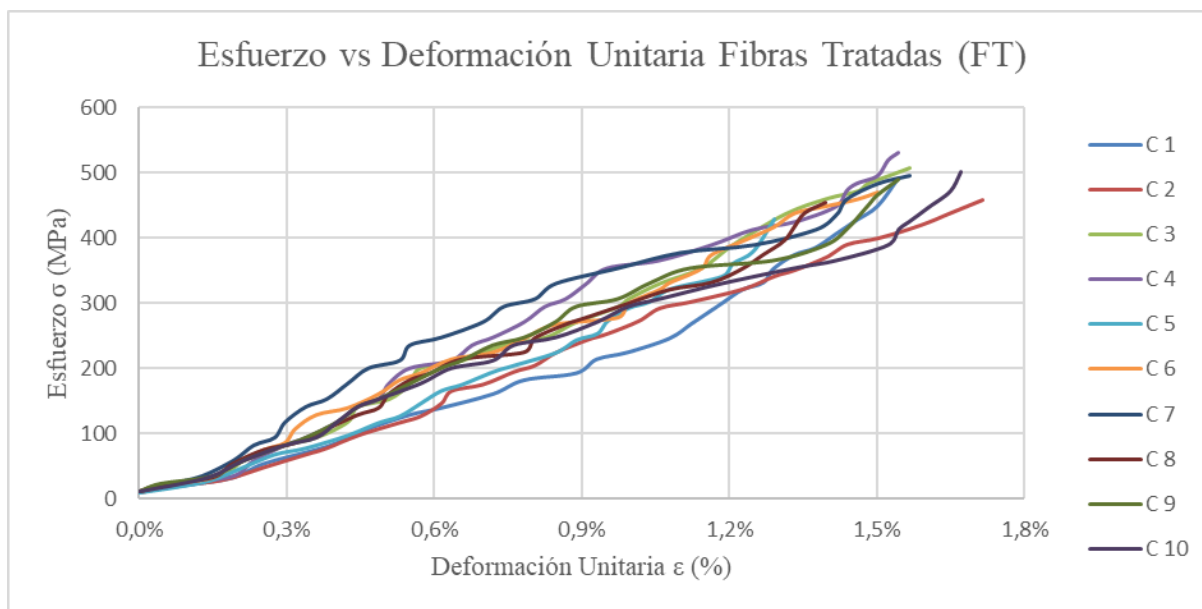


Figura 10 Resultados del ensayo de tracción del hilo de abacá tratada con NaOH.

Por otra parte, las fibras tratadas obtienen una resistencia a tracción promedio de 482,39 MPa y una deformación unitaria promedio del 1,5%. En resistencia existe una desviación estándar del 29,74% y un coeficiente de variación de 6,16%. Estos resultados son ligeramente más elevados que los presentados en las fibras no tratadas, por lo que evidencian una menor consistencia en las propiedades de resistencia a tracción, esta ligera variación se le atribuye a la reducción en resistencia que experimentan las fibras tratadas.

En deformación la desviación estándar es del 0,11% y el coeficiente de variación de 7,81%. Es decir que en deformación los resultados de las fibras tratadas con NaOH presentan mayor uniformidad que las fibras no tratadas. El tratamiento con NaOH contribuyó a mejorar la uniformidad de las fibras brindando un comportamiento más predecible de estas. En la Figura 10 se nota de forma gráfica una mejor uniformidad entre las muestras de fibra tratadas ensayadas a tracción. Si bien los resultados de las fibras tratadas con NaOH son más uniformes respecto a los resultados de fibras no tratadas; cabe resaltar que la resistencia y deformación se ven reducidas en las fibras tratadas. La resistencia a tracción promedio se reduce en un 19% y la deformación unitaria promedio en 29% en las fibras tratadas con NaOH debido a que este tratamiento químico modifica la composición de la fibra eliminando la lignina y hemicelulosa de esta (Enciso et al., 2017).

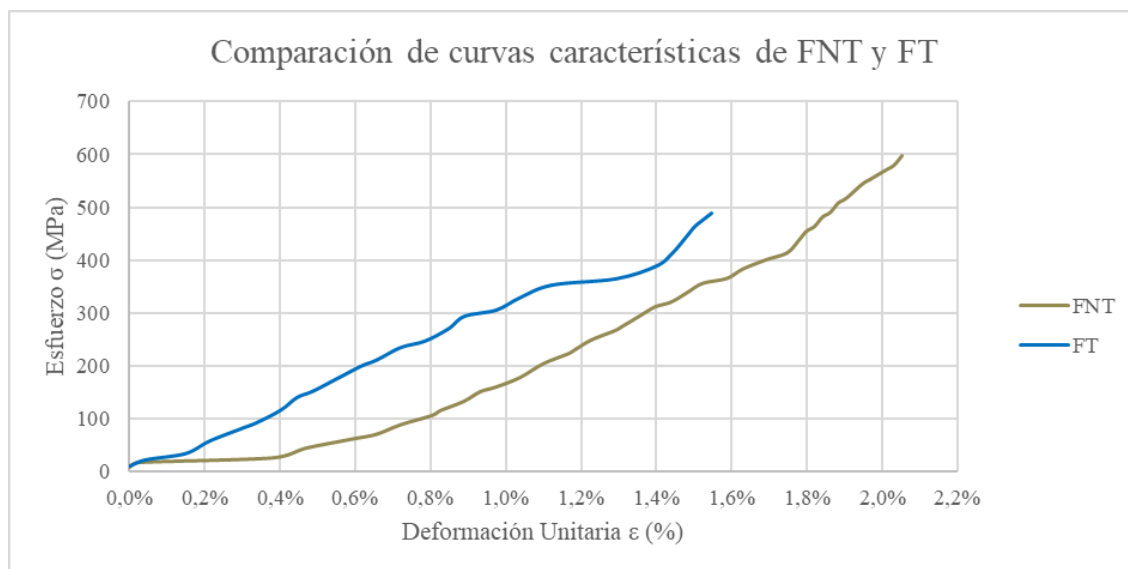


Figura 11 Curvas comparativas del ensayo de tracción de hilo de abacá con FNT y FT.

Para apreciar de mejor forma la diferencia de resistencia y deformación unitaria en el ensayo de tracción de hilos en FNT y FT, en la Figura 11 se presenta una curva característica de FNT y FT. Para seleccionar las curvas características se obtuvo la resistencia y deformación unitaria promedio de las diez muestras ensayadas por cada tipo de fibra; luego se eligió la curva que posee los valores más cercanos en resistencia y deformación unitaria a lo obtenido en el promedio. Es así como para las FNT y FT se tomaron las curvas C7 y C9 como curvas características.

La curva característica de FT presenta una reducción de resistencia y deformación unitaria del 18% y 25% respecto a la curva de FNT. Esta reducción como ya se mencionó se debe a que el tratamiento químico con NaOH modifica la composición de la fibra.

Es necesario considerar que según Enciso et al. (2017) tratamientos con concentraciones elevadas de NaOH pueden generar fibras dañadas y débiles, afectando las propiedades mecánicas que un material compuesto puede tener. Por lo cual en esta investigación se realiza un tratamiento con NaOH al 3% tal como recomienda Freire (2019), ya en su investigación las fibras tratadas en una solución al 3% obtuvieron los mejores resultados de resistencia a flexión con materiales compuestos.

Desde el Anexo 28 hasta el Anexo 35 se muestra cómo se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4 de densidad aparente, porcentaje de absorción, densidad lineal y resistencia a tracción.

4.1.3 Microscopía

Se analizó 10 muestras de fibra de abacá con y sin tratamiento de NaOH con el fin de medir el diámetro promedio de las fibras y evaluar sus diferencias. Se realizó la medición del diámetro de las fibras de abacá con un microscopio óptico de los laboratorios de medicina de la UNACH.

En la Tabla 5 y Tabla 6 se muestran los resultados del diámetro de 10 muestras de fibra no tratada y con tratamiento respectivamente. Mientras que en la Figura 12 y Figura 13 se

observan imágenes de las fibras no tratadas y con tratamiento respectivamente, al momento que son observadas y medidas bajo el microscopio con un objetivo de 10X.

Tabla 5 Diámetro de fibras no tratadas observadas bajo el microscopio.

Fibra	Muestra N°	Diámetro		
		Líneas	Micras (μ)	Milímetros (mm)
No Tratada	1	23	230	0,23
	2	22	220	0,22
	3	21	210	0,21
	4	22	220	0,22
	5	22	220	0,22
	6	21	210	0,21
	7	23	230	0,23
	8	22	220	0,22
	9	22	220	0,22
	10	22	220	0,22
Promedio		22	220	0,22
Desviación estándar		0,667	6,667	0,007

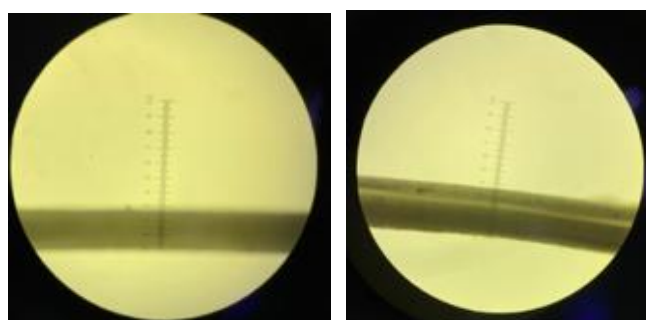


Figura 12 Imagen de la fibra sin tratar siendo medida bajo el microscopio.

Tabla 6 Diámetro de fibras tratadas observadas bajo el microscopio.

Fibra	Muestra N°	Diámetro		
		Líneas	Micras(μ)	Milímetros(mm)
Tratada	1	21	210	0,21
	2	22	220	0,22
	3	20	200	0,20
	4	20	200	0,20
	5	22	220	0,22
	6	21	210	0,21
	7	21	210	0,21
	8	20	200	0,20
	9	20	200	0,20
	10	20	200	0,20
Promedio		20,7	207	0,207
Desviación estándar		0,823	8,233	0,008

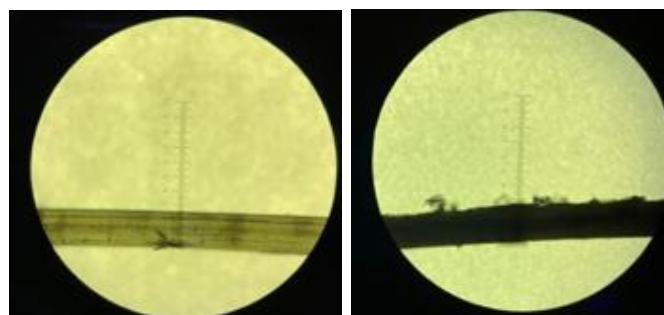


Figura 13 Imagen de la fibra con tratamiento siendo medida bajo el microscopio.

Los resultados del ensayo de microscopía indican que las fibras de abacá tratadas con NaOH tienen un diámetro promedio de 207 micras, ligeramente menor que el diámetro promedio de 220 micras de las fibras no tratadas. El tratamiento con NaOH causó una ligera reducción en el diámetro de las fibras, debido a la concentración de NaOH que produce deslignificación de la fibra natural como lo reporta Vega & Villanueva (2020) en su estudio. Las imágenes microscópicas revelan una diferencia notable en la textura superficial de las fibras; las fibras no tratadas son mayormente lisas y las fibras tratadas presentan rugosidades notables. Estas rugosidades se deben al tratamiento con NaOH que aumenta la superficie de contacto entre las fibras y el mortero. A su vez la rugosidad mejora la adhesión de la fibra a la matriz cementicia y por ende la resistencia del mortero.

4.2 Caracterización del Agregado fino

Se usó el polvo de piedra como agregado fino en esta investigación, con el fin de evitar las impurezas orgánicas dentro de la matriz cementicia; ya que estas pueden llevar a la degradación de las fibras naturales.

4.2.1 Propiedades físicas del agregado fino

El agregado fino (polvo de piedra) fue sometido a varios ensayos de caracterización. Se realizaron ensayos de: granulometría, densidad, porcentaje de absorción, masas unitarias y contenido orgánico. Los resultados de los ensayos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 Resultados de caracterización del agregado fino.

Tipo de agregado fino		Nombre comercial		Procedencia	
Arena artificial		Polvo de piedra		Mina Cerro Negro	
Propiedad/Característica		Resultado		Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Granulometría	TNM	2,360	mm	0	0
	Módulo de finura	3,190	mm	0,006	0,197
Densidades	SGsh	2,091	-	0,136	6,506
	SGsss	2,244	-	0,145	6,441
	SGa	2,469	-	0,187	7,556
	δ_{sh}	2086,434	kg/m ³	135,715	6,505
	δ_{sss}	2238,648	kg/m ³	144,064	6,435
	δ_a	2463,348	kg/m ³	185,882	7,546
Absorción	Absorción %	7,299	%	0,229	3,144
Masas unitarias	MUS	1557,444	kg/m ³	4,367	0,280
	MUC	1726,088	kg/m ³	1,988	0,115
Contenido orgánico	Número del comparador	1	-	-	-
	Escala de Gardner	5	-	-	-

Nota: **TNM**=Tamaño nominal máximo; **SGsh**=Gravedad específica seca al horno; **SGsss**=Gravedad específica saturada superficialmente seca; **SGa**= Gravedad específica aparente; **δ_{sh}** =Densidad seca al horno; **δ_{sss}** =Densidad saturada superficialmente seca; **δ_a** =Densidad aparente; **MUS**=Masa unitaria suelta; **MUC**=Masa unitaria compactada.

Se realizó el ensayo de granulometría del agregado fino para determinar la distribución de tamaños de las partículas del agregado (polvo de piedra). En el ensayo de granulometría, el tamaño nominal máximo TNM es de 2,36mm y corresponde al tamiz que le sigue en abertura mayor a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más (Cañas, 1996). El agregado analizado (polvo de piedra) se considera una arena gruesa ya que su módulo de finura es de 3,19, es decir está dentro del rango de 2,5 a 3,5 en donde se considera como

arena gruesa (Cañas, 1996). Mientras más elevado sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Se observa la gradación del agregado mediante la curva granulométrica (ver Anexo 37). La curva granulométrica del polvo de piedra está dentro de los límites normados, por lo cual refleja una distribución equilibrada en los tamaños de las partículas. Por lo tanto, cumple con la gradación necesaria que un agregado debe tener ser usado en morteros como lo especifica la norma ASTM C144-04.

Por otra parte, se calculó la gravedad específica y densidad del polvo de piedra, con el fin de evaluar la calidad de este agregado fino. Los resultados indican que la gravedad específica promedio del polvo de piedra, varía dependiendo de su estado. La gravedad específica expresa una relación entre la densidad del agregado y la densidad del agua. La gravedad específica en estado seco al horno (SH) es de 2,09, en estado saturado superficialmente seco (SSS) de 2,24 y 2,46 como gravedad específica aparente. Las densidades aparentes correspondientes en cada estado son 2086,43 kg/m³ (SH), 2238,64 kg/m³ (SSS) y 2463,348 kg/m³ (A) respectivamente. La densidad es la masa por unidad de volumen y la gravedad específica es la relación entre la densidad del agregado y la densidad del agua destilada (NTE INEN 856, 2010). Los valores calculados nos permiten tener una caracterización precisa del polvo de piedra respecto a gravedad específica y densidad aparente.

El polvo de piedra tiene un promedio de absorción de agua del 7,29%. La absorción influye en como el agregado interactúa con la mezcla. También se relaciona con la porosidad interna del agregado y la permeabilidad del mortero (Santalla, 2021).

Hay que considerar que la materia orgánica puede tener efectos negativos en el mortero. Por lo cual se ensayó el agregado fino a la prueba de contenido orgánico. En la Figura 14 se observa el agregado junto a la escala de color.



Figura 14 Contenido de material orgánico.

La muestra de polvo de piedra ensayada produce un color similar al color número uno del comparador, que corresponde al color número cinco de la escala de Gardner. Este bajo nivel de contenido orgánico es favorable para la resistencia y durabilidad del mortero; ya que minimiza la interferencia de sustancias orgánicas con la hidratación del cemento (Waddell & Dobrowolski, 1997).

Desde el Anexo 36 hasta el Anexo 43 se muestra cómo se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 7 de granulometría, densidad, porcentaje de absorción, masas unitarias y contenido orgánico.

4.3 Dosificación

Las cantidades de las dosificaciones usadas en la investigación de la fase 1 y 2 están desde el Anexo 12 hasta el Anexo 17. En resumen, en la fase 1 se usó una dosificación 1:5 para el mortero de control y como prueba, en los tipos de morteros fibro-reforzados, al 0,3%, 0,5% y 0,75%. En la fase 2 se usaron dosificaciones de 1:4,4 y 1:3,4 en el mortero fibro-reforzado al 0,3% y 0,5% respectivamente. No se continúa la mejora de dosificación para la muestra con adición de 0,75% de fibra por problemas en la distribución de fibras y trabajabilidad del mortero.

4.3.1 Propiedades del mortero

Para facilitar la comprensión y diferenciación de los morteros realizados en las dos fases de ensayo en la Tabla 8 se establece la nomenclatura que se usará para abreviar cada tipo de mortero, M1 simboliza mortero de la fase 1 y M2 simboliza mortero de la fase 2 de los ensayos.

Tabla 8 Nomenclatura de los diferentes tipos de mortero de la fase 1 y 2.

Tipo de mortero	Nomenclatura
Mortero de control 1:5 sin fibra	MC
Mortero 1:5 fibro-reforzado al 0,3%	M1-0,3
Mortero 1:5 fibro-reforzado al 0,5%	M1-0,5
Mortero 1:5 fibro-reforzado al 0,75%	M1-0,75
Mortero mejorado 1:4,4 fibro-reforzado al 0,3%	M2-0,3
Mortero mejorado 1:3,4 fibro-reforzado al 0,5%	M2-0,5

Se realizó pruebas del mortero en estado fresco de fluidez y tiempo de fraguado de todos los diferentes tipos de morteros. En la Tabla 9 se muestra los resultados obtenidos de fluidez y tiempo de fraguado. En el Anexo 44 se muestra las lecturas y el cálculo de la fluidez promedio de los morteros de la fase 1 y 2. Mientras que en Anexo 45 se muestra el cálculo del tiempo de fraguado promedio de la fase 1 y 2.

Tabla 9 Resultados de fluidez y tiempo de fraguado de la fase 1 y 2.

Propiedad/Característica	MC	M1-0,3	M1-0,5	M1-0,75	M2-0,3	M2-0,5
Fluidez (%)	115,5	115,88	115,75	115,88	115,63	115,38
Tiempo de fraguado	TFI (min)	96,3	69,5	68,75	67,5	69,37
	TFF (min)	195	155	145	135	155

Nota: **TFI**=Tiempo de fraguado inicial; **TFF**= Tiempo de fraguado final.

Con el fin de mantener flujos similares, en cada tipo de mortero se ajustó la cantidad de agua para alcanzar un flujo del 115%, que está dentro del rango recomendado por la norma NTE INEN 2502 (2009). Mientras más cantidad de fibra tiene el mortero, se requiere una mayor cantidad de agua para mantener el mismo flujo. Esto evidencia que la adición de fibra de abacá influye en la trabajabilidad del mortero, lo que se manifiesta en un aumento en la absorción de agua. Por otra parte, el tiempo de fraguado es un parámetro importante ya que determina el periodo de tiempo que tarda en endurecerse un mortero.

Los resultados del ensayo de tiempo de fraguado muestran que la adición de fibra de abacá en la mezcla de mortero afecta tanto el TFI como el TFF. Para el MC, el tiempo de fraguado inicial fue de 96,25 minutos y el tiempo de fraguado final fue de 195 minutos. Mientras que, con la adición de fibra de abacá, tanto TFI como el TFF disminuyeron.

El TFI presenta una reducción del 28%, 29% y 30% y para el TFF una reducción del 21%, 26% y 31% para los morteros fibro-reforzados M1-(0,3-0,5 y 0,75) respecto al MC. Después de realizar mejoras en las dosificaciones; en la fase 2 existe una reducción en el TFI de 28% e 39% y del 21% e 31% en el TFF para los morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5) respecto al MC. Estos resultados indican que la adición de fibra de abacá en el mortero acelera el proceso de fraguado.

Analizando los porcentajes de reducción en el TFI y TFF de los morteros de la fase 1 y 2. Se evidencia que existe el mismo porcentaje de reducción en el TFI y TFF en los morteros M1-0,3 y M2-0,3, respecto al MC. Es decir que la adición de 0,3% de fibra en la variación de la dosificación de 1:5 a 1:4,4 no genera diferencia en el tiempo de fraguado del mortero fibro-reforzado. Este comportamiento se le atribuye a que la diferencia entre ambas dosificaciones es pequeña, lo cual hace que mantengan una conducta similar.

Por otra parte, el mortero fibro-reforzado M2-0,5 disminuye el TFI y TFF en 10 minutos respecto al obtenido en el mortero M1-0,5. Esto es debido a que la dosificación del mortero fibro-reforzado al 0,5% en la fase 2 contiene mayor cantidad de cemento que la dosificación de la fase 1. Por lo cual se da una mayor hidratación del cemento y por ende un tiempo de fraguado inicial y final más rápidos.

Si bien a mayor adición de fibra en el mortero se acelera el proceso de fraguado; también las modificaciones en la dosificación influyen en este comportamiento. Por lo que resulta importante ajustar la dosificación al incorporar fibras en el mortero para optimizar trabajabilidad y tiempo de fraguado. Además, es importante mencionar que la fibra de abacá utilizada en este estudio fue cortada a 12mm y tratada con NaOH al 3%; también la fibra adicionada al mortero estaba completamente seca. Estos factores pueden haber contribuido a la aceleración del tiempo de fraguado, ya que la fibra tratada acelera las reacciones de hidratación del cemento (Palacios & Salas, 2023). Esto podría tener implicaciones importantes para el tiempo de construcción y la eficiencia del proceso. Es relevante considerar la reducción en el tiempo de fraguado al considerar el uso de fibra de abacá en morteros. Del Anexo 46 al Anexo 63 se muestran las lecturas y curvas del tiempo de fraguado que se obtuvieron de los diferentes tipos de mortero.

4.4 Fase 1: Ensayos con dosificación 1:5

4.4.1 Compresión de Cubos – FASE 1

El ensayo de compresión de cubos se realizó con el fin de evaluar el comportamiento, resistencia y deformación del MC y los morteros fibro-reforzados M1-(0,3-0,5 y 0,75). En esta primera fase se realizó el ensayo de compresión a los 7 y 28 días.

La Tabla 10 muestra la resistencia y deformación unitaria promedio del ensayo a compresión. En la misma tabla se evalúa si los diferentes tipos de mortero cumplen con la resistencia promedio mínima a compresión a los 28 días de 12,4 MPa para un mortero tipo S. En el Anexo 64 se muestra: dimensiones, área, carga máxima, resistencia y deformación de cada probeta ensayada a compresión que permite obtener los resultados de la Tabla 10.

Tabla 10 Resultados de compresión de cubos - fase 1.

Dosificación 1:5	Edad (días)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Unitaria Promedio (%)	Cumple con la Resistencia mínima promedio a 28 días INEN 2518 y ASTM C270
MC	7	8,038	0,0261	2,61%	SI
	28	12,482	0,0112	1,12%	
M1-0,3	7	7,545	0,0139	1,39%	NO
	28	11,744	0,0220	2,20%	
M1-0,5	7	6,464	0,0136	1,36%	NO
	28	11,528	0,0207	2,07%	
M1-0,75	7	6,238	0,0141	1,41%	NO
	28	10,639	0,0196	1,96%	

En esta primera fase de ensayos, el MC es el único que cumple con la resistencia mínima promedio a compresión a los 28 días de 12,4 MPa. Clasificándose como un mortero de mampostería tipo “S” según la norma ASTM C270 (1991) y NTE INEN 2518 (2010) (ver Tabla 10 y Figura 15). Mientras que todos los morteros fibro-reforzados ensayados no alcanzan la resistencia esperada a la edad de 28 días.

Se da una disminución de la resistencia a los 28 días en las muestras fibro-reforzadas respecto al MC en 6%, 8% y 15% en los morteros fibro-reforzados M1-(0,3-0,5 y 0,75) respectivamente. Esta disminución en la resistencia se atribuye a la dosificación usada; ya que en esta fase se aplicó la misma dosificación 1:5 a todos los tipos de morteros fibro-reforzados, para evaluar su comportamiento. A pesar de ello se puede destacar que la disminución de resistencia no es extremadamente alta. Por lo cual se puede realizar modificaciones en la dosificación, para aprovechar de mejor manera las propiedades de la fibra; y de esta forma mejorar la resistencia a compresión de los diferentes tipos de mortero fibro-reforzados. En la Figura 15 se puede visualizar de mejor forma la disminución de resistencia que presentan los morteros fibro-reforzados respecto al MC.

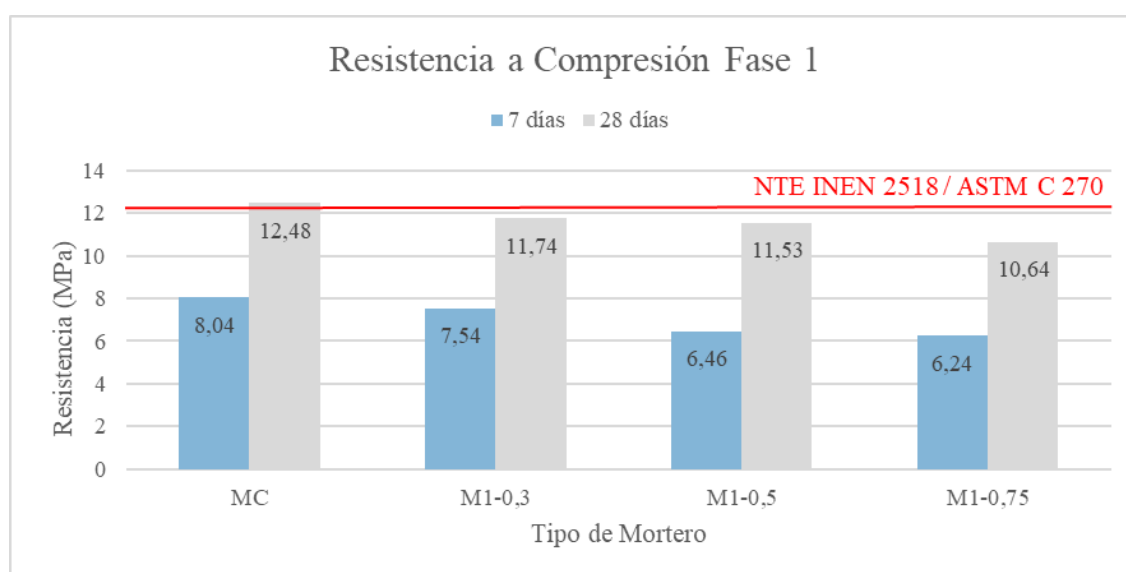


Figura 15 Variación de la resistencia promedio a compresión de los diferentes tipos de mortero - fase 1.

Sabiendo que en esta primera fase el MC es el único que cumple con la resistencia promedio a compresión a los 28 días especificada por la normativa. Se analizó el valor de resistencia que presenta el MC a los 7 días y se calculó que corresponde al 64% de su resistencia máxima. Se estima que para que las dosificaciones fibro-reforzadas alcancen la resistencia esperada a sus 28 días, estas deben presentar una resistencia que supere los 8 MPa a la edad de 7 días (ver Figura 15). En esta primera fase ninguno de los morteros fibro-reforzados alcanza este valor. Existe una reducción de su resistencia respecto al MC en 6%, 20% y 22% para los morteros fibro-reforzados M1-(0,3-0,5 y 0,75) respectivamente a los 7 días. Hasta ahora se analizó la resistencia a compresión en los diferentes tipos de mortero; sin embargo, también se debe analizar la deformación. Por lo cual, en la Figura 16 se representa la deformación unitaria de los diferentes tipos de mortero en un gráfico de barras.

