



**Análisis y comparación de las propiedades físico-mecánicas entre el mortero con
fibras vegetales de cabuya y mortero convencional, utilizados para enlucidos en
construcción**

Chasipanta Haro, Genma Elizabeth y Salazar Torres, Mateo Andrés

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Aldás Vaca Maribel Alexandra, Mgs.

04 de agosto de 2026



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | ESPE-ECU

Análisis y comparación de las propiedades físico-mecánicas entre el mortero con fibras vegetales de cabuya y mortero convencional, utilizados para enlucidos en construcción

ID : 1a66a0371a4fbef57d3186f771ae425be8da5e4b



9%
Textos
sospechosos

Nombre del fichero : 29047_V11.txt
Tamaño del archivo original : 6,47 MB
Número de palabras : 22.065

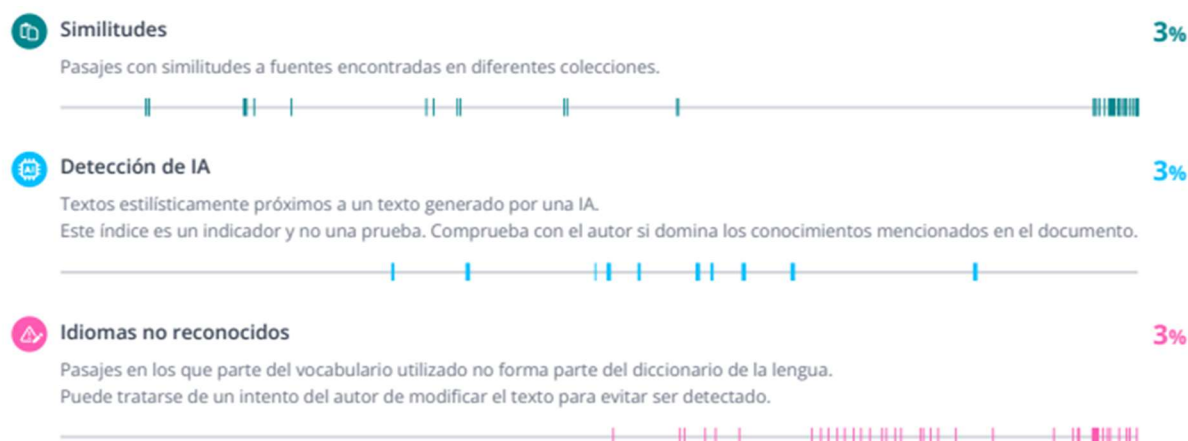
Depositante : MARIBEL ALEXANDRA ALDAS VACA
Fecha de depósito : 6 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 6 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Ing. Aldás Vaca Maribel Alexandra, Mgs.

Directora



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Análisis y comparación de las propiedades físico-mecánicas entre el mortero con fibras vegetales de cabuya y mortero convencional, utilizados para enlucidos en construcción”** fue realizado por los señores **Chasipanta Haro, Genma Elizabeth y Salazar Torres, Mateo Andrés**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de agosto de 2026

Ing. Aldás Vaca Maribel Alexandra, Mgs.

Directora

C.C.: 0913158440



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Chasipanta Haro, Genma Elizabeth y Salazar Torres, Mateo Andrés**, con cédulas de ciudadanía n° **1728441104 y 1726533571**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Análisis y comparación de las propiedades físico-mecánicas entre el mortero con fibras vegetales de cabuya y mortero convencional, utilizados para enlucidos en construcción”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 04 de agosto de 2026

Chasipanta Haro, Genma Elizabeth

C.C.: 1728441104

Salazar Torres, Mateo Andrés

C.C.: 1726533571



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros **Chasipanta Haro, Genma Elizabeth y Salazar Torres, Mateo Andrés**, con cédulas de ciudadanía n° **1728441104** y **1726533571**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Análisis y comparación de las propiedades físico-mecánicas entre el mortero con fibras vegetales de cabuya y mortero convencional, utilizados para enlucidos en construcción”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 04 de agosto de 2026

Chasipanta Haro, Genma Elizabeth

C.C.: 1728441104

Salazar Torres, Mateo Andrés

C.C.: 1726533571

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, quienes son los cimientos de mi vida.

A mis padres, por poner mi educación primero y dejarme como herencia este título universitario, desde ahora un “Ing.” siempre antecederá sus apellidos como reflejo de nuestro logro compartido y de todo su esfuerzo y dedicación en formar la persona que soy hoy en día.

A mi padre, porque su icónica frase “Retroceder nunca, rendirse jamás, la batalla continua” me acompaña toda la vida, porque incluso cuando siento que estoy en lo más profundo sé que puedo extender mi mano y la suya me esperará para sacarme a flote.

A mi madre, porque su bendición me cuida durante todo este proceso y me acompaña a dar cada paso para llegar a la meta, porque su amor incondicional me acompaña todos los días demostrándome que un abrazo y beso suyo reconforta el alma.

A Grace, por ser mi guía, mi luz, por siempre prestarme tu hombro para descansar y brindarme aliento cuando ya no tenía fuerzas, por ser una excelente profesional y demostrarme que siempre hay que levantar la cabeza o la corona se nos cae.

A MG por ser mi pequeña y ese motor que necesito para superarme, por el amor y las risas compartidas en todo momento, por enseñarme que la dedicación es el resorte de todo y sobre todo por demostrarme que siempre se puede ser mejor.

A mi yo pasado que supo levantarse después de cada caída, limpiarse las lágrimas, sacudirse las rodillas y volver a levantar la cabeza para avanzar en este camino. A mi yo presente, que con perseverancia, disciplina y esfuerzo celebra lo alguna vez llorado. A mi yo futuro que algún día verá lo vivido con gratitud, se reirá de lo llorado con valentía y avanzará firme a nuevos sueños.

Chasipanta Haro, Genma Elizabeth

A Judith Suasnavas.

Hay presencias que trascienden el tiempo y se convierten en el motor absoluto de nuestra vida. A lo largo de todo este camino has estado conmigo en cada paso, en cada desvelo y en cada momento de duda. Fuiste y sigues siendo mi mayor inspiración, ese motivo silencioso que me empujó a no rendirme cuando el cansancio pesaba más que las ganas.

Hoy que este ciclo por fin se cierra y tengo en mis manos el resultado de este gran esfuerzo, sé muy bien a quién le pertenece de principio a fin. Gracias por ser mi sol en los días fríos, por cuidarme en silencio y por darme la fuerza que muchas veces yo mismo no encontraba.

Este logro llevará mi nombre, pero el triunfo de haber llegado hasta aquí, es enteramente tuyo.

Salazar Torres, Mateo Andrés

Agradecimiento

A Dios y la Virgen por permitirme culminar esta etapa, por darme fuerzas y sostenerme cuando más lo necesité, por brindarme la sabiduría e inteligencia necesaria para llegar a la meta. A las estrellitas que guían mi camino, me cuidan, me protegen y me ayudan a no rendirme.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por poner como prioridad mis estudios y dejarme como mayor herencia la educación.

A mis hermanas, por siempre alentarme con un “tú puedes mi chiquita”, por acompañarme en mis desvelos y ser un ejemplo a seguir demostrándome que nada es imposible.

A mis padrinos que los escogería en todas mis vidas. A mi padrino que en cada desvelo me alienta con un “ya falta poco” y a mi madrina que su sonrisa dice más que mil palabras.

A Mateo, gracias por la dedicación, entrega y pasión mostrada en el desarrollo de este trabajo. A Ivanita y Romel, por su apoyo incondicional y por la disposición para ayudarnos.

A todos mis amigos; a quienes me acompañaron desde el principio del camino, a quienes conocí en el trayecto y a quienes llegaron conmigo a la recta final. Gracias por enseñarme que esto no se trata de correr sino de dar pasos seguros y con la certeza de saber hacia dónde vas.

A mi tutora Ing. Maribel Aldás, su guía, paciencia, apoyo, dedicación y valiosos consejos que fueron fundamentales y dejaron huella de éxito en este trabajo.

Al Ing. Juan Haro, por compartir su conocimiento, por la paciencia y su ayuda para que todo se realice de la manera correcta. Al Ing. Segundo Guanoliquín, propietario de la empresa GEOSOIL, por su apoyo en el préstamo de equipos que hicieron posible este proyecto.

Sin desmerecerme me agradezco por nunca rendirme y llegar al final del principio.

Chasipanta Haro, Genma Elizabeth

A mi abuelito Nelson. Por ser el mejor ejemplo de lo que verdaderamente significa esta profesión. Viéndolo entendí que el esfuerzo no hace ruido, simplemente no se rinde. Su compañía, sus consejos de colega y saber que siempre estaba pendiente de mi avance fueron mi mayor motivación.

A mis padres, Andrés y Diana. El mayor privilegio de este tiempo fue saber que nunca estuve caminando solo. Gracias por allanarme el camino en los días difíciles y por darme la tranquilidad absoluta de que siempre iban a respaldarme.

A Shamira. En medio del desorden de este proceso, tu presencia fue el único punto de calma real. Gracias por traer tranquilidad cuando todo a mi alrededor se volvía un caos y por ser la casualidad más hermosa de todo este viaje .

A mi tutora, Ing. Maribel Aldás, mi más sincero agradecimiento. Gracias por acompañarme en este proceso, por compartir sus conocimientos y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí.

Al Ing. Segundo Guanoliquín y a GEOSOIL, por abrirme las puertas de su empresa para realizar esta investigación y apostar genuinamente por la formación de nuevos profesionales.

A Genma, por no rendirse y trabajar codo a codo conmigo en este proyecto. A Ivana y Romel, por estar siempre dispuestos a darme una mano.

Para Kalel, Nuria, Álvaro, Alisson y Fausto. Gracias por obligarme a despejar la cabeza y por aguantarme en mis peores momentos. Llegar a esta meta también es culpa de ustedes y de todo lo bueno que compartimos. Aquí estaré siempre que me necesiten.

Salazar Torres, Mateo Andrés

Índice de contenidos

Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	8
Resumen.....	18
Abstract	19
Capítulo I	20
Introducción	20
Antecedentes	20
Planteamiento del problema.....	22
Justificación	24
Objetivos	25
Objetivo General	25
Objetivos Específicos.....	25
Capítulo II	26
Marco Teórico.....	26
Estado del Arte.....	26
Morteros Convencionales.....	26
Morteros con Fibras Vegetales.....	28
Fibra Vegetal de Cabuya.....	29
Tratamientos a Fibras Vegetales	33
Propiedades Físico - Mecánicas Comparativas en Morteros	34
Aplicaciones de Morteros con Fibras Vegetales.....	36

Sostenibilidad del uso de Fibras Vegetales.....	37
Comportamiento a la Fractura y Control de Fisuras en Matrices Reforzadas con Cabuya	39
Capítulo III.....	40
Metodología	40
Enfoque de Investigación.....	40
Tipo y Diseño de Investigación	40
Muestras de Estudio	40
Técnica e Instrumento.....	41
Fase 1: Caracterización de los Materiales Constituyentes.....	42
Árido Fino	42
Contenido de Humedad.....	42
Granulometría	44
Peso Específico y Absorción.....	46
Masa Unitaria	49
Cemento	51
Densidad.....	51
Consistencia	53
Tiempo de Fraguado	54
Fibra de cabuya	55
Tratamiento de fibra	56
Fase 2: Procedimiento Experimental Sobre las Mezclas de Mortero	57
Ensayo de Trabajabilidad	57
Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	58

Resistencia a la Flexión.....	61
Validación y Confiabilidad del Instrumento.....	63
Consideraciones Éticas	65
Capítulo IV.....	66
Análisis y Discusión de los Resultados	66
Caracterización de los Materiales	66
Árido Fino	66
Cemento	70
Dosificación y Evaluación en Estado Fresco de Morteros Patrón.....	72
Dosificación de los Morteros de Control	72
Ensayo de Flujo.....	73
Propiedades del Mortero	74
Resistencia a la Compresión	75
Resistencia a la Flexión y Caracterización de la vigueta	82
Resultados Promedios.....	87
Resistencia a Compresión de Briquetas	87
Resistencia a Flexión y Compresión de Viguetas	90
Desplazamiento a Flexión de Viguetas	96
Evaluación Cualitativa y Comportamiento Superficial del Enlucido Vertical en Muretes	99
Capítulo V.....	110
Conclusiones.....	110
Recomendaciones	112
Referencias.....	113

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Propiedades de la cabuya</i>	32
Tabla 2 <i>Longitud de fibra usadas en otras investigaciones</i>	32
Tabla 3 <i>Clasificación de granulometrías</i>	44
Tabla 4 <i>Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería</i>	46
Tabla 5 <i>Tolerancia para el ensayo de especímenes</i>	59
Tabla 6 <i>Contenido de humedad árido fino</i>	66
Tabla 7 <i>Granulometría del árido fino</i>	67
Tabla 8 <i>Densidad volumétrica suelta de agregado fino</i>	68
Tabla 9 <i>Densidad volumétrica varillada de agregado fino</i>	69
Tabla 10 <i>Porcentaje de vacíos del árido fino</i>	69
Tabla 11 <i>Densidad relativa y absorción del árido fino</i>	69
Tabla 12 <i>Consistencia normal del cemento</i>	70
Tabla 13 <i>Tiempo de fraguado del cemento</i>	71
Tabla 14 <i>Densidad del cemento</i>	72
Tabla 15 <i>Dosificaciones mortero convencional</i>	72
Tabla 16 <i>Resultados ensayo de flujo mortero convencional</i>	73
Tabla 17 <i>Resultados ensayo de flujo mortero con fibras dosificación 1:4</i>	74
Tabla 18 <i>Resultados ensayo de flujo mortero con fibras dosificación 1:5</i>	74
Tabla 19 <i>Resultados ensayo de flujo mortero con fibras dosificación 1:6</i>	74
Tabla 20 <i>Densidad de briquetas en mortero 1:4</i>	76
Tabla 21 <i>Resistencia a la compresión del mortero 1:4</i>	76
Tabla 22 <i>Densidad de briquetas en mortero 1:5</i>	77