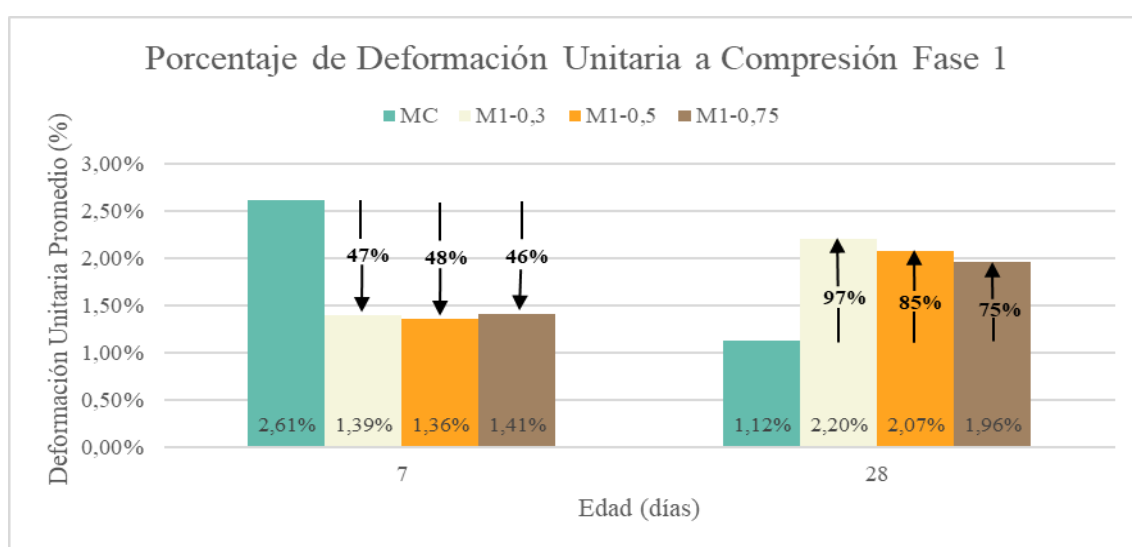


Figura 16 Variación de la deformación unitaria promedio del ensayo a compresión de los diferentes tipos de mortero - fase 1.

Por otra parte, comparando la deformación unitaria del MC con los diferentes tipos de mortero con adición de fibra. Encontramos que a la edad de 7 días se presenta una reducción de la deformación unitaria del 47%, 48% y 46%. Mientras que a los 28 días un aumento en deformación unitaria del 97%, 85% y 75% en los morteros M1-(0,3-0,5 y 0,75) respectivamente como se aprecia en la Figura 16. La deformación no es un parámetro que este normado para los morteros. Por lo que se establecen los resultados de deformación del MC como la línea base para esta investigación. Este resultado brinda un parámetro de la deformación que existe en morteros elaborados con dosificación 1:5, que es la comúnmente usada en morteros para enlucidos en obra como propone Salamanca (2001).

Analizando los porcentajes de deformación unitaria de los morteros fibro-reforzados se puede notar que existe una disminución considerable a los 7 días de edad. Este comportamiento se le atribuye a la adición de fibra, dosificación y resistencia que alcanza el mortero a esta edad. Por otra parte, a la edad de 28 días los diferentes tipos de mortero fibro-reforzado mejoran significativamente su capacidad de soportar deformaciones. Este comportamiento se debe a que el mortero alcanza su resistencia máxima. Además, que las fibras gracias a sus propiedades y buena adherencia en el mortero le brindan un apoyo

adicional para soportar las cargas. Tras el ensayo a compresión, los cubos de mortero se ven como se muestra en la Figura 17.

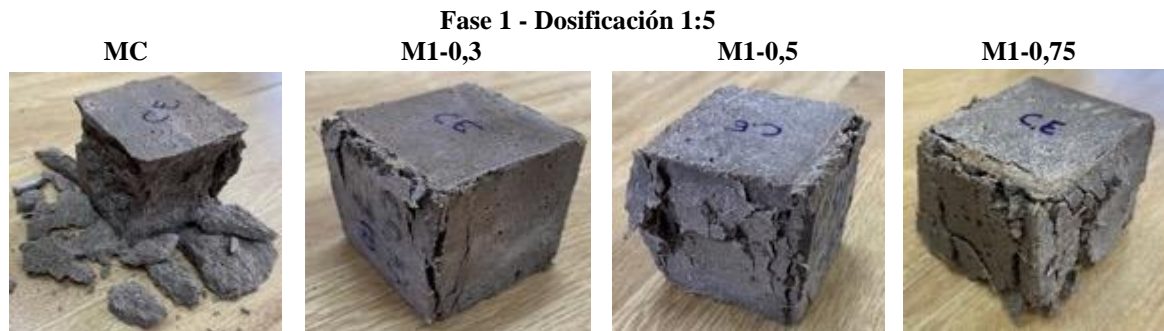


Figura 17 Fallas a compresión en cubos de mortero - Fase 1.

En la Figura 17 se muestra las fallas a compresión en los diferentes tipos de mortero. Las muestras de MC al ensayarse tienen desprendimiento de piezas de la probeta similar a una explosión. Las probetas con adición de fibras de abacá tienen un mejor comportamiento a la falla. Ya que como se observa la fibra sostiene las piezas quebradas manteniéndolas unidas a la probeta. Es decir que la fibra actúa como un puente manteniendo las secciones juntas pese a la propagación de fisuras internas en el material. No existe diferencia significativa en los modos de falla que se dan entre las muestras de mortero fibro reforzadas. Las probetas tienden a fallar en las aristas del cubo además que se presenta una falla transversal y fisuras en algunas de las caras laterales del cubo. En ningún caso de los elementos adicionados con fibra se produjo fallas explosivas como las observadas con el mortero de control.

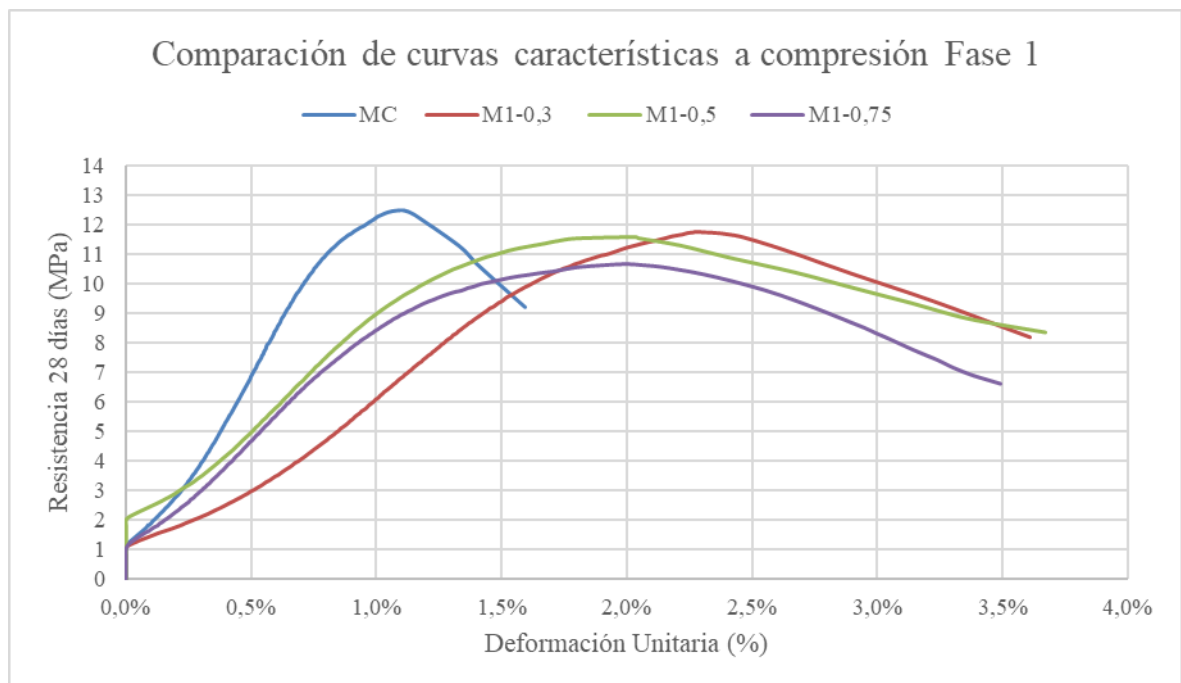


Figura 18 Curvas características del ensayo a compresión de cubos - Fase 1.

Para representar las curvas obtenidas del ensayo a compresión de la fase 1 se muestra una curva característica de cada tipo de mortero. En la Figura 18 se presentan curvas características del MC y del M1 (0,3 - 0,5 y 0,75).

Las curvas de los morteros fibro-reforzados M1 (0,3 - 0,5 y 0,75) tienen reducción de resistencia respecto a la curva del MC en 6%, 7% y 15% respectivamente. Mientras que en deformación estos morteros tienen un incremento del 105%, 83% y 79% respecto al MC. Tanto las curvas características como los porcentajes de incremento o reducción evidencian que los diferentes tipos de mortero fibro-reforzado tienen mejor capacidad de deformación frente a fuerzas de compresión, pero menor resistencia que el MC en esta primera fase. Este comportamiento es notorio de manera visual como se muestra en la Figura 18.

4.4.2 Flexión de primas – FASE 1

Se realizó el ensayo de flexión de prismas para evaluar el comportamiento del mortero y ver como este responde frente a fuerzas que tratan de doblarlo. En la Tabla 11 se muestra los resultados de resistencia a flexión con su deformación unitaria a la edad de 28 días. En el Anexo 65 se muestra: dimensiones, distancia entre apoyos, carga máxima, resistencia y deformación unitaria de cada probeta ensayada a flexión que permite obtener los resultados de la Tabla 11.

Tabla 11 Resultados flexión de prismas - fase 1.

Dosificación 1:5	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)
MC	2,379 (0.0398)	0,0102 (0.0006)	1,02%
M1-0,3	3,149 (0.0417)	0,0163 (0.0008)	1,63%
M1-0,5	2,829 (0.0300)	0,0152 (0.00041)	1,52%
M1-0,75	2,510 (0.0114)	0,0148 (0.0001)	1,48%

Nota: Entre paréntesis se colocan las desviaciones estándar.

Los resultados del ensayo de flexión mostrados en la Tabla 11 muestran que los morteros fibro-reforzados M1-(0,3-0,5 y 0,75) logran incrementar su resistencia en 32%, 19% y 6% respecto al MC. También incrementan su deformación unitaria en 60%, 50% y 46% respecto al MC.

Todos los morteros fibro-reforzados resisten y se deforman más que el MC. Sin embargo, analizando los morteros fibro-reforzados se puede ver la relación de que a mayor cantidad de fibra el mortero resiste y se deforma menos. Es decir que el mortero fibro-reforzado con mayor resistencia y deformación es el M1-0,3. Los demás morteros fibro-reforzados M1-(0,5 y 0,75) disminuyen su resistencia y deformación respecto al mortero M1-0,3.

Este comportamiento se le atribuye a que la dosificación 1:5 no aprovecha adecuadamente las propiedades de la fibra de abacá; de tal forma que a mayor cantidad de fibra el mortero se satura y disminuye sus resultados de resistencia y deformación. A pesar de ello la fibra si evidencia mejora respecto al MC. La Figura 19 representa gráficamente la resistencia y deformación unitaria promedio que se obtuvo en el ensayo a flexión de cada tipo de mortero.

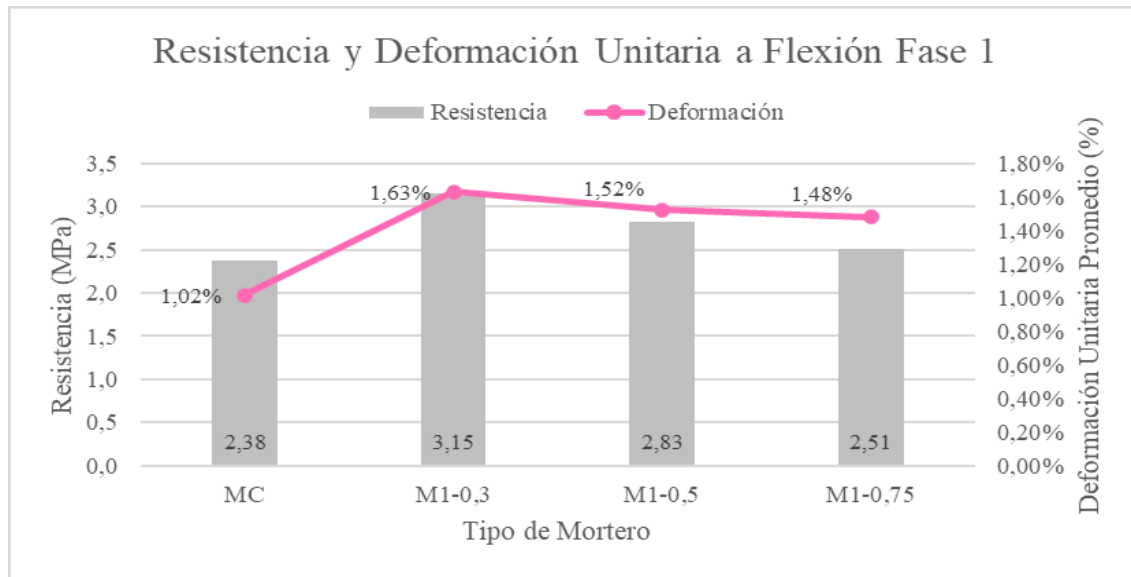


Figura 19 Variación de la resistencia y deformación unitaria promedio a flexión de los diferentes tipos de mortero - fase 1.

En la Figura 19 se representa los resultados de resistencia y deformación unitaria mencionados en la Tabla 11. Se observa de mejor forma el comportamiento a flexión de cada tipo de mortero fibro-reforzado. Hay que mencionar que no existe una normativa vigente que especifique un valor mínimo de resistencia o deformación a flexión para los morteros de enlucido. Considerando el MC como línea base; se evidencia que todas las muestras fibro-reforzadas presentan una mayor capacidad de absorción de energía al soportar cargas más elevadas y mostrar mayor deformación antes de fallar. Por lo cual, se puede decir que la adición de fibra de abacá mejora el comportamiento de los diferentes tipos de morteros a flexión. Tras el ensayo a flexión, los prismas de mortero se ven como se muestra en la Figura 20.

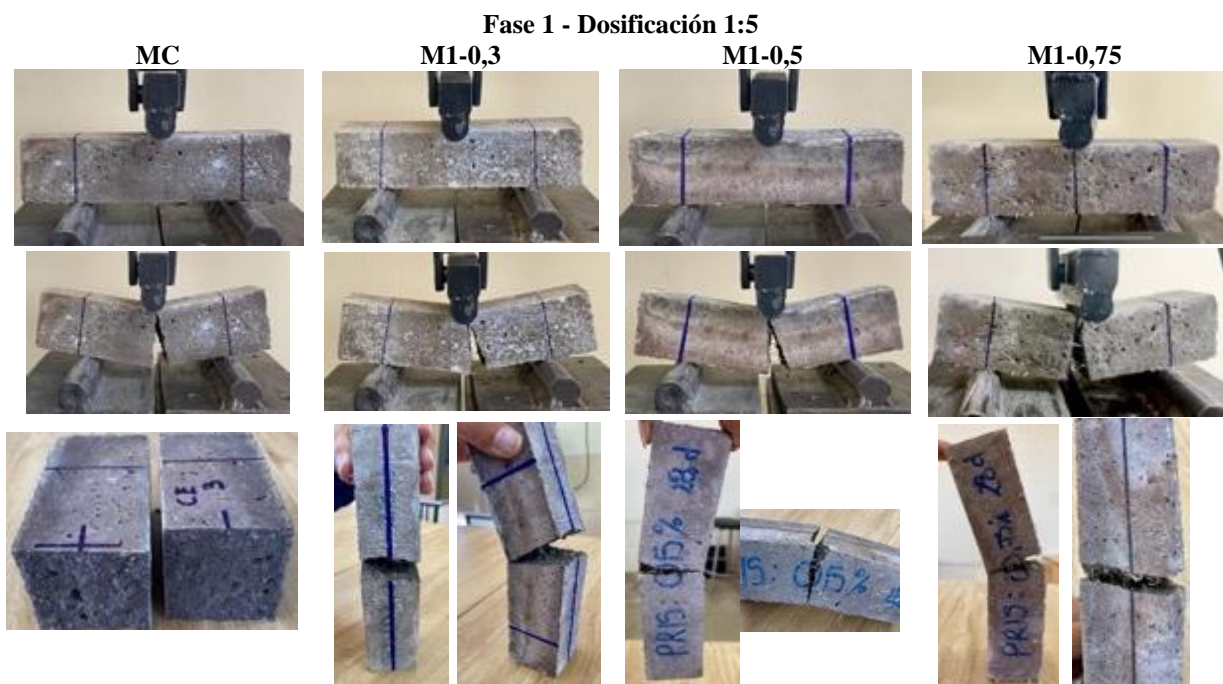


Figura 20 Fallas a flexión en prismas de mortero - Fase 1

En la Figura 20 se presentan las fallas a flexión de los diferentes tipos de mortero. La primera fila representa el momento exacto de la falla donde se observa una grieta poco visible. En las probetas reforzadas con fibras, tras la aparición de la primera falla, se aplicó más carga, permitiendo observar la adherencia de las fibras dentro del mortero fibro-reforzado, así como el lugar exacto de la falla al observarse una mayor abertura de grieta. El prisma del MC por otra parte se separó en dos partes. En la tercera fila se muestra la rotura de la probeta de MC mientras que todos los tipos de probetas fibro-reforzadas se mantienen unidas; evidenciando una buena adherencia fibra-matriz cementicia. Además, se nota que a mayor cantidad de fibra es menor la abertura que se produce en el prisma. Un problema detectado en las probetas fibro-reforzadas M1-0,75 fue la presencia de zonas con aglomeración de fibras incrustadas en la matriz cementicia. Lo cual indica una distribución poco uniforme de las fibras dentro del mortero, a diferencia de las probetas fibro-reforzadas M1-(0,3 y 0,5) que no presentan este problema.

Para el ensayo de flexión de prismas, también se obtuvo curvas características de cada tipo de mortero como se hizo anteriormente en el ensayo a compresión. En la Figura 21 se presentan curvas características del MC y del M1 (0,3 - 0,5 y 0,75).

Las curvas de los morteros fibro-reforzados M1 (0,3 - 0,5 y 0,75) tienen un incremento de resistencia de 32%, 19% y 5% respectivamente. En deformación también poseen un incremento de 52%, 55% y 47% respecto a la curva del MC. Tanto las curvas características como los porcentajes de incremento evidencian que los diferentes tipos de mortero fibro-reforzado tienen mejor resistencia y capacidad de deformación que el MC al ser sometidos a fuerzas de flexión.

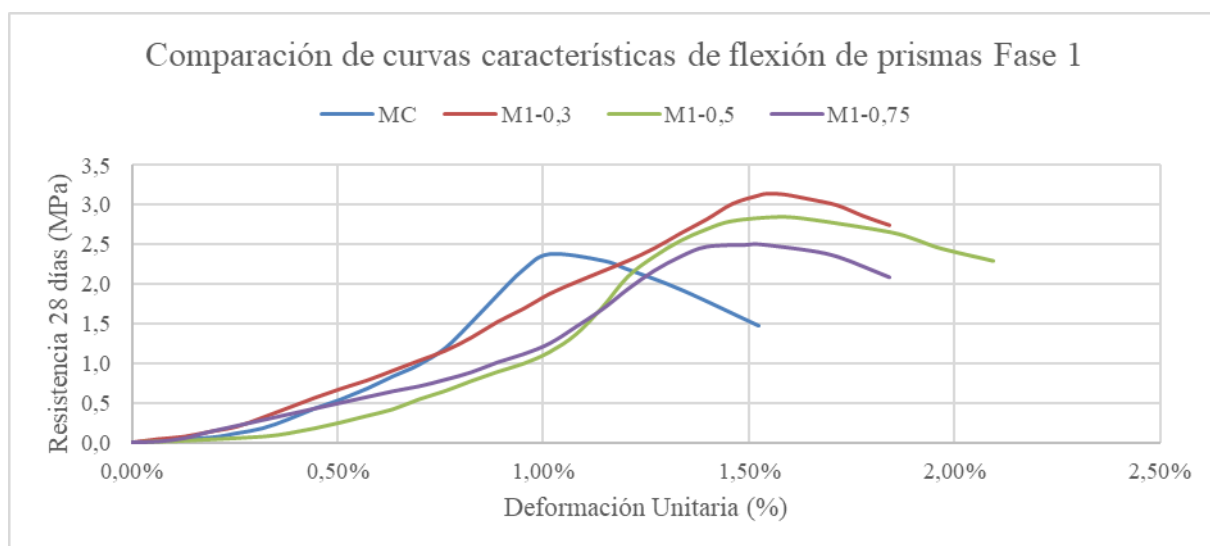


Figura 21 Curvas características del ensayo a flexión de prismas - Fase 1.

Las diferencias en la uniformidad de las curvas (ver Figura 21) se les atribuye a los diferentes porcentajes de fibra, la dosificación y su interacción con las fibras de abacá tratadas dentro del mortero. Además, la representación de las curvas tanto a compresión como a flexión permiten observar de mejor manera las diferencias en resistencia y deformación que obtuvieron los diferentes tipos de mortero respecto al MC en esta primera fase.

Tras analizar tanto los resultados de las pruebas de compresión y flexión, como los criterios de trabajabilidad, durabilidad y los porcentajes de mejora que presentan las tres muestras fibro-reforzadas, se decidió descartar el uso del mortero con 0,75% de fibra en esta investigación. Esto se debe a que presenta problemas en la distribución homogénea de fibras con formación de aglomeraciones y dificultad en la trabajabilidad del mortero.

4.5 Fase 2: Ensayos con dosificaciones mejoradas 1:4,4 y 1:3,4

Después de culminar esta primera fase de ensayos se decidió realizar una mejora en las dosificaciones de los morteros fibro-reforzados con el fin de aprovechar de mejor forma las propiedades de las fibras y cumplir con los parámetros de resistencia a compresión. Por ello, se optó por usar las adiciones de fibra del 0,3% y 0,5%, ya que son las más prometedoras según los resultados obtenidos en los ensayos a compresión y flexión de la fase 1.

Se realizó una prueba de compresión de cubos con diferentes dosificaciones como se especifica en la Tabla 34 del Anexo 15. De esta prueba se obtuvo que la dosificación 1:4,4 fibro-reforzada al 0,3% y la dosificación 1:3,4 reforzada al 0,5% alcanzan o superan los 8MPa a los 7 días. Es decir, alcanzan el 64% de la resistencia esperada de 12,4 MPa del mortero; por lo cual se decidió continuar la investigación con estas dosificaciones.

4.5.1 Compresión de Cubos – FASE 2

Se ensayaron cubos de mortero fibro-reforzados al 0,3% con dosificación 1:4,4 y al 0,5% con dosificación 1:3,4, denominados M2-0,3 y M2-0,5. En esta segunda fase se ensayaron las probetas cúbicas cada 7 días, hasta los 28 días, para ver la evolución del mortero fibro-reforzado.

En la Tabla 12 se muestra la resistencia a compresión y deformación unitaria promedio. También se verifica que la resistencia promedio cumpla lo especificado en la norma ASTM C270. En el Anexo 66 se muestra: dimensiones, área, carga máxima, resistencia y deformación de cada probeta ensayada a compresión, que permite obtener los resultados de la Tabla 12.

Tabla 12 Resultados compresión de cubos - fase 2.

Tipo	Dosificación	Edad (días)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)	Cumple con la Resistencia mínima promedio a 28 días INEN 2518 y ASTM C270
M2-0,3	1:4,4	7	8,668	0,02	2,00%	SI
		14	9,463	0,021	2,10%	
		21	10,93	0,025	2,50%	
		28	12,631	0,025	2,50%	
M2-0,5	1:3,4	7	8,352	0,019	1,90%	SI
		14	9,417	0,021	2,10%	
		21	10,824	0,026	2,60%	
		28	12,552	0,024	2,40%	

En la Tabla 12 se presentan los resultados de resistencia y deformación unitaria del ensayo de compresión de cubos con las dosificaciones mejoradas desde los 7 días hasta los 28 días. Ambos tipos de mortero dan resultados similares de resistencia y deformación a las

diferentes edades de ensayo ver Tabla 12. Sin embargo, el MC, M2-0,3 y M2-0,5 no muestran diferencias significativas en resistencia a los 28 días entre sí. Mientras que en deformación los diferentes tipos de mortero si muestran diferencias significativas a la edad de 28 días (ver Tabla 13).

Por otra parte, las dosificaciones de 1:4,4 y 1:3,4 a diferencia de la dosificación 1:5 realizada en la fase 1 (ver Tabla 10), cumplen y superan la resistencia mínima promedio a compresión a los 28 días de 12,4 MPa para un mortero de mampostería tipo “S”, según la norma ASTM C270 (1991) y NTE INEN 2518 (2010). La diferencia de los morteros mejorados respecto al MC en resistencia es mínima mientras que en deformación supera el 100%. De tal forma que los morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5) tiene una mejora en resistencia del 1,2% y 0,6% respecto al MC. Mientras que en deformación unitaria tienen una mejora del 121% y 115% respectivamente.

Otro punto es que al comparar los resultados obtenidos de resistencia a la edad de 28 días de la fase 2 respecto a la fase 1 de los morteros fibro-reforzados al 0,3% y 0,5%; se determinó que la resistencia a compresión incrementa en 8% y 9% respectivamente. La deformación a la edad de 28 días de los morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5) de la fase 2 comparada con los morteros M1-(0,3 y 0,5) de la fase 1; presenta un incremento del 12% y 16% respectivamente. Los resultados de los morteros fibro-reforzado al 0,3% y 0,5% en la fase 2 obtienen mejores resultados que los de la fase 1. Por lo analizado se puede evidenciar que el cambio en la dosificación de cada tipo de mortero aumentó su resistencia y capacidad de deformación al aprovechar de mejor forma las propiedades de las fibras de abacá dentro de las matrices cementicias, como se muestra en la Figura 22.

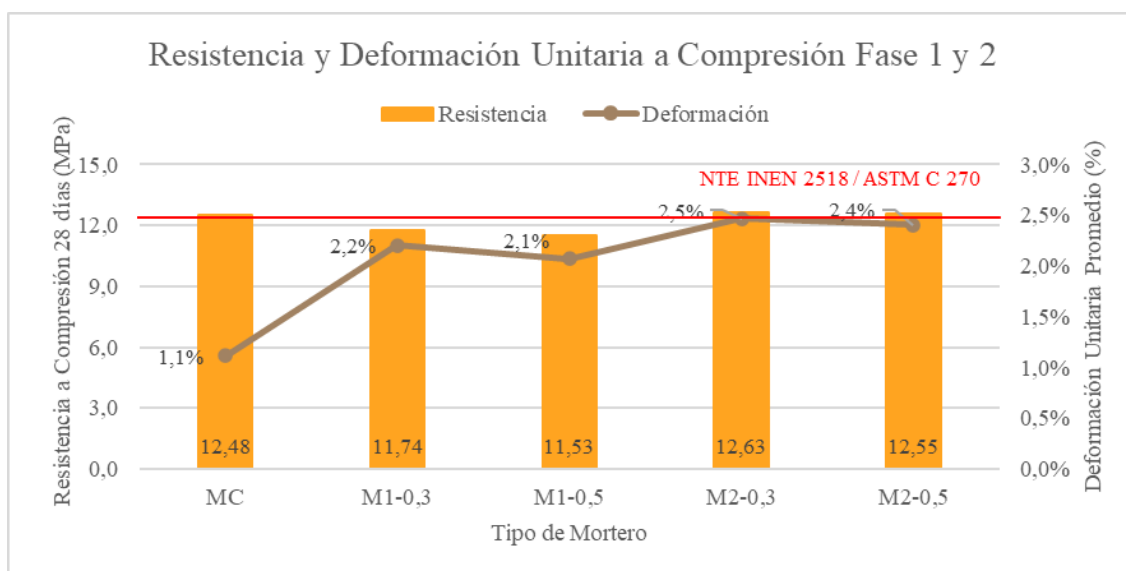


Figura 22 Variación de la resistencia y deformación unitaria de compresión de cubos de los diferentes tipos de mortero.

En la Tabla 13 se presenta un análisis de varianza ANOVA. Para determinar si existen o no diferencias significativas en resistencia y deformación unitaria a compresión entre el MC y los morteros fibro-reforzados al 0,3% y 0,5% en sus diferentes dosificaciones. La tabla ANOVA muestra un análisis a 7 y 28 días, los resultados de P-valor, F y F crítico (ver Tabla 13).

Tabla 13 Análisis ANOVA de los resultados de resistencia y deformación unitaria en compresión de cubos.