Tabla 23 Resistencia a la compresión del mortero 1:5	78
Tabla 24 Densidad de briquetas en mortero 1:6	79
Tabla 25 Resistencia a la compresión del mortero 1:6	79
Tabla 26 Densidad y desplazamiento de viguetas a flexión del mortero 1:4	83
Tabla 27 Resistencia a la flexión y compresión de viguetas del mortero 1:4.....	83
Tabla 28 Densidad y desplazamiento de viguetas a flexión del mortero 1:5	84
Tabla 29 Resistencia a la flexión y compresión de viguetas del mortero 1:5.....	85
Tabla 30 Densidad y desplazamiento de viguetas a flexión del mortero 1:6	86
Tabla 31 Resistencia a la flexión y compresión de viguetas del mortero 1:6.....	86
Tabla 32 Resumen muestras mortero 1:4 ensayo a compresión de briquetas	87
Tabla 33 Resumen muestras mortero 1:5 ensayo a compresión de briquetas	88
Tabla 34 Resumen muestras mortero 1:6 ensayo a compresión de briquetas	89
Tabla 35 Resumen muestras mortero 1:4 ensayo a flexión de viguetas	90
Tabla 36 Resumen muestras mortero 1:5 ensayo a flexión de viguetas	92
Tabla 37 Resumen muestras mortero 1:6 ensayo a flexión de viguetas	93
Tabla 38 Resumen desplazamiento y resistencia en morteros 1:4 ensayo a flexión viguetas	96
Tabla 39 Resumen desplazamiento y resistencia en morteros 1:5 ensayo a flexión viguetas	97
Tabla 40 Resumen desplazamiento y resistencia en morteros 1:6 ensayo a flexión viguetas	98
Tabla 41 Matriz de distribución y frentes de enlucido vertical en muretes experimentales	99
Tabla 42 Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:4 cara exterior	100
Tabla 43 Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:4 cara interior	101
Tabla 44 Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:5 cara exterior	101
Tabla 45 Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:5 cara interior	102

Tabla 46	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:6 cara exterior</i>	102
Tabla 47	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:6 cara interior</i>	103
Tabla 48	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:4 cara exterior</i>	103
Tabla 49	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:4 cara interior</i>	104
Tabla 50	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:5 cara exterior</i>	105
Tabla 51	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:5 cara interior</i>	105
Tabla 52	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:6 cara exterior</i>	107
Tabla 53	<i>Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:6 cara interior</i>	108
Tabla 54	<i>Resumen de fisuras por secado</i>	109

Índice de figuras

Figura 1 <i>Proceso para determinar el contenido de humedad del árido fino</i>	43
Figura 2 <i>Resultados de granulometría</i>	45
Figura 3 <i>Preparación de la muestra de ensayo</i>	47
Figura 4 <i>Proceso del ensayo de densidad del árido</i>	47
Figura 5 <i>Proceso del ensayo de porcentaje de absorción</i>	49
Figura 6 <i>Procedimiento de ensayo de masa unitaria</i>	50
Figura 7 <i>Fases del ensayo para la determinación de la densidad del cemento</i>	52
Figura 8 <i>Procedimiento para determinar la consistencia normal de la pasta de cemento</i>	54
Figura 9 <i>Fases del ensayo para la determinación del tiempo de fraguado</i>	55
Figura 10 <i>Fases del tratamiento para la fibra de cabuya con parafina.</i>	57
Figura 11 <i>Medición de la fluidez del mortero en estado fresco</i>	58
Figura 12 <i>Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo</i>	59
Figura 13 <i>Elaboración y ensayo a compresión de las probetas cúbicas de mortero</i>	60
Figura 14 <i>Especificación por propiedades. Requisitos</i>	61
Figura 15 <i>Procedimiento de ensayo a flexión en viguetas de mortero</i>	62
Figura 16 <i>Procedimiento de ensayo a compresión en viguetas de mortero</i>	63
Figura 17 <i>Curva granulométrica finos</i>	68
Figura 18 <i>Resistencia a la compresión del mortero 1:4 edad 28 días</i>	77
Figura 19 <i>Resistencia a la compresión del mortero 1:5 edad 28 días</i>	78
Figura 20 <i>Resistencia a la compresión del mortero 1:6 edad 28 días</i>	80
Figura 21 <i>Resistencia a flexión mortero 1:4 edad 28 días</i>	84
Figura 22 <i>Resistencia a la flexión del mortero 1:5 edad 28 días</i>	85

Figura 23 <i>Resistencia a la flexión del mortero 1:6 edad 28 días</i>	87
Figura 24 <i>Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:4 briquetas</i>	88
Figura 25 <i>Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:5 en briquetas.....</i>	89
Figura 26 <i>Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:6 en briquetas.....</i>	90
Figura 27 <i>Desarrollo de la resistencia a flexión del mortero 1:4 en viguetas</i>	91
Figura 28 <i>Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:4 en viguetas</i>	91
Figura 29 <i>Desarrollo de la resistencia a flexión del mortero 1:5 en viguetas</i>	92
Figura 30 <i>Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:5 en viguetas</i>	93
Figura 31 <i>Desarrollo de la resistencia a flexión del mortero 1:6 en viguetas</i>	94
Figura 32 <i>Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:6 en viguetas</i>	94
Figura 33 <i>Evolución del desplazamiento frente a la resistencia en viguetas 1:4 ensayo a flexión</i>	96
Figura 34 <i>Evolución del desplazamiento frente a la resistencia en viguetas 1:5 ensayo a flexión</i>	97
Figura 35 <i>Evolución del desplazamiento frente a la resistencia en viguetas 1:6 ensayo a flexión</i>	98

Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad analizar y comparar las propiedades físicas y mecánicas de morteros convencionales con morteros modificados mediante la adición de fibras vegetales de cabuya. El presente estudio ha profundizado en la adición de fibras vegetales a manera de alternativa sostenible para la mejora de las propiedades de los materiales de construcción que exploten recursos locales. Se ha dividido la metodología en dos grandes pasos o fases. En primer lugar, se realizaron las briquetas de mortero tradicional y con incorporación de fibras para las proporciones de cemento y arena de 1:4, 1:5 y 1:6 de la Normativa NTE INEN. Se realizaron ensayos de trabajabilidad en estado fresco y ensayos de compresión y de flexión a partir de las edades de curado de 1, 3, 7 y 28 días de las briquetas. Fue a partir de estos resultados que se determinó el porcentaje óptimo de adición de fibra. Este porcentaje fue el que se aplicó en la construcción de muretes de prueba para cada una de las tres dosificaciones; elementos contruidos con dimensiones de 1,06 m de alto por 1,50 m de largo y recubiertos con un espesor de enlucido de 1,50 cm, lo que permitió realizar una evaluación empírica de la adherencia y comportamiento del material en aplicaciones verticales en condiciones reales. Los resultados obtenidos permitieron determinar en qué medida la adición de fibras de cabuya influyó en la resistencia mecánica y en el desempeño general del mortero, y finalmente establecer qué proporción de fibra aportó el mayor beneficio técnico.

Palabras clave: mortero, cabuya, propiedades, normas INEN

Abstract

The main goal of this research was to contrast the physical and mechanical properties of conventional mortars with mixtures containing cabuya fibers. The current study investigates the use of plant fibers as a viable, eco-friendly approach to upgrading construction materials through the use of local resources. The methodology was broken down into two main stages. Initially, both traditional and fiber-reinforced mortar briquettes were cast using cement-to-sand ratios of 1:4, 1:5, and 1:6, carefully following NTE INEN standards. We tested the fresh mixtures for workability, while the cured briquettes underwent compressive and flexural strength testing at 1, 3, 7, and 28 days. The findings from these tests allowed us to pinpoint the ideal percentage of fiber to add. We then took that optimal ratio and applied it to construct test walls for all three mix designs. These walls—measuring 1,06 m high by 1,50 m long—were finished with a 1,50 cm layer of plaster. Building them this way gave us a practical, hands-on method to evaluate how well the material adhered and performed vertically in real-world conditions. The results obtained made it possible to determine the extent to which the addition of cabuya fibers influenced the mechanical strength and overall performance of the mortar, and ultimately to establish which fiber proportion provided the greatest technical benefit.

Keywords: Mortar, cabuya, properties, INEN standards

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

A escala mundial, la industria constructora desafía constantemente el desarrollo de materiales de naturaleza técnica y económica, a su vez compatibles con los principios de sostenibilidad y buscando disminuir la huella de carbono. Tradicionalmente, los morteros y hormigones están dotados de muy buena resistencia a la compresión, pero muestran un alto grado de fragilidad y baja resistencia a la tracción; esto favorece el surgimiento de microfisuras por contracción plástica y por secado temprano. Con el fin de solventar estas deficiencias estructurales, ha sido habitual la incorporación de fibras tanto sintéticas como de vidrio o de acero; no obstante, en estos últimos años, la comunidad científica ha concentrado su interés en las fibras lignocelulosas naturales por su menor coste, menor densidad, gran disponibilidad y carácter renovable (Viera et al., 2022).

Las diversas fibras vegetales locales son objeto de intensas investigaciones en los países de la región andina de América Latina. Para entender y explicar del todo los efectos positivos del refuerzo natural de la familia Agavaceae en las propiedades mecánicas de las matrices cementicias, Braja & Cubas (2024) y Contreras & Gastelo (2024) determinaron en Perú que estas actúan como puente para la transmisión de tensiones a lo largo de toda la fisura. Este mecanismo identifica el punto de inicio para la comprensión del aumento en la ductilidad y la capacidad de absorción de energía del compuesto, y para poder establecer su utilidad en aplicaciones específicas. Asimismo, Juarez (2024) demostró que este refuerzo ayuda a controlar el agrietamiento tardío por retracción al evaluar morteros para la capa de revestimiento de muros.

A nivel nacional, Ecuador cuenta con una amplia disponibilidad de cabuya (*Furcraea andina*), una planta cuyas fibras presentan propiedades mecánicas sobresalientes, entre ellas una notable resistencia a la tracción frente a otras opciones locales. Ibujes & Vega (2026) realizaron un estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con fibra de bagazo de caña, este trabajo demostró la viabilidad técnica de incorporar residuos agroindustriales y fibras vegetales en matrices cementicias para modificar su comportamiento mecánico y gracias a estos hallazgos recientes abren la puerta a un precedente metodológico para investigar otras fibras endémicas de alta resistencia a la tracción, como la cabuya, con el fin de diversificar las alternativas de materiales sostenibles en la construcción ecuatoriana.

Entonces, las múltiples investigaciones a nivel nacional han ampliado la caracterización del material compuesto. Masaco (2018) mostró que el refuerzo de la fibra de cabuya tiene efecto en la matriz cementicia solo si se tiene cuidado con la relación entre agua y cemento. Por su parte, Gualotuña (2019), al igual que al estudiar morteros compuestos con fibras obtenidas en la ciudad de Riobamba, demostró que la naturaleza higroscópica de la cabuya, que tiene una elevada capacidad de absorción de agua, requiere que esta se sature con anterioridad o que se adapte el agua de la mezcla sin que se perjudique la hidratación que tiene lugar del cemento Portland.

Los estudios que se han llevado a cabo sobre morteros con fibras de cabuya han tocado varios de los aspectos del comportamiento del material, desde las propiedades físicas de un mortero endurecido hasta los aspectos característicos de su mezclado en estado fresco. Viera et al. (2022) investigaron el efecto de la incorporación de estas fibras en dosis bajas, donde se puede evidenciar que dicha proporción reduce la absorción capilar e incrementa la impermeabilidad de la mezcla, lo que permite sobrepasar los valores permisibles indicados por la

NTE INEN 2518. De acuerdo con un análisis comparativo complementario, Llerena (2022) corroboró que el uso de esta adición requiere un control riguroso de la longitud de la fibra para evitar la aparición de grumos en la matriz, un fenómeno pernicioso que se conoce como efecto erizo.

Finalmente, los estudios actuales hacen referencia a la posibilidad de la investigación de distintos tratamientos superficiales para mejorar el comportamiento de las fibras andinas en el mortero, que investigaciones como Agustín & Maroto (2024) y Contreras & Gastelo (2024) están centradas en procesos de alcalinización a través del lavado con hidróxido de sodio para mejorar la adherencia, estos métodos químicos pueden ser demasiado agresivos o plantear muchas dificultades para su escalado.

Por esta razón, debemos indagar en otros tratamientos alternativos de recubrimiento físico-mecánico para la cabuya, siendo uno de ellos la impregnación con parafina dado que este tipo de recubrimiento genera una barrera hidrófoba contrarrestando así la alta capacidad de absorción de agua que posee la cabuya, protegiendo a la fibra de su degradación en el medio alcalino del cemento y evitando variaciones volumétricas como hinchamiento y/o contracción, que pueden generar microfisuras en la interfaz fibra-matriz.

A pesar de la existencia de esta robusta base de conocimientos y metodologías, la literatura revela un vacío respecto a la estandarización precisa de dosificaciones y longitudes óptimas empleando fibras de cabuya tratadas con parafina para morteros de dosificación 1:4 y 1:6, que son los de uso más frecuente en la construcción de mamposterías en el país.

Planteamiento del problema

En la actualidad, la industria de la construcción demanda materiales que ofrezcan un equilibrio entre un desempeño estructural óptimo y un bajo impacto ambiental. Los morteros

tradicionales de cemento y arena, comúnmente empleados en el trabajo de la mampostería y los enlucidos, en especial en las proporciones 1:4 y 1:6, presentan muy buenas propiedades de resistencia a la compresión, pero también muestran una fragilidad propia, una resistencia a la tracción escasa y una alta tendencia a la aparición de fisuras por retracción plástica durante las primeras edades del fraguado.

Con el propósito de corregir estas deficiencias, la adición de fibras naturales se considera como una alternativa sostenible y económica. Sin embargo, el uso de fibras vegetales en matrices cementicias genera problemas técnicos importantes. El principal problema es la alta higroscópica de la fibra, la capacidad de absorber agua, así como la degradación química de la misma en el medio altamente alcalino del cemento Portland, ya que si la fibra absorbe el agua de amasado se modifica la relación agua/cemento, disminuyendo de forma drástica la trabajabilidad de la mezcla y también el proceso de hidratación.

Para contrarrestar este fenómeno, se propone impermeabilizar la fibra mediante un recubrimiento con parafina debido a que estudios recientes han evaluado empíricamente la influencia de fibras de cabuya tratadas con parafina en morteros de cemento y arena, demostrando cambios en la permeabilidad y penetración de agua bajo presión. Sin embargo, al introducir un material hidrófobo tratado en la matriz del mortero, surge una nueva problemática: el desconocimiento del comportamiento reológico y mecánico de la mezcla. La literatura técnica actual y la normativa ecuatoriana específicamente la NTE INEN 2518, que rige los requisitos para la elaboración de morteros en construcción carecen de parámetros estandarizados sobre la interacción de las fibras parafinadas en las proporciones de mortero de mayor uso comercial.

Un exceso en el porcentaje de adición de fibra o el uso de longitudes inadecuadas puede generar el "efecto erizo" por aglomeración de las fibras, lo que incrementa la porosidad, crea

vacíos internos y debilita la adhesión en la interfaz fibra-matriz, reduciendo en consecuencia la resistencia final del material compuesto.

Justificación

Las razones que justifican esta investigación son tres, de carácter técnico, ambiental y socioeconómico, entre otros. En concreto, se busca ofrecer posibilidades reales que resuelvan las problemáticas actuales que presentan la industria de la construcción en Ecuador.

Desde la perspectiva técnica-científica, la mejora de los morteros tradicionales es fundamental a fin de conseguir la durabilidad de las terminaciones y de los elementos no estructurales, pues estos materiales son muy susceptibles a la aparición de fisuras por retracción plástica y su capacidad para absorber el trabajo es muy baja. Introducir la fibra de cabuya (*Furcraea andina*) tratada con parafina constituye la principal innovación para solventar estos problemas, dado que dicho recubrimiento físico permite solventar las desventajas que suelen caracterizar a las fibras vegetales, como su alta absorción de humedad o la degradación ocasionada por el cemento, evitando el uso de tratamientos químicos agresivos. También, definiendo la longitud y el porcentaje óptimo de esta fibra impermeabilizada en proporciones comerciales (1:4 y 1:6), el estudio permitirá contar con parámetros experimentales validados, carentes en la normativa nacional, y que proporcionará una guía técnica, clara y fiable al ámbito de la construcción.

De forma alternativa, el proyecto se encuentra estrechamente relacionado con el ámbito ambiental a partir de los principios de la economía circular y de las tendencias de construcción sostenible en el ámbito internacional. La propuesta indicada plantea sustituir refuerzos sintéticos obtenidos a partir del petróleo, como por ejemplo las fibras de polipropileno o de vidrio, por un material natural que es biodegradable y de rápida renovación. Este posicionamiento, por un lado,

mejora el comportamiento mecánico de la mezcla que se obtiene, pero, a la vez, contribuye a la disminución de la huella de carbono y minimiza el consumo de energía incorporada de los materiales de construcción.

Finalmente, desde el punto de vista de la economía del país, incentivar el uso de la cabuya revaloriza el recurso endémico del Ecuador, demostrar la viabilidad técnica de esta fibra en aplicaciones ingenierías de gran volumen como enlucidos y mamposterías en potencia abriría nuevos mercados industriales, quedando así no solo fomentar la independencia tecnológica de materiales importados, si no también alentar y reactivar el sector agrícola de la localidad destinada al cultivo y la extracción de esta planta para contribuir con un impacto positivo en la cadena productiva de las comunidades rurales.

Objetivos

Objetivo General

Analizar y comparar las propiedades físico – mecánicas entre morteros con fibras vegetales de cabuya y morteros convencionales en diferentes dosificaciones mediante ensayos establecidos en las Normas NTE INEN para usar en enlucidos verticales.

Objetivos Específicos

- Definir el porcentaje óptimo de fibra vegetal de cabuya de acuerdo con el contenido de cemento del mortero en las diferentes dosificaciones y caracterizar sus propiedades físico-mecánicas.
- Enlucir mamposterías con los morteros convencionales y reforzados con fibra vegetal de cabuya para determinar su comportamiento en obra.

Capítulo II

Marco Teórico

Estado del Arte

Morteros Convencionales

En la actualidad, el uso de mortero convencional, compuesto típicamente por una mezcla de cemento, agua y arena es la fórmula más utilizada para la unión de mampostería y la elaboración de enlucidos, debido a su resistencia a la compresión, trabajabilidad y bajo costo. (Viera et al., 2022).

Las propiedades físico-mecánicas del mortero convencional han sido ampliamente estudiadas, destacando la resistencia a la compresión como uno de los parámetros más relevantes, de esta manera en condiciones normales, un mortero con dosificación 1:4 puede alcanzar resistencias que oscilan entre 7 y 15 MPa, dependiendo de la calidad de los materiales y el proceso de curado (Contreras & Gastelo, 2024). A pesar de este rendimiento, este tipo de mortero presenta serias limitaciones, tales como la fisuración por retracción plástica y la permeabilidad al agua, lo cual no solo afecta la durabilidad de los enlucidos, sino que también genera costos adicionales de reparación a largo plazo.

La adherencia es, en la misma línea, una característica fundamental del mortero convencional, sobre todo en lo que a enlucidos se refiere. Una buena adherencia permite que la capa aplicada no se despegue con el paso de tiempo y se mantenga a pesar de las variaciones de humedad y temperatura. Las evidencias con las que se cuenta corroboran que la adherencia viene determinada en gran medida por la granulometría de la arena y la relación agua/cemento que se aplique (Da Fonseca et al., 2021b). Mediante los morteros convencionales se puede evidenciar

que la ausencia de un sistema de refuerzo interno genera microfisuras que disminuyen la capacidad de adherencia a la superficie base.

Con relación a su durabilidad, el mortero tiene un comportamiento aceptable en el interior pero sufre un rápido deterioro cuando está al exterior debido a la humedad continua. La permeabilidad es un aspecto muy importante en un mortero muy poroso, ya que puede producir la entrada del agua que inicia procesos de degradación como el desprendimiento.

La trabajabilidad del mortero convencional es una de sus principales características a destacar, ya que permite una aplicación sencilla y uniforme en superficies verticales y horizontales, sin embargo, esta facilidad de uso está directamente relacionada con la cantidad de agua empleada en la mezcla; es decir, un exceso de agua mejora la manejabilidad, pero disminuye la resistencia mecánica y aumenta la retracción (Rashmi Nayak et al., 2022).

La respuesta frente a la fisuración es uno de los puntos débiles del mortero convencional dado que, durante el proceso de secado, endurecimiento y/o fraguado, la pérdida de agua genera tensiones internas que pueden inducir a la aparición de microfisuras. Aun considerándose esta fisura como pequeña, estéticamente afecta al enlucido y puede dar lugar a puntos de entrada de sustancias exteriores (Pederneiras et al., 2021). En este sentido, como contrapartida, el mortero convencional exige el uso de prácticas adicionales, tales como las del añadido de aditivos o el curado de largo tiempo, así pues, de este modo se mitigarían estos efectos.

Desde el punto de vista económico, el mortero convencional es una solución accesible y de bajo costo, lo que explica su uso a gran escala dentro del ámbito constructivo, así mismo, la disponibilidad de materiales como arena y cemento en el mercado lo convierte en una opción práctica para proyectos de distinta escala. No obstante, su bajo costo inicial no siempre se traduce en un desempeño superior a largo plazo, puesto que la ausencia de refuerzos limita su

resistencia a esfuerzos de tracción y flexión (Juarez, 2024). A causa de esta limitación, se abre la puerta a nuevas investigaciones orientadas a mejorar sus propiedades mecánicas mediante la incorporación de fibras naturales.

El mortero convencional, a pesar de su amplia aceptación en el ámbito constructivo, no siempre garantiza un desempeño óptimo en condiciones de alta humedad o exposición prolongada, sin embargo, investigaciones recientes destacan que la incorporación de fibras naturales o sintéticas puede modificar significativamente su comportamiento, reduciendo la fisuración y mejorando la tenacidad (Rashmi Nayak et al., 2022). En este sentido, el mortero convencional es la base de comparación para nuevas propuestas de materiales de reforzamiento, tales como los morteros reforzados con fibras vegetales de cabuya, que buscan superar las limitaciones del convencional en cuanto a resistencia, durabilidad y sostenibilidad.

Morteros con Fibras Vegetales

El uso de fibras vegetales en el área de la construcción se remonta desde el inicio de las civilizaciones, la falta de materiales y el desconocimiento respecto a sus propiedades, hicieron que sean usadas simplemente como material experimental y al darse cuenta que sus construcciones soportaban las diferentes cargas y fenómenos ambientales siguieron haciendo uso de esto, sin embargo, con el pasar de los años y a su vez la aparición de las nuevas metodologías en el ámbito de la construcción estas técnicas se fueron perdiendo (Da Fonseca et al., 2021b) .

La incorporación de fibras vegetales en morteros busca mejorar propiedades como la tenacidad, la resistencia a la fisuración y la durabilidad. Estudios en Brasil y la Amazonía han demostrado que fibras como piassava, tucum, jute y razor grass pueden incrementar la resistencia a flexión y modificar la absorción capilar (Da Fonseca et al., 2021a). Estas fibras, al ser biodegradables y abundantes, representan una alternativa sostenible frente a fibras sintéticas

como el polipropileno que, aunque mejoran ciertas propiedades mecánicas, no son renovables ni amigables con el ambiente (Rashmi Nayak et al., 2022).

Fibra Vegetal de Cabuya

La cabuya conocida científicamente como *Furcraea andina*, es una fibra natural extraída de la planta de penco, ampliamente utilizada en la región andina, la cual se caracteriza por ser biodegradable, renovable y de bajo costo; estas virtudes la convierten en una alternativa sostenible frente a fibras sintéticas como el polipropileno. De igual manera, su disponibilidad en Ecuador es amplia, especialmente en zonas rurales donde se aprovecha como un subproducto agrícola estratégico (Viera et al., 2022).

Respecto a la geometría de refuerzo, estudios proporcionan un rango de longitud trabajable establecida desde los 12 mm hasta 25 mm para casos óptimos, pudiendo extenderse hasta un límite de 30 mm según los requerimientos de diseño. En este contexto Masaco (2018) establece en su investigación una longitud de 20 mm, fundamenta que dicha longitud favorece su dispersión homogénea en la mezcla y evita aglomeraciones que podrían afectar negativamente la trabajabilidad, además señala que esta dimensión optimiza los procesos de tratamiento previo e impermeabilización, permitiendo que el agente modificador penetre adecuadamente a lo largo de toda la fibra y reduzca eficientemente su capacidad de absorción de agua.

Debido a estas propiedades la incorporación de cabuya en morteros de enlucido ha sido objeto de múltiples investigaciones en Ecuador y otros países andinos, los estudios han evaluado porcentajes de adición que van desde el 0,5% hasta el 1,5%, mostrando mejoras significativas en la resistencia a la flexión y en la consecuente reducción de la fisuración superficial (Barja & Cubas, 2024; Orellana, 2024). Es importante destacar que este comportamiento se explica por el efecto de puente que generan las fibras, las cuales distribuyen de manera eficiente las tensiones

internas y evitan la propagación de grietas; por lo tanto, el mortero reforzado con cabuya adquiere una mayor tenacidad y ductilidad frente a las cargas externas.

La cabuya optimiza la resistencia a la flexión. También contribuye en el incremento de la resistencia a la compresión bajo ciertas dosificaciones. Investigaciones previas demuestran esto. La adición de apenas un 0,3 % de fibras de cabuya permite alcanzar valores de hasta 7,9 MPa. Esta cifra supera el mínimo exigido por la norma ecuatoriana NTE INEN 2518 para morteros tipo N (Viera et al., 2022). La fibra no sustituye al cemento en términos de reactividad química. No obstante, este valor que obtuvimos comprueba su función como refuerzo físico. De este modo se mejora el desempeño mecánico global de la matriz para su aplicación en el enlucido.

Por otra parte, un beneficio más que aportan las cabuyas es la reducción de la absorción capilar, favoreciendo de este modo la impermeabilidad del mortero, cuestión que a su vez reduce de la infiltración del agua en la red de poros materiales de la matriz cementicia. Esto resulta en un comportamiento positivo de la durabilidad del recubrimiento y evita patologías habituales como podrían ser los desprendimientos.

Sin embargo, a pesar de estas ventajas estructurales una de las principales limitaciones de las fibras naturales es su alta absorción de agua y su susceptibilidad al ataque alcalino dentro de la matriz cementicia. Para oponerse a estos efectos perjudiciales, se recomienda la aplicación de tratamientos previos, como la inmersión en parafina que, disminuyendo la absorción, consigue que la adherencia de la fibra al mortero sea significativamente mejor (Viera et al., 2022); resultando ser estos tratamientos los más importantes para asegurar que las propias fibras mantengan las propiedades mecánicas inalteradas y que no se degraden con el tiempo.

La cabuya también necesita tratamientos físicos y químicos para optimizar su compatibilidad a largo plazo con el cemento. En este sentido, procesos como el lavado, el secado

y la inmersión en soluciones alcalinas han demostrado aumentar su durabilidad y reducir la absorción hídrica (Da Fonseca et al., 2021a), mientras que otros estudios señalan que la modificación química o física de las fibras puede incrementar su resistencia a largo plazo, evitando la pérdida de propiedades mecánicas con el envejecimiento natural del mortero (Pederneiras et al., 2021), haciendo de la cabuya un refuerzo mucho más confiable para aplicaciones constructivas reales.

Desde el punto de vista ambiental esta alternativa resalta de manera positiva frente a las fibras sintéticas, puesto que, al ser biodegradable y renovable, su uso contribuye a reducir la huella de carbono de la edificación y a aprovechar residuos agrícolas de manera eficiente (Merino et al., 2023). Además, su extracción y procesamiento generan empleo directo en comunidades rurales, lo que fortalece la economía local y promueve prácticas de bioconstrucción. Este doble beneficio, tanto técnico como social, refuerza firmemente su pertinencia en proyectos de desarrollo sostenible.

La fibra de cabuya constituye un refuerzo eficaz y sostenible para morteros destinados a enlucidos, su capacidad de mejorar la resistencia mecánica, reducir la fisuración y aportar beneficios ambientales la posiciona como un material de gran potencial en la construcción moderna (Orellana, 2024). No obstante, su aplicación práctica requiere un control riguroso de la dosificación y un tratamiento previo para maximizar sus ventajas mecánicas, de esta forma la cabuya se perfila como un componente clave en el desarrollo de morteros más durables, económicos y respetuosos con el medio ambiente.

Tabla 1*Propiedades de la cabuya*

Densidad	Resistencia a la tracción	Módulo de Young	Alargamiento a la rotura	Resistencia específica a la tensión	Módulo específico	Humedad
gr/cm ³	MPa	GPa	%	GPa por gr/cm ³	Gpa por	%
1,45	468 - 640	9,4 - 22,0	3 - 7	0,32 - 0,44	6,48 - 15,2	10

Nota. Tomado de “Estudio de compuestos cementicios reforzados con fibras vegetales”, por Ana Llerena, 2014 <https://n9.cl/8abxy>

Tabla 2*Longitud de fibra usada en otras investigaciones*

Autor	Título	Medidas de Recomendaciones
Acosta-Calderon et al. (2022)	Comparative Evaluation of Sisal and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Properties	En el artículo menciona que usaron la fibra a los 19 mm, reduce la trabajabilidad al 20%, Mejora la compresión en 6% en comparación al modelo original.
Chandrasekaran y Ramakrishna (2021)	Experimental investigation on mechanical properties of economical local natural fibra reinforced cement mortar	En el artículo menciona que utiliza fibras de 10, 15 y 20 mm, reduce la trabajabilidad, presenta un estado fresco y endurecido notablemente bueno. A comparación de otras fibras naturales. Aumenta la resistencia en 2% a lo establecido.
Comak et al. (2018)	Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar	En el artículo comenta que utilizaron fibras de 12 mm. Y se determinó que el mortero de cemento reforzado con 0,5% aumenta la resistencia a la compresión de 2% a 3% teniendo un resultado óptimo.