Dato analizado	Edad	Comparación entre	P-valor	F	F crítico	Existen diferencias significativas		
Resistencia a compresión (MPa)	7	MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,000103035	60,9919937	5,14325285	SI		
		MC/ M2-0,3	1,59163E-05	610,648943	7,70864742	SI		
		MC/ M2-0,5	0,009201096	22,2374071	7,70864742	SI		
		M2-0,3 / M2-0,5	0,009877469	21,3489168	7,70864742	SI		
		M1-0,3 / M2-0,3	0,000599426	96,7229951	7,70864742	SI		
		M1-0,5 / M2-0,5	1,59888E-05	609,25433	7,70864742	SI		
	28	MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,421073926	1,002535	5,14325285	NO		
		MC/ M2-0,3	0,239087035	1,91039478	7,70864742	NO		
		MC/ M2-0,5	0,529122923	0,47370941	7,70864742	NO		
		M2-0,3 / M2-0,5	0,498288937	0,55330852	7,70864742	NO		
		M1-0,3 / M2-0,3	0,000453424	111,707234	7,70864742	SI		
		M1-0,5 / M2-0,5	0,00048083	108,381119	7,70864742	SI		
		Deformación unitaria (mm/mm)	7	MC / M2-0,3 / M2-0,5	2,01957E-05	107,162765	5,14325285	SI
				MC/ M2-0,3	3,95882E-05	385,976294	7,70864742	SI
MC/ M2-0,5	0,000389541			120,781211	7,70864742	SI		
M2-0,3 / M2-0,5	0,184642522			2,56303918	7,70864742	NO		
M1-0,3 / M2-0,3	0,00419675			34,5006502	7,70864742	SI		
M1-0,5 / M2-0,5	0,013014019			18,1801139	7,70864742	SI		
28	MC / M2-0,3 / M2-0,5		1,55187E-07	555,259488	5,14325285	SI		
	MC/ M2-0,3		1,4117E-05	648,603003	7,70864742	SI		
	MC/ M2-0,5		8,15749E-06	854,292395	7,70864742	SI		
	M2-0,3 / M2-0,5		0,156996486	3,02459442	7,70864742	NO		
		M1-0,3 / M2-0,3	0,007888823	24,2769598	7,70864742	SI		
		M1-0,5 / M2-0,5	0,007191154	25,5822791	7,70864742	SI		

La Tabla 13 muestra que existen diferencias significativas en la resistencia obtenida a los 7 días entre las muestras de la fase 1 y las de la fase 2. Mientras que no existe diferencias notorias en las resistencias a los 28 días, de las muestras del MC y las mejoradas de M2-(0,3 y 0,5) ya que estas alcanzan o superan ligeramente los 12,4 MPa de resistencia mínima. Logrando lo que se buscaba, ya que el mortero con dosificación mejorada cumple con la normativa y se puede decir que sus medias son iguales.

Al analizar la deformación de las muestras con dosificaciones mejoradas M2-0,3 (1:4,4) y M2-0,5 (1:3,4), estas dan como resultado valores de deformaciones unitarias similares entre sí; por lo que no existe diferencia significativa entre ambas. Sin embargo, los morteros con dosificaciones mejoradas si tienen diferencias representativas respecto al MC y los morteros fibro-reforzados analizados en la fase 1 M1-(0,3 y 0,5). Por lo cual se puede decir que las dosificaciones mejoradas 1:4,4 y 1:3,4 tienen comportamiento similar entre sí en resistencia y deformación; pero mejor comportamiento que el que presentan los morteros de dosificación 1:5 en la fase 1.

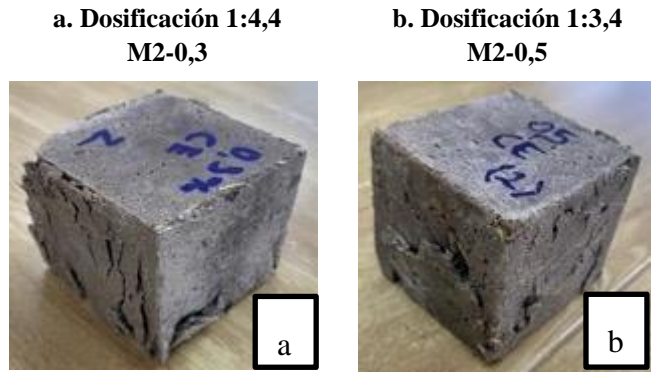


Figura 23 Fallas a compresión en cubos de mortero - fase 2

En la Figura 23 se muestra las fallas a compresión en los morteros fibro-reforzados con dosificación mejorada. Una vez se alcanza la falla de la probeta, gracias a las fibras internas, mantienen su integridad. Al fallar presentan deformación transversal o fisuras en algunas de las caras y aristas de los cubos. Sin embargo, si se comparan con las probetas de control (dosificación 1:5) mostradas en la Figura 17 se observa que las fallas de las probetas mejoradas poseen un menor desprendimiento de piezas. En comparación con sus semejantes de la fase 1, el comportamiento a la falla transversal es mejor. Visualmente se puede notar que el cubo tras el ensayo mantiene mejor su forma, esto respecto a lo mostrado en la Figura 17.

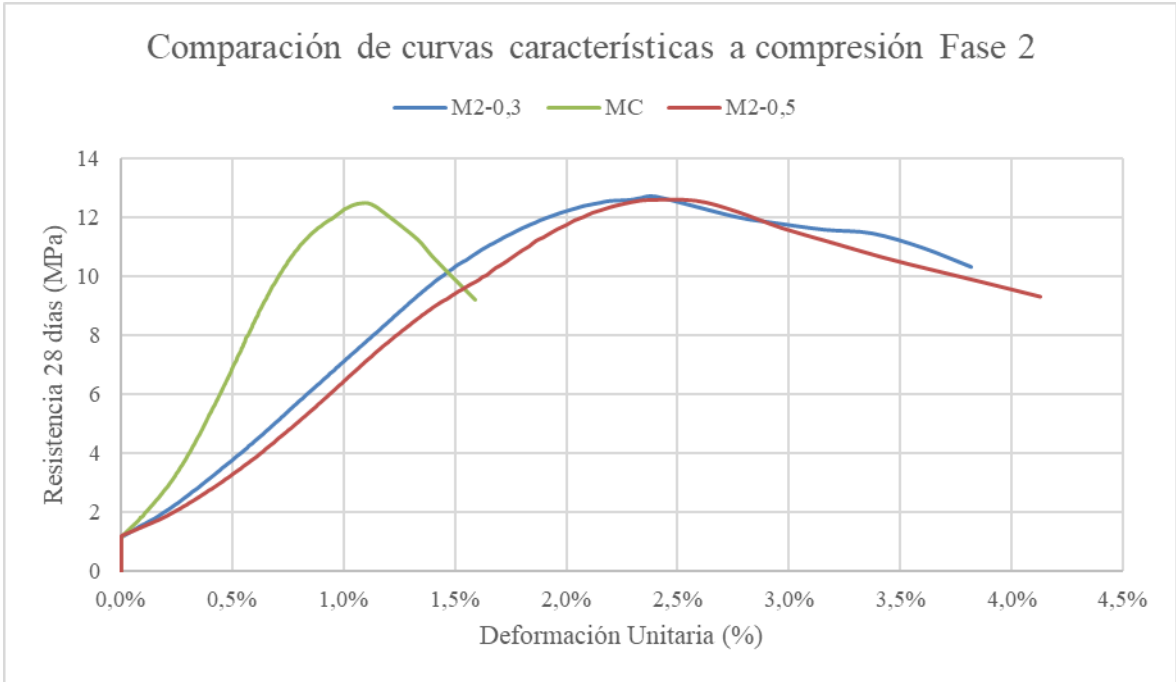


Figura 24 Curvas características del ensayo a compresión de cubos - Fase 2.

En esta segunda fase se obtuvo las curvas características del ensayo a compresión de cubos del MC y de los morteros M2 (0,3 y 0,5), ver Figura 24. Las curvas características a compresión de la fase 2 a diferencia de las curvas características de la fase 1 tienen mayor uniformidad en sus resultados y no tanta variabilidad. Dicha mejora se le atribuye al cambio de dosificaciones.

Las curvas de los morteros fibro-reforzados M2 (0,3 y 0,5) tienen un incremento de resistencia respecto a la curva del MC en 2% y 1% respectivamente. Este incremento es bajo debido a que en esta segunda fase ambos morteros fibro-reforzados alcanzan y superan ligeramente la resistencia a compresión requerida por la norma (ASTM C270, 1991). Por otra parte, en deformación los morteros fibro-reforzados M2 (0,3 y 0,5) tienen un incremento del 117% y 114% respecto al MC. Este incremento de deformación es mejor que el presentado en la fase 1.

4.5.2 Flexión de primas – FASE 2

Los resultados de flexión de prismas con dosificaciones mejoradas se muestran en la Tabla 14. En el Anexo 67 se muestra: dimensiones, distancia entre apoyos, carga máxima, resistencia y deformación de cada probeta ensayada a flexión, que permite obtener los resultados de la Tabla 14.

Tabla 14 Resultados flexión de prismas - fase 2.

Tipo	Dosificación	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)
MC	1:5	2,379 (0.0398)	0,0102 (0.00063)	1,02%
M2-0,3	1:4,4	3,030 (0.0911)	0,0171 (0.00065)	1,71%
M2-0,5	1:3,4	3,124 (0.1064)	0,0166 (0.00025)	1,66%

Nota: Entre paréntesis se colocan las desviaciones estándar.

Ambas muestras con adicción de abacá poseen resultados similares en resistencia y deformación. Existe una ligera diferencia del 3% en resistencia que favorece a la muestra fibro-reforzada M2-0,5. Por el contrario, en deformación unitaria existe una diferencia del 3% que favorece a la muestra fibro-reforzada M2-0,3. A pesar de poseer mayor contenido de fibra, el mortero M2-0,5 tiene una menor capacidad de deformación, y esto podría deberse a que contiene más cantidad de cemento, haciendo que la mezcla sea más rígida. En cambio, el mortero fibro-reforzado al 0,3% es ligeramente más deformable y su resistencia al fallo es levemente menor. No obstante, ambas muestras presentan una mejoría notable frente al MC.

Se conoce por los resultados obtenidos en la fase 1 M1-(0,3 y 0,5), que la adición de fibra mejora el comportamiento a flexión del mortero respecto al mortero de control (ver Figura 25). Por lo cual, se calculó el porcentaje de incremento en resistencia y deformación que tienen los morteros con dosificación mejorada fibro-reforzados al 0,3% y 0,5% (M2-0,3 y 0,5) respecto al MC. Es así como en resistencia se evidencia un incremento del 27% y 31% y en deformación unitaria un incremento de 69% y 63% en los morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5), respectivamente.

Por otra parte, si se compara resistencia y deformación unitaria de los morteros fibro reforzados de la fase 1 M1-(0,3 y 0,5) con los de la fase 2 M2-(0,3 y 0,5). Se obtiene que los morteros de la fase 2 tienen una mejora en deformación del 5% y 9%, respectivamente. El mortero fibro-reforzado M2-0,3 disminuye 4% su resistencia en la fase 2, sin embargo, esta diferencia es mínima y podría deberse a la distribución de las fibras en las probetas. Por lo cual, se considera que, a pesar de las diferentes dosificaciones, el mortero fibro-reforzado al

0,3% mantiene una resistencia similar en la fase 1 y 2. Por el contrario, la resistencia del mortero reforzado M2-0,5 incrementa un 10% respecto a lo obtenido en la fase 1.

Se puede observar de forma gráfica en la Figura 25 la resistencia y deformación unitaria del mortero de control (MC) y los morteros fibro-reforzados al 0,3% y 0,5% de la fase 1 y 2. Dando a notar de forma gráfica las diferencias que tienen las dosificaciones mejoradas de la fase 2 respecto a las de la fase 1.

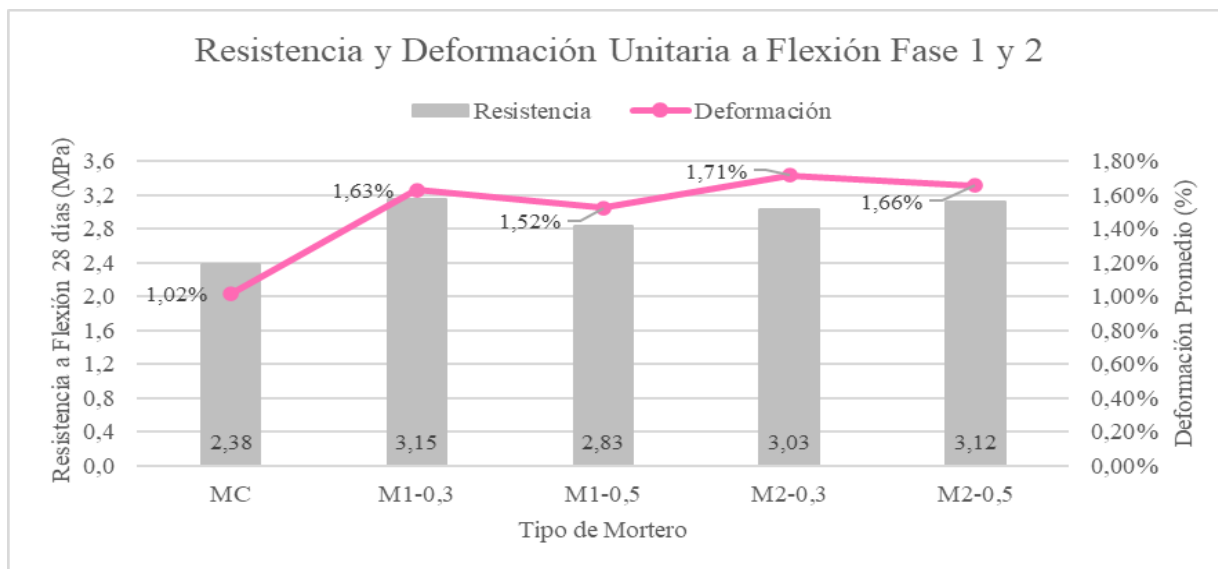


Figura 25 Variación de la resistencia y deformación unitaria promedio a flexión de los diferentes tipos de mortero de la fase 1 y 2.

Para evaluar y comprender de mejor manera los resultados del ensayo a flexión, en la Tabla 15 se realiza un análisis de varianza ANOVA. Con el fin de identificar diferencias significativas en los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a flexión entre el MC y los morteros fibro-reforzados al 0,3% y 0,5% de la fase 1 y 2.

Tabla 15 Análisis ANOVA de los resultados de resistencia y deformación unitaria en flexión de prismas.

Tipo de dato analizado	Comparación entre	P-valor	F	F crítico	Existen diferencias significativas
Resistencia a flexión (MPa)	MC / M2-0,3 / M2-0,5	6,9798E-05	69,8629644	5,14325285	SI
	MC/ M2-0,3	0,000343701	128,798025	7,70864742	SI
	MC/ M2-0,5	0,000343419	128,852398	7,70864742	SI
	M2-0,3 / M2-0,5	0,311331862	1,34074019	7,70864742	NO
	M1-0,3 / M2-0,3	0,110586515	4,17318119	7,70864742	NO
Deformación unitaria (-)	M1-0,5 / M2-0,5	0,009871067	21,3568956	7,70864742	SI
	MC / M2-0,3 / M2-0,5	6,87563E-06	154,767334	5,14325285	SI
	MC/ M2-0,3	0,000175635	181,5	7,70864742	SI
	MC/ M2-0,5	8,56595E-05	261,329513	7,70864742	SI
	M2-0,3 / M2-0,5	0,208293737	2,24641834	7,70864742	NO
	M1-0,3 / M2-0,3	0,224961826	2,05543967	7,70864742	NO
	M1-0,5 / M2-0,5	0,009509632	21,8203455	7,70864742	SI

Del análisis ANOVA destaca que las muestras fibro-reforzada M2-(0,3 y 0,5) y el MC tienen diferencias significativas. Por lo cual podemos aseverar que el cambio de dosificación aplicado brinda una mejora en la resistencia a flexión y deformación respecto al MC; además que los morteros mejorados cumplen los parámetros de resistencia a compresión de cubos.

A pesar del 0,2% de diferencia en la cantidad de fibra, entre las dosificaciones de los morteros M2-(0,3 y 0,5) estos mantienen entre sí un comportamiento similar, sin grandes diferencias. Por otra parte, las muestras M1-0,3 y M2-0,3 dan resultados similares respecto a resistencia a flexión y su deformación. Sin embargo, a pesar de ello solo el mortero M2-0,3 con dosificación mejorada 1:4,4 cumple con la resistencia a compresión y mantiene propiedades similares a las presentadas por el mortero M1-0,3 de dosificación 1:5.

Con el análisis de los resultados a compresión de cubos con dosificaciones mejoradas (ver Tabla 12), flexión en prismas (ver Tabla 14) y en análisis de varianza ANOVA (ver Tabla 15). Se puede decir que el mortero M2-0,3 con dosificación 1:4,4 y el mortero M2-0,5 con dosificación 1:3,4 logran dar los mejores resultados a flexión y compresión respecto al MC de dosificación 1:5.

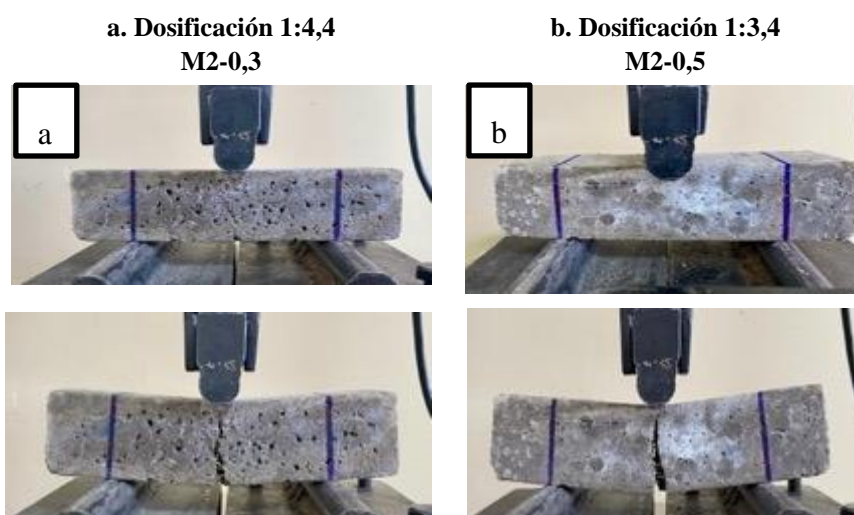


Figura 26 Fallas a flexión en prismas de mortero - fase 2.

En la Figura 26 se presenta las fallas a flexión de los prismas de mortero fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5). La primera fila representa el momento exacto de la falla donde se observa una grieta poco visible. Tras la falla se aplicó más carga en las probetas permitiendo observar la adherencia de las fibras dentro del mortero fibro-reforzado; además de la visualización del lugar exacto de la falla con una grieta más notoria.

Comparando las fotos de la Figura 20 correspondiente a prismas con dosificación 1:5 de la fase 1 y las fotos de la Figura 26 de prismas con dosificaciones 1:4,4 y 1:3,4 de la fase 2. Se observa que los prismas de dosificaciones mejoradas tienen una mejor adherencia debido a que las grietas mostradas tras la aplicación de carga son de menor amplitud que las presentadas en la fase 1. Además, que las probetas tras el ensayo se mantienen adheridas. La mejora en adherencia se atribuye a la dosificación de ambas muestras.

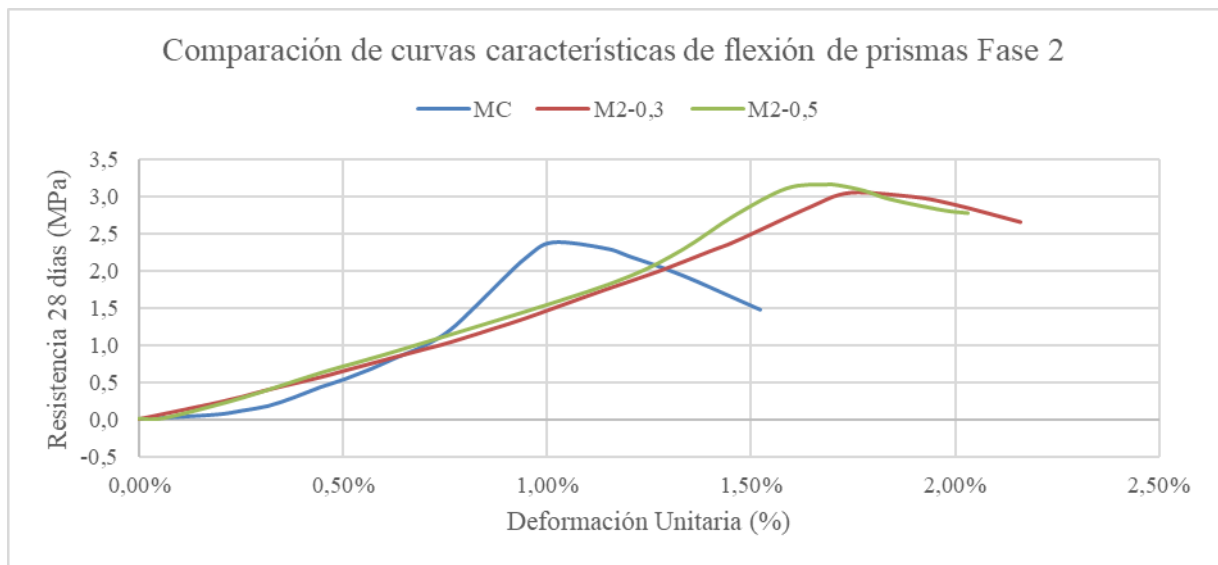


Figura 27 Curvas características del ensayo a flexión de prismas - Fase 2. con 0.5%

También se obtuvo las curvas características a flexión del MC y M2 (0,3 y 0,5) como se muestran en la Figura 27. Las curvas características de mortero fibro-reforzado son similares y presentan resultados uniformes. Comparando las curvas de probetas fibro-reforzadas respecto a la curva del MC evidencian un mejor comportamiento.

Las curvas de los morteros fibro-reforzados M2 (0,3 y 0,5) tienen un incremento de resistencia respecto a la curva del MC en 28% y 33% respectivamente. También en deformación los morteros fibro-reforzados M2 (0,3 y 0,5) tienen un incremento del 75% y 66% respecto al MC.

Las curvas características a flexión de la fase 2 a diferencia de las curvas características de la fase 1 tienen mayor uniformidad en sus resultados. Dicha mejora se le atribuye al cambio de dosificaciones. Además, tanto en las curvas características a compresión y flexión de la fase 2 se nota que existe mejora en resistencia y deformación respecto a la fase 1.

4.6 Ensayos en probetas de material compuesto-FASE 2

Tanto las probetas de prismas como de cubos son elementos que poseen espesores grandes de 50 mm y 40 mm respectivamente; a comparación del espesor que un mortero de enlucido realmente tiene. Por lo cual, se realizó un material compuesto fibro-reforzado (FRCM) de dimensiones 300x50x20 mm, que simule de mejor manera el comportamiento del MC, M2- (0,3 y 0,5) en sus diferentes dosificaciones. En esta etapa de la investigación se realizaron ensayos mecánicos de flexión y tracción en probetas además de ensayos físicos de absorción y densidad en cubos y probetas.

4.6.1.1 Flexión de probetas de material compuesto – FASE 2

En la Tabla 16 se muestran los resultados de flexión de probetas de material compuesto (FRCM). En el Anexo 68 se muestran los datos de: dimensiones, distancia entre apoyos, carga máxima, resistencia y deformación de cada probeta ensayada a flexión que permite obtener los resultados de la Tabla 16.

Tabla 16 Resultados de flexión de probetas de material compuesto.

Tipo	Dosificación	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)
MC	1:5	3,429 (0.00540)	0,0119 (0.00073)
M2-0,3	1:4,4	4,098 (0.0508)	0,0161 (0.00073)
M2-0,5	1:3,4	4,217 (0.2032)	0,0144 (0.00073)

Nota: Entre paréntesis se colocan las desviaciones estándar.

Al analizar los resultados de flexión de probetas de material compuesto presentados en la Tabla 16 se puede identificar que los morteros reforzados M2-(0,3 y 0,5) incrementan en resistencia a flexión respecto al MC en un 20% y 23%. Mientras que en deformación mejoran un 36% y 21% respectivamente. Los valores de resistencia a flexión en probetas de material compuesto son mayores a los presentados en flexión de prismas de dosificación 1:5 y con dosificación mejorada 1:4,4 y 1:3,4 (ver Tabla 11 y Tabla 14) debido a la diferencia de tamaño y forma de las probetas. Sin embargo, el cambio de sección no influye en su comportamiento de resistencia y deformación. Comparando ambos morteros con adición de fibra, existe una ligera diferencia del 3% en resistencia que favorece al mortero fibro-reforzado M2-0,5. Por el contrario, en deformación existe una diferencia del 11% que favorece al mortero fibro-reforzado M1-0,3. Este comportamiento se dio de forma similar en los resultados de flexión de prismas en la fase 2 mostrados en la Tabla 14. Los resultados de resistencia y deformación del ensayo de flexión de probetas de material compuesto se representan en la Figura 28.

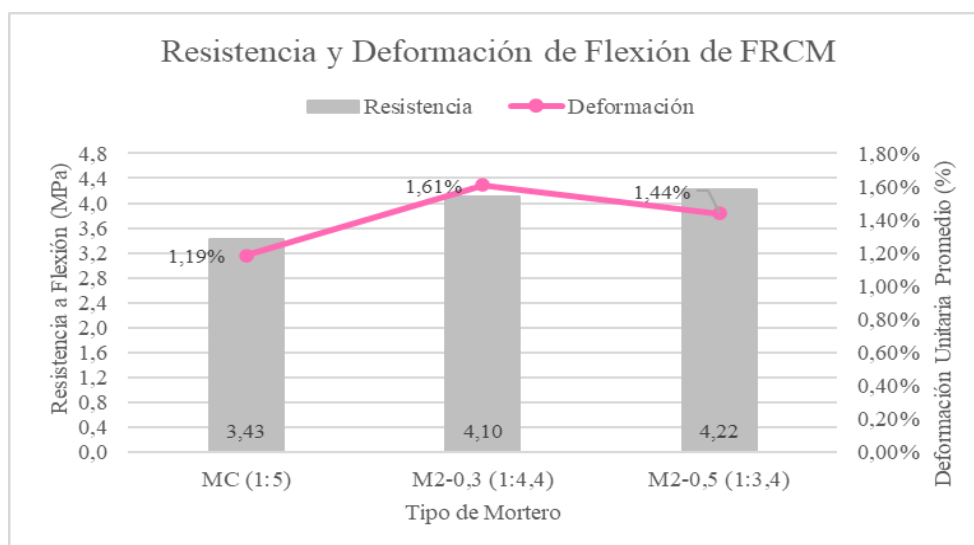


Figura 28 Variación de la resistencia y deformación unitaria promedio de flexión de probetas de material compuesto de los diferentes tipos de mortero.

La Figura 28 representa de forma gráfica la mejora que muestran los morteros M2-(0,3 y 0,5) respectivamente a comparación del MC en el ensayo de flexión de probetas de material compuesto. Tras en el ensayo de flexión, las probetas de material compuesto (FRCM) se ven como se muestra en la Figura 29.

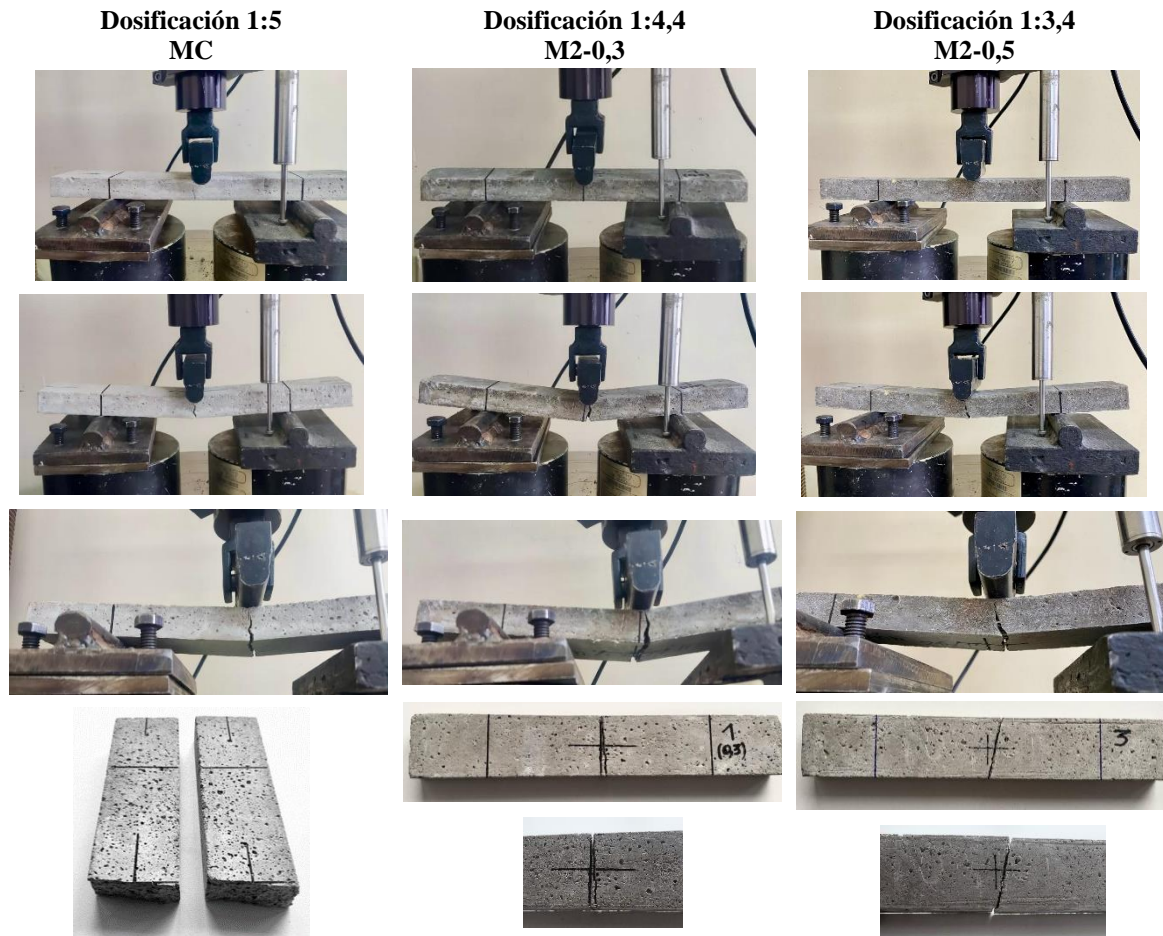


Figura 29 Falla a flexión en probetas de material compuesto de los diferentes tipos de mortero

La Figura 29 muestra las fallas a flexión de las probetas de material compuesto de MC y fibro-reforzadas M2-(0,3 y 0,5). La primera fila muestra el momento exacto de la falla de cada probeta, pero no se observa claramente la grieta en las probetas. Tras el fallo se aplica más carga para apreciar de mejor forma donde se ubica la falla, como se muestra en las fotos de la segunda fila. Además, se observa que las muestras fibro-reforzadas tienen mayor capacidad de deformación manteniendo la integridad de probeta, ya que, una vez concluido el ensayo, las dos partes de la probeta se mantienen unidas por las fibras, como se evidencia en las fotos de la tercer y cuarta fila.