Nota. Tomado de “Análisis de f'_c y la adherencia del mortero de asentado P2 (C:A 1:4) con la sustitución del cemento con 0.5%, 1.0% y 1.5 % de cabuya”, por Braja & Cubas, 2024.

Tratamientos a Fibras Vegetales

El tratamiento de fibras vegetales es un proceso esencial para garantizar su compatibilidad con matrices cementicias. Las fibras naturales como la cabuya, el sisal o el plátano presentan problemas de absorción de agua. También sufren degradación biológica. Estos factores afectan la durabilidad del mortero. Por ello se aplican métodos físicos y químicos. El objetivo es mejorar su estabilidad y resistencia. Estos tratamientos permiten mantener las propiedades mecánicas de las fibras. Además, reducen la variabilidad natural característica de los materiales orgánicos (Da Fonseca et al., 2021a, 2021b).

Los tratamientos físicos incluyen procesos como el lavado, el secado y el corte. El lavado elimina impurezas y restos orgánicos. Los distintos elementos pueden interferir en la adherencia del cemento. El secado ayuda a eliminar la humedad interna. Esto previene el crecimiento de los microorganismos. El corte permite conseguir fibras en unas longitudes adecuadas para su incorporación en morteros, de tal modo que se eviten aglomeraciones y se obtenga una mejor distribución en la mezcla (Pederneiras et al., 2021). Estos pasos básicos son muy importantes para preparar las fibras antes de utilizarlas.

Los tratamientos químicos son más complicados de llevar a cabo. Persiguen modificar la superficie de las fibras que pueden unirse mecánicamente al mortero o puede que lo mejoren para su interacción con la matriz cementicia. Uno de los tratamientos más utilizados en este sentido es la inmersión en una solución alcalina, como el hidróxido de sodio (NaOH) que continúa el proceso de eliminación de la lignina y hemicelulosa. Como resultado se incrementa la rugosidad superficial y la resistencia a la tracción (Da Fonseca et al., 2021a). Este procedimiento químico reduce también la absorción de agua. Esto hace que la durabilidad de los morteros en ambientes húmedos incrementen.

Otra técnica química empleada es el uso de silanos y agentes de acoplamiento. Estos elementos generan enlaces químicos entre la fibra y el cemento. Estos tratamientos mejoran la adherencia, también reducen la degradación de las fibras en contacto con el medio alcalino del mortero y es una interfaz más estable permite un refuerzo más eficiente.

Los tratamientos térmicos suponen de esta manera una alternativa para mejorar las propiedades de las fibras vegetales. Mediante la exposición posterior a temperaturas controladas, las fibras vegetales pueden deshidratarse y además se proporciona una modificación de la estructura interna de la celulosa que incluso incrementa la resistencia mecánica de las propias fibras. Si bien este tipo de tratamientos son menos comunes que los tratamientos químicos, tienen la ventaja de ser más simples y requieren un menor uso de productos incluso contaminantes.

La opción del método a seguir, está relacionada con el tipo de fibra y la aplicación que se le quiere dar. El caso de la cabuya es que se le aplican procesos alcalinos para mejorar la adherencia de la propia fibra. En el caso de fibras como la de coco probablemente se pueda beneficiar más del uso de los tratamientos físicos por su resistencia natural a la humedad. Esta diversidad de tratamientos nos evidencia la necesidad de realizar variaciones en el mismo. Cada tipo de fibra vegetal tiene sus propias características.

Los estudios comparativos han demostrado que los morteros con fibras tratadas obtienen un mejor rendimiento. Ya que presentan una mayor resistencia a la flexión. Estos resultados confirman la importancia del tratamiento de las fibras.

Propiedades Físico - Mecánicas Comparativas en Morteros

Barja y Cubas (2024), evaluó una comparación entre morteros convencionales y reforzados con fibras vegetales logrando identificar mejoras significativas. Estos parámetros

incluyen la resistencia a la compresión, la flexión, la adherencia y la durabilidad. El mortero tradicional cumple con los requisitos básicos de enlucido. Sin embargo, presenta limitaciones frente a la fisuración y la retracción. En contraste los morteros con fibras naturales muestran un comportamiento más tenaz y resistente. Esto especialmente en condiciones de carga y exposición ambiental (Da Fonseca et al., 2021b).

Los morteros convencionales suelen alcanzar valores de resistencia a la compresión entre 7 y 15 MPa. Esto dependerá de la dosificación y del curado. El uso de fibras vegetales, como la cabuya, no incrementa significativamente la resistencia a la compresión, pero sí mejora la capacidad de absorción de energía y la resistencia a la flexión, ya que las fibras juegan el papel de un refuerzo interno; en cierto modo, redistribuyen las tensiones y evitan a la vez la propagación de las grietas.

La resistencia a la flexión es uno de los parámetros más favorecidos por la incorporación de fibras. Varios estudios demuestran el aumento de hasta un 20 % en la resistencia a la flexión de morteros con cabuya al 1 % respecto al convencional (Orellana, 2024). Este comportamiento se explica por el efecto de puente generado por las fibras. Estas conectan las microfisuras y retrasan su avance. Así se otorga mayor ductilidad al material.

Barja y Cubas (2024) llevaron a cabo estudios experimentales donde la adherencia en los enlucidos también mejora con la incorporación de fibras vegetales. El mortero convencional dependerá de forma significativa de la granulometría de la arena y de la relación agua/cemento. El mortero con fibras, por su parte, muestra una rugosidad interna más elevada lo que favorece la unión a la superficie base. El resultado es una menor tendencia al desprendimiento, si no que conlleva también una mayor durabilidad para él en condiciones de uso real.

Los morteros convencionales mostrarán una mayor porosidad y, por tanto, una mayor permeabilidad hacia la entrada del agua con las sales. La incorporación de fibras vegetales puede reducir este factor. Se genera una matriz más compacta y con menor conectividad de poros (Viera et al., 2022) determinó que el efecto contribuye a mejorar la durabilidad del material frente a agentes externos. Todo esto depende del tratamiento previo de las fibras para evitar su degradación.

El módulo de elasticidad es otro parámetro afectado por la incorporación de fibras. Los morteros convencionales presentan un comportamiento rígido. Los reforzados con fibras muestran una mayor capacidad de deformación antes de la fractura (Rashmi Nayak et al., 2022). Esta característica resulta muy útil en los enlucidos. Permite absorber pequeñas deformaciones estructurales sin producir fisuras visibles.

Pederneiras et al. (2021) explican que la tenacidad y la capacidad de absorción de energía se diferencian claramente entre ambos tipos de morteros, el material tradicional tiende a fracturarse de manera frágil y el compuesto con fibras presenta un comportamiento más dúctil. Esto prolonga el tiempo de falla y aumenta la seguridad estructural. Así se convierte en una opción confiable para aplicaciones expuestas a impactos o vibraciones.

Aplicaciones de Morteros con Fibras Vegetales

Los morteros con fibras vegetales se emplean principalmente en enlucidos y revestimientos de muros. Donde cumplen la función de proteger las superficies contra la humedad, la fisuración y los desprendimientos (Da Fonseca et al., 2021a).

Otra utilización interesante de los morteros con fibras vegetales, la reparación de superficies dañadas. La adición de fibras vegetales como el yute, el sisal o la cabuya confiere mejor tenacidad al material, ya que evita las rupturas frágiles, esto provoca que el mortero se

adapte mejor a los impactos y a los desplazamientos diferenciales de la estructura. Estas características lo hacen adecuado para reparaciones en zonas donde se dan cargas dinámicas o cambios ambientales. Este comportamiento dúctil garantiza reparaciones con mayor durabilidad y resistencia frente a condiciones exigentes.

El uso de fibras vegetales en morteros responde a criterios de sostenibilidad y economía circular. Estas fibras son biodegradables y abundantes. Su uso permite reducir la dependencia de refuerzos sintéticos, además permite aprovechar residuos agrícolas comúnmente desechados. Investigaciones en Europa evaluaron fibras de lino, coco y lana en morteros de revestimiento, estas adiciones disminuyen la susceptibilidad al agrietamiento, así como también mantienen la adherencia incluso después de ciclos de envejecimiento acelerado (Pederneiras et al., 2021). De esta manera los morteros con fibras vegetales mejoran el desempeño técnico. Al mismo tiempo aportan beneficios ambientales significativos.

Los morteros con fibras vegetales también han sido evaluados en ambientes agresivos, en estas condiciones la durabilidad es un factor crítico. Orellana (2024) evaluó la incorporación de fibras de cabuya tratadas químicamente con soluciones alcalinas, este proceso mejora la resistencia frente a ciclos de humedad y sequedad. Así reduciendo la aparición de microfisuras. Este comportamiento los convierte en una opción adecuada para revestimientos en zonas costeras o húmedas. En estos entornos los morteros convencionales suelen deteriorarse rápidamente y el actuar de las fibras como refuerzo interno es fundamental para prolongar la vida útil del material.

Sostenibilidad del uso de Fibras Vegetales

La sostenibilidad en la construcción se conjuga como una de las claves para reducir el impacto ambiental de los materiales convencionales. La incorporación de las fibras vegetales en los morteros es una opción ideal, puesto que contribuye a reducir la huella de carbono.

El cemento Portland constituye el componente fundamental de los morteros convencionales. Su fabricación conlleva una alta emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Por esta razón Barja y Cubas (2024) determinaron que la sustitución parcial de este material por fibras vegetales mitiga dicho impacto ambiental. Los autores también concluyeron que el uso de la cabuya mejora simultáneamente las propiedades mecánicas del mortero.

Las fibras vegetales son biodegradables y tienen un bajo impacto ambiental, no generan residuos contaminantes persistentes al final de la vida útil del mortero. Se han realizado ensayos en Europa con fibras de coco y de lino que nos permiten comprobar el buen comportamiento de los morteros reforzados, que mantienen su adherencia y resistencia incluso después de un ciclo de envejecimiento acelerado: la vida útil del material se extiende y se minimizan los reparaciones (Pederneiras et al., 2021), lo que se traduce en un ahorro, en términos de recursos y de energía a medio y largo plazo.

La resistencia de los morteros con fibras vegetales fortalece su sostenibilidad. (Orellana, 2024) determinó que estos compuestos muestran menos fisuración y un mejor comportamiento ante ciclos de humedad. Por lo tanto, requieren menos mantenimiento y menos sustitución comparado con los convencionales.

La sostenibilidad del uso de fibras vegetales en morteros se fundamenta en tres pilares. Estos son la reducción de emisiones de CO₂, el aprovechamiento de recursos locales y la prolongación de la vida útil del material. (Da Fonseca et al., 2021a) investigaron sobre estos beneficios que posicionan a los morteros reforzados como una excelente alternativa. Esta opción se alinea con los objetivos globales de construcción sostenible. Su aplicación mejora el desempeño técnico. También contribuye a un modelo constructivo responsable y adaptado a los desafíos ambientales actuales.

Comportamiento a la Fractura y Control de Fisuras en Matrices Reforzadas con Cabuya

La inherente baja resistencia a la tracción de los morteros y hormigones tradicionales los hace altamente susceptibles al agrietamiento y a la falla frágil. Sin embargo, la inclusión de fibras vegetales transforma este comportamiento al limitar la expansión de las fisuras a lo largo del ciclo de vida del material (Abdullah et al., 2011). Durante el proceso de curado y endurecimiento, las matrices cementicias sufren cambios volumétricos, por lo que la incorporación de fibras naturales en el mortero ayuda a controlar el agrietamiento inicial inducido por las variaciones de humedad, de temperatura y de retracción plástica (Wei, Ma, & Thomas, 2016). Una vez que el mortero ha endurecido y se somete a cargas mecánicas superiores a su capacidad, se inician las grietas. La capacidad de refuerzo de la cabuya radica en que, cuando una grieta intenta propagarse, se encuentra con los filamentos de la fibra. Estas fibras actúan como un puente que absorbe energía y proporciona un esfuerzo de "cosido" que retrasa y evita que la grieta se abra con rapidez (Wang et al., 2013). A diferencia del mortero simple, el cual presenta una falla explosiva y se desprende en piezas separadas tras romperse, el mortero reforzado demuestra una alta integridad post-falla; las fibras mantienen unidas las piezas fisuradas, aportando una ductilidad esencial que prolonga el tiempo de colapso de las estructuras (Gutiérrez Jiménez et al., 2008).

Capítulo III

Metodología

Enfoque de Investigación

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo para analizar y comparar las propiedades físicas y mecánicas de un mortero convencional con otro modificado con fibras de cabuya. La metodología se basa en medir, observar de forma ordenada y analizar los datos obtenidos en laboratorio, con el objetivo principal de mostrar mediante pruebas prácticas, si añadir fibras vegetales mejora el rendimiento de las mezclas usadas en enlucidos internos y externos.

Tipo y Diseño de Investigación

El trabajo es de tipo aplicado y de nivel explicativo, ya que busca dar solución a una necesidad técnica en el sector de la construcción evaluando las relaciones de causa y efecto generadas por la adición de las fibras vegetales, para ello, se plantea un modelo experimental de laboratorio bajo condiciones estrictamente controladas.

En este escenario, se manipulará de forma deliberada la variable independiente, la que está representada por los distintos porcentajes de dosificación de cabuya, para medir con precisión su efecto directo sobre las variables dependientes, es decir, las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad del mortero resultante.

Muestras de Estudio

Las muestras de estudio comprenden el volumen total de mezclas de mortero, tanto en su forma convencional como en la modificada con fibras de cabuya, que pueden elaborarse para su uso en enlucidos. Al tratarse de una producción continua de materiales que puede replicarse indefinidamente, se define como una población de carácter infinito.

La selección de la muestra obedece a un muestreo no probabilístico de tipo intencional y estará conformada por especímenes elaborados y curados en condiciones controladas de laboratorio. Este diseño experimental se estructura a partir de la interacción de varias variables: tres proporciones de dosificación de cemento y arena 1:4, 1:5 y 1:6; el contenido de fibra de cabuya, con porcentajes de adición del 0 %; 0,25 %; 0,50 % y 0,75 % con respecto al peso del cemento; las edades de ensayo para evaluar la evolución de las propiedades a los 1, 3, 7 y 28 días de curado; y la geometría de los especímenes, que contempla tanto briquetas como viguetas.

Con el fin de garantizar la validez estadística de los resultados y cumplir con las normativas técnicas vigentes, se fabricarán tres réplicas para cada combinación de variables. En consecuencia, por cada dosificación estudiada se moldearán 48 briquetas y 48 viguetas, lo que suma un total de 288 probetas para todo el programa experimental, distribuidas equitativamente entre 144 briquetas y 144 viguetas.

Técnica e Instrumento

La técnica principal de recolección de datos es la observación sistemática directa, fundamentada en la ejecución de pruebas de laboratorio de carácter empírico y de ensayos mecánicos destructivos, por lo que todos los procedimientos experimentales se llevarán a cabo cumpliendo estrictamente los parámetros establecidos en las normativas técnicas nacionales (NTE INEN) e internacionales (ASTM).

Esta técnica asegura que los resultados obtenidos sean confiables y comparables con estándares reconocidos a nivel global, de igual manera al seguir protocolos normativos internacionales, se garantiza que los datos puedan ser contrastados con investigaciones similares realizadas en otros contextos fortaleciendo la credibilidad del estudio.

La aplicación de estas técnicas se divide en dos fases metodológicas:

Fase 1: Caracterización de los Materiales Constituyentes

Previo a la elaboración de las mezclas, se ejecutó una caracterización física y mecánica de cada componente individual para garantizar la calidad y viabilidad de los resultados:

Árido Fino

El árido fino empleado en la elaboración de las mezclas es comercialmente conocido como arena de enlucido y fue adquirido en un establecimiento de la franquicia DISENSA, situado en el sector de San Pedro de Taboada Av. Mariana de Jesús y Agustín Miranda, Sangolquí. La selección de esta fuente de abastecimiento responde a la elección de un insumo que implique un uso representativo y de fácil acceso en el mercado local.

Dicha elección metodológica asegura que, al evaluar el comportamiento físico y mecánico en ensayo, este refleje con gran fidelidad los estados y características reales del material que se utiliza habitualmente en las obras que se levantan en el entorno en cuestión.

Se llevó a cabo un análisis granulométrico de la arena, el cual permitió determinar tanto la distribución de partículas como el módulo de finura (NTE INEN 872 / ASTM C136). También se determinó su contenido de humedad y el porcentaje de absorción (NTE INEN 862 / ASTM C128) como la densidad, datos que se consideran imprescindibles para realizar la corrección del agua de amasado en el diseño de la mezcla.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad del árido fino es un parámetro que se refiere a la cantidad de agua que existe en las partículas antes del mezclado. Por lo tanto, conocer este valor es imprescindible para ajustar con precisión la cantidad de agua necesaria para el mezclado, garantizando así la consistencia y la resistencia de la matriz cementicia. Para ello, de acuerdo con

la norma NTE INEN 862, el ensayo determina la diferencia de masa entre el árido húmedo y el árido seco, lo que representa el agua retenida en el material.

Para la ejecución del procedimiento, se registró en una balanza de alta precisión el peso inicial de un recipiente metálico vacío. Seguidamente, se colocó una muestra representativa del árido fino en su estado natural y se registró el peso total. La muestra fue introducida en un horno de secado a una temperatura controlada de 110 ± 5 °C durante un periodo de 24 horas, tiempo necesario para evaporar la totalidad del agua y alcanzar una masa constante. Cumplido este lapso, la muestra se retiró, se dejó enfriar y se pesó nuevamente. La diferencia de masas permitió calcular el porcentaje de humedad natural mediante la Ecuación 1.

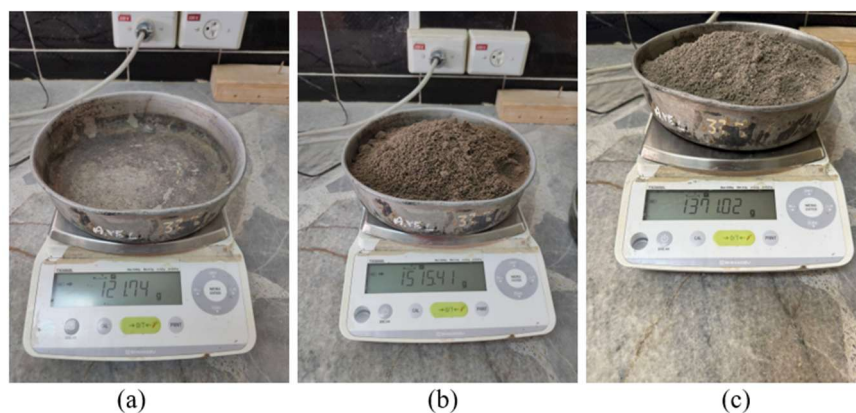
$$P = 100 \cdot \frac{(W-D)}{D} \quad (1)$$

Donde

P	Contenido total de humedad evaporable de la muestra (%)
W	Masa de la muestra original (g)
D	Masa de la muestra seca (g)

Figura 1

Proceso para determinar el contenido de humedad del árido fino



Nota. (a) Registro de la masa del recipiente vacío, (b) medición del recipiente con la muestra de árido fino en estado natural (húmedo), y (c) proceso de secado de la muestra en horno a 110 °C.

Granulometría

Conforme a lo estipulado en la norma NTE INEN 696, el análisis granulométrico hace referencia a la clasificación y a la cuantificación de las diferentes dimensiones de las partículas que constituyen un agregado. En función de la distribución del material que queda retenido en los tamices, el análisis granulométrico puede clasificarse en distintas categorías, las cuales se plasman en la Tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de granulometrías

Casos	Descripción
Bien gradada	El agregado exhibe una distribución regular y continua de tamaños desde los más grandes a los más pequeños.
Mal gradada	Se muestra ausencia o salto abrupto de material entre los tamices sucesivos.
Uniforme	La mayor concentración del agregado se distribuye en la proporción de partículas de un único tamaño mayoritario.
Abierta o Discontinua	No se recoge retención de material en ciertos tamices de la serie.

Nota. Adaptado de Khan (2020).

El método físico consistió, efectivamente, en pasar una muestra representativa de arena seca a través de una serie estandarizada de tamices, dispuestos de mayor a menor abertura. El cribado se efectuó mediante un tamizador mecánico vibratorio para garantizar la adecuada separación de las partículas. Los resultados obtenidos se tabularon para construir la curva granulométrica, con el porcentaje pasante acumulado en el eje vertical y la abertura del tamiz en el eje horizontal, lo que permitió determinar la proporción de partículas finas y gruesas.

Figura 2

Resultados de granulometría



Nota. Los tamices utilizados para los resultados de izquierda a derecha son: N.º 4, N.º 8, N.º 16 y N.º 30 respectivamente.

Este análisis permite obtener el Módulo de Finura (MF), un índice que indica el grosor promedio de las partículas. El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en la serie estándar de tamices desde el tamiz N.º 100 hasta el tamaño máximo y dividiendo el resultado entre 100, como se muestra en la Ecuación 2. Un módulo de finura alto indica arena gruesa y un módulo de finura bajo, arena fina, lo que afecta la cantidad de agua necesaria y la facilidad de manejo de la mezcla.

$$MF = \frac{\sum \text{Retenidos}}{100} \quad (2)$$

Cuando la fracción granulométrica analizada no se encuentra dentro de los límites de la norma, se puede llevar a cabo una corrección granulométrica a partir de la mezcla de distintas fracciones de árido. La corrección que se persigue procura conseguir una adecuada distribución que dé lugar a la densidad, la trabajabilidad y las propiedades mecánicas acordes con los requerimientos de diseño. Como referencia para la caracterización y aceptación del árido fino, en

la Tabla 4 se presentan los límites de las curvas granulométricas exigidos por la norma técnica NTE INEN 872.

Tabla 4

Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería

Tamiz (mm / No.)	Porcentaje pasante (Arena Natural)	Porcentaje pasante (Arena Elaborada)
4,75 mm (No. 4)	100	100
2,36 mm (No. 8)	95 – 100	90 – 100
1,18 mm (No. 16)	90 – 100	70 – 100
600 μ m (No. 30)	40 – 85	40 – 75
300 μ m (No. 50)	10 – 30	10 – 30
150 μ m (No. 100)	2 – 15	2 – 10
75 μ m (No. 200)	0 – 10	0 – 10

Nota. Parámetros extraídos de la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 872, 2011).

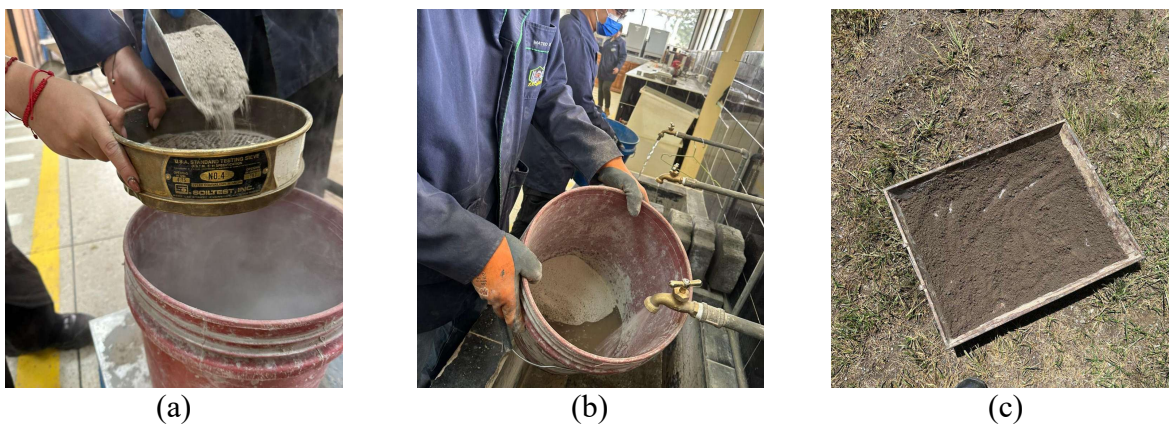
Peso Específico y Absorción

Se determinaron el peso específico y la absorción del árido fino, siguiendo los lineamientos de la norma NTE INEN 856, para establecer la densidad real de las partículas sólidas y la cantidad de agua que pueden retener en sus poros hasta alcanzar la condición de Saturado Superficialmente Seco (SSS), ya que estos parámetros son importantes para calcular con precisión las dosificaciones del mortero y garantizar la calidad de la mezcla.

Para el procedimiento experimental, primero se tomó una muestra representativa y se secó en un horno a 110 °C. Luego, se extrajo una porción de 1500 g y se sumergió en agua a temperatura ambiente durante 24 horas (véase la *Figura 3*). Después de este tiempo, el material se extendió sobre una superficie plana y se sometió a un secado gradual hasta alcanzar el estado SSS.

Figura 3

Preparación de la muestra de ensayo

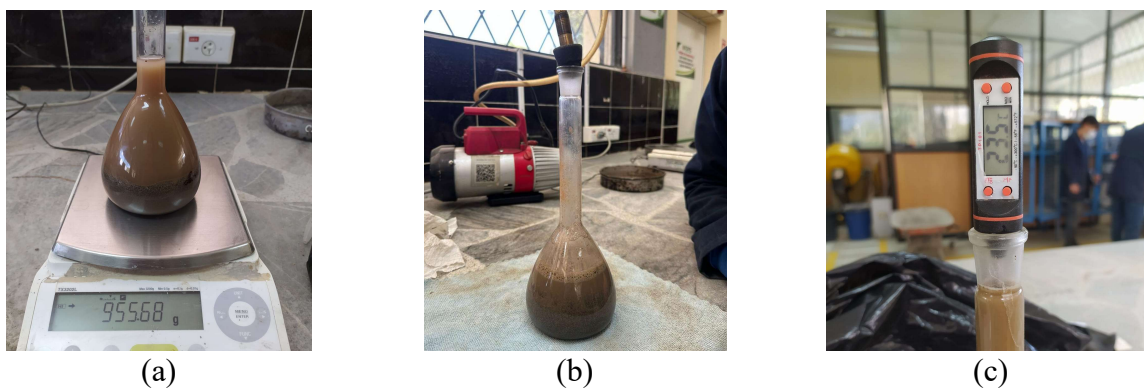


Nota. (a) Tamizaje del material para obtención de muestra, (b) Saturación en agua del material, (c) Extendido y secado de la muestra.

Para la prueba de densidad se pesaron 500 g de arena en estado SSS y se introdujeron en un picnómetro, empleando una bomba de vacío se eliminó el aire atrapado para determinar el volumen desplazado y calcular la densidad relativa (*véase la Figura 4*). Los resultados se procesaron utilizando las Ecuaciones 3, 4 y 5.

Figura 4

Proceso del ensayo de densidad del árido



Nota. (a) Peso en picnómetro, (b) Eliminación de aire contenido con ayuda de la bomba de vacíos, (c) Estabilización de temperatura.

De manera complementaria, para determinar el porcentaje de absorción, se extrajo otra muestra de 500 g en condición SSS y se secó en horno a 110 °C durante 24 horas (*véase la Figura 5*). La diferencia entre la masa superficialmente saturada y la masa seca permitió calcular la capacidad de absorción del agregado, lo que aseguró que las proporciones de agua en el mortero se ajustarán correctamente. Este cálculo se realizó mediante la Ecuación 6 (NTE INEN 856, 2010).

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{C}{C + D + E} \cdot \gamma \quad (3)$$

$$\text{Densidad Relativa SSS} = \frac{A}{A + D - E} \cdot \gamma \quad (4)$$

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{C}{A + D - E} \cdot \gamma \quad (5)$$

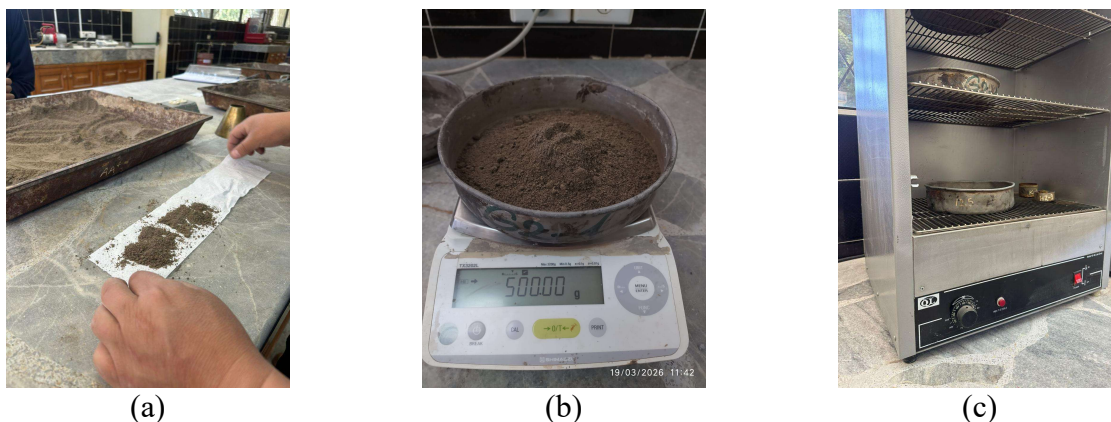
$$\text{Absorción} = \left(\frac{A - C}{C} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Donde:

A	Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)
C	Masa de la muestra seca al horno (g)
D	Masa del picnómetro lleno con agua (g)
E	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua (g)
γ	Peso específico del agua a la temperatura del ensayo (g/cm ³)

Figura 5

Proceso del ensayo de porcentaje de absorción



Nota. (a) Verificación del estado SSS de la muestra, (b) Pesaje de la muestra, (c) Muestra en horno para el proceso de secado.