Ambas muestras de mortero fibro reforzadas M2-(0,3 y 0,5) presentan adherencia fibra-matriz cementicia. Este comportamiento se debe a la cantidad de fibra de cada probeta. Por otra parte, durante el ensayo de las probetas MC, una vez se forma la grieta, esta se propaga inmediatamente, y la probeta se parte en dos. Cabe mencionar que las probetas de material compuesto a pesar de ser más esbeltas respecto a los cubos y prismas mantienen el comportamiento de mejora en adherencia de los morteros fibro-reforzados tal como ya se evidenció en las fallas de cubos (ver Figura 23) y fallas de prismas (ver Figura 29). Este resultado se debe tanto a la dosificación como al correcto tratamiento de las fibras.

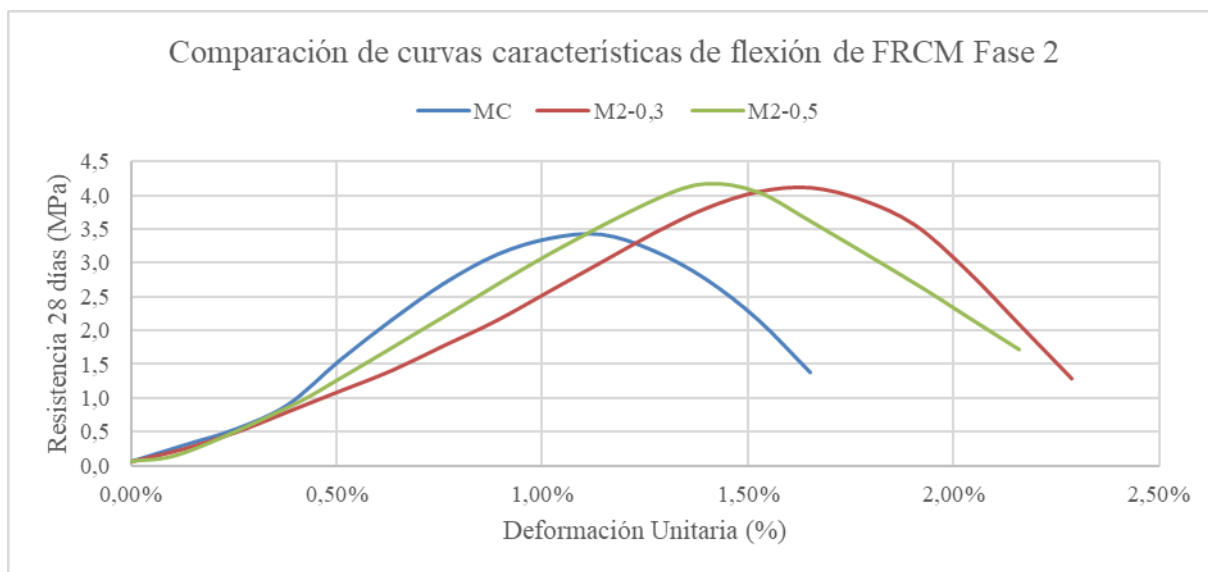


Figura 30 Curvas características del ensayo a flexión de probetas de material compuesto - Fase 2.

Como ya se observó anteriormente, los morteros de dosificación mejorada presentan un incremento en resistencia y deformación respecto al MC en los ensayos de flexión de prismas de la fase 2. Sin embargo, son importantes los resultados de flexión de probetas de material compuesto ya que estos elementos son los que poseen una geometría similar a la de un mortero de enlucido. Por lo cual en la Figura 30 se muestran las curvas características del ensayo de flexión de probetas de material compuesto de la fase 2.

Analizando las curvas de los morteros fibro-reforzados M2 (0,3 y 0,5) se obtuvo que, respecto al MC, los morteros fibro-reforzados tienen un incremento de resistencia de 20% y 22% respectivamente. En deformación también poseen un incremento de 44% y 22%. Tanto las curvas como los porcentajes de incremento evidencian que los diferentes tipos de mortero fibro-reforzado tienen mejor resistencia y capacidad de deformación frente a fuerzas de flexión. Lo cual es favorable si se desea usar este mortero como mortero de enlucido.

4.6.2 Tracción de probetas de material compuesto – FASE 2

De forma adicional se evaluó la resistencia a tracción de las muestras de mortero con dosificación mejorada; como se observa en la Tabla 17 al someter a las probetas de material compuesto a fuerzas de tracción que tienden a alargar y separar el mortero. En el Anexo 69 se muestra: dimensiones, longitud entre mordazas, carga máxima, resistencia y elongación de cada probeta ensayada a tracción que permite obtener los resultados de la Tabla 17.

Tabla 17 Resultados de tracción de probetas de material compuesto s.

Tipo	Dosificación	Resistencia Promedio (MPa)	Elongación Promedio (-)
M2-0,3	1:4,4	1,365 (0.0748)	0,0038 (0.00012)
M2-0,5	1:3,4	1,175 (0.0595)	0,0041 (0.00019)

Nota: Entre paréntesis se colocan las desviaciones estándar.

El mortero fibro-reforzado M2-0,3 presenta una resistencia a tracción en 0,2 MPa mayor respecto al mortero fibro-reforzado M2-0,5. La deformación por el contrario se eleva ligeramente para la muestra de mortero M2-0,5; sin embargo, este incremento es bajo.

Comparando los resultados de flexión (ver Tabla 16) y tracción (ver Tabla 17) obtenidos para los morteros con dosificación 1:4,4 y 1:3,4. Se puede notar que la resistencia promedio a tracción de la dosificación 1:4,4 (M2-0,3) representa 1/3 (33%) de su resistencia a flexión. Mientras que la resistencia a tracción de la dosificación 1:3,4 (M2-0,5) representa un 28% de su resistencia a flexión.

El decremento de resistencia a tracción respecto a la resistencia a flexión en 67% y 72% respectivamente en los morteros M2-(0,3 y 0,5), según Quirós (2018) se debe a que mientras mayor porcentaje de fibra de use, se produce una saturación debido a que existe menos mortero y mayor volumen de fibra. En este ensayo no se realizó una prueba con un mortero de control ya que este obtendría una resistencia significativamente menor que los morteros fibro-reforzados. Por lo cual su resistencia no sería óptima para aplicaciones exigentes. Tras el ensayo de tracción las probetas de material compuesto FRCM se ven como se muestra en la Figura 31.

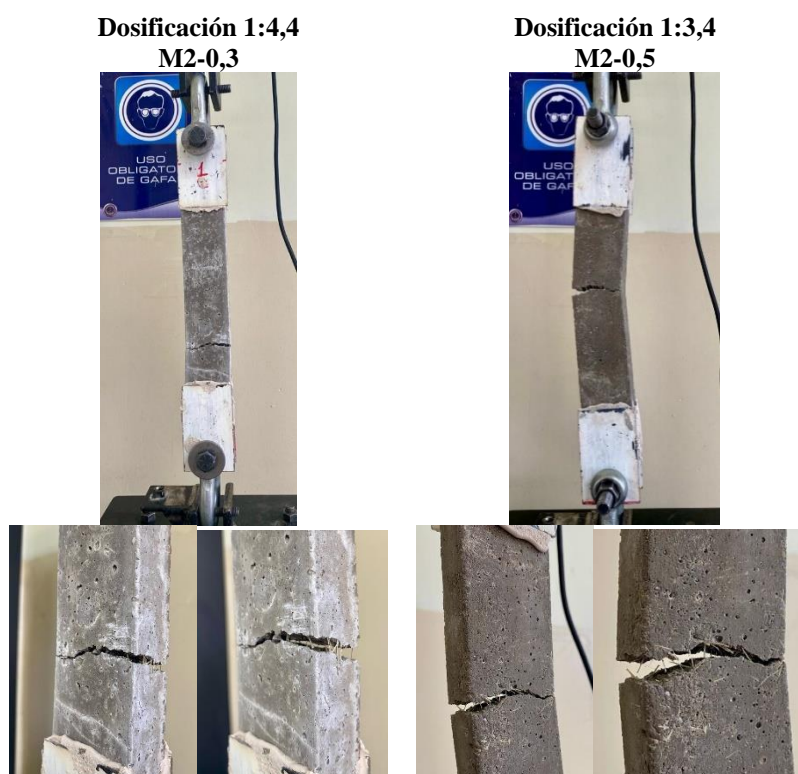


Figura 31 Falla a tracción en probetas de material compuesto de los diferentes tipos de mortero.

En la Figura 31 se muestra la comparación de diferentes probetas ensayadas a tracción después de la rotura. Evidenciándose que los dos morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5) se mantienen unidos por medio de las fibras, a pesar de presentar la grieta transversal por la falla del mortero.

De las probetas ensayadas ninguna falló en los extremos de la unión con las placas metálicas. Estas fallaron alrededor de la zona central de la probeta, por lo cual se puede asegurar la correcta aplicación de la carga. En la Figura 31 se muestra la comparación de dos probetas después de la rotura. Analizando las fotos de rotura de las probetas fibro-reforzadas se observó un resultado importante ya que todos los tipos de muestras logran mantener la

adherencia entre la fibra y mortero. Lo cual actúa como un nexo entre secciones del mortero que se ven afectados por la aparición de fisuras.

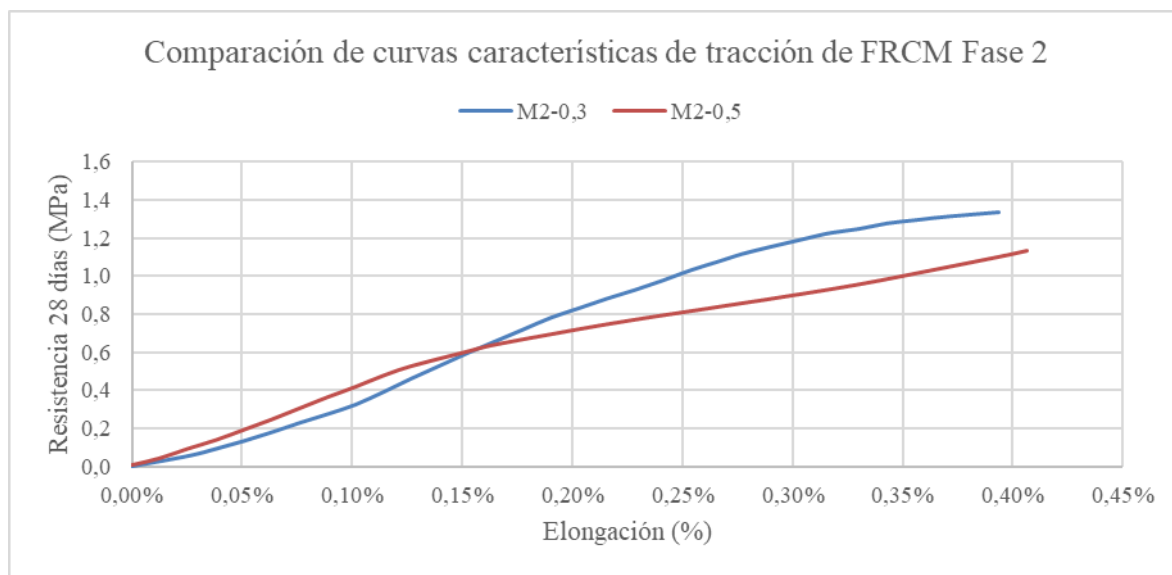


Figura 32 Curvas características del ensayo a tracción de probetas de material compuesto - Fase 2.

También se representa en la Figura 32 dos curvas significativas de la tracción de probetas de material compuesto. Estas curvas nos permiten ver la elongación de la probeta al ser traccionada.

Entre ambos morteros existe una diferencia de 0.2 MPa en resistencia. Mientras que en elongación el mortero M2-0,5 incrementa su elongación en 3% respecto al M2-0,3.

Tabla 18 Análisis ANOVA de los resultados de flexión y tracción de material compuesto.

Ensayo	Tipo de dato analizado	Comparación entre	P-valor	F	F crítico	Existen diferencias significativas
Flexión de material compuesto	Resistencia (MPa)	MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,000420615	37,0399147	5,14325285	SI
		MC / M2-0,3	2,11815E-05	528,895431	7,70864742	SI
		MC / M2-0,5	0,002561683	45,0807928	7,70864742	SI
	Deformación unitaria (mm/mm)	M2-0,3 / M2-0,5	0,379185408	0,97568213	7,70864742	NO
		MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,001187055	25,3333333	5,14325285	SI
		MC / M2-0,3	0,002110646	50	7,70864742	SI
		MC / M2-0,5	0,0132356	18	7,70864742	SI
Tracción de material compuesto	Resistencia (MPa)	M2-0,3 / M2-0,5	0,047420656	8	7,70864742	SI
		M2-0,3 / M2-0,5	6,02218E-06	994,823899	7,70864742	SI
	Elongación (mm/mm)	M2-0,3 / M2-0,5	4,42146E-06	1161,57809	7,70864742	SI

En la Tabla 18 se muestra los resultados del análisis de varianza ANOVA, del cual se determina que los morteros M2-(0,3 y 0,5) muestran diferencias significativas respecto al MC en resistencia y deformación. Sin embargo, en resistencia a flexión, entre los morteros M2-0,3 y M2-0,5 no existe diferencias significativas ya que ambos obtienen resultados

similares. Por otra parte, en tracción de material compuesto (FRMC) los morteros M2-0,3 y M2-0,5 muestran diferencias significativas tanto en resistencia como en elongación.

4.7 Ensayos de absorción y densidad -FASE 2

Se realizaron ensayos de absorción y densidad en cubos y probetas de material compuesto (FRCM) para evaluar cómo se comporta el mortero fibro-reforzado respecto al MC. La absorción puede relacionarse con la durabilidad del mortero, mientras que la densidad permite conocer como la fibra afecta la masa del mortero (Bustos et al., 2018).

4.7.1 Ensayo de Absorción en Cubos – FASE 2

Se realizó el ensayo de absorción a los 7 y 28 días de edad para conocer la evolución de la absorción en el mortero. En la Tabla 19 se muestra los resultados del ensayo de absorción del MC y morteros con dosificación mejorada M2-(0,3 y 0,5). En el Anexo 70 se presenta los pesos tomados de las probetas en estado seco y saturado superficialmente seco (SSS) con que se obtuvo los resultados de absorción de la Tabla 19.

Tabla 19 Resultados de absorción en cubos.

Tipo	Dosificación	Edad (días)	Absorción Promedio (%)
MC	1:5	7	13,08%
		28	12,60%
M2-0,3	1:4,4	7	14,07%
		28	13,83%
M2-0,5	1:3,4	7	14,73%
		28	14,08%

En la Tabla 19 se muestran los resultados de absorción en cubos de mortero. Se nota que a los 7 días el porcentaje de absorción es mayor respecto al que se presenta a los 28 días en cada tipo de mortero respectivamente. Esto se atribuye a que mientras más se endurece el mortero debido al proceso de curado, su estructura se vuelve más resistente con el tiempo; lo cual influye en la menor cantidad de agua que el mortero puede llegar a absorber.

Por otra parte, tanto a los 7 como 28 días el MC absorbe menos agua que los morteros M2-(0,3 y 0,5) en cada edad de ensayo. De tal forma que a los 7 días existe un incremento del porcentaje de absorción del mortero M2-0,3 del 8% respecto al MC y de un incremento del 13% en la absorción del mortero M2-0,5. De igual manera a los 28 días el mortero M2-0,3 incrementa su absorción respecto al MC en un 10%; y en el mortero M2-0,5 se incrementa un 12% como se muestra de en la Figura 33.

Analizando los porcentajes de incremento se puede notar que el porcentaje de absorción de agua está directamente relacionado con la cantidad de fibra que se adicione en el mortero. A mayor cantidad de fibra, mayor absorción de agua respecto al MC sin fibra. En la Figura 33 se observa mediante un gráfico de barras la absorción y los porcentajes de incremento en la absorción que tiene las muestras fibro-reforzadas respecto al MC.

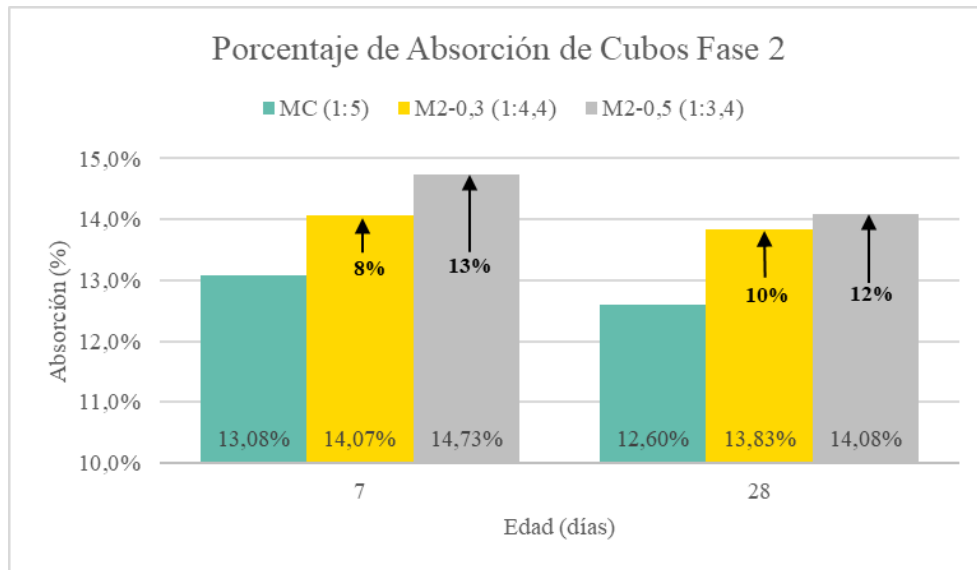


Figura 33 Porcentajes de absorción en cubos de los diferentes tipos de mortero.

Nota: En el eje “y” la escala empieza en 10% para evidenciar de forma más notoria las diferencias.

4.7.2 Ensayo de Absorción en probetas de material compuesto – FASE 2

De igual forma se realizó el ensayo de absorción en probetas de material compuesto FRCM, La Tabla 20 muestra resultados absorción a la edad de 28 días en probetas de material compuesto de MC y mortero fibro-reforzado M2-(0,3 y 0,5). En el Anexo 71 se presenta los pesos tomados de las probetas en estado seco y saturado superficialmente seco (SSS) con que se obtuvo los resultados de absorción de la Tabla 20.

Tabla 20 Resultados de absorción en probetas de material compuesto.

Tipo	Dosificación	Absorción Promedio (%)
MC	1:5	13,22%
M2-0,3	1:4,4	14,00%
M2-0,5	1:3,4	14,51%

En la Tabla 20 se presentan los resultados de absorción del MC y fibro-reforzado M2-(0,3 y 0,5) que fueron ensayadas a los 28 días. De igual manera como se discutió en la Tabla 19; se nota que a mayor cantidad de fibra hay mayor absorción de agua.

El MC es el que menos porcentaje de absorción posee. Los morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5) presentan un incremento en el porcentaje de absorción del 6% y 10% respecto al MC. El mortero que posee la mayor cantidad de fibra respecto al volumen de las probetas es el mortero fibro-reforzado al 0,5% (M2-0,5); este mortero incrementa su absorción en un 4% más respecto al mortero con adición de 0,3% de fibra (M2-0,3).

Si se compara los porcentajes de absorción en probetas de material compuesto (ver Tabla 20) respecto a los porcentajes de absorción en cubos a los 28 días (ver Tabla 19) se puede observar que el MC incrementa su absorción en un 5%, el mortero M2-0,3 incrementa su absorción en 1,2% y el mortero M2-0,5 aumenta su absorción en un 3%. Estas variaciones se atribuyen a la diferencia de sección entre ambas muestras.

Las probetas que menos porcentaje de variación presentan son las que tienen 0,3% de fibra. La absorción de agua adicional que presentan las probetas con fibra de abacá se debe

a que estas tienen en su composición lignina y celulosa que tienen propiedades hidrófilas (Sancán, 2022). En la Figura 34 se representa gráficamente los resultados de absorción de probetas de material compuesto mostrados en la Tabla 20 así como también las diferencias numéricas expresadas.

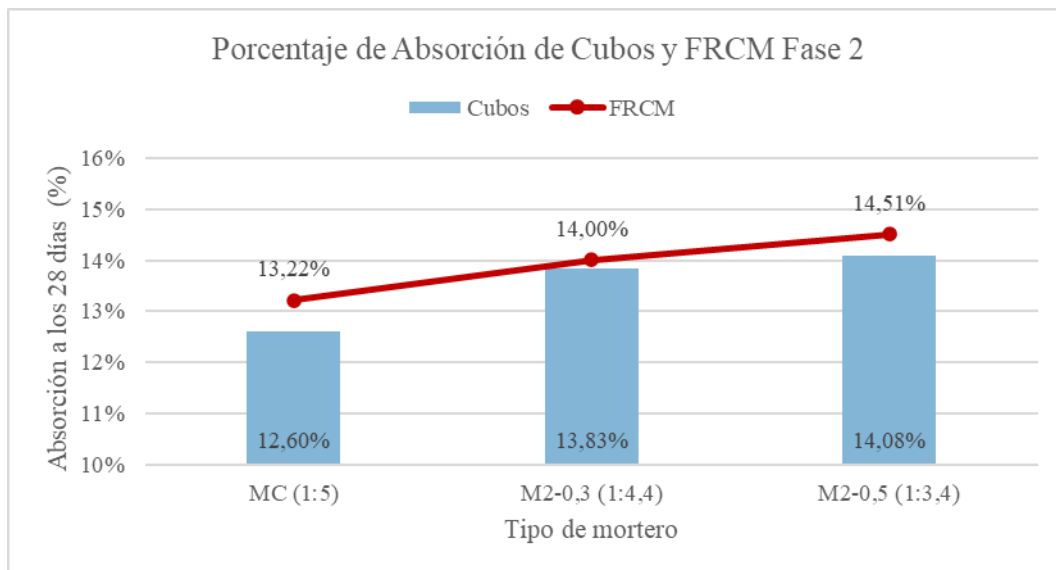


Figura 34 Porcentaje de absorción en cubos y material compuesto de los diferentes tipos de mortero. Nota: En el eje “y” la escala empieza en 10% para evidenciar de forma más notoria las diferencias.

4.7.3 Ensayo de Densidad en Cubos – FASE 2

En la Tabla 21 se presentan los pesos de las diferentes probetas y los resultados de densidad de los diferentes tipos de mortero. Se realizó el ensayo a los 7 y 28 días para evaluar si existe variación en la densidad por la adición de fibras. Los datos y cálculos realizados para obtener los resultados de la Tabla 21 se muestran en el Anexo 72.

Tabla 21 Resultados de densidad en cubos.

Tipo	Dosificación	Edad (días)	Densidad Promedio (kg/m ³)
MC	1:5	7	2407
		28	2204,28
M2-0,3	1:4,4	7	2088,38
		28	2140,65
M2-0,5	1:3,4	7	2009,67
		28	2073,02

En los resultados de densidad mostrados en la Tabla 21 se aprecia que valores obtenidos del MC a la edad de 7 días son más densos que a los 28 días en un 8%. Este comportamiento se debe a que a la edad de 7 días el mortero se encuentra en proceso curado siendo más poroso y cuando alcanza su resistencia máxima la estructura de este se vuelve más resistente al consolidar sus materias (Zambrano et al., 2022); influenciando así en la cantidad de agua que puede llegar a absorber.

Por el contrario, tanto en las probetas de mortero M2(0,3 y 0,5) se destaca que su densidad es menor a los 7 días y mayor a los 28 días en ambos tipos de mortero. De tal manera que la densidad incrementa a los 28 días en 2,5% y 3% en el mortero M2(0,3 y 0,5) respectivamente.

Por otra parte, ambos morteros fibro-reforzados tienen menor densidad que el MC a los 7 y 28 días. Es decir que la densidad se relaciona con el porcentaje de fibra adicionada. Este resultado ya ha sido observado en estudios como el de Nawab et al. (2023) donde a más cantidad de fibra natural el mortero se vuelve menos denso siendo consistente con lo obtenido. En la Figura 35 puede observarse el decremento de densidad que sufre el MC, así como el incremento de la densidad en los 2 tipos de morteros adicionados con fibra de los 7 a 28 días. A su vez se observa que a la edad de 7 y 28 días los morteros fibro-reforzados son menos densos que el mortero de control.

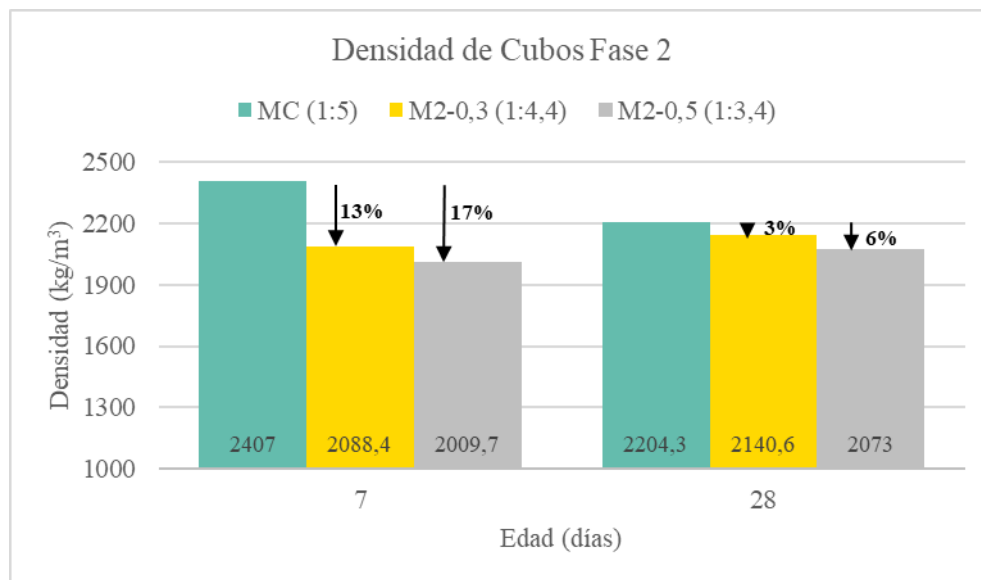


Figura 35 Densidad de cubos de los diferentes tipos de mortero.

Nota: En el eje “y” la escala empieza en 1000 kg/m³ para evidenciar de forma más notoria las diferencias.

Otro rasgo importante para discutir en este ensayo es que mientras más agregado fino contenga la dosificación de mortero, este presenta una mayor densidad. Es así como el mortero de control 1:5 presenta los valores de densidad más altos tanto a 7 como 28 días. Mientras que las dosificaciones de 1:4,4 y 1:3,4 adicionadas con 0,3% y 0,5% de fibra respectivamente obtienen valores menores. Tanto la disminución de agregado fino como la adición de fibra contribuyen con la reducción en la densidad como ya se mencionó.

Analizando la densidad de cubos a los 7 días se observa que esta decrece en un 13% y 17% para los morteros fibro-reforzados M2-(0,3 y 0,5). Mientras que analizando la densidad a los 28 días que es la más relevante ya que el mortero llega a la resistencia esperada. La densidad decrece en un 3% y 6% respecto al MC, en los morteros M2-(0,3 y 0,5) respectivamente (ver Figura 35).