Masa Unitaria

El ensayo de masa unitaria mide la relación entre la masa del material y el volumen total que ocupa en un recipiente, que incluye tanto los poros de las partículas como los espacios vacíos entre ellas. Con este ensayo podemos obtener los valores de densidad suelta y densidad compactada, que son valores de suma importancia para determinar el volumen de agregado necesario para el mortero.

En el caso de la medición de la densidad aparente suelta, se utilizó un recipiente de forma cilíndrica, cuya masa y volumen estuvieran previamente ensayados. El molde se llenó, dejando caer finamente el agregado fino uniformemente, sin compactar ni vibrar el mismo (*véase la Figura 5*).

Una vez enrasada la superficie, se registró la masa total y se determinó el valor correspondiente a partir de la Ecuación 7.

$$\text{Densidad aparente suelta} = \frac{M_s}{V_m} \quad (7)$$

Donde

M_s Masa suelta del árido fino (g).

V_m Volumen del molde (cm^3).

Para la densidad aparente compactada se utilizó el mismo recipiente, el cual se llenó en tres capas sucesivas, como indica la normativa NTE INEN 858; cada capa fue consolidada mediante 25 golpes uniformes con una varilla metálica de punta hemisférica. Tras completar el llenado y enrasar la superficie, se registró la masa total, se repitió dos veces para obtener un promedio confiable, y el resultado se calculó mediante la Ecuación 8.

$$\text{Densidad aparente compactada} = \frac{M_c}{V_m} \quad (8)$$

Donde

M_c Masa compactada del árido fino (g).

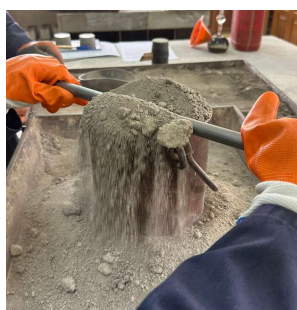
V_m Volumen del molde (cm^3).

Figura 6

Procedimiento de ensayo de masa unitaria



(a)



(b)



(c)

Nota. (a) Llenado del recipiente, (b) Enrasado de material, (c) Pesaje final de la muestra.

Cemento

Se utilizó cemento Portland, evaluando en la pasta su consistencia normal mediante el aparato de Vicat (NTE INEN 157 / ASTM C187) y el tiempo de fraguado inicial y final (NTE INEN 158 / ASTM C191), asegurando un tiempo de manejabilidad óptimo para enlucidos.

En los ensayos se utilizó cemento Holcim Fuerte Tipo GU debido a que es un cemento regulado bajo la NTE INEN 2380 cumpliendo con los requisitos del desempeño y propiedades específicas, el material fue adquirido de la franquicia DISENSA y posteriormente almacenado en un lugar libre de humedad, con ventilación constante y aislado del suelo.

Densidad

La determinación de la densidad real del concreto permite el conocimiento del volumen absoluto que ocupa el aglomerante en la mezcla, con el cual se establecerán las fijaciones de las proporciones del diseño de mortero, así como también el cálculo de la cantidad de materiales en función del rendimiento del mortero.

El ensayo se llevó a cabo bajo el procedimiento de la norma NTE INEN 156. La prueba consiste en saber cuántos mililitros de líquido desplaza una masa de cemento conocida. Para la realización del ensayo se utilizó un matraz normalizado de Le Chatelier, que fue llenado al principio con el líquido libre de agua hasta el nivel entre 0 y 1 mL. Posteriormente, el matraz se sumergió verticalmente en un baño de agua a temperatura constante para estabilizar el sistema térmico y se registró la lectura volumétrica inicial (*véase la Figura 7*).

A continuación, se pesó una muestra representativa de 64 g de cemento con una balanza analítica. El material se introdujo lentamente y con cuidado en el interior del matraz, empleando un embudo para evitar la adhesión de partículas a las paredes internas del cuello del matraz. Una

vez incorporado todo el aglomerante, se colocó el tapón y se realizaron movimientos rotatorios horizontales alternados para eliminar por completo el aire atrapado entre los granos del cemento.

Finalmente, el dispositivo se sumergió nuevamente en el baño de agua estabilizadora para efectuar la lectura volumétrica final en la escala graduada del matraz (*véase la Figura 7*). La diferencia entre ambas lecturas determinó el volumen neto del líquido desplazado por la masa del material sólido, y el resultado se calculó aplicando la Ecuación 9.

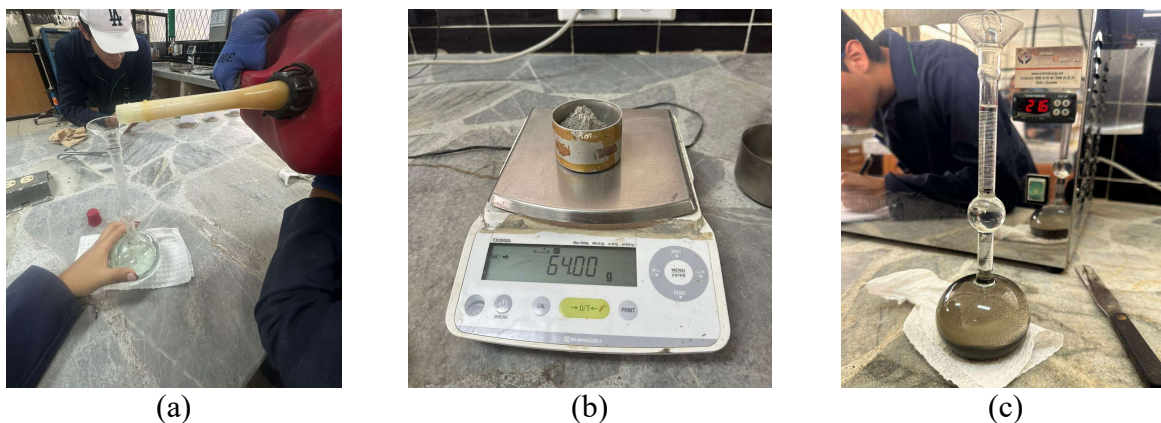
$$\rho_c = \frac{M_c}{V_f - V_i} \quad (9)$$

Donde:

Pc	Densidad real del cemento (g/cm ³)
Mc	Masa de la muestra de cemento introducida (g)
Vi	Lectura volumétrica inicial en el matraz (cm ³ o mL)
Vf	Lectura volumétrica final en el matraz (cm ³ o mL)

Figura 7

Fases del ensayo para la determinación de la densidad del cemento



Nota. (a) Registro del volumen inicial del líquido en el matraz de Le Chatelier, (b) Introducción cuidadosa de la muestra de cemento pesada, (c) Estabilización térmica y toma de la lectura final para el cálculo del volumen desplazado.

Consistencia

El ensayo de consistencia sirve para determinar qué cantidad de agua se necesita para conseguir una pasta en condiciones con una plasticidad adecuada. Esta cifra es muy importante, ya que permite conocer la cantidad de agua que pide el aglomerante y que resulta necesaria para hacer pruebas como la plasticidad del cemento.

El procedimiento se ejecutó conforme a las indicaciones de la norma NTE INEN 157 (2009). En la práctica, se pesaron 650 g de cemento y se colocaron sobre una superficie lisa no absorbente, formando un cráter en el centro del polvo y se vertió una cantidad inicial de agua, tras permitir la absorción durante unos segundos, la mezcla se amasó manualmente (con guantes de caucho) con fuerza para asegurar una hidratación uniforme de todas las partículas.

Con la pasta resultante se formó una masa esférica, que se lanzó de una mano a otra para compactarla y expulsar el aire atrapado. Seguidamente, la esfera se introdujo a presión en el molde troncocónico de ebonita por su base mayor. El exceso de pasta se enrasó en ambas caras con una espátula recta, procurando no ejercer demasiada presión para obtener una superficie nivelada (*véase la Figura 8*).

$$Consistencia = \left(\frac{V_a}{M_c} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

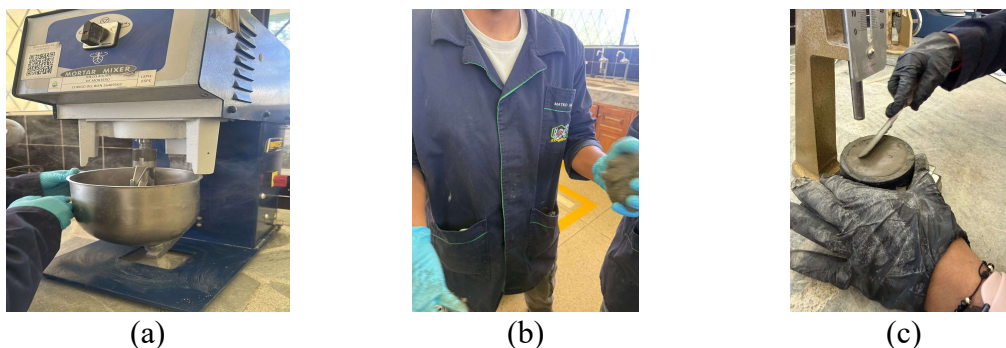
Donde:

V_a Volumen de agua requerida para alcanzar la penetración de 10 mm

M_c Masa de la muestra original de cemento (650 g)

Figura 8

Procedimiento para determinar la consistencia normal de la pasta de cemento



Nota. (a) Preparación inicial de la pasta de cemento, (b) Moldeamiento de la pasta de cemento, (c) Enrasamiento previo la colocación en el Aparato de Vicat.

Tiempo de Fraguado

El ensayo de tiempo de fraguado determina el lapso en el que la pasta de cemento pierde su plasticidad y comienza a endurecerse, lo cual constituye un dato indispensable para garantizar un tiempo adecuado de manejo y aplicación del mortero en obra.

El procedimiento se ejecutó conforme a las disposiciones de la norma NTE INEN 158 (2009). Como paso inicial, se preparó la mezcla con la cantidad exacta de agua definida en la prueba de consistencia normal (*véase la Figura 8*). La pasta resultante se moldeó en un anillo troncocónico de ebonita sobre una placa de vidrio, enrasando la superficie superior para evitar vacíos internos.

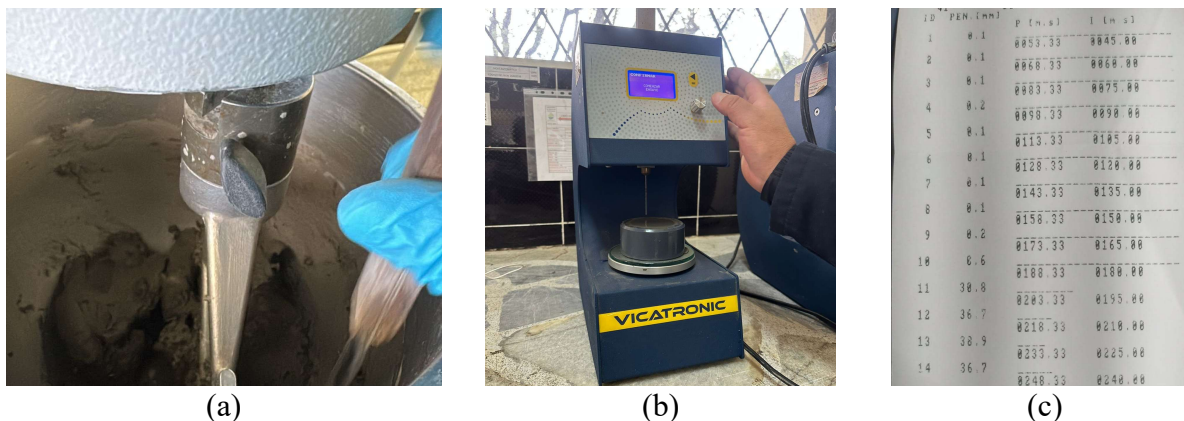
Para la etapa de medición, la muestra se colocó en un aparato Vicat automático (*Vicatronic*), el cual fue programado para ejecutar la prueba de forma totalmente autónoma (*véase la Figura 9*). El equipo realizó la primera penetración con la aguja de acero de 1 mm de diámetro a los 30 minutos de iniciada la hidratación del cemento. Posteriormente, la máquina

ejecutó caídas libres automatizadas cada 15 minutos, desplazando mecánicamente la muestra para asegurar que cada punción ocurriera en un área intacta.

El software del equipo detectó y registró el fraguado inicial exactamente en el instante en que la aguja alcanzó una penetración de 25 mm. El ensayo continuó de forma ininterrumpida hasta registrar el fraguado final, correspondiente al momento en que la aguja ya no logró penetrar la superficie endurecida de la pasta. Al culminar el ciclo, el equipo generó un reporte impreso con la curva de penetración y los tiempos exactos (*véase la Figura 9*), eliminando así cualquier posible sesgo de lectura visual.

Figura 9

Fases del ensayo para la determinación del tiempo de fraguado



Nota. (a) Preparación inicial de la pasta de cemento, (b) Muestra posicionada en el aparato Vicat automático (*Vicatronic*) para el inicio de las punciones programadas, (c) Reporte físico emitido por el equipo con los tiempos de fraguado inicial y final.

Fibra de cabuya

La materia prima vegetal consistió en fibra de cabuya en estado natural, adquirida directamente en el mercado comercial de Sangolquí. Como paso inicial, los mechones fueron sometidos a una limpieza manual para eliminar polvo, corteza y filamentos dañados. Con el

propósito de asegurar una distribución uniforme del mortero y evitar que las fibras se enreden formando grumos durante el mezclado mecánico, fenómeno conocido en la práctica como "efecto erizo", se peinó el material y se cortó transversalmente a una longitud fija de 20 mm, definida con base a la literatura de referencia (*véase la Figura 10*).

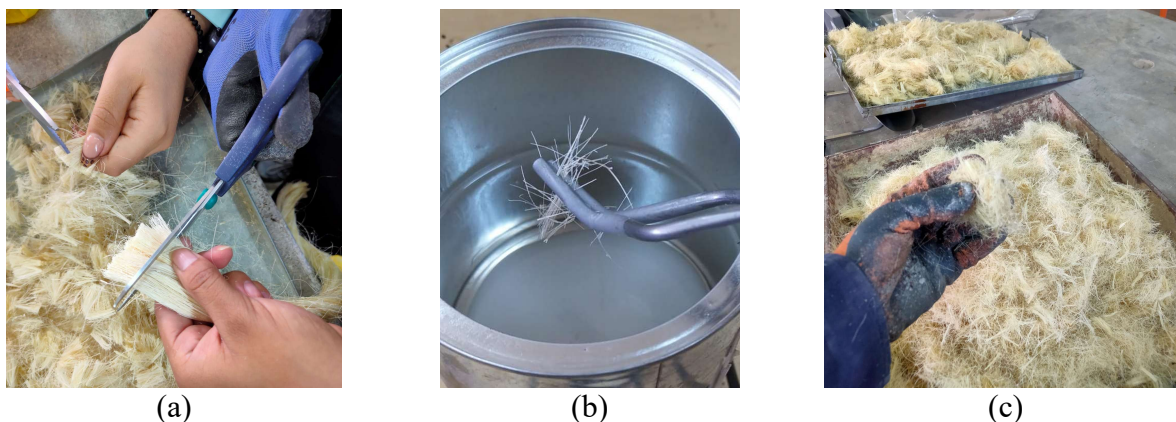
Tratamiento de fibra

Las fibras vegetales destacan por su alta capacidad de absorción, lo que suele retirar agua del amasado y perjudicar la correcta hidratación del cemento. Para contrarrestar esta propiedad hidrófila, el material cortado recibió un tratamiento físico protector con cera de parafina, siguiendo una metodología adaptada de estudios previos sobre la permeabilidad en matrices cementicias (Viera et al., 2022).