4.7.4 Ensayo de Densidad en probetas de material compuesto – FASE 2

De igual forma se realizó el ensayo de densidad en probetas de material compuesto FRCM, La Tabla 22 muestra resultados densidad a la edad de 28 días en probetas de material compuesto de MC y mortero fibro-reforzado M2-(0,3 y 0,5). Los datos y cálculos realizados para obtener los resultados de la Tabla 22 se muestran en el Anexo 73.

Tabla 22 Resultados de densidad en probetas de material compuesto.

Tipo	Dosificación	Densidad Promedio (kg/m ³)
MC	1:5	2270,59
M2-0,3	1:4,4	2208,24
M2-0,5	1:3,4	2164,24

Los resultados de densidad en probetas de material compuesto de mortero se presentan en la Tabla 22 en donde se puede notar que al igual que los resultados de densidad de cubos (Tabla 21) a mayor cantidad de fibra natural el mortero se vuelve menos denso respecto al MC sin fibra. De tal forma que la densidad disminuye en 3% y 5% para los morteros M2-(0,3 y 0,5) respectivamente en relación con el MC. Por otra parte, el mortero M2-0,5 presenta un incremento del 2% en densidad respecto al mortero con M2-0,3 lo cual es coherente ya que tiene mayor cantidad de fibra de abacá.

Al comparar los resultados de densidad de probetas de material compuesto respecto a los obtenidos en cubos como se muestra en la Figura 36 se nota un incremento del 3% en la densidad del MC y del mortero M2-0,3; de la misma forma un incremento del 4% de densidad en el mortero M2-0,5. Esta variación se le atribuye al cambio de sección en las probetas ya que la sección de los cubos ensayados en los resultados mostrados en la Tabla 21 está alrededor de 50x50x50 mm; mientras que las probetas de material compuesto ensayadas para los resultados de la Tabla 22 son más esbeltas con una sección de 300x50x20 mm. Por lo cual la ligera variación de densidad que existe en los diferentes tipos de mortero se debe al cambio de sección de las probetas. Las probetas de material compuesto al ser más alargadas y angostas permiten que los poros tengan un área más grande por la cual ingrese el agua. Sin embargo, este incremento en densidad del 3% y 4% respectivamente es notablemente bajo. En la Figura 36 se representa los resultados de densidad en cubos y probetas de material compuesto (FRCM). Donde se evidencia las diferencias numéricas respecto a la densidad encontradas.

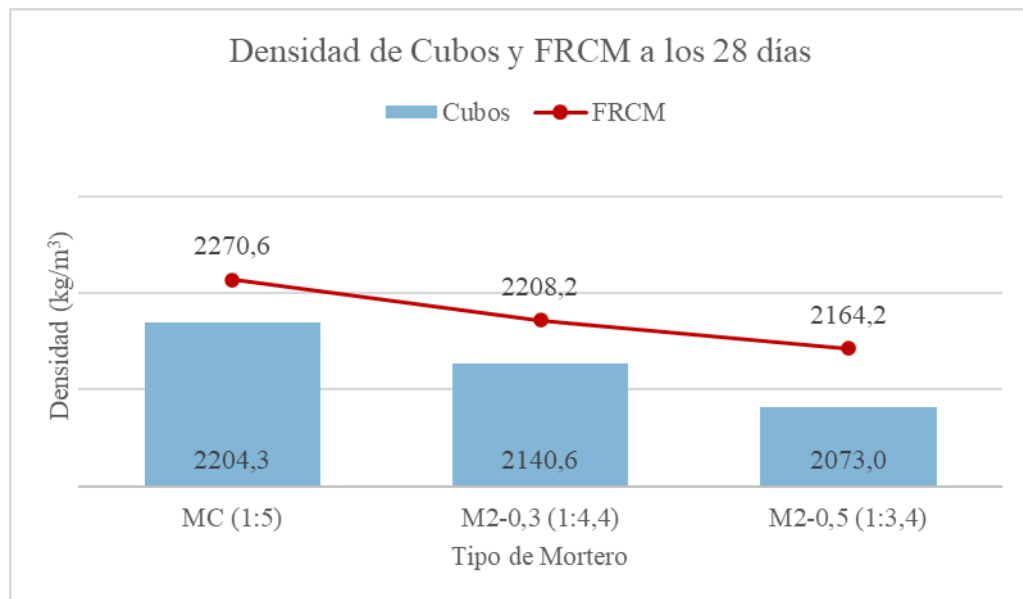


Figura 36 Densidad de cubos y probetas de material compuesto de control, 0,3% y 0,5% fibra a 28 días. Nota: En el eje “y” la escala empieza en 1750 kg/m³ para evidenciar de forma más notoria las diferencias.

Tabla 23 Análisis ANOVA de los resultados de absorción y densidad en cubos y probetas de material compuesto.

Tipo de probeta	Tipo de dato analizado	Comparación entre	P-valor	F	F crítico	Existen diferencias significativas
Cubos	Absorción (%)	MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,012076755	26,9964708	9,5520945	SI
		MC / M2-0,3	0,04296073	21,7880477	18,5128205	SI
		MC / M2-0,5	0,024397366	39,4942062	18,5128205	SI
		M2-0,3 / M2-0,5	0,173614565	4,30741496	18,5128205	NO
	Densidad (kg/m ³)	MC / M2-0,3 / M2-0,5	1,04232E-05	3142,07863	9,5520945	SI
		MC / M2-0,3	0,00092	1085,45721	18,5128205	SI
		MC / M2-0,5	9,8342E-05	10167,092	18,5128205	SI
		M2-0,3 / M2-0,5	0,000612231	1631,86936	18,5128205	SI
Material compuesto FRCM	Absorción (%)	MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,000419335	37,0805947	5,14325285	SI
		MC / M2-0,3	0,008255741	23,6579217	7,70864742	SI
		MC / M2-0,5	0,001352294	63,2895509	7,70864742	SI
		M2-0,3 / M2-0,5	0,016562448	15,7472705	7,70864742	SI
	Densidad (kg/m ³)	MC / M2-0,3 / M2-0,5	0,013797649	9,50795255	5,14325285	SI
		MC / M2-0,3	0,023213029	12,8007343	7,70864742	SI
		MC / M2-0,5	0,019588378	14,2200608	7,70864742	SI
		M2-0,3 / M2-0,5	0,172372194	2,75362973	7,70864742	NO

La Tabla 23 muestra el análisis de varianza ANOVA para absorción y densidad de cubos y probetas de material compuesto. Del análisis se obtiene que los morteros M2- (0,3 y 0,5) no tienen diferencias significativas en absorción de cubos y densidad de material compuesto, es decir que sus medias son similares.

Mientras que el análisis de los dos morteros fibro-reforzados con el MC en absorción y densidad de cubos y probetas de material compuesto dan diferencias significativas en sus resultados. Debido a que en absorción el mortero M1-0,5 absorbe más agua que el M2-0,3. Mientras que en densidad el mortero M2-0,5 es menos denso que el M2-0,3. Es decir que en absorción a más cantidad de fibra el mortero absorbe más agua, por el contrario, en densidad a mayor cantidad de fibra el mortero es menos denso.

4.8 Análisis de costos de fabricación de los diferentes tipos de mortero

Se analizó el costo por m²-lineal y m³ del M2-0,3; M2-0,5 y el MC. Los principales valores de fabricación del mortero no son para venta pública por ello no se adiciona costos indirectos ni utilidades. En la Tabla 24 se muestra el resumen del costo que tiene la elaboración de cada tipo de mortero según su dosificación y la cantidad de fibra adicionada.

Tabla 24 Resumen de análisis de precios unitarios

Dosificación	Tipo de Mortero	(USD/m ²)	(USD/m ³)
1:5	MC	2,25	112,39
1:4.4	M2-0,3	3,63	181,31
1:3.4	M2-0,5	4,42	220,75

Se evidencia que el mortero de control es el más barato de los tres tipos, en los morteros fibro-reforzados existe la relación de que a mayor mas cantidad de fibra aumenta el precio. Calculando el incremento que incurre en los precios, podemos decir que el mortero MC respecto al mortero M2-0,3 este último encarece su precio en un 61%. Comparando el MC con el mortero M2-0,5 el precio sube en un 96%. Mientras que el mortero fibro-reforzado M2-0,5 cuesta un 22% más que el mortero M2-0,3. Estos valores son un aproximado del costo de producción que podría llegar a tener las dosificaciones. Es necesario resaltar que el costo de la fibra de abacá se asume como ya procesada (tratada y cortada) y para la venta al público general. En el Anexo 74 se muestra el cálculo de cada análisis de precios para la fabricación de los tres tipos de mortero.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La investigación realizada en este proyecto de titulación ha demostrado que la inclusión de fibra de abacá en la mezcla de mortero mejora su comportamiento a la deformación. Sin embargo, esta inclusión disminuye la resistencia del mortero; para superar este desafío, se modificó la mezcla. Variando la cantidad de cemento incorporado, lo que permitió cumplir con la resistencia mínima requerida para que se categorice como un mortero tipo “S”. Pasando de una dosificación inicial de 1:5 a dosificaciones finales de 1:4,4 y 1:3,4 para el mortero fibra reforzado al 0,3% y 0,5% de abacá, respectivamente.
- Este trabajo contribuye al campo de la ingeniería civil y la construcción al promover el uso de la fibra de abacá, un recurso renovable, en la elaboración de morteros. Aunque el tratamiento de la fibra con NaOH incrementa el costo de preparación de la mezcla, los beneficios obtenidos justifican esta inversión.
- En la segunda fase de la investigación, con las modificaciones realizadas en la dosificación, se logró un equilibrio adecuado entre la resistencia a la compresión y la capacidad de deformación del mortero reforzado con fibra de abacá. Además, los resultados de los ensayos de tracción y flexión fueron satisfactorios, cumpliendo con las expectativas. Cabe recalcar que la adición de fibra de abacá mejoró la deformabilidad del mortero, un aspecto importante de esta investigación. Este comportamiento puede llegar a ser comparable al de un mortero reforzado con fibra sintética, esto según algunos autores. El diseño de mezcla elaborado con una adición al 0,3% y 0,5% mejoró sus propiedades mecánicas respecto a un mortero común. Si se replica en la construcción, el mortero reforzado con fibra de abacá puede mejorar la durabilidad de los enlucidos, reduciendo la afectación del enlucido por la aparición de grietas.
- Teniendo en cuenta que los resultados del mortero de control MC y los morteros reforzados con fibra de abacá finales M2-0,3 y M2-0,5 podemos decir que: El esfuerzo de compresión máximo soportado a los 7 días del MC es equivalente a 8,038 Mpa. El mortero M2-03 soporta un esfuerzo máximo a los 7 días de 8,668 MPa es decir superior al mortero MC. Finalmente, el mortero M2-0,5 soporta un esfuerzo de 8,352 MPa. Ambos resultados son superiores al que encontramos con el MC, comportamiento que puede ser explicado por el incremento en la cantidad de cemento que sufrió la mezcla para estas dosificaciones. En el ensayo de compresión a los 28 días los resultados obtenidos son bastante alentadores. El MC siendo un mortero tipo “S” alcanza una resistencia estipulada por la normativa de 12,4 MPa, cumpliendo con lo requerido. El mortero M2-0,3 a los 28 días su resistencia promedio fue de 12,631 MPa, siendo superior a lo mostrado por el MC. El mortero M2-0,5 tuvo una resistencia promedio de 12,552 MPa siendo ligeramente superior a lo que solicita un mortero tipo “S”. Estos resultados muestran que se cumple el objetivo de desarrollar un mortero para ser usado en enlucidos. Dado que no existe un estándar de deformación se tomó como punto de partida lo que se obtiene en el mortero MC para evaluar si existe mejoraría o no al incluir fibra vegetal de abacá a la mezcla. El mortero MC a los 7 días obtuvo una deformación unitaria promedio de 0,0261 mm/mm mientras que el mismo mortero a los 28 días tuvo una deformación unitaria promedio de 0,0112 mm/mm, comportamiento un tanto habitual en las matrices cementicias, volviéndose más rígido

y menos deformable con el paso del tiempo. Ahora el mortero M2-0,3 a los 7 días tuvo una deformación unitaria promedio de 0,02 mm/mm y a los 28 días una deformación unitaria de 0,025 mm/mm, este comportamiento es inverso al que muestra el MC, pero con los resultados a los 21 días se entiende que alcanza un punto máximo de deformación ya que en ambas edades de curado la deformación no incrementa. Finalmente, el mortero M2-0,5 tuvo una deformación unitaria a los 7 días de 0,019 mm/mm y a los 28 días de 0,024 mm/mm mientras que a los 21 días una deformación de 0,0256 mm/mm.

- Los ensayos a flexión de primas en el mortero con dimensiones de 40x40x160 mm se midieron a los 28 días únicamente. Respecto a los resultados que presento el MC de resistencia al esfuerzo de flexión promedio fue de 2,379 MPa y una deformación unitaria de 0,0102 mm/mm. Los resultados obtenidos del mortero M2-0,3 en cuanto a resistencia fue de 3,03 MPa con una deformación unitaria promedio de 0,0171 mm/mm, valores que superan lo que obtuvimos frente al mortero de control que de cierta forma valida la hipótesis presentada. El M2-0,5 obtuvo una resistencia promedio de 3,124 MPa y una deformación unitaria de 0,0166 mm/mm aumentando significativamente frente al MC, la disminución en la capacidad de deformación se ve mermada, este fenómeno puede deberse a la cantidad de cemento de esta mezcla respecto a la del mortero M2-0,3, ya que una dosificación es 1:4,4 y la otra dosificación es 1:3,4 teniendo significativamente más cemento dentro de la mezcla volviéndolo más rígido.
- Para demostrar el comportamiento de mejor forma y descartar que haya sido una simple coincidencia, se ensayaron otras probetas a flexión. Estas probetas tuvieron unas dimensiones de 20x50x300 mm que en la investigación se las denominó probetas de material compuesto FRCM. Los resultados del MC que se obtuvieron en este ensayo fue una resistencia a la flexión promedio de 3,429 MPa y una deformación unitaria de 0,0119 mm/mm siendo en perspectiva mayores a lo obtenido al ensayar primas. Esto podría explicarse por la geometría de la probeta y la distancia de los apoyos al momento del ensayo. Las probetas M2-0,3 ensayadas tuvieron una resistencia a la flexión de 4,098 MPa y una deformación unitaria promedio de 0,0161 mm/mm, esto quiere decir que, si mejora su capacidad de deformación, así como la resistencia máxima que puede alcanzar antes de la falla. Finalmente, las probetas M2-0,5 ensayadas a flexión presentaron resultados de resistencia de 4,127 MPa y de deformación unitaria de 0,0144 mm/mm, es interesante porque el mortero M2-0,5 muestra un comportamiento semejante al del ensayo de primas, porque en ambos casos se dio un aumento en su resistencia a la flexión, pero una leve disminución en cuanto a la deformabilidad que se logra alcanzar. Corroborando así que el comportamiento es prometedor para lo que se busca en esta investigación.
- El ensayo donde medimos la resistencia a la tracción en probetas de material compuesto FRCM fue únicamente en las probetas M2-0,3 y M2-0,5 la razón es simple, el mortero no es precisamente el elemento que resista esfuerzos de tracción por lo que en un elemento sin reforzamiento se tendría unos valores muy bajos y complejos de registrar. Las probetas M2-0,3 tuvieron una resistencia de 1,365 MPa y una deformación unitarias de 0,0038 mm/mm. Mientras que las probetas M2-0,5 tuvieron una resistencia a la tracción de 1,175 MPa y una deformación unitaria de 0,0041 mm/mm, comportamiento un tanto diferente a lo visto en flexión ya que en este caso lo que aumenta con la cantidad de fibra es su capacidad de deformación y disminuye su resistencia en este caso a la tracción.

- La diferencia de precios en su elaboración también es un punto importante, ya que elaborar un MC en promedio costaría 2,25 dólares el metro cuadrado. Por otra parte, elaborar un mortero M2-0,3 costaría aproximadamente 3,63 dólares el metro cuadrado y el M2-0,5 costaría 4,42 dólares preparar un metro cuadrado de mezcla. Esto por razones de personal y materiales ya que esta mezcla es elaborada manualmente para evitar que las fibras formen aglomeraciones dentro de la mezcla que dificulte su trabajabilidad y por ende el desempeño en su comportamiento demostrado en esta investigación. Otro punto es la cantidad de fibra que se utiliza para cada dosificación, siendo que la adquisición de la fibra procesada evidentemente llega a costar más que la fibra no tratada. No obstante, la fibra procesada es necesaria para que el comportamiento del mortero sea el que se mostró en esta investigación.
- Tras la investigación concluimos que sería más adecuado utilizar el mortero M2-0,3 como mortero para enlucido ya que al evaluar sus propiedades físicas y mecánicas en los ensayos de material compuesto se observa que presenta menor absorción de agua que el mortero M2-0,5. Entre ambos morteros no hay diferencias significativas en densidad y resistencia a flexión, es decir que mantienen resultados similares. También muestra diferencias en la deformación unitaria al ser sometido a flexión con 0,10% menos respecto al M2-0,5; sin embargo, esta diferencia es mínima. Además, que el mortero M2-0,3 es 22% menos costoso que el mortero M2-0,5.
- El mortero fibro-reforzado M2-0,3 a comparación del MC muestra la ventaja de que reduce la presencia de fisuras que puedan conducir a grietas en los enlucidos de mampostería. Además que este mortero fibro-reforzado cumple con la resistencia requerida de 12,4 MPa para clasificarse como un mortero tipo S según la norma INEN 2518 y ASTM C270. Por estos beneficios pese a que el MC es 61% más económico, el mortero recomendado M2-0,3 a largo plazo puede presentar beneficios en el ahorro de gastos en mantenimientos periódicos.

5.2 Recomendaciones

- Para futuras investigaciones, se sugiere estudiar el comportamiento de la fibra de abacá dentro de la matriz cementicia con diferentes tratamientos, con el objetivo de evitar las complicaciones en la obtención del NaOH y mejorar aún más las propiedades del mortero.
- La fibra vegetal puede perder sus propiedades con el tiempo. Para futuras investigaciones, se recomienda aplicar ciclos de envejecimiento en el mortero fibro-reforzado mejorado de esta investigación. Además, sería beneficioso someter el mortero a diferentes condiciones ambientales, como la humedad, calor y frío extremos, ya que el mortero fibro-reforzado puede estar expuesto a la intemperie y es importante para evaluar su durabilidad.
- Pese a la mejora en la deformación respecto al mortero de control, el mortero fibro-reforzado M2-0,5 podría llegar a alcanzar un punto de deformabilidad uniforme. Esto puede dar paso a futuras líneas de investigación que muestren si llega un punto donde el mortero se vuelve menos deformable o mantiene su deformabilidad de los 28 días.
- Se recomienda no utilizar porcentajes de adición de fibra que superen el 1% ya que la mayor adicción de fibras no asegura un mejor comportamiento en el mortero y produce una acumulación de las fibras que perjudica la dosificación y distribución de las fibras, así como la adherencia en la interacción matriz-fibra.
- La dosificación descartada con adición de 0,75% de fibra podría ser más estudiada para otros fines de uso ya que si bien su comportamiento no es el esperado para esta investigación puede tener potencial en otros ámbitos, como el aislamiento térmico, acústico o la obtención de un mortero de baja densidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M., & Luna, M. (2021). *Tratamiento Químicos Superficiales para el Uso de Fibras Naturales en la Construcción: Concretos y Morteros* [Universidad de Cartagena]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/14644/TRABAJO%20DE%20GRADO%20ACEVEDO%20Y%20LUNA%2002-11-2021.pdf?sequence=1>
- ACI 318-08. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary* (Patent 318). ACI. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/318-08_preview.pdf
- Álvarez, J. (2005). Caracterización de Morteros para Revestimiento con Polvo de Piedra. *Revista de La Construcción*, 4(2), 30–37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619745004>
- Amigo, V., Salvador, D., & Sahuquillo, O. (2010, March 8). Aprovechamiento de Residuos de Fibras Naturales como Elementos de Refuerzo de Materiales Poliméricos. *Instituto de Tecnología de Materiales*. https://www.researchgate.net/profile/V-Amigo/publication/228747685_Aprovechamiento_de_residuos_de_fibras_naturales_como_elementos_de_refuerzo_de_materiales_polimericos/links/02e7e521bc1c42d2fa00000/Aprovechamiento-de-residuos-de-fibras-naturales-como-elementos-de-refuerzo-de-materiales-polimericos.pdf
- Anrango, A. (2020). *Desarrollo de un Acabado con Aceite de Palma Africana Sobre Tejido de Abacá que Permita Mejorar su Durabilidad en el Agua de Mar* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10654/2/04%20IT%20269%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- ASTM C78-09. (2008). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. <https://www.astm.org/standards/c78>
- ASTM C144-04. (1974). *Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*. <https://www.astm.org/c0144-18.html>
- ASTM C270. (1991a). *Especificación estándar para mortero usado en mampostería*. <https://es.slideshare.net/HeribertoB/astm-c27091amortero>
- ASTM C270. (1991b). *Especificación estándar para mortero usado en mampostería*. <https://es.slideshare.net/HeribertoB/astm-c27091amortero>
- ASTM C642-21. (1997). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. <https://www.astm.org/standards/c642>
- ASTM D792-08. (2008). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*. <https://www.astm.org/d0792-08.html>
- ASTM D2256. (2010). *Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method*. https://www.astm.org/d2256_d2256m-21.html

- Barbudo, M., & Yepez, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. *Universidad de Alicante*. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/45347/1/2014_Sanjuan_Chinchon_Cemento-Portland.pdf
- Bustos, A., Moreno, E., González, F., & Cobo, A. (2018). Influencia de la adición de fibras en las propiedades de los morteros de cal hidráulica. *Dyna*, 93(2), 228–232. <https://doi.org/10.6036/8495>
- Cañas, J. (1996, March). *ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO*. <https://uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>
- CAVE. (2007). Proceso de Curado de Hormigones y Morteros. *EMB Construcción*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Cevallos, O. (2015). Sustainable fabric-reinforced cementitious composites for the strengthening of masonry elements. Calabria: PhD Thesis in Materials and Structures Engineering, University of Calabria.
- Chang, A., & Montero, G. (2015). *Análisis del Comportamiento del Sector Exportador del Abacá en el Ecuador, Periodo 2000-2013* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3900/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-66.pdf>
- Civil, A. (2023). *Morteros dosificación: tipos, usos*. Arquitecturacivil.Blog. <https://arquitecturacivil.blog/arquitectura/morteros-tipos-usos-dosificacion/>
- DASWELL. (2022, September 15). *Diferencia entre Arena Artificial y Arena Natural*. DASWELL. <https://daswell.com/es/blog/difference-between-artificial-sand-and-natural-sand/>
- Delgado, M. (2018). *Influencia de la granulometría y el tipo de cemento en la contracción por secado de morteros estructurales*. https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/3680/ICI_260.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Enciso, B., López de Armentia, S., Abenojar, J., & Martínez, M. (2017). Influencia del tratamiento superficial en la resistencia y adhesión entre fibras naturales de lino y una matriz termoplástica. *AEMAC*, 2(3), 40–43. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/43625/IIT-18-169A.pdf?sequence=-1>
- Flores, N., & González, O. (2011). Efectos del Tratamiento Químico en las Propiedades Físicas y Mecánicas de las Fibras Naturales como Sustitutas de la Fibra de Vidrio en Composites [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. In *Escuela Superior Politécnica*

del

Litoral.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/17049/Efectos%20del%20tratamiento%20qu%20c3%20admico%20en%20las%20propiedades%20f%20c3%20as%20y%20mec%20c3%20a%20nicas%20de%20las%20fibras%20naturales%20como%20sustitutas%20de%20la%20fibra%20de%20vidrio%20en%20composites.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Freire, M. (2019). *Influencia del Tratamiento, Tamaño y Dosificación de las Fibras de Abacá en el Mortero*. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12603?locale=es>

Giordani, C., & Leone, D. (n.d.). *Cementos*. Universidad Tecnológica Nacional. Retrieved November 24, 2023, from [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Cementos\(1\).pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Cementos(1).pdf)

Guerrero, G. (1998). *Análisis de mezclas para morteros de enlucidos utilizando arena cuarcífera de la formación de hollín*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3380/1/5902.pdf>

Hidalgo, J., & Peñafiel, B. (2022). *Influencia de la fibra de abacá tratada en la adherencia de morteros en paredes de bloques* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19913>

IECA. (2023). *Componentes y Propiedades del Cemento*. Instituto Español Del Cemento y Sus Aplicaciones. <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>

ISO 1889. (2010). *Hilos de refuerzo. Determinación de la densidad lineal*. Internacional Organization for Standardization. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045184>

ISO 2062. (2009). *Textiles-Yarns from packages-Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/45642/9255c21d721744a58d9dea36a12e20a4/ISO-2062-2009.pdf>

ISO 3344. (1997). *Reinforcement products-Determination of moisture content*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/23274/1abe10b1cb7f479cad8904342eda2d05/ISO-3344-1997.pdf>

Lira, F. (2021, September 24). *Tabla ANOVA en Excel: cómo crearla e interpretarla*. Ninja Excel. <https://www.ninjaexcel.com/formulas-y-funciones-de-excel/tabla-anova/>

Marin, A., & Laverde, V. (2020). *Uso de Fibras Vegetales como Reforzamiento Estructural en Materiales Compuestos de Matriz Cementosa* [Universidad Industrial de Santander]. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-mariana/diseno-de-experimentos/tesis-de-fibras-vegetales-como-reforzamiento-estructural/69948384>

- Mora, E., Fierro, F., Godoy, O., Ramírez, E., & Naranjo, M. (2021). Evaluación de las propiedades físicas de la fibra de Abacá. *Revista Biorrefinería*, 4(4). <https://www.cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/01/6.pdf>
- Muñoz, E., Fierro, F., Godoy, O., Ramírez, E., & Naranjo, M. (2021). Evaluación de las propiedades físicas de la fibra de Abacá (*Musa textilis*). *Biorrefinería*, 4(4). <https://cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/01/6.pdf>
- Nawab, M., Ali, T., Qureshi, M., Zaid, O., Kahla, N., Sun, Y., Anwar, N., & Ajwad, A. (2023). A study on improving the performance of cement-based mortar with silica fume, metakaolin, and coconut fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 19, 9–10. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2023.E02480>
- NTE INEN 158. (2009). *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT*. <https://ia803200.us.archive.org/23/items/ec.nte.0158.2009/ec.nte.0158.2009.pdf>
- NTE INEN 198. (1987). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS*. <https://es.scribd.com/document/397342780/nte-inen-198-1>
- NTE INEN 488. (2009). *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA*. <https://studylib.es/doc/5303201/nte-inen-0488--cimento-hidr%C3%A1ulico.-determinaci%C3%B3n-de-la>
- NTE INEN 696. (2011). *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO*. <https://ia802909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf>
- NTE INEN 855. (2010). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN*. <https://studylib.es/doc/4718570/nte-inen-0855--%C3%A1ridos.-determinaci%C3%B3n-de-impurezas>
- NTE INEN 856. (2010). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO*. <https://ia804704.us.archive.org/27/items/ec.nte.0856.2010/ec.nte.0856.2010.pdf>
- NTE INEN 858. (2010). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS*. <https://ia904703.us.archive.org/3/items/ec.nte.0858.2010/ec.nte.0858.2010.pdf>
- NTE INEN 2502. (2009). *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL FLUJO EN MORTEROS*. <https://ia601507.us.archive.org/19/items/ec.nte.2502.2009/ec.nte.2502.2009.pdf>
- NTE INEN 2518. (2010). *MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA REQUISITOS*. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. <https://ia801509.us.archive.org/12/items/ec.nte.2518.2010/ec.nte.2518.2010.pdf>

- Núñez, S. (2020, October 16). *RECURSOS NO RENOVABLES*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/recursos-no-renovables-que-son-y-ejemplos-3088.html>
- Palacios, C., & Salas, L. (2023). *Influencia de la Fibra de Abacá en el Comportamiento a Tracción del Mortero Actual y Envejecido* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20817/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-477.pdf>
- Paredes, A., & Guillen, R. (2015). Evaluación de la calidad del concreto hidráulico usando agregado fino marginal en el proyecto rehabilitación y mejoramiento de la carretera DV. Imperial – Pampas. In *Universidad Ricardo Palma*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2189>
- Pérez, J. (2004). *Diseño experimental y análisis para comparar la tenacidad de diferentes tipos de concreto* [Universidad Iberoamericana]. <https://ri.ibero.mx/bitstream/handle/ibero/933/014353s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quirós, L. (2018). *Estudio del Comportamiento Mecánico del Mortero Reforzado con Fibra de Coco y Modificado con Óxido de Hierro* [Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4228/Estudio%20del%20comportamiento%20mec%C3%A1nico%20del%20mortero%20reforzado%20con%20fibra%20de%20coco%20y.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rendón, A., & Neyra, L. (2020). *Fibras Naturales*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>
- RUBI. (2023, August 4). *Cemento Portland*. RUBI. <https://www.rubi.com/es/blog/cemento-portland-que-es/>
- Salamanca, R. (2001). Aplicación del Cemento Portland y los Cementos Adicionados. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 10, 33–38. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101005.pdf>
- Sancán, J. (2022). *Determinación de los Parámetros de la fibra de abacá (Musa Textilis) de las variedades Bungalanón y Tangongón que Permita Caracterizar la Calidad (1-2)* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13359/2/04%20IT%20310%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Santalla, E. (2021). ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO, PESO UNITARIO, PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE HUECOS DEL AGREGADO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGONES. *Revista Industrial* 4.0, 3. <https://www.umsa.bo/documents/3265709/3894049/EFRAIN+SANTALLA+ALEJO+023+.pdf/df5b4be1-ab4c-7035-82f1-29945dc60bae>

- Santillán, N. (2020). *Utilización de Fibras Naturales para el Desarrollo de Morteros Reforzados con Fibras* [Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192804/Santill%c3%a1nN_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Spiegel, M., & Stephens, L. (2009). *Estadística* (P. Roig & A. Delgado, Eds.; 4ta ed., Vol. 4). Mc GRAW - HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A. <https://studylib.es/doc/9276680/estad%C3%ADstica-4ta-edici%C3%B3n-murray-r.-spiegel-y-larry-j.-step>
- Uvidia, D. (2019). *Exploración de aplicaciones comerciales utilizando materiales compuestos para generar valor agregado, caso de estudio abacá* [Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10808>
- Vega, L., & Villanueva, J. (2020). *Influencia de la concentración de hidróxido de sodio sobre la resistencia a la tracción de fibras individuales de Stipa Ichu* [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/976bfd85-c138-426b-a37a-757cc09f8311>
- Velásquez, S., Pelaéz, G., & Giraldo, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*, 80(1), 77–86. <https://doi.org/10.23850/22565035.324>
- Viera, P., Morillo, D., & Parion, J. (2022). Influencia de fibras naturales y sintéticas en la permeabilidad de morteros de cemento - arena, y cemento, cal y arena. *FIGEMPA Investigación y Desarrollo*, 13(1), 59–71. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V13I1.3410>
- Waddell, J., & Dobrowolski, J. (1997). *Manual de la construcción con concreto I* (3rd ed.). McGraw-Hill. <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=41765>
- Zambrano, L., Alava, R., Ruíz, W., & Menéndez, E. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35–47. <https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA231.4>

ANEXOS

Anexo 1 Tratamiento y corte de fibra

El procedimiento para cortar y tratar la fibra de abacá con hidróxido de sodio se describe de la siguiente manera: primero se cortó la fibra a un tamaño de 1,2 cm. Este tamaño permite garantizar una distribución uniforme de las fibras dentro del mortero, lo cual ayuda a optimizar la interacción entre las fibras de abacá y la matriz de cemento, según investigaciones como la de Muñoz et al. (2021). El tratamiento para disminuir los efectos de envejecimiento en las fibras, que se eligió en la investigación, fue el de Hidróxido de sodio NaOH en una solución al 3%. Con este tratamiento, se eliminan las impurezas y los componentes no celulósicos de las fibras, lo que mejora la adhesión entre las fibras y la matriz del mortero (Figura 37). Esto se basa en la investigación de (Freire, 2019), quien estudió la “Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero”.