El procedimiento se inició fundiendo bloques de parafina sólida en un recipiente metálico bajo el calor de la estufa eléctrica, controlando que la cera líquida alcanzara una temperatura de 130 °C. Posteriormente, las fibras de 20 mm se sumergieron por completo en el líquido durante un lapso de entre 20 y 25 segundos (*véase la Figura 10*). Tras este breve tiempo de contacto, el agregado vegetal se extrajo rápidamente y se escurrió para eliminar cualquier exceso de cera acumulada, y se extendió finalmente sobre una superficie plana hasta enfriarse a temperatura ambiente. Este recubrimiento genera una película hidrófoba delgada alrededor de cada filamento, lo que estabiliza volumétricamente la cabuya, impide el secuestro de agua y optimiza el anclaje en la interfaz fibra-matriz.

Figura 10

Fases del tratamiento para la fibra de cabuya con parafina.



Nota. (a) Corte de la fibra vegetal de cabuya cada 20 mm, (b) Impregnación de fibra de cabuya con parafina, (c) Resultado de la fibra tratada.

Fase 2: Procedimiento Experimental Sobre las Mezclas de Mortero

Una vez elaboradas las diferentes dosificaciones de estudio se aplicaron las siguientes técnicas de ensayo para verificar los resultados con base en las normativas NTE INEN y ASTM:

Ensayo de Trabajabilidad

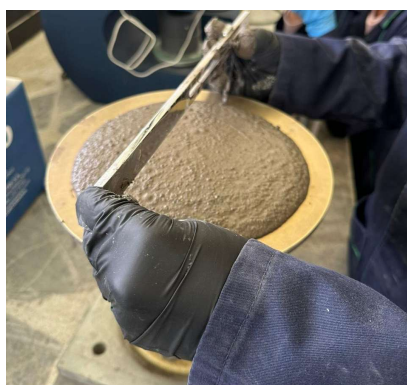
La evaluación de la trabajabilidad consistió en medir el escurrimiento de la mezcla en estado fresco para garantizar que el mortero posea la plasticidad y cohesión necesarias para su proyección en obra.

El procedimiento ha seguido los lineamientos del método estándar ASTM C1437 y las especificaciones de la NTE INEN 2518. Se usó para esta prueba un aparato de flujo que estuviera nivelado (limpio y seco). En el inicio de la prueba, el molde troncocónico se colocó de manera centrada en la placa circular y luego fue llenado con la mezcla en dos capas iguales. Cada capa se compactó a través de la aplicación de 20 golpes con el pisón para garantizar que el material quedará uniformemente distribuido, es decir, sin vacíos.

Una vez se enrasó la superficie superior, ayudados de una regla metálica, se retire el molde, levantando el molde verticalmente con cuidado. Inmediatamente, mediante el mecanismo de la mesa, se aplicó un ciclo de 25 caídas libres consecutivas en un lapso de 15 segundos (*véase la Figura 11*). Finalizado el movimiento, se utilizó un calibrador para medir el diámetro final de la base de la mezcla escurrida en cuatro direcciones equidistantes. El promedio de estas lecturas permitió calcular el porcentaje de fluidez del mortero respecto al diámetro original del molde.

Figura 11

Medición de la fluidez del mortero en estado fresco



Nota. Medición del diámetro de escurrimiento del mortero sobre el aparato de flujo tras aplicar las 25 caídas libres.

Ensayo de Resistencia a la Compresión

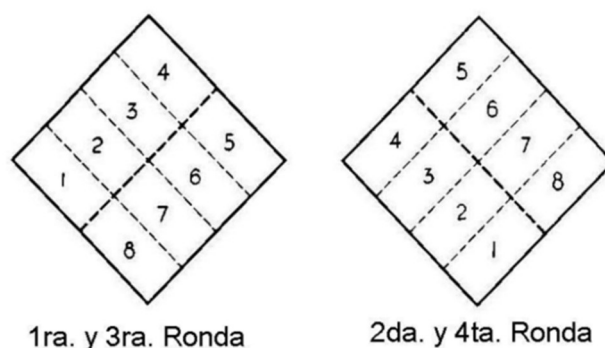
El ensayo de resistencia a la compresión determina la máxima capacidad de carga soportable de un mortero sometido a un esfuerzo axial constante hasta llegar a la rotura del material. La técnica de moldeo y la rotura se ejecutaron de acuerdo con los parámetros técnicos estandarizados de las normas ASTM C109 y NTE INEN 488.

Las muestras fueron llevadas a cabo en moldes cúbicos metálicos de 50 mm de arista, en los cuales se vertió la mezcla fresca en cada uno de los compartimentos por capas casi del mismo volumen. A cada una de las capas compactadas se les aplicaron 32 golpes (*véase la Figura 12*),

distribuidos uniformemente por un pisón no metálico, para garantizar la densificación del material y la expulsión del aire encerrado. Tras enrasar la superficie superior con una regla metálica, los especímenes se dejaron reposar en su molde durante 24 horas.

Figura 12

Orden de apisonado al moldear los especímenes de ensayo



Nota. Tomado de Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488 (2009).

Una vez cumplido el fraguado inicial, las briquetas se desencofraron y se sumergieron de inmediato en las piscinas de curado continuo hasta alcanzar las edades de rotura programadas (1, 3, 7 y 28 días).

Tabla 5

Tolerancia para el ensayo de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	$\pm \frac{1}{2}$ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

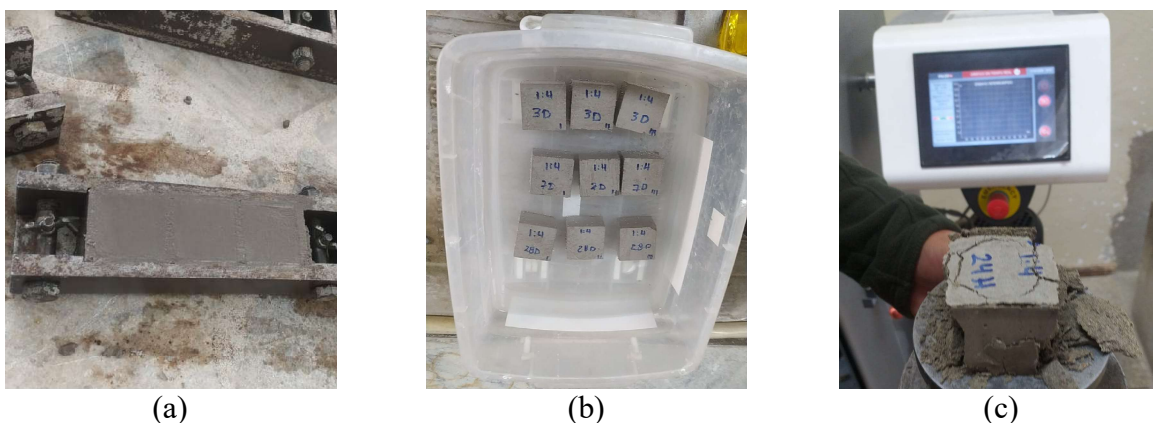
Nota. Tomado de Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488 (2009).

En la fecha de evaluación, se extrajo cada probeta del agua, se secó con un paño húmedo, se tomó el respectivo peso de la probeta y dimensiones para después colocarla con cuidado sobre los bloques de apoyo de la máquina universal de ensayos. La prensa hidráulica aplicó una carga axial a velocidad constante y sin golpes bruscos hasta que la briqueta se fracturó por completo.

La resistencia final se obtuvo al dividir la máxima fuerza registrada por el equipo entre el área transversal de carga del espécimen, y se expresó en megapascuales.

Figura 13

Elaboración y ensayo a compresión de las probetas cúbicas de mortero



Nota. (a) Moldeo de la mezcla en cubos de 50 mm de arista, (b) Proceso de curado por inmersión de las probetas, (c) Falla post aplicación de carga axial en la máquina universal de ensayos.

Como criterio de evaluación del desempeño mecánico se basó en la normativa NTE INEN 2518, los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 28 días de curado se compararon con los límites establecidos en la tabla de la Figura 14.

Se estableció como parámetro de control el esfuerzo mínimo de 5,2 MPa referentes al mortero Tipo N, especificado para enlucido en mampostería.

Figura 14*Especificación por propiedades. Requisitos*

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min, (MPa)	Retención de agua, % min	Contenido de aire, % max ^B	Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta)
Cemento y cal	M	17,2	75	12	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mortero	M	17,2	75	12	
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mampostería	M	17,2	75	18	
	S	12,4	75	18	
	N	5,2	75	20 ^D	
	O	2,4	75	20 ^D	

A

B

C

D

Únicamente morteros preparados en laboratorio (ver la nota 6).

Ver la nota 7.

Quando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento y cal, el contenido máximo de aire debe ser 12%.

Quando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería, el contenido máximo de aire debe ser 18%.

Nota. Tomado de “Morteros para unidades de mampostería. Requisitos” INEN 2518, 2010.

Resistencia a la Flexión

Este ensayo analiza cómo el mortero prismático resiste los esfuerzos de tracción debidos a la flexión. Con este método se observa el desempeño real y la eficiencia de las fibras vegetales en la matriz y se evalúa su capacidad para absorber energía logrando mantener la integridad de la muestra después de la primera fisura. El proceso siguió los criterios de carga definidos en la norma ASTM C348.

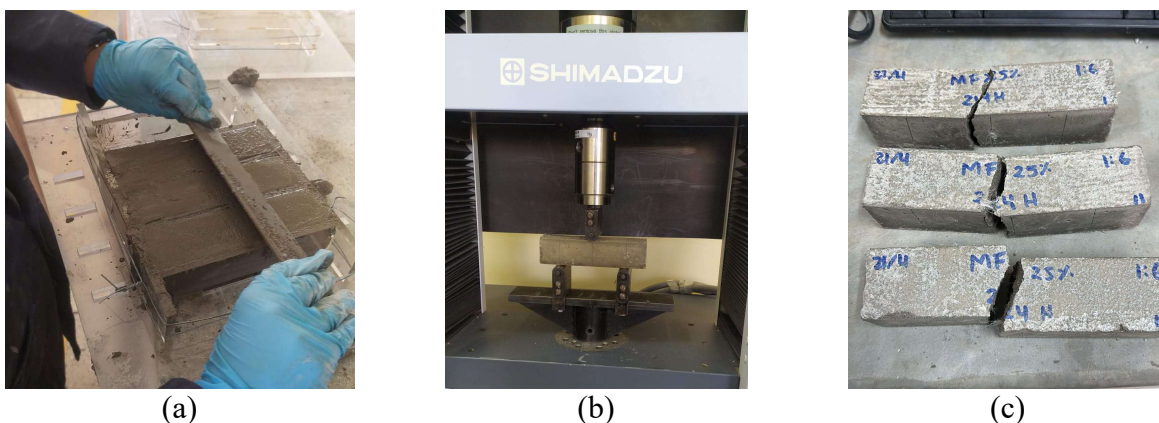
Para elaborar las muestras en moldes para viguetas que tenían unas dimensiones internas de 40 x 40 x 160 mm. La mezcla se volcó en los moldes y se fue compactando muy ligeramente para cubrir totalmente las fibras de cabuya y no dejar aire. Pasadas las 24 h se retiraron las viguetas de los moldes y se sumergieron en agua para su curado.

La rotura se realizó mediante el método de flexión a tres puntos. Cada vigueta se posicionó cuidadosamente sobre dos apoyos cilíndricos inferiores separados por una luz libre de 10 cm, dejando un voladizo simétrico de 3 cm hacia los bordes en cada extremo de la vigueta.

Seguidamente, la máquina universal de ensayos del laboratorio aplicó una carga axial continua y progresiva exactamente en el centro del claro libre (*véase la Figura 15*). El equipo registró la fuerza destructiva máxima en el instante en que se produjo la falla del material, lo que permitió calcular posteriormente el módulo de rotura en megapascuales.

Figura 15

Procedimiento de ensayo a flexión en viguetas de mortero



Nota. (a) Moldeo y consolidación de especímenes prismáticos en encofrados de acrílico. (b) Montaje en la máquina universal de ensayos bajo carga central, con una luz libre entre apoyos de 10 cm. (c) Patrón de falla del material evidenciando el comportamiento dúctil post-fisuración.

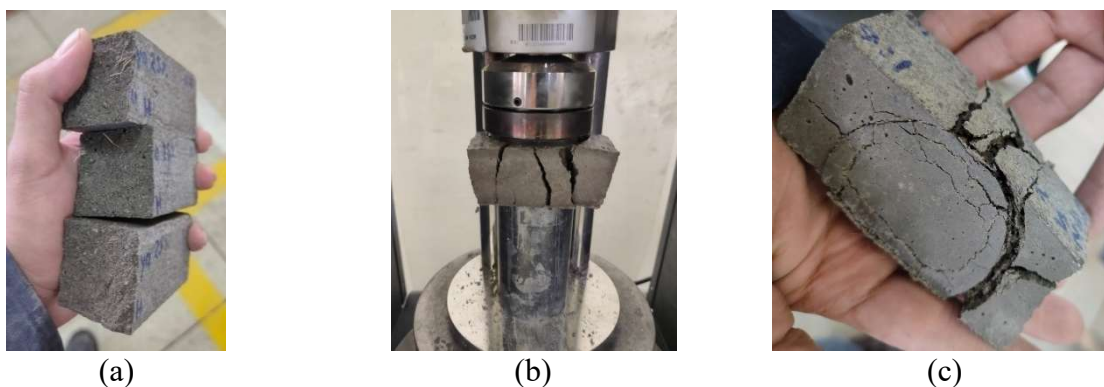
Para el ensayo de resistencia a la compresión de viguetas se usó como guía la ASTM C349 para la ejecución de esta prueba, se optimizó el uso del material utilizando las mitades de las viguetas resultantes del ensayo de flexión previo, se seleccionaron cuidadosamente aquellos fragmentos que presentaban caras lisas y conservaban la longitud mínima requerida para un centrado adecuado. Antes del ensayo, las superficies de contacto se limpiaron por completo para eliminar cualquier resto suelto que pudiera generar una distribución irregular de los esfuerzos.