Figura 37 Fibras sumergidas en solución NaOH 0,3%.

Anexo 2 Densidad Especifica

Para determinar la densidad específica de las fibras de abacá, se aplicó la norma (ASTM D792-08, 2008). Este método implica sumergir muestras secas, que pesan entre 0,5 y 2 gramos, en agua destilada durante 24 horas. Después de este período, las fibras se retiran del agua y se utiliza papel absorbente para eliminar el exceso de agua. Con el apoyo de un dispositivo que incluye una balanza y una castilla, como se muestra en la Figura 38, se calculó el peso de la fibra sumergida. Para el cálculo de la densidad específica de las fibras, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{A}{[(A + W) - B]}$$

Donde:

- A = Masa de la muestra al aire seca
- W = Masa de la canastilla sumergida
- B = Masa de la muestra sumergida + canastilla



Figura 38 Ensayo de densidad específica.

Anexo 3 Densidad lineal

De acuerdo con la norma ISO 1889 (2010), se calculó la densidad lineal de la fibra de abacá, para ello se pesaron muestras de hilo de 1,50 m de longitud (ver Figura 39). La unidad de medida utilizada es Tex (g/km).



Figura 39 Ensayo de densidad lineal.

Anexo 4 Porcentaje de absorción

El ensayo se llevó a cabo de acuerdo con la norma ISO 3344 (1997). Se tomaron muestras de fibra de abacá tratada y sin tratar que se secaron en el horno a una temperatura de 50 °C durante 24 horas. Luego, se pesaron y se sumergieron en agua destilada durante 24 horas más. Después de este tiempo, se retiraron las fibras del agua destilada, se eliminó el exceso de agua y se volvieron a pesar. En la Figura 40 se observa cómo se realizó el ensayo. Para determinar el porcentaje de absorción, aplicamos la siguiente ecuación:

$$\%Absorción = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco}$$

Donde:

- Pseo sss = Peso al aire de la muestra húmeda saturada superficialmente seca



Figura 40 Ensayo de absorción de las fibras -Peso seco.

Anexo 5 Microscopia

Para encontrar el diámetro de las fibras que se ensayaron, se empleó el método de doble ciego. Este método consiste en tener dos observadores que analicen una misma muestra sin saber si esta es tratada o no tratada. Esto se pudo realizar con la ayuda del laboratorista, que era el único que sabía cuáles de las muestras eran de fibra tratada y sin tratar. Así, el laboratorista entregaba al primer investigador una muestra para analizarla y medirla, y luego la misma muestra pasaba al segundo investigador para realizar el mismo proceso. De esta forma, ambos obtenían los diámetros de la muestra sin sesgos ni expectativas. Con el resultado del diámetro (ver Figura 41), se puede graficar la curva de esfuerzo vs deformación.

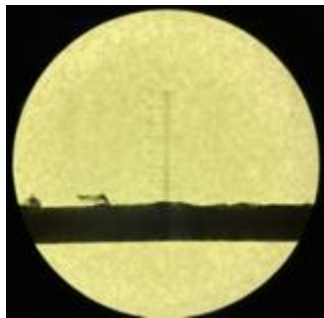


Figura 41 Imagen obtenida en la vista del microscopio de fibra tratada con NaOH.

Anexo 6 Resistencia a tracción de hilo: sin tratar y con tratamiento de NaOH

Las normas ISO 2062 (2009) y ASTM D2256 (2010) se emplearon para examinar el comportamiento a la tracción de las fibras de abacá, tanto sin tratamiento como con tratamiento. Se cortaron hilos individuales de 50 cm de longitud de las muestras utilizadas en el ensayo de densidad lineal y se utilizaron como muestras de fibra de abacá para este ensayo. Para prevenir el deslizamiento durante el ensayo, los extremos de las muestras de abacá se colocaron en placas de aluminio equipadas con una lija 100. Esta configuración, junto con un rodeo sobre la placa, impedía el deslizamiento de las muestras. Las placas estaban conectadas con dos tornillos que simulaban el efecto de las mordazas de la máquina de prueba como se muestra en la Figura 42.

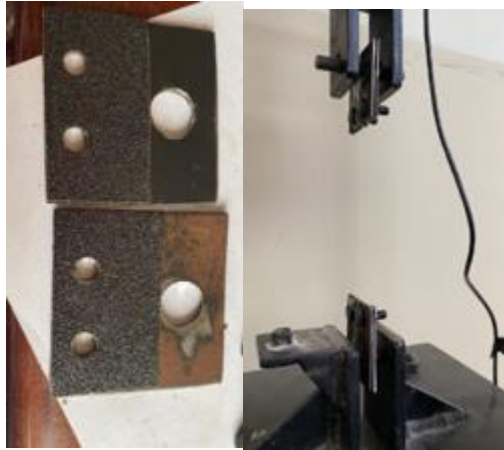


Figura 42 Preparación de las probetas para ensayar.

Se utilizó la máquina Humboldt “Master Loader” para el ensayo de tracción. Esta máquina se adaptó con una placa base que tenía cuatro agujeros para tornillos, lo que permitía que la placa permaneciera inmóvil durante el ensayo. Se colocó un adaptador con dos orificios en la placa base para colocar las muestras y se fabricó otro adaptador con rosca que se insertó en la parte superior de la máquina ver Figura 43. Los datos recopilados se registraron automáticamente en la computadora del equipo utilizando un transductor de deformación tipo LVDT. La máquina se operó a una velocidad de 0,02 in/min para los hilos de abacá, tanto con tratamiento como sin él.




Figura 43 Equipo para el ensayo de tracción.

Anexo 7 Granulometría

La normativa NTE INEN 696 (2011) y ASTM C144-04 (1974) proporciona una guía detallada sobre los procedimientos a seguir para realizar un análisis granulométrico de agregados pétreos triturados como el polvo de piedra de la mina cerro negro. Para la muestra utilizada en este ensayo, se tamizó inicialmente el material con el tamiz N.º 4 hasta obtener 1050 g. Posteriormente, esta muestra se sometió a un segundo tamizado utilizando una serie de tamices, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25 Orden de los tamices en el ensayo de granulometría de agregado fino.

Tamices	Representación
N° 4	
N° 8	
N° 16	
N° 30	
N° 50	
N° 100	
N° 200	
Bandeja	

Anexo 8 Densidad

Se determinó la densidad de la arena tamizada utilizando un molde cilíndrico, cuyo volumen y peso se conocían. Con un cucharón, se llenó el molde hasta el borde, asegurándose de que la muestra se depositara desde una altura aproximada de 5 cm desde el borde superior del molde. Finalmente, se niveló la superficie del agregado con una regleta y se pesó la combinación del molde y la muestra, se puede ver de mejor forma en la Figura 44.



Figura 44 Ensayo de densidad de agregado fino.

Anexo 9 Contenido orgánico en la arena (Colorimetría)

En base a la norma NTE INEN 855 (2010) se procedió a realizar el ensayo de contenido de material orgánico en el agregado fino, para saber si el material es apto para ser utilizado dentro de una matriz cementicia. En resumen, se coloca en un frasco normalizado una cantidad de 450 g de material hasta que cubra aproximadamente 130 ml. Posterior a esto, se realiza una mezcla de hidróxido de sodio con 3 partes de hidróxido y 97 partes de agua, es decir, una mezcla al 3%. Se vierte dicha solución en el frasco hasta llegar a un volumen de 200 ml, se cierra la botella para poder agitarla muy bien y se deja en reposo durante 24 horas. Al siguiente día se revisa el color del líquido que cubre el material con una tablilla normalizada (ver Figura 45).

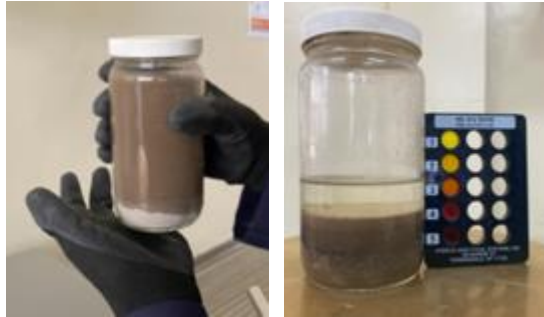


Figura 45 Ensayo de contenido orgánico.

Anexo 10 Ensayo de Masas unitarias sueltas (MUS) y masas unitarias compactadas (MUC)

La norma NTE INEN 858 (2010) se usó para determinar la masa unitaria suelta (MUS) y la masa unitaria compactada (MUC) de la arena tamizada. El método de paladas se utilizó para encontrar la MUS. Se llenó el molde hasta el borde con un cucharón desde una altura máxima de 5 cm por encima del molde y luego se niveló la superficie del agregado con una regleta, como se muestra en la Figura 46 (a). Para encontrar la MUC, se utilizó el método de varillado. Se llenó el molde en tres capas y se compactó cada una con 25 golpes distribuidos uniformemente, sin permitir que la varilla penetre en la capa anterior, como se muestra en la Figura 46 (b). Para ambos procedimientos, se debe determinar el peso del molde y el peso del molde con el agregado fino.



Figura 46 Ensayo de MUS (a) y MUC (b).

La fórmula utilizada para el cálculo es:

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

Donde:

- M: masa unitaria compactada – masa unitaria suelta del arido
- G: peso del arido + molde
- T: peso del molde
- V: volumen del molde

Anexo 11 Ensayo de absorción del agregado fino

La norma NTE INEN 856 (2010) permitió determinar la absorción de la arena tamizada. Se colocaron 1500 g de arena en un recipiente y se secaron a 110 °C durante 24 horas. Después de enfriarse, se añadió agua y se dejó reposar durante 24 horas. Luego, se eliminó el exceso de agua y se extendió la muestra para secarla uniformemente hasta que la muestra tenga humedad superficial. Se utilizó un molde metálico y un compactador para lograr la humedad superficial. Se llenó el molde con arena parcialmente seca y se compactó con 25

golpes ligeros. Si la arena mantenía la forma del molde, se repetía el proceso. Si se desmoronaba ligeramente, indicaba que se había alcanzado la condición de saturado superficialmente seco (Figura 47). Finalmente, se pesó la muestra de arena en condición saturada superficialmente seca (SSS), se secó en el horno y se pesó después de 24 horas. La ecuación aplicada para determinar este porcentaje es la siguiente:

$$\%Absorción = \frac{peso_{SSS} - peso\ seco}{peso\ seco}$$

Donde:

- $peso_{SSS}$: peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca



Figura 47 Ensayo de absorción del agregado fino.

Anexo 12 Dosificaciones Fase 1

La dosificación para la elaboración del mortero de control, así como la dosificación para el mortero fibro-reforzado se realizó mediante el método volumétrico y gravimétrico, es decir, mediante el cálculo del volumen de la probeta y del peso de sus agregados. El peso de las materias primas se determinó usando el equipo de balanzas de los laboratorios de la universidad. Para el mortero de control sin fibras, se dosificó una cantidad para elaborar diez muestras iniciales para ensayos de compresión, seis para flexión, tres para tracción y ocho para ensayo de absorción y densidad. Por contraparte, para los morteros fibro-reforzados, se optó por dosificar la cantidad para elaborar individualmente cada probeta, primero con la dosificación 1:5 que fueron en total 27 probetas por cada tipo de dosificación y posterior a eso con la mejora de la dosificación se elaboraron más probetas para ser ensayadas. A continuación, se detalla cuáles fueron las cantidades utilizadas en cada dosificación:

Tabla 26 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero de control con dosificación 1:5.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	240,6	(g)
Cemento	48,1	(g)
Agua	49,8	(ml)

A partir de la dosificación presentada en la Tabla 26 y de acuerdo con el método volumétrico gravimétrico, se incorporó la cantidad de fibra respecto al volumen que representa un cubo de mortero. En esta primera fase de ensayo, la única variable que se modificó fue la incorporación de la fibra y variación en las cantidades de agua.

Tabla 27 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero de control con dosificación 1:5.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	492,8	(g)
Cemento	98,6	(g)
Agua	102	(ml)

Con la misma metodología empleada para cubos, se calculó las cantidades de material necesarias para elaborar un prisma de mortero de control con las dimensiones que estipula la norma NTE INEN 2518 (2010) los cuales fueron ensayados a flexión. Lo que varía respecto a la dosificación de cubos es la cantidad de agregados por el aumento en volumen de la probeta prismática.

Anexo 13 Dosificación 1: Dosificación (1:5) fibro-reforzada al 0,3% de abacá.

Tabla 28 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,3%.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	240,6	(g)
Cemento	48,1	(g)
Agua	50,53	(ml)
Fibra	0,495	(g)

Se añadió fibra de abacá suelta en la mezcla y se elaboró manualmente cada probeta, con un total de 14 probetas en esta fase para compresión, absorción y densidad.

Tabla 29 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,3%.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	492,8	(g)
Cemento	98,5	(g)
Agua	103,5	(ml)
Fibra	1,0137	(g)

A partir del volumen del prisma, se calculó las cantidades de cemento, arena y fibra usados en la elaboración de los 3 prismas con adición de fibra de abacá suelta.

Anexo 14 Dosificación 2: Dosificación (1:5) fibro-reforzada al 0,5% de abacá.

Tabla 30 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,5%.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	240,6	(g)
Cemento	48,1	(g)
Agua	51,3	(ml)
Fibra	0,825	(g)

Tabla 31 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,5%.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	492,8	(g)
Cemento	98,5	(g)
Agua	104,9	(ml)
Fibra	1,689	(g)

A diferencia de la primera muestra fibro-reforzada, se incrementó la cantidad de fibra colocada en la mezcla y, por lo tanto, la cantidad de agua incrementó de manera proporcional. Esto se realizó para mantener el flujo de cada una de las dosificaciones.

Anexo 15 Dosificación 2: Dosificación (1:5) fibro-reforzada al 0,75% de abacá.

Para este porcentaje de abacá se utilizaron las cantidades de arena, cemento, agua y fibra que se muestran a continuación:

Tabla 32 Dosificación para elaboración de un cubo de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,75%.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	240,6	(g)
Cemento	48,1	(g)
Agua	53,42	(m)
Fibra	1,237	(g)

Tabla 33 Dosificación para elaboración de un prisma de mortero (1:5) con adición de fibra al 0,75%.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	492,8	(g)
Cemento	98,56	(g)
Agua	109,4	(ml)
Fibra	2,534	(g)

Tras ensayar las probetas de las dosificaciones al 0,75% de fibra, se culminó la fase 1 de la investigación. A partir de este punto, con los resultados que se obtuvieron, como se explica en la sección de “Resultados”, se decidió descartar la adición de fibra al 0,75% y mejorar las dosificaciones al 0,3% y 0,5% de fibra para cumplir con las características de resistencia a la compresión de un mortero de enlucido con capacidad de deformación mejorada. Por lo que, se resumirán las dosificaciones que se plantearon utilizar y la que se terminó utilizando para continuar con la investigación

Tabla 34 Dosificaciones empleadas para mejorar las capacidades mecánicas del mortero con refuerzo de fibras vegetales de abacá.

Dosificación	Cantidad de fibra
(1:4,8)	0,30%
(1:4,6)	0,30%
(1:4,4)	0,30%
(1:3,8)	0,50%
(1:3,6)	0,50%
(1:3,4)	0,50%

Se ensayaron las muestras de cubos con las dosificaciones mencionadas en la Tabla 34 a los 7 días. Se definió que las dosificaciones que se usarán para cada porcentaje de adición de fibra vegetal se muestran en la Tabla 35. Se usaron dichas dosificaciones debido a que alcanzaron la resistencia esperada a compresión en los 7 primeros días.

Tabla 35 Dosificaciones empleadas en la fase 2 de la investigación.

Dosificación	Cantidad de fibra
(1:4,4)	0,30%
(1:3,4)	0,50%

Anexo 16 Dosificación 1 F2: Dosificación (1:4,4) fibro-reforzada al 0,3% de abacá.

Una vez realizados los ensayos de compresión y flexión se tomaron las cantidades de fibra con mejores resultados. Con esto se decide aumentar la cantidad de cemento, como se muestra a continuación:

Tabla 36 Dosificación (1:4,4) para elaboración de cubos incorporando un 0,3% de fibra.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	235,3	(g)
Cemento	53,5	(g)
Agua	50,5	(ml)
Fibra	0,495	(g)

Tabla 37 Dosificación (1:4,4) para elaboración de prismas incorporando un 0,3% de fibra.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	481,8	(g)
Cemento	109,5	(g)
Agua	102	(ml)
Fibra	1,013	(g)

Tabla 38 Dosificación (1:4,4) para elaboración de FRCM incorporando un 0,3% de fibra.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	564,66	(g)
Cemento	128,33	(g)
Agua	119,5	(ml)
Fibra	1,188	(g)

La Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38 muestran las cantidades de material utilizado para elaborar una probeta de cada espécimen con adición de fibra al 0,3%. Para cada ensayo, se elaboró un número diferente de probetas según lo requerido. En un recuento rápido, fueron: diez cubos para compresión, ocho cubos para absorción/densidad, tres prismas para flexión, tres probetas de FRCM para tracción, tres probetas de FRCM para flexión y ocho probetas FRCM para absorción/densidad.

Anexo 17 Dosificación 2 F2: Dosificación (1:3,4) fibro-reforzada al 0,5% de abacá.

Tabla 39 Dosificación (1:3,4) para elaboración de cubos incorporando un 0,5% de fibra.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	223,1	(g)
Cemento	65,6	(g)
Agua	51,98	(ml)
Fibra	0,825	(g)

Tabla 40 Dosificación (1:3,4) para elaboración de prismas incorporando un 0,5% de fibra.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	456,96	(g)
Cemento	134,4	(g)
Agua	106,4	(ml)
Fibra	1,689	(g)

Tabla 41 Dosificación (1:3,4) para elaboración de FRCM incorporando un 0,5% de fibra.

Material	Cantidad	Unidad
Arena	535,5	(g)
Cemento	157,5	(g)
Agua	124,7	(ml)
Fibra	1,98	(g)

Similar a la primera dosificación de la segunda fase, la Tabla 39, Tabla 40 y Tabla 41 muestran las cantidades de material utilizado para elaborar una probeta de cada espécimen con adición de fibra al 0,5%. Para cada ensayo, se elaboró un número diferente de probetas según lo requerido. Se elaboraron diez cubos para compresión, ocho cubos para absorción/densidad, tres prismas para flexión, tres probetas de FRCM para tracción, tres probetas de FRCM para flexión y ocho probetas FRCM para absorción y densidad.

Anexo 18 Fluidez

Este ensayo, realizado según la norma NTE INEN 2502 (2009), permite evaluar si la cantidad de agua en la mezcla es adecuada para garantizar la fluidez del mortero establecida en la norma. Se utilizó una mesa de flujo, que incluye una estructura de hierro rígido y un plato circular con un diámetro de 255 mm y 8 líneas equidistantes (Figura 48), junto con un molde cónico, un calibrador, un apisonador y un enrasador. Siguiendo el procedimiento, se colocó el molde cónico en el centro de la mesa de flujo y se llenó con mortero en dos capas, cada una compactada con 20 golpes del apisonador. Luego, se niveló la muestra de mortero con el borde del molde usando el enrasador, se limpió y secó la superficie de la mesa eliminando cualquier exceso de mortero alrededor del borde del molde, se dejó reposar un minuto y se levantó el molde para ensayarlo. Para ello, se dejó caer la mesa de flujo 25 veces en 15 segundos. Finalmente, se midió el diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la superficie del plato circular con el calibrador de bronce y se registró cada diámetro se puede ver en la Figura 49.



Figura 48 Equipo para ensayo de fluidez en morteros



Figura 49 Ensayo de fluidez en morteros

Anexo 19 Densidad del mortero en estado endurecido

Con el fin de obtener la densidad del mortero endurecido, se debe determinar su volumen real y su masa SSS y seca. Para realizar el ensayo, se debe mantener las probetas sumergidas bajo el agua 72 ± 4 horas antes del ensayo. Luego, se debe pesar la probeta sumergida bajo el agua. Después de obtener dicha medida, se elimina el agua superficial de la probeta secándola con un paño o franela y se registra su peso en condiciones SSS. Por último, se seca la probeta en el horno a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 72 horas hasta masa constante y luego se registra el dato de la probeta seca. En la investigación, se obtuvo la densidad del mortero endurecido en probetas de cubos a 7 y 28 días, para probetas de material compuesto FRCM a la edad de ensayo de 28 días. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso SSS} - \text{Peso Sumergido}}$$

Anexo 20 Tiempo de fraguado (Método VICAT)

El ensayo de tiempo de fraguado se realizó utilizando el método A (aparato manual de aguja de Vicat), según la norma NTE INEN 158 (2009). El aparato Vicat, como se muestra en la Figura 50, incluye un armazón A, una varilla extraíble B con un extremo puntiagudo C y el otro extremo con una aguja de acero desmontable D. La varilla B es reversible y puede ser fijada en la posición deseada por un tornillo fijador E. Tiene un indicador ajustable F que se mueve sobre una escala graduada en milímetros, la cual está adherida al armazón A (NTE INEN 158, 2009).

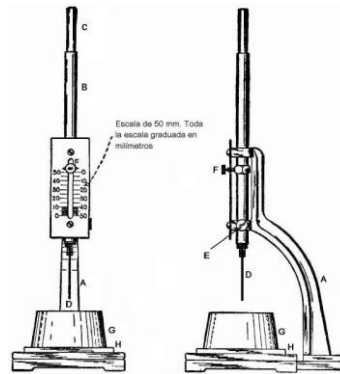


Figura 50 Esquema del equipo VICAT

Nota. Adaptado de "Esquema del Equipo Vicat", por NTE INEN 158, 2009, CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT. Licencia de las normas INEN.

Después de preparar el mortero, se colocó la muestra en el molde cónico y se puso el extremo más ancho del molde sobre una placa no absorbente. Se alisó la muestra con una espátula, dejando lisa la superficie de arriba donde se tomaron las medidas. Inmediatamente después del moldeo, se dejó reposar la muestra durante 30 minutos sin perturbaciones. Pasado el tiempo, se midió la penetración de la aguja, cada 20 minutos a partir de entonces hasta que se logró una penetración de 25 mm o menos (ver Figura 51).

Para llevar a cabo el ensayo de penetración, se baja la aguja D de la varilla B hasta que toca la superficie del mortero. Se ajusta el tornillo de presión E y se pone a cero el indicador F en el extremo superior de la escala y se toma una lectura inicial. Se deja caer la varilla

soltando rápidamente el tornillo de presión E y se permite que la aguja descienda. Luego, se toma la lectura para determinar la penetración (ver Figura 51). Cada ensayo de penetración se realiza al menos a 5 mm de distancia de cualquier penetración anterior y al menos a 10 mm de distancia de la cara interior del molde. Se registran los resultados de todos los ensayos de penetración y se determina el tiempo en que se obtiene una penetración de 25 mm o menos. El tiempo transcurrido cuando la penetración es de 25 mm se conoce como tiempo de fraguado inicial vicat (NTE INEN 158, 2009).

Tras la primera medición de una penetración de 25 mm o menos, se debe confirmar el fraguado final realizando dos mediciones de penetración adicionales en áreas diferentes de la superficie del espécimen. Las mediciones de verificación deben obtenerse dentro de los 90 segundos posteriores a la primera lectura del tiempo de fraguado final.



Figura 51 Ensayo de tiempo de fraguado

Anexo 21 Resistencia a la compresión de morteros

El procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de los morteros se basa en la norma NTE INEN 488 (2009) Las muestras se prepararon utilizando cubos de 50 mm de arista a los que se les aplicó un agente desmoldante. Las mezclas de mortero, con las dosificaciones mencionadas anteriormente, se usaron para llenar los moldes en dos capas. Cada capa se compactó 32 veces en cuatro rondas, con ocho golpes en cada ronda en una dirección perpendicular a la anterior, como se muestra en Figura 52. Se completaron cuatro rondas de apisonado del mortero en un cubo antes de pasar al siguiente. Después de la compactación, se eliminó el exceso de mortero en el borde del molde con una espátula y se alisó la superficie.

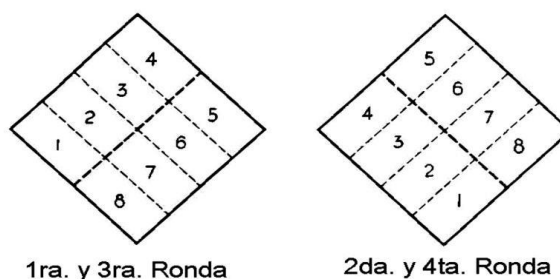


Figura 52 Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo

Nota. Adaptado de "Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo", por NTE INEN 488, 2009, CEMENTO HIDRÁULICO. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. Licencia de las normas INEN.



Figura 53 Probetas elaboradas para los ensayos de compresión

Una vez completado el moldeo, las muestras se colocaron en un lugar protegido para evitar la caída de gotas de agua, evitando que las caras superiores estén expuestas al aire húmedo durante 24 horas. Después de este período, se desmoldaron e identificaron las muestras de mortero (ver Figura 53) y se sumergieron en la piscina de curado.

Para determinar la dosificación óptima para la fabricación del material compuesto FRCM con fibras de abacá, se decidió medir la resistencia a la compresión de cada una de las muestras elaboradas utilizando la máquina universal. Para ello, se extrajeron los especímenes de la piscina de curado a los 7 y 28 días. Cada muestra fue secada hasta una condición SSS y se eliminaron los granos sueltos de arena u otras incrustaciones antes de tomar sus medidas.

Al colocar las muestras en la máquina de ensayo, es importante asegurarse de que las caras de los especímenes estén completamente niveladas. Por lo tanto, para el ensayo, se decidió utilizar las caras que estaban en contacto con las superficies planas del molde un diagrama es como se ve en Figura 54. Siguiendo estos pasos, se obtuvieron los primeros resultados.

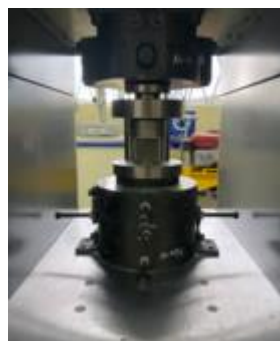


Figura 54 Ensayo de compresión de cubos de mortero

La fórmula que se utilizó para calcular la resistencia máxima a la compresión fue:

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

- R: Resistencia a la compresión
- F: Carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo
- R: Área de la sección transversal

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se procedió a modificar la dosificación para mejorar la capacidad de resistencia a la compresión. Se obtuvieron las dosificaciones mejoradas para las probetas con fibra. Se conservó la dosificación y los resultados para el mortero de control, ya que la dosificación fue la adecuada para este mortero de control. Se ensayaron tres nuevas probetas con las nuevas dosificaciones a los 7 días, dos a los 14 días, dos a los 21 días y tres a los 28 días.

Anexo 22 Resistencia a la flexión en prismas

La determinación de la resistencia a la flexión de los morteros se realizó de acuerdo con la norma NTE INEN 198 (1987). Se utilizaron prismas de 40x40x160 mm que se llenaron en dos capas con volúmenes iguales y luego se compactaron 12 veces en tres rondas de cuatro golpes cada una, siguiendo la dirección indicada en la Figura 55.

1	2
4	3

Figura 55 Orden de apisonamiento en el molde de los especímenes

Nota. Adaptado de "Orden de apisonado en el molde de los especímenes" (1-2), por NTE INEN 198, 1987, CEMENTO. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros. Licencia de las normas INEN.

El proceso de almacenamiento de los prismas de ensayo sigue el mismo procedimiento que el almacenamiento de las muestras para el ensayo de resistencia a la compresión en morteros. La evaluación del esfuerzo de flexión en el mortero se realizó siguiendo la norma ASTM C78-09 (2008). Se utilizó una viga simplemente apoyada con carga en el centro de la luz, tal como se muestra en la Figura 56.

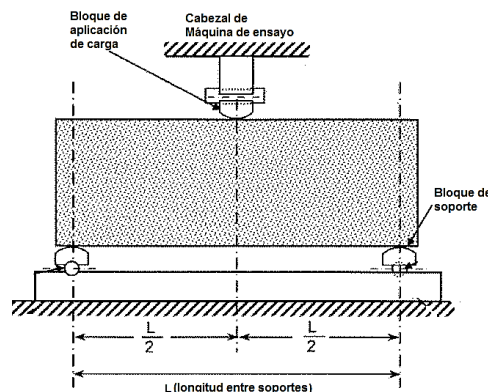


Figura 56 Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.

Nota. Adaptado de "Vista diagramática de un aparato adecuado para la prueba de flexión de concreto por el método de carga de tres puntos", por ASTM C78-09, 2008), Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando una Viga Simple con Carga de Tercer Punto). Licencia de las normas ASTM

La máquina Humboldt “Master Loader” usada a compresión permitió registrar la carga máxima y la deformación de las muestras ensayadas, con una velocidad de ensayo programada de 1,778 mm/min la colocación de la probeta es la mostrada en la Figura 57. Tras obtener los datos del ensayo, se tabularon y se calculó la resistencia a la flexión del mortero utilizando la fórmula mostrada a continuación:

$$R = \frac{3PL}{2 b^3}$$

Donde:

- R: resistencia a la flexión
- P: carga maxima aplicada
- b: ancho promedio de la muestra
- L: longitud entre apoyos



Figura 57 Diagrama del equipo usado para el ensayo de flexión.

Con los resultados de la resistencia a la flexión en conjunto con la deformación máxima alcanzada antes de la rotura, se pudo seleccionar las cantidades de fibra que son aptas para ser ensayadas dentro del FRCM y modificar su dosificación para alcanzar los objetivos de otras propiedades mecánicas.

Anexo 23 Caracterización del material compuesto

Basándonos en los resultados obtenidos por (Cevallos, 2015) se decidió desarrollar un material compuesto fibro-reforzado (FRCM). Para la elaboración de las muestras, se utilizó un molde de metal de 30x5x2 cm y fibra suelta de abacá tratada con NaOH en las cantidades volumétricas que corresponden a cada probeta. Se empezó aplicando una sustancia desencofrante sobre el molde para posteriormente verter la mezcla elaborada manualmente en dos capas, como estipula la norma de prismas, compactando para evitar vacíos en las muestras (ver Figura 58).



Figura 58 Elaboración del FRCM.

Anexo 24 Densidad del material compuesto

Para determinar la densidad del material compuesto fibro-reforzado de abacá, se siguió la norma NTE INEN 198 (1987) y se aplicaron las pautas para realizar esta prueba. En la Figura 59 se muestra cómo se tomó los pesos para este ensayo.



Figura 59 Material compuesto en balanza de muestras.

Para la obtención de la densidad, se aplicó el principio de Arquímedes, es decir, la relación que existe entre el peso seco dividido por la diferencia del peso SSS y peso sumergido. Se aplicó este concepto a las muestras a los 7 días y 28 días.

Anexo 25 Porcentaje de absorción del material compuesto

La norma ASTM C642-21 (1997) se utilizó para determinar el porcentaje de absorción del material compuesto. Las muestras se sumergieron en agua durante 24 horas, luego se retiró el exceso de agua de cada una de ellas con un papel absorbente y se pesaron para determinar el peso en condición SSS y seco. Después de completar este paso, se colocaron las muestras en el horno a una temperatura de 110 °C y se dejaron secar durante 24 horas (Figura 60). Luego, se pesaron para determinar el peso seco. La fórmula para calcular el porcentaje de absorción es la siguiente:

$$\% \text{Absorción} = \frac{\text{peso}_{\text{SSS}} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$$



Figura 60 Muestra dentro del horno de secado.

Anexo 26 Resistencia a la flexión de material compuesto

El ensayo de resistencia a la flexión se llevó a cabo utilizando muestras de mortero de control y mortero fibro-reforzado de abacá con probetas de material compuesto FRCM, con el objetivo de comparar el comportamiento entre este tipo de probetas y las prismáticas. El método aplicado en este ensayo hace que la máquina Humboldt “Master Loader” se

programé para operar a una velocidad de ensayo de 5 mm/min la posición en la que se coloca la muestra en este equipo se muestra en la Figura 61. Una vez recopilados los datos de los ensayos, se determinó la resistencia a la flexión utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

- R: resistencia a la flexión
- P: carga máxima aplicada
- b: ancho promedio de la muestra
- d: espesor promedio de la muestra
- L: longitud entre apoyos



Figura 61 Ensayo de flexión del FRCM.

Anexo 27 Resistencia a la tracción

Debido a que las muestras eran secciones frágiles, optamos por adherirlas a placas de acero de 5,5x12 cm. Esta medida nos permitió prevenir la degradación de las propiedades del material compuesto y del mortero antes el proceso de ensayo, además de que sirvió como un acople para ensayar en la máquina a tracción tal como se muestra en la Figura 62.



Figura 62 Placas de acero colocadas como mordazas en las probetas de material compuesto a ser ensayadas.

Una vez preparadas las muestras a ser ensayadas, se colocaron con todos sus acoples en el equipo correspondiente, quedando como se muestra en la Figura 63. Siguiendo este procedimiento, se obtuvieron los resultados necesarios para realizar las gráficas de esfuerzo vs deformación de este ensayo.



Figura 63 Diagrama del equipo preparado para el ensayo de tracción de probetas de material compuesto.

Anexo 28 Cálculo de la densidad aparente en FNT.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DE FIBRA NO TRATADA						
Tipo de Fibra	Nombre de comercialización	Procedencia del material	A	W	B	sp-gr-°C
			Muestra seca (g)	Masa (canastilla sumergida) (g)	Masa (aparente de la muestra sumergida) (g)	Densidad aparente a los 23 °C (g/cm ³)
Natural	Abacá	Sto.	1,58	19,80	20,07	1,21
		Domingo de los Tsáchilas	1,50	17,15	17,41	1,21
			1,53	17,15	17,43	1,22
Promedio (g/cm ³)						1,213
Desviación estándar (g/cm ³)						0,0094
Coeficiente de variación (%)						0,7805

Anexo 29 Cálculo de la densidad aparente en FT.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DE FIBRA TRATADA						
Tipo de Fibra	Nombre de comercialización	Procedencia del material	A	W	B	sp-gr-°C
			Muestra seca (g)	Masa (canastilla sumergida) (g)	Masa (aparente de la muestra sumergida) (g)	Densidad aparente a los 23 °C (g/cm ³)
Natural	Abacá	Sto.	1,51	19,21	19,48	1,22
		Domingo de los Tsáchilas	1,48	17,18	17,45	1,22
			1,52	17,1	17,42	1,21
Promedio (g/cm ³)						1,216
Desviación estándar (g/cm ³)						0,0085
Coeficiente de variación (%)						0,7050

Anexo 30 Cálculo de la densidad lineal en FNT.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD LINEAL DE FIBRA NO TRATADA						
Tipo de Fibra	Nombre de comercialización	Procedencia del material	Muestra N°	A	B	DI
				Peso (g)	Longitud (cm)	Densidad lineal (g/km)
Natural	Abacá	Sto. Domingo de los Tsáchilas	1	0,0873	150,0	58,20
			2	0,0862	150,5	57,28
			3	0,0884	150,1	58,89
Promedio (g/km)						58,120
Desviación estándar (g/km)						0,811
Coeficiente de variación (%)						1,396

Anexo 31 Cálculo de la densidad lineal en FT.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD LINEAL DE FIBRA TRATADA						
Tipo de Fibra	Nombre de comercialización	Procedencia del material	Muestra N°	A	B	DI
				Peso (g)	Longitud (cm)	Densidad (g/km)
Natural	Abacá	Sto. Domingo de los Tsáchilas	1	0,0875	150	58,33
			2	0,0852	150	56,80
			3	0,0884	150	58,93
Promedio (g/km)						58,022
Desviación estándar (g/km)						1,100
Coeficiente de variación (%)						1,896

Anexo 32 Cálculo del porcentaje de absorción de la FNT.

Tipo de fibra	Muestra N°	Peso seco (g)	Peso sss (g)	Absorción (%)
No Tratada	1	1,6041	2,83	76,423
	2	1,8459	3,301	78,829
	3	2,0055	3,525	75,767
Promedio (%)				77,006
Desviación estándar (%)				1,612
Coeficiente de variación (%)				2,093

Anexo 33 Cálculo del porcentaje de absorción de la FT.

Tipo de fibra	Muestra N°	Peso seco (g)	Peso sss (g)	Absorción (%)
Tratada con NaOH	1	1,504	2,658	76,729
	2	1,0373	1,82939	76,361
	3	1,5215	2,692	76,931
Promedio (%)				76,673
Desviación estándar (%)				0,288
Coeficiente de variación (%)				0,376

Anexo 34 Cálculo de la resistencia a tracción de las FNT.

Muestra N°	Carga Max (N)	Área del hilo (mm ²)	Resistencia tracción (MPa)	Deformación ϵ (mm/mm)
1	25,54	0,041	614,787	0,025
2	23,32	0,038	613,517	0,021
3	21,10	0,034	609,211	0,023
4	22,95	0,038	603,779	0,023
5	21,84	0,038	574,563	0,025
6	21,10	0,034	609,211	0,020
7	24,80	0,041	596,968	0,021
8	22,95	0,038	603,779	0,019
9	22,58	0,038	594,041	0,020
10	21,84	0,038	574,563	0,018
Promedio			599,441	0,022
Desviación estándar			14,663	0,0024
Coeficiente de variación (%)			2,446	11,233

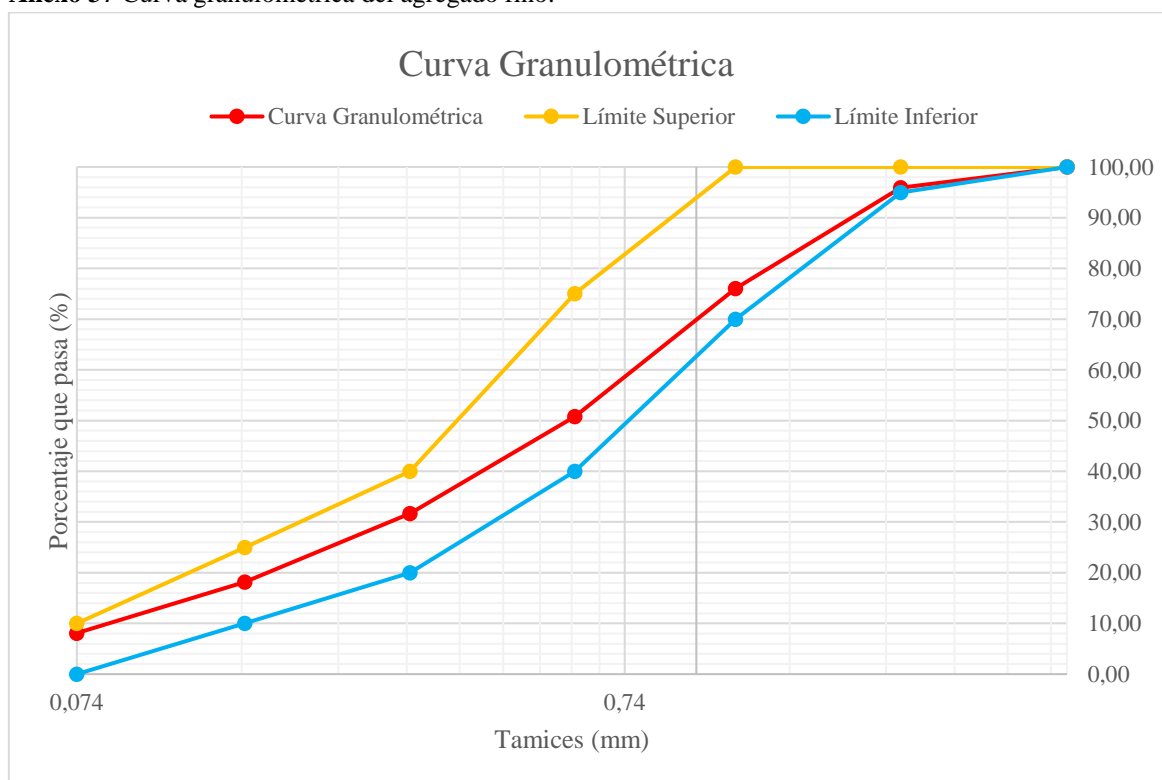
Anexo 35 Cálculo de la resistencia a tracción de las FT.

Muestra N°	Carga (N)	Área del hilo (mm ²)	Resistencia tracción (MPa)	Deformación ϵ (mm/mm)
1	17,02	0,03463	491,644	0,015
2	17,39	0,0380	457,703	0,017
3	15,91	0,0314	506,687	0,016
4	16,58	0,0314	530,254	0,015
5	16,28	0,038	428,488	0,013
6	16,28	0,0346	470,268	0,015
7	15,54	0,0314	494,904	0,016
8	15,73	0,0346	454,237	0,014
9	15,36	0,0314	489,012	0,015
10	15,73	0,0314	500,796	0,017
Promedio			482,399	0,015
Desviación estándar			29,740	0,0012
Coeficiente de variación (%)			6,165	8,180

Anexo 36 Determinación de la distribución granulométría del agregado fino.

Tamiz	Abertura tamiz INEN (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje R. acumulado (%)	Porcentaje pasa (%)	Límites Específicos	
						Superior	Inferior
No 4	4,75	0	0	0	100	100	100
No 8	2,36	10,2	4,086	4,086	95,913	100	95
No 16	1,18	49,6	19,871	23,958	76,041	100	70
No 30	0,6	63,1	25,280	49,238	50,761	75	40
No 50	0,3	47,6	19,070	68,309	31,690	40	20
No 100	0,15	33,7	13,501	81,810	18,189	25	10
No 200	0,074	25,2	10,096	91,907	8,092	10	0
Bandeja		20,1	8,052	100	0,040		
Sumatoria		249,5	100				
Porcentaje de error (%)		0,40					
TM (mm)		4,75					
TNM (mm)		2,36					
Módulo de finura		3,19					

Anexo 37 Curva granulométrica del agregado fino.



Anexo 38 Datos para la determinación de densidades del agregado fino.

DATOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES DE AGREGADO FINO						
Tipo de agregado	Nombre de comercialización	Procedencia del material	A	B	C	S
			Muestra seca (g)	Masa (pic+H20 aforo) (g)	Masa (pic+muestra+H20 aforo) (g)	Muestra SSS (g)
Fino	Polvo de piedra	Cerro Negro	465,5	1239,8	1505,3	500,6
			468,7	1241,8	1515,2	501,9
			466,1	1239,8	1532	500

Anexo 39 Cálculo de densidades del agregado fino.

DENSIDADES DE AGREGADO FINO						
	SGsh	SGsss	SGa	òsh	òsss	òa
	Gravedad específica SH	Gravedad específica SSS	Gravedad específica aparente	Densidad SH (kg/m³)	Densidad SSS (kg/m³)	Densidad A (kg/m³)
	1,980	2,129	2,327	1975,296	2124,238	2321,961
	2,051	2,196	2,399	2046,321	2191,271	2394,185
	2,243	2,406	2,680	2237,683	2400,433	2673,896
Promedio	2,091	2,244	2,469	2086,434	2238,648	2463,348
Desviación estándar	0,136	0,145	0,187	135,715	144,064	185,882
Coefficiente de variación (%)	6,506	6,441	7,556	6,505	6,435	7,546

Anexo 40 Cálculo del porcentaje de absorción del agregado fino.

ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO					
Tipo de agregado	Nombre de comercialización	Procedencia del material	A	S	Porcentaje de Absorción (%)
			Muestra seca (g)	Muestra SSS (g)	
Fino	Polvo de piedra	Cerro Negro	465,5	500,6	7,540
			468,7	501,9	7,083
			466,1	500,0	7,273
Promedio (%)					7,299
Desviación estándar (%)					0,229
Coefficiente de variación (%)					3,144

Anexo 41 Cálculo de la masa unitaria suelta MUS del agregado fino.

DATOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS SUELTAS (MUS)								
Tipo de agregado	Nombre comercial	Procedencia del material	G			T	V	MUS (kg/m³)
			Masa (árido + molde) (kg)			Masa molde (kg)	Volumen molde (m³)	
Fino	Polvo de piedra	Cerro Negro	G1	G2	G3	3,138	0,00298	1557,444
			7,785	7,783	7,778			
			G promedio (kg)					
S desviación estándar (kg)			0,00346					

Anexo 42 Cálculo de la masa unitaria compactada MUC del agregado fino.

DATOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS COMPACTADAS (MUC)								
Tipo de agregado	Nombre comercial	Procedencia del material	G			T	V	MUC (kg/m³)
			Masa (árido + molde) (kg)			Masa molde (kg)	Volumen molde (m³)	
Fino	Polvo de piedra	Cerro Negro	G1	G2	G3	3,138	0,00298	1726,088
			8,264	8,267	8,323			
			G promedio (kg)					
S desviación estándar(kg)			0,0328					

Anexo 43 Determinación del grado de contenido orgánico del agregado fino.

Tipo de agregado	Tipo de Material	Tipo de procedencia del material	Nombre de la mina	Masa inicial seca (g)	Número del comparador	Escala de Gardner
Fino	Polvo de piedra	Triturado	Cerro negro	450	1	5

Tablas y gráficas del ensayo de fluidez y tiempo de fraguado

Anexo 44 Cálculo de la fluidez de los morteros de la fase 1 y 2.

Muestras	Dosificación 1:5	Lectura N°	Diámetro del mortero %					
			MC	M1-0,3	M1-0,5	M1-0,75	M2-0,3	M2-0,5
Muestra 1		1	115	116	115	117	116	116
		2	116	116	116	116	116	115
		3	114	115	117	115	115	116
		4	115	117	115	116	116	117
Muestra 2		1	116	115	115	117	116	114
		2	116	116	117	115	116	114
		3	117	117	115	115	115	116
		4	115	115	116	116	115	115
Promedio (%)			115,50	115,88	115,75	115,88	115,63	115,38
Desviación estándar (%)			0,926	0,835	0,886	0,835	0,518	1,061
Coeficiente de variación (%)			0,802	0,720	0,766	0,720	0,448	0,919

Anexo 45 Cálculo del tiempo de fraguado de los morteros de la fase 1 y 2.

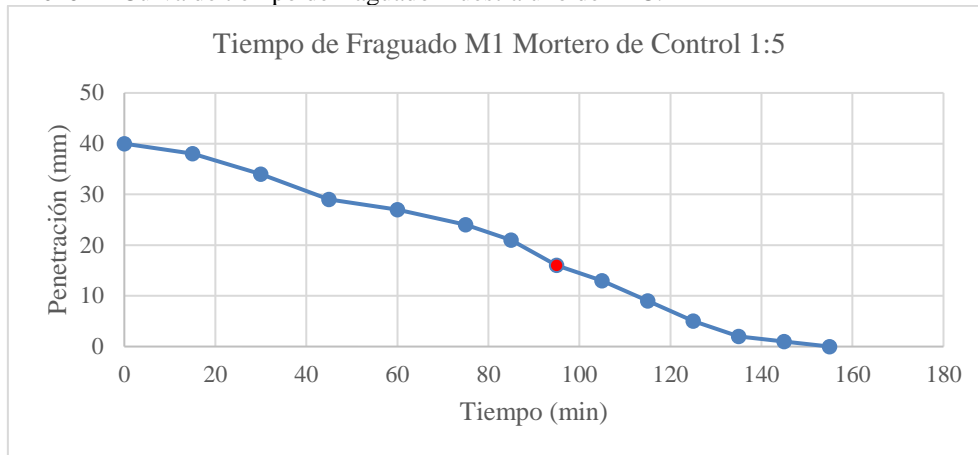
Tipo de Mortero Dosificación 1:5	Tiempo de fraguado	Muestra 1 (min)	Muestra 2 (min)	Promedio (min)
MC	TFI	95	97,5	96,25
	TFF	195	195	195
M1-0,3	TFI	70	69	69,5
	TFF	155	155	155
M1-0,5	TFI	70	67,5	68,75
	TFF	145	145	145
M1-0,75	TFI	65	70	67,5
	TFF	135	135	135
M2-0,3	TFI	71,25	67,5	69,37
	TFF	155	155	155
M2-0,5	TFI	60	57,85	58,92
	TFF	135	135	135

Tiempo de fraguado fase 1.

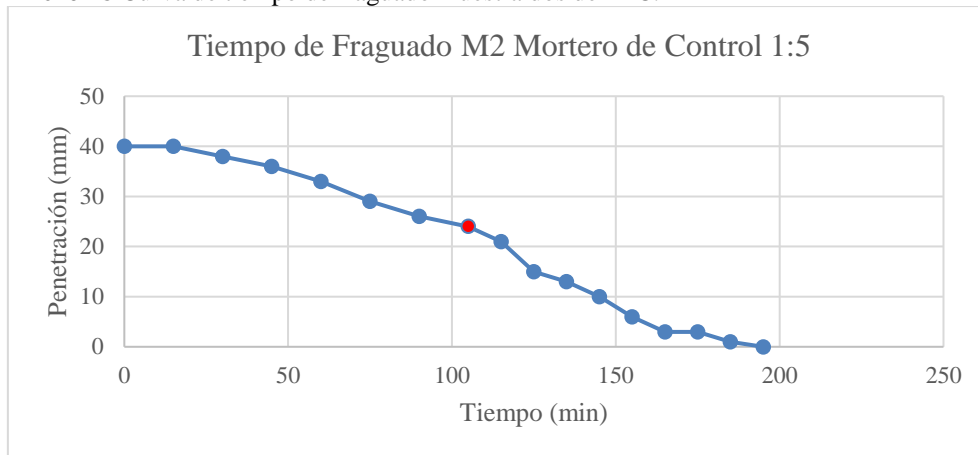
Anexo 46 Lecturas del tiempo de fraguado del MC.

Muestra 1			Muestra 2		
Hora m1	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Hora m2	Tiempo (min)	Penetración (mm)
10:43	0	40	10:45	0	40
10:58	15	40	11:00	15	40
11:13	30	37	11:15	30	38
11:28	45	36	11:30	45	36
11:43	60	34	11:45	60	33
11:58	75	30	12:00	75	29
12:13	90	26	12:15	90	26
12:28	105	23	12:30	105	24
12:38	115	20	12:40	115	21
12:48	125	15	12:50	125	15
12:58	135	12	13:00	135	13
13:08	145	10	13:10	145	10
13:18	155	6	13:20	155	6
13:28	165	3	13:30	165	3
13:38	175	2	13:40	175	3
13:48	185	1	13:50	185	1
13:58	195	0	14:00	195	0

Anexo 47 Curva de tiempo de fraguado muestra uno del MC.



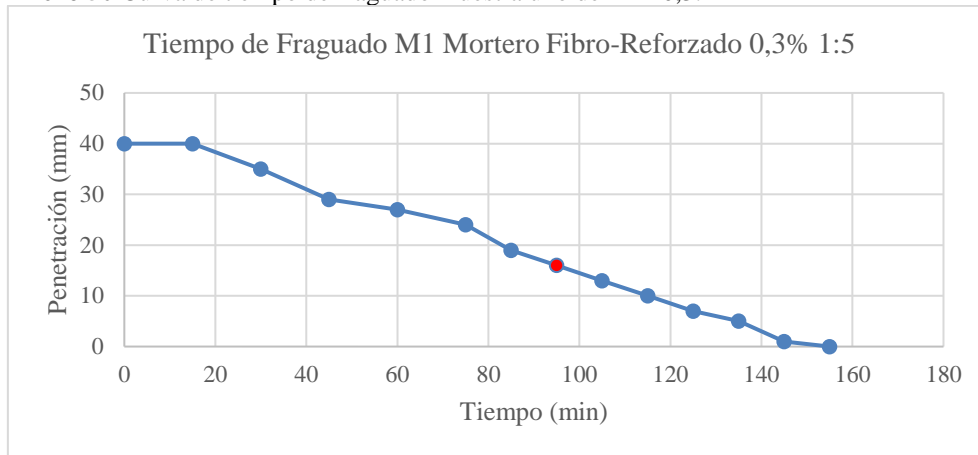
Anexo 48 Curva de tiempo de fraguado muestra dos del MC.



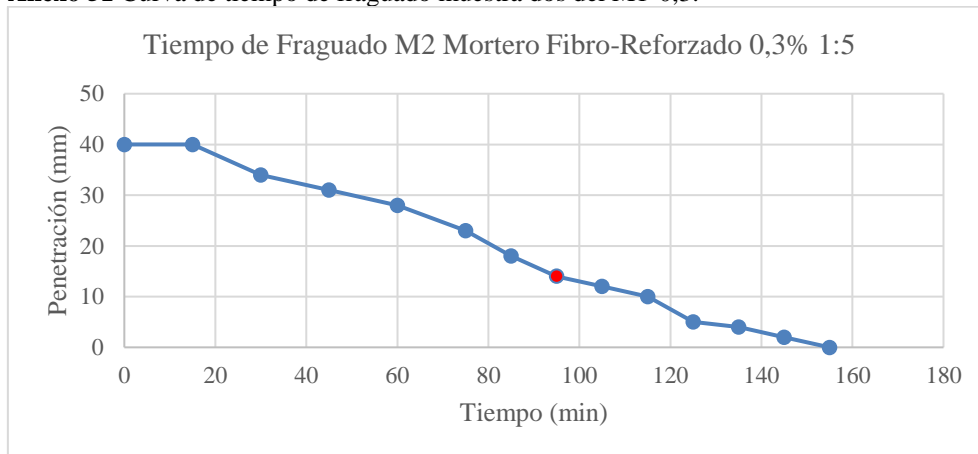
Anexo 49 Lecturas del tiempo de fraguado del M1-0,3.

Muestra 1			Muestra 2		
Hora m1	Tiempo min	Penetración (mm)	Hora m2	Tiempo (min)	Penetración (mm)
13:10	0	40	13:12	0	40
13:25	15	40	13:27	15	40
13:40	30	35	13:42	30	34
13:55	45	29	13:57	45	31
14:10	60	27	14:12	60	28
14:25	75	24	14:27	75	23
14:35	85	19	14:37	85	18
14:45	95	16	14:47	95	14
14:55	105	13	14:57	105	12
15:05	115	10	15:07	115	10
15:15	125	7	15:17	125	5
15:25	135	5	15:27	135	4
15:35	145	1	15:37	145	2
15:45	155	0	15:47	155	0

Anexo 50 Curva de tiempo de fraguado muestra uno del M1-0,3.



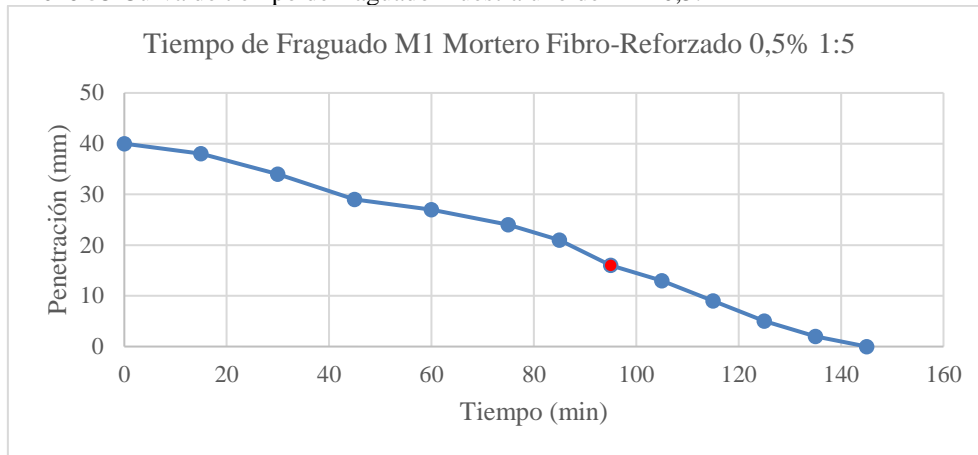
Anexo 51 Curva de tiempo de fraguado muestra dos del M1-0,3.



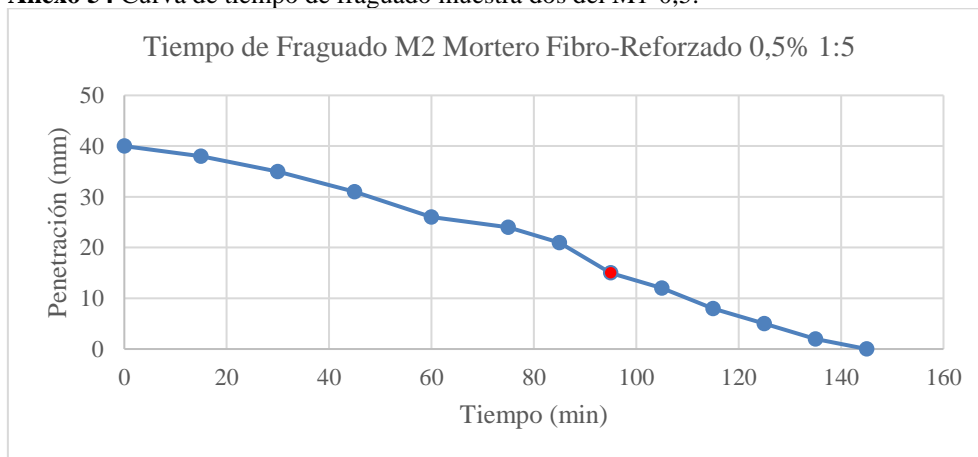
Anexo 52 Lecturas del tiempo de fraguado del M1-0,5.

Muestra 1			Muestra 2		
Hora m1	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Hora m2	Tiempo (min)	Penetración (mm)
13:30	0	40	13:32	0	40
13:45	15	38	13:47	15	38
14:00	30	34	14:02	30	35
14:15	45	29	14:17	45	31
14:30	60	27	14:32	60	26
14:45	75	24	14:47	75	24
14:55	85	21	14:57	85	21
15:05	95	16	15:07	95	15
15:15	105	13	15:17	105	12
15:25	115	9	15:27	115	8
15:35	125	5	15:37	125	5
15:45	135	2	15:47	135	2
15:55	145	0	15:57	145	0

Anexo 53 Curva de tiempo de fraguado muestra uno del M1-0,5.



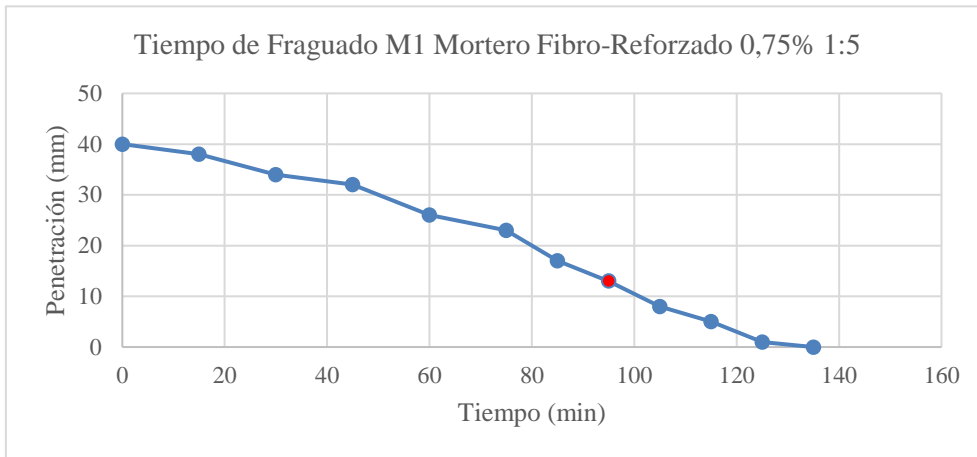
Anexo 54 Curva de tiempo de fraguado muestra dos del M1-0,5.



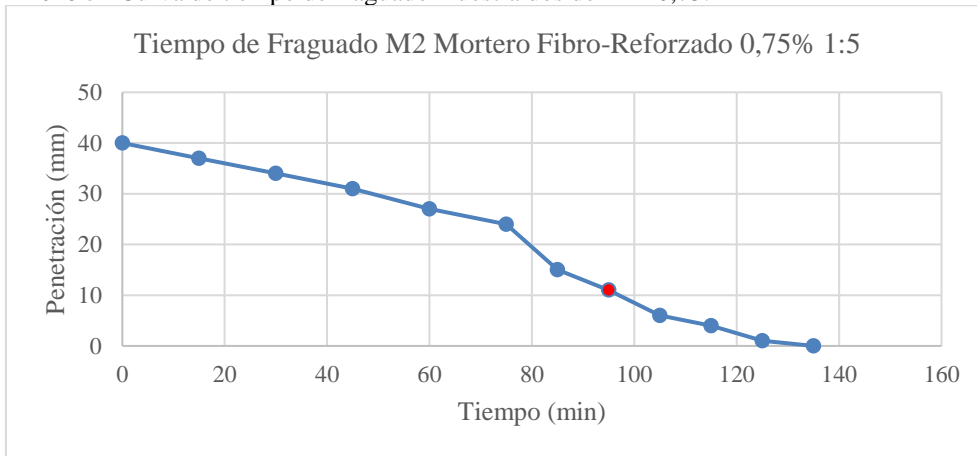
Anexo 55 Lecturas del tiempo de fraguado del M1-0,75.

Muestra 1			Muestra 2		
Hora m1	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Hora m2	Tiempo (min)	Penetración (mm)
13:50	0	40	13:52	0	40
14:05	15	38	14:07	15	37
14:20	30	34	14:22	30	34
14:35	45	32	14:37	45	31
14:50	60	26	14:52	60	27
15:05	75	23	15:07	75	24
14:15	85	17	15:17	85	15
15:25	95	13	15:27	95	11
15:35	105	8	15:37	105	6
15:45	115	5	15:47	115	4
15:55	125	1	15:57	125	1
16:05	135	0	16:07	135	0

Anexo 56 Curva de tiempo de fraguado muestra uno del M1-0,75.



Anexo 57 Curva de tiempo de fraguado muestra dos del M1-0,75.

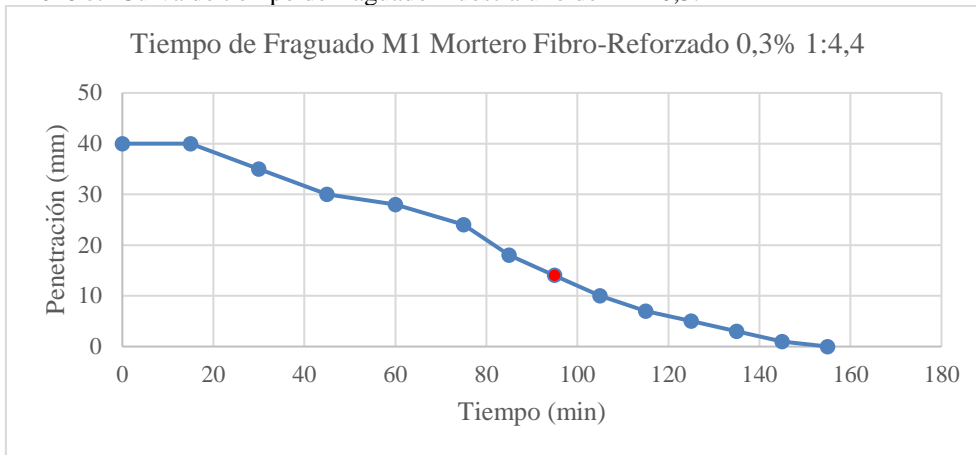


Tiempo de fraguado fase 2

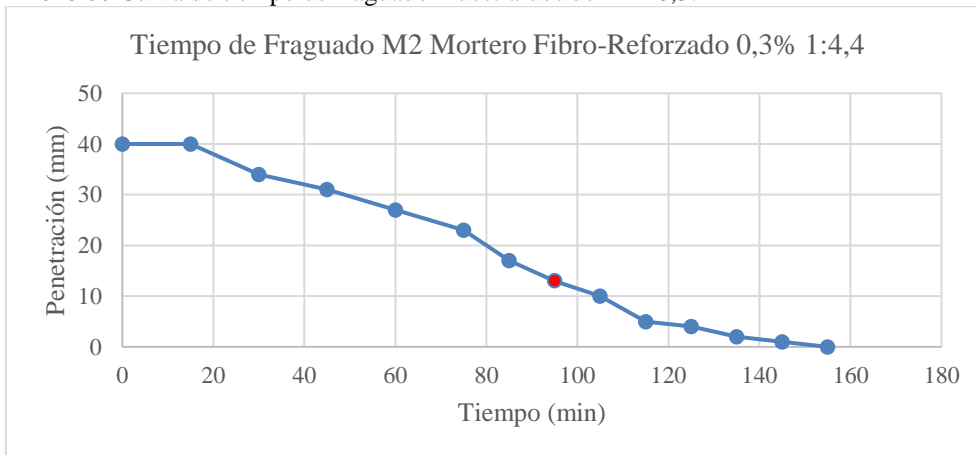
Anexo 58 Lecturas del tiempo de fraguado del M2-0,3.

Muestra 1			Muestra 2		
Hora m1	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Hora m2	Tiempo (min)	Penetración (mm)
9:10	0	40	13:10	0	40
9:25	15	40	13:25	15	40
9:40	30	35	13:40	30	34
9:55	45	30	13:55	45	31
10:10	60	28	14:10	60	27
10:25	75	24	14:25	75	23
10:35	85	18	14:35	85	17
10:45	95	14	14:45	95	13
10:55	105	10	14:55	105	10
11:05	115	7	15:05	115	5
11:15	125	5	15:15	125	4
11:25	135	3	15:25	135	2
11:35	145	1	15:35	145	1
11:45	155	0	15:45	155	0

Anexo 59 Curva de tiempo de fraguado muestra uno del M2-0,3.



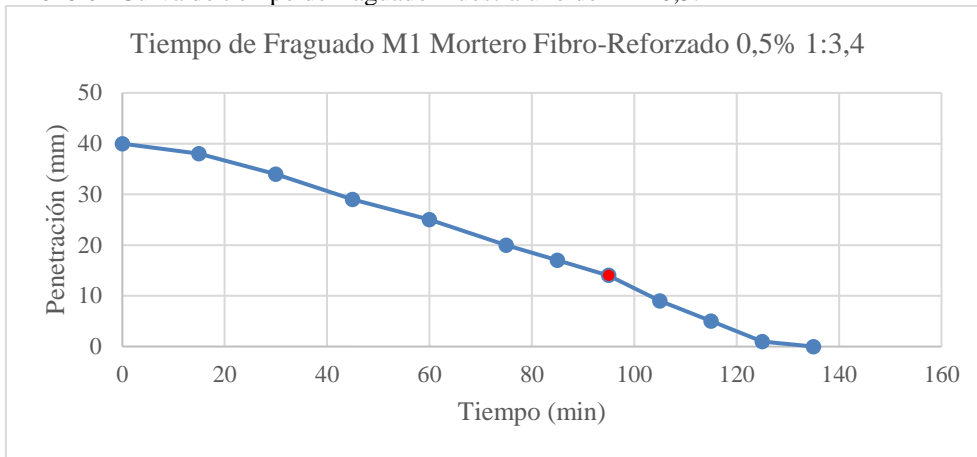
Anexo 60 Curva de tiempo de fraguado muestra dos del M2-0,3.



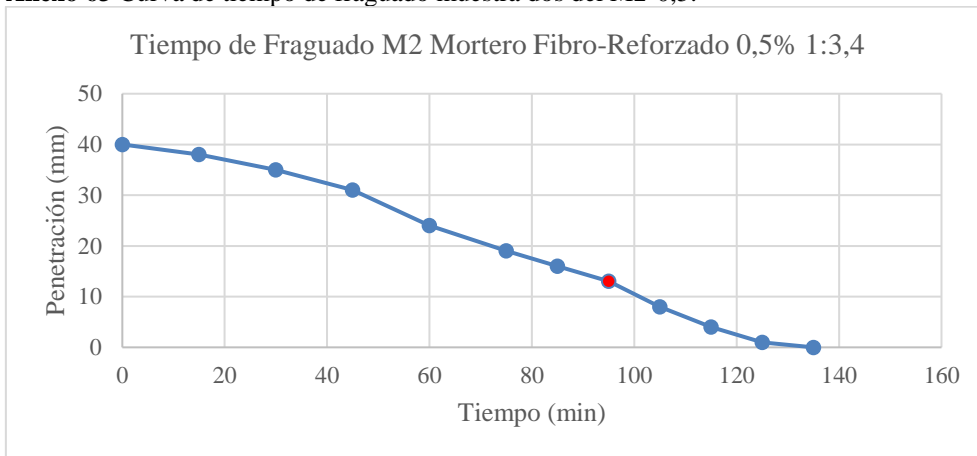
Anexo 61 Lecturas del tiempo de fraguado del M2-0,5.

Muestra 1			Muestra 2		
Hora m1	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Hora m2	Tiempo (min)	Penetración (mm)
8:30	0	40	13:32	0	40
8:45	15	38	13:47	15	38
9:00	30	34	14:02	30	35
9:15	45	29	14:17	45	31
9:30	60	25	14:32	60	24
9:45	75	20	14:47	75	19
9:55	85	17	14:57	85	16
10:05	95	14	15:07	95	13
10:15	105	9	15:17	105	8
10:25	115	5	15:27	115	4
10:35	125	1	15:37	125	1
10:45	135	0	15:47	135	0

Anexo 62 Curva de tiempo de fraguado muestra uno del M2-0,5.



Anexo 63 Curva de tiempo de fraguado muestra dos del M2-0,5.



Anexo 64 Cálculo de la resistencia a compresión en la fase 1.

Dosificación 1:5	Edad (días)	Probeta	Dimensiones				Carga máxima (kN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)						
MC	7	1	49	50	49	2450	19,63	8,012	0,0256	8,038	0,0261	2,61%
		2	49	50	49	2450	19,70	8,041	0,0267			
		3	49	50	49	2450	19,75	8,061	0,0261			
	28	1	50	49	50	2450	30,30	12,367	0,0105	12,482	0,0112	1,12%
		2	50	49	50	2450	30,52	12,457	0,0111			
		3	50	49	50	2450	30,92	12,620	0,0119			
M1-0,3	7	1	50	50	50	2500	18,66	7,464	0,0129	7,545	0,0139	1,39%
		2	49	50	50	2450	18,14	7,404	0,0130			
		3	48	50	50	2400	18,64	7,767	0,0159			
	28	1	49	50	50	2450	28,64	11,690	0,0221	11,744	0,0220	2,20%
		2	49	50	50	2450	28,89	11,792	0,0213			
		3	49	50	50	2450	28,79	11,751	0,0227			
M1-0,5	7	1	50	50	50	2500	16,28	6,512	0,0141	6,464	0,0136	1,36%
		2	50	50	50	2500	16,24	6,496	0,0151			
		3	50	50	50	2500	15,96	6,384	0,0115			
	28	1	49	50	50	2450	28,33	11,563	0,0203	11,528	0,0207	2,07%
		2	49	50	50	2450	28,48	11,624	0,0220			
		3	49	50	50	2450	27,92	11,396	0,0199			
M1-0,75	7	1	49	50	50	2450	15,48	6,318	0,0140	6,238	0,0141	1,41%
		2	49	50	50	2450	15,10	6,163	0,0138			
		3	49	50	50	2450	15,27	6,233	0,0144			
	28	1	49	50	50	2450	26,01	10,616	0,0190	10,639	0,0196	1,96%
		2	49	50	50	2450	26,12	10,661	0,0201			
		3	49	50	50	2450	26,07	10,641	0,0198			

Anexo 65 Cálculo de la resistencia a flexión en la fase 1.

Dosificación 1:5	Probeta	Dimensiones				Carga máxima (kN)	Resistencia a Flexión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Distancia entre apoyos (mm)						
MC	1	160	40	40	100	1016,84	2,383	0,0102	2,379	0,0102	1,02%
	2	160	40	40	100	1030,95	2,416	0,0108			
	3	160	40	40	100	997,07	2,337	0,0095			
M1-0,3	1	160	40	40	100	1325,57	3,107	0,0165	3,149	0,0163	1,63%
	2	160	40	40	100	1343,36	3,149	0,0154			
	3	160	40	40	100	1361,15	3,190	0,0170			
M1-0,5	1	160	40	40	100	1214,36	2,846	0,0157	2,829	0,0152	1,52%
	2	160	40	40	100	1214,36	2,846	0,0149			
	3	160	40	40	100	1192,12	2,794	0,0151			
M1-0,75	1	160	40	40	100	1067,57	2,502	0,0148	2,510	0,0148	1,48%
	2	160	40	40	100	1068,57	2,504	0,0149			
	3	160	40	40	100	1076,47	2,523	0,0147			

Anexo 66 Cálculo de la resistencia a compresión en la fase 2.

Tipo	Dosificación	Edad (días)	Probeta	Dimensiones				Carga máxima (kN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)	
				Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)							
M2-0,3	1:4,4	7	1	50	50	50	2500	21,77	8,708	0,0197	8,668	0,020	2,0%	
			2	50	50	51	2500	21,65	8,660	0,0198				
			3	50	50	50	2500	21,59	8,636	0,0197				
		14	1	50	50	49	2500	23,4	9,360	0,0227	9,463	0,021	2,1%	
			2	49	49	50	2401	22,97	9,567	0,0203				
			21	1	50	50	50	2500	27,3	10,920				0,0245
	2	50	50	49	2500	27,35	10,940	0,0250						
	28	1	50	50	49	2500	31,19	12,476	0,0250	12,631	0,025	2,5%		
		2	49	50	49	2450	31,08	12,686	0,0240					
		3	49	50	49	2450	31,19	12,731	0,0250					
	M2-0,5	1:3,4	7	1	50	50	50	2500	20,95	8,380	0,0188	8,352	0,019	1,9%
				2	50	50	50	2500	21,12	8,448	0,0178			
3				50	50	50	2500	20,57	8,228	0,0198				
14			1	49	49	50	2401	22,54	9,388	0,0191	9,417	0,021	2,1%	
			2	49	49	49	2401	22,68	9,446	0,0219				
			21	1	50	51	50	2550	27,82	10,910				0,0250
2		51	50	51	2550	27,38	10,737	0,0268						
28		1	49	50	49	2450	31,00	12,653	0,0241	12,552	0,024	2,4%		
		2	49	49	49	2401	29,81	12,416	0,0243					
		3	49	50	50	2450	30,84	12,588	0,0237					

Anexo 67 Cálculo de la resistencia a flexión en la fase 2.

Tipo	Dosificación	Probeta	Dimensiones				Carga máxima (kN)	Resistencia a Flexión (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Distancia entre apoyos (mm)						
M2-0,3	1:4,4	1	160	40	40	100	1325,57	3,107	0,0165	3,030	0,0171	1,71%
		2	160	40	40	100	1249,95	2,930	0,0171			
		3	160	40	40	100	1303,33	3,055	0,0178			
M2-0,5	1:3,4	1	160	40	40	100	1365,54	3,200	0,0165	3,124	0,0166	1,66%
		2	160	40	40	100	1352,19	3,169	0,0168			
		3	160	40	40	100	1281,02	3,002	0,0163			

Anexo 68 Cálculo de la resistencia a flexión de probetas de material compuesto FRCM.

Tipo	Dosificación	Probeta	Dimensiones				Carga máxima (kN)	Resistencia a Flexión (MPa)	Deformación Unitaria (mm/mm)	Resistencia Promedio (MPa)	Deformación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Deformación Promedio (%)
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Distancia entre apoyos (mm)						
MC	1:5	1	300	49	20	180	249,19	3,433	0,0114	3,429	0,0119	1,19%
		2	300	50	20	180	253,54	3,423	0,0114			
		3	300	49	20	180	249,09	3,431	0,0127			
M2-0,3	1:4,4	1	300	49	20	180	298,04	4,106	0,0165	4,098	0,0161	1,61%
		2	299	49	20	180	293,59	4,044	0,0152			
		3	299	50	20	180	306,93	4,144	0,0165			
M2-0,5	1:3,4	1	299	49	20	180	302,46	4,167	0,0140	4,217	0,0144	1,44%
		2	298	49	20	180	293,57	4,044	0,0152			
		3	299	48	20	180	315,81	4,441	0,0140			

Anexo 69 Cálculo de la resistencia a tracción de probetas de material compuesto FRCM.

Tipo	Dosificación	Probeta	Dimensiones				Longitud entre mordazas (mm)	Carga máxima (kN)	Resistencia a Tracción (MPa)	Elongación Unitaria (mm/mm)	Resistencia Promedio (MPa)	Elongación Unitaria Promedio (mm/mm)	Porcentaje de Elongación Promedio (%)
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)							
M2-0,3	1:4,4	1	300	50	20	1000	200	1450,12	1,450	0,0038	1,365	0,0038	0,38%
		2	300	51	21	1071	200	1432,33	1,337	0,0039			
		3	300	50,5	21	1060,5	200	1387,84	1,309	0,0037			
M2-0,5	1:3,4	1	298	50	20	1000	200	1147,64	1,148	0,0039	1,175	0,0041	0,41%
		2	299	49	20	980	200	1112,05	1,135	0,0041			
		3	299	49	20	980	200	1218,81	1,244	0,0043			

Anexo 70 Cálculo del porcentaje de absorción en cubos de mortero.

Tipo	Dosificación	Edad (días)	Probeta	Peso SSS (g)	Peso Seco (g)	Absorción (%)	Absorción Promedio (%)
MC	1:5	7	1	268,8	237,6	13,13%	13,08%
			2	274,9	243,2	13,03%	
		28	1	278,1	247,5	12,36%	12,60%
			2	269,9	239,2	12,83%	
M2-0,3	1:4,4	7	1	269,8	235,6	14,52%	14,07%
			2	261,8	230,4	13,63%	
		28	1	272,8	239,4	13,95%	13,83%
			2	266,2	234,1	13,71%	
M2-0,5	1:3,4	7	1	270,7	236	14,70%	14,73%
			2	267,5	233,1	14,76%	
		28	1	271,7	238,2	14,06%	14,08%
			2	277,5	243,2	14,10%	

Anexo 71 Cálculo del porcentaje de absorción en probetas de material compuesto de mortero.

Tipo	Dosificación	Probeta	Peso SSS (g)	Peso Seco (g)	Absorción (%)	Absorción Promedio (%)
MC	1:5	1	672,8	593,8	13,30%	13,22%
		2	685,5	604,5	13,40%	
		3	685,3	606,7	12,96%	
M2-0,3	1:4,4	1	702,2	615,1	14,16%	14,00%
		2	675,4	593,2	13,86%	
		3	685,2	601,	13,99%	
M2-0,5	1:3,4	1	687,1	599,3	14,65%	14,51%
		2	715,3	625,4	14,37%	
		3	689,1	602,2	14,43%	

Anexo 72 Resultados de densidad de cubos.

Tipo	Dosificación	Edad (días)	Probeta	Peso SSS (g)	Peso Sumergido (g)	Peso Seco (g)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)		
MC	1:5	7	1	302,9	191,2	268,1	2,40	2400,18	2407,00		
			2	303,1	191,7	268,9	2,41	2413,82			
		28	1	275,2	164,7	243,7	2,21	2205,43	2204,28		
			2	269,9	161,6	238,6	2,20	2203,14			
		M2-0,3	1:4,4	7	1	259,8	149,4	229,6	2,08	2079,71	2088,38
					2	256,9	148,7	226,9	2,10	2097,04	
28	1			264,1	155,1	233,5	2,14	2142,20	2140,65		
	2			266,2	156,2	235,3	2,14	2139,09			
M2-0,5	1:3,4			7	1	258,1	144,5	228,2	2,01	2008,80	2009,67
					2	258,9	145,1	228,8	2,01	2010,54	
		28	1	258,2	148,2	228,1	2,07	2073,64	2073,02		
			2	259,1	148,6	229,0	2,07	2072,40			

Anexo 73 Resultados de densidad de probetas de material compuesto.

Tipo	Dosificación	Probeta	Peso SSS (g)	Peso Sumergido (g)	Peso Seco (g)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
MC	1:5	1	672,8	408,0	593,8	2,242	2242,45	2270,59
		2	685,5	421,0	604,4	2,285	2285,07	
		3	685,3	419,7	606,7	2,284	2284,26	
M2-0,3	1:4,4	1	675,8	397,4	613,5	2,204	2203,66	2208,24
		2	673,4	404,2	590,4	2,193	2193,16	
		3	683,3	414,3	599,3	2,228	2227,88	
M2-0,5	1:3,4	1	685,1	403,4	601,0	2,133	2133,48	2164,24
		2	713,1	430,3	625,7	2,213	2212,52	
		3	685,2	404,4	602,8	2,147	2146,72	

Anexo 74 Análisis de precios unitarios.

Rubro:

Dosificación 1 Mortero Base (1:5)

Unidad: m²

Detalle:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor 5% de M.O					0,05
SUBTOTAL M					0,05
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Ayudante de Albañil EO E2	1,00	4,05	4,05	0,085	0,34
SUBTOTAL N					0,34
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland	kg	5,80	0,14	0,81	
Polvo de Piedra	kg	28,90	0,04	1,01	
Agua	L	6,00	0,005	0,03	
SUBTOTAL O				1,85	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Transporte del cemento y agregado	glb	1,00	0,01	0,01	
SUBTOTAL P				0,00	
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				2,25
	INDIRECTOS 0,00%				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				2,25
	VALOR UNITARIO m²				2,25
	VALOR UNITARIO m³				112,39

ESTE PRECIO NO INCLUYE IVA.

Rubro:

Dosificación 3 Mortero fibro-reforzado al 0,3% (1:4,4)

Unidad: m²

Detalle:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor 5% de M.O					0,05
SUBTOTAL M					0,05
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Ayudante de Albañil EO E2	2,00	4,05	8,10	0,085	0,69
SUBTOTAL N					0,69
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland	kg	6,42	0,14	0,90	
Polvo de Piedra	kg	28,23	0,04	0,99	
Agua	L	6,10	0,005	0,03	
Fibras de Abacá	g	59,40	0,0160	0,95	
SUBTOTAL O				2,87	
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Transporte del cemento y agregado	glb	1,00	0,01	0,01	
Transporte de la fibra de abacá	glb	1,00	0,01	0,01	
SUBTOTAL P				0,02	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					3,63
INDIRECTOS				0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3,63
VALOR UNITARIO m²l					3,63
VALOR UNITARIO m³					181,31

ESTE PRECIO NO INCLUYE IVA.

Rubro:

Dosificación 2 Mortero fibro-reforzado al 0,5% (1:3,4)

Unidad: m²

Detalle:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor 5% de M.O					0,05
SUBTOTAL M					0,05
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Ayudante de Albañil EO E2	2,00	4,05	8,10	0,085	0,69
SUBTOTAL N					0,69
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
Cemento Portland	kg	7,88	0,14	1,10	
Polvo de Piedra	kg	26,78	0,04	0,94	
Agua	L	6,41	0,005	0,03	
Fibras de Abacá	g	99,00	0,0160	1,58	
SUBTOTAL O					3,66
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Transporte del cemento y agregado	glb	1,00	0,01	0,01	
Transporte de la fibra de abacá	glb	1,00	0,01	0,01	
SUBTOTAL P					0,02
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				4,42
	INDIRECTOS 0,00%				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				4,42
	VALOR UNITARIO m²l				4,42
	VALOR UNITARIO m³				220,75

ESTE PRECIO NO INCLUYE IVA.