La rotura se realizó aplicando una compresión directa sobre las caras laterales de la vigueta original, cada fragmento se centró exactamente entre dos placas de apoyo de acero de 40

x 40 mm, delimitando así el área de contacto transversal. Seguidamente, la máquina universal de ensayos aplicó una carga de compresión uniforme y continua sobre dicha área hasta alcanzar el colapso total de la muestra. El equipo registró la fuerza destructiva máxima en el instante de la falla, lo que permitió calcular posteriormente el esfuerzo a compresión en megapascuales.

Figura 16

Procedimiento de ensayo a compresión en viguetas de mortero



Nota. (a) Muestreo a partir de mitades de viguetas. (b) Ejecución del ensayo y aplicación de la carga en la probeta. (c) Patrón de falla de la probeta ensayada.

El porcentaje óptimo se valorará de acuerdo con la norma ecuatoriana INEN 488, conforme al criterio de mayor resistencia a compresión.

Validación y Confiabilidad del Instrumento

La validez de los métodos propuestos y de los resultados obtenidos se basa fundamentalmente en la estricta aplicación de los códigos normativos nacionales e internacionales relacionados con la materia cementosa considerada. Los procesos de laboratorio se rigieron por los parámetros técnicos de las normativas de caracterización de agregados (NTE INEN 872 y NTE INEN 862), consistencia de la pasta (NTE INEN 157 y NTE INEN 158), fluidez en estado fresco (NTE INEN 2518 / ASTM C1437), resistencia a la compresión (NTE INEN 488 / ASTM C109) y resistencia a la flexión (ASTM C348). El apego estricto a estas

estandarizaciones oficiales asegura que los ensayos evalúen de manera matemática, exacta y objetiva las propiedades del mortero modificado, eliminando sesgos en las variables del estudio.

La confiabilidad de los datos recolectados se basa en el control del entorno y del instrumental del proceso. Todo el programa de ensayos se ejecutó en las instalaciones del Laboratorio de Suelos, Pavimentos y Hormigones (LSPH-ESPE) del Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Las lecturas de las fuerzas de destrucción fueron registradas mediante una prensa digital de la marca *PilotPro*, relativa a su calibración vigente a la fecha del experimento, con lo cual se descartan errores de tipo instrumentales sistemáticos y se garantiza una alta precisión a la hora de capturar las fuerzas máximas de rotura.

El proceso de curado, un factor indispensable para la adecuada hidratación de la matriz y la respuesta de la fibra de cabuya, se fue monitorizando continuamente. Las probetas se mantuvieron sumergidas de manera continua en piscinas de agua que fueron mantenidas a una temperatura promedio de 24 °C, la cual osciló estrictamente dentro de los márgenes controlados de 23 °C a 25 °C. Este entorno previno los choques térmicos y aseguró un desarrollo uniforme de las propiedades mecánicas en todos los especímenes.

Finalmente, el control estadístico de las muestras sirvió como filtro para garantizar la reproducibilidad de la investigación. Al ensayar tres réplicas idénticas para cada combinación de dosificación, porcentaje de fibra y edad de rotura, se evaluó la homogeneidad del material compuesto. Se estableció como criterio de aceptación que ningún espécimen individual superará una desviación del 8,7 % respecto al promedio aritmético de su grupo de rotura en el ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas; de igual forma respecto al ensayo de resistencia a la flexión y compresión en viguetas la máxima desviación permisible es de 10% del promedio entre

las 3 muestras, la conformidad de todas las muestras dentro de este límite confirma la estabilidad, la consistencia estructural y la reproducibilidad de las mediciones registradas.

Consideraciones Éticas

El desarrollo metodológico y experimental se basó en la integridad académica, la objetividad científica y la responsabilidad social, cumpliendo con los códigos de ética de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Teniendo en cuenta que la fase práctica supuso la necesidad de contratar a personal cualificado para llevar a cabo la construcción y pruebas de los muretes a escala reducida, fue por ello que las consideraciones éticas estuvieron enfocadas en el ámbito laboral. Se pudo garantizar un ambiente laboral adecuado y profesional, un buen trato y una justa remuneración por los servicios prestados.

En cuanto a la investigación documental y analítica, se respetó la propiedad intelectual mediante la citación rigurosa y normalizada de todos los antecedentes, normativas y referencias bibliográficas utilizadas. Por su parte, los datos obtenidos de la prensa hidráulica y de las diferentes sondas de los equipos de medición del LSPH-ESPE se procesaron y se reportaron de manera transparente, esto es, sin alteraciones ni omisiones, ni falsificación de resultados, con la finalidad de asegurar que las conclusiones sean las que reflejan el comportamiento físico-mecánico real del mortero modificado.

Finalmente, el proyecto se inscribe en la construcción sostenible a partir de la revalorización de un recurso natural y local como la fibra de cabuya desde la óptica medioambiental. Durante los experimentos de laboratorio, la gestión de los residuos se realizó de forma responsable, pues los desechos de las probetas destructivas y los descendentes de las mezclas se clasificaron y desecharon acorde a los protocolos internos de gestión de residuos sólidos de la institución.

Capítulo IV

Análisis y Discusión de los Resultados

Caracterización de los Materiales

Árido Fino

Para asegurar el desempeño adecuado de los morteros tanto en estado fresco como endurecido, además se evaluaron las propiedades físicas y granulométricas del agregado fino. Este procedimiento resulta esencial, dado que la arena representa la mayor proporción del volumen de la mezcla y sus características mecánicas e hídricas afectan directamente la demanda de agua, la trabajabilidad y el acabado superficial del recubrimiento.

En primer lugar, se determinó el contenido de humedad del material en su estado natural obteniéndose un valor promedio de 11,62%. Este dato resultó indispensable para efectuar las correcciones por humedad en el diseño de mezclas lo que permitió reducir el agua de amasado teórica y evitar un exceso de fluidez que pudiera afectar negativamente la resistencia mecánica.

Tabla 6

Contenido de humedad árido fino

Muestra	Agregado fino		Unidad
Recipiente	C23	AXEL	-
Peso del recipiente	110,03	121,74	g
Peso del recipiente + muestra húmeda	1388,50	1515,41	g
Peso del recipiente + muestra seca	1254,82	1371,02	g
Peso del agua	133,68	144,39	g
Peso seco	1144,79	1249,28	g
Porcentaje de agua	11,68	11,56	%
Porcentaje de agua media	11,62		%

Nota. La humedad de la tabla es la del árido fino utilizado para los ensayos de caracterización.

Posteriormente, se hizo el análisis del tamaño de las partículas para ver cómo estaban distribuidas, comenzando con el tamizado. El material tuvo un módulo de finura de 2,23 lo que lo clasifica como arena fina, que se usa en morteros para enlucidos. Esta distribución de tamaños es buena porque ayuda a que la pasta se una mejor y da un acabado más uniforme y liso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, por tener más partículas pequeñas, el agregado tiene una superficie total mayor. En el diseño de mezclas, una superficie mayor necesita más pasta de cemento para cubrir bien cada partícula. Esta característica del material fue clave para decidir la cantidad de mezcla, ya que afecta directamente la cantidad de agua necesaria y la facilidad para trabajar la mezcla final.

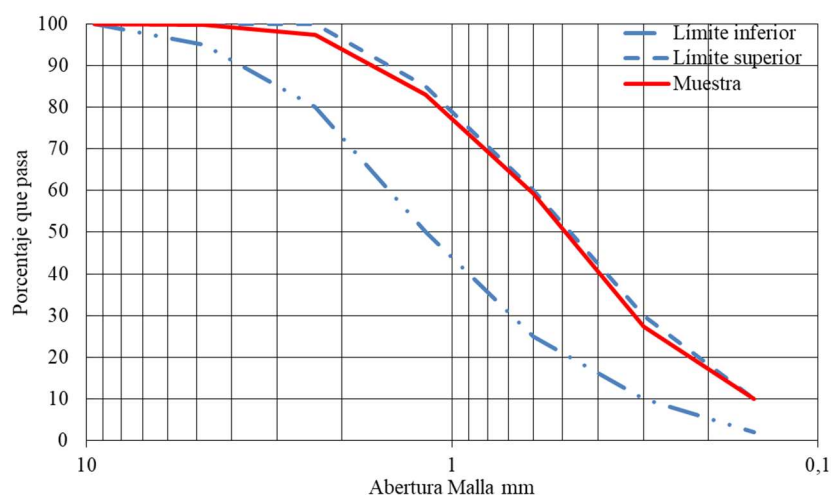
Tabla 7

Granulometría del árido fino

Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Acumulado pasa total
3/8" (9,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4 (4,76 mm)	1,33	1,33	0,27	99,73
No. 8 (2,36 mm)	12,27	13,60	2,72	97,28
No. 16 (1,18 mm)	71,29	84,89	16,99	83,01
No. 30 (0,6 mm)	118,89	203,78	40,79	59,21
No. 50 (0,30 mm)	158,87	362,65	72,59	27,41
No. 100 (0,15 mm)	86,71	449,36	89,95	10,05
Pasante No. 100	50,20	499,56	100,00	0,00
Peso inicial de la muestra (g)			500,00	
Peso final de la muestra (g)			499,56	
Error (%)			0,09	
Módulo de finura			2,23	

Figura 17

Curva granulométrica del árido fino



Por otro lado, la determinación de la masa unitaria permitió evaluar la capacidad de acomodo físico de las partículas, donde se registraron densidades volumétricas de 1294 kg/m^3 en estado suelto y de 1451 kg/m^3 en estado compactado, debido a este incremento de la densidad al aplicar energía de compactación demuestra la buena capacidad de reordenamiento del material, lo que se traduce en una reducción significativa del porcentaje de vacíos, pasando del 45,79% al 39,22%. Estos parámetros fueron esenciales para el cálculo de los volúmenes absolutos durante el diseño de mezclas, asegurando que la cantidad de cemento y agua sea suficiente para rellenar los espacios intersticiales del agregado.

Tabla 8

Densidad volumétrica suelta de agregado fino

Molde No.	1	2	Unidad
Peso del molde	2489,5	2489,5	g
Peso molde + suelo	6035,5	6193,5	g
Peso suelo	3546	3704	g
Volumen	2802	2802	cm^3
Densidad suelta	1,266	1,322	g/cm^3
Media	1,294		g/cm^3

Tabla 9*Densidad volumétrica compactada de agregado fino*

Molde No.	1	2	Unidad
Peso del molde	2489,5	2489,5	g
Peso molde + suelo	6400	6708	g
Peso suelo	3910,5	4218,5	g
Volumen	2802	2802	cm ³
Densidad suelta	1,396	1,506	g/cm ³
Media	1,451		g/cm ³

Tabla 10*Porcentaje de vacíos del árido fino*

Parámetro	Valor		Unidad
	Suelto	Compactado	
Densidad volumétrica agregado fino	1293,72	1451	kg/m ³
Gravedad específica agregado fino	2,391	2,391	-
Densidad del agua	998	998	kg/m ³
Vacíos	45,79	39,22	%

Nota. Los valores se presentan como el promedio de dos ensayos realizados.

Tabla 11*Densidad relativa y absorción del árido fino*

Nomenclatura	Parámetro	Valor	Unidad
S	Masa de la muestra saturada con superficie seca	500	g
	Masa de la tara	107,02	g
A	Masa de la muestra seca al horno	482,04	g
B	Masa del picnómetro lleno con agua	684,4	g
C	Masa del picnómetro con muestra + agua	983,44	g
γ	Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo	0,99704	g/cm ³
(A/B+S-C)* γ	Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (sh)	2,391	g/cm ³
(S/B+S-C)* γ	Densidad relativa (gravedad específica) (sss)	2,480	g/cm ³
(A/B+A-C)* γ	Densidad relativa (gravedad específica aparente)	2,626	g/cm ³
(S-A/A)*100	Absorción de agua	3,7	%

Finalmente, se ensayaron la densidad relativa y el porcentaje de absorción. Se encontró que la gravedad específica aparente era de 2,391 y la capacidad de absorción del 3,70 %. El nivel de absorción mostrado es el correspondiente a los agregados naturales medianamente porosos. Si se confronta ese 3,70 % con el 11,62 % de la humedad previamente determinada, se vuelve a confirmar que las partículas de arena se encontraban en estado sobresaturado, circunstancia que también avala la necesidad de realizar el ajuste por el contenido de agua en la dosificación con el objetivo de mantener inalterada la relación agua-cemento de diseño.

Cemento

A fin de conseguir el desarrollo adecuado de las reacciones que producían la hidratación y un comportamiento mecánico previsible en las mezclas de mortero se valoraron las propiedades físicas fundamentales del propio cemento empleado.

El primer paso consistía en determinar la consistencia normal de la pasta, una de las pruebas fundamentales para determinar la cantidad exacta de agua que requiere el conglomerante para conseguir la plasticidad y la fluidez ideales. Por lo tanto, se sometió a prueba una muestra de 650 g de cemento, se incorporaron 184,5 g de agua, alcanzando así un 28,38% de consistencia, este resultado se encuentra dentro de los rangos habituales de los cementos estructurales comerciales, lo que revela una demanda de agua equilibrada. Este parámetro garantiza que al crear el mortero, la pasta envolverá el árido uniformemente, evitando la exudación excesiva como la segregación.

Tabla 12

Consistencia normal del cemento

Parámetro	Valor	Unidad
Masa de cemento	650	g
Masa de agua	184,5	g
Penetración	10	mm
Consistencia normal	28,38	%

A partir de la pasta en su consistencia normal se determinaron los tiempos de fraguado en condiciones ambientales de laboratorio. Se registró un tiempo de fraguado inicial de 165 minutos y un tiempo de fraguado final de 525 minutos.

Desde la perspectiva constructiva, especialmente para aplicaciones de revestimiento o enlucido, un fraguado inicial de esta duración resulta sumamente conveniente, ya que otorga al constructor una ventana de tiempo amplia y segura para las operaciones de mezclado, transporte, aplicación y enrasado del mortero antes de que la mezcla pierda su plasticidad y comience a rigidizarse. Por su parte, el fraguado final evidencia un proceso de endurecimiento progresivo y estable, libre de fraguados falsos o acelerados.

Tabla 13

Tiempo de fraguado del cemento

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de fraguado inicial	165	min
Tiempo de fraguado final	525	min

Finalmente, la densidad del cemento se obtuvo utilizando el matraz de Le Chatelier y el método de volumen desplazado al analizar una muestra de 64 g se observó un desplazamiento de 22,70 ml, lo que arrojó una densidad real de 2,82 g/cm³. Este resultado, típico de los cementos con adiciones presentes en nuestro entorno, es fundamental para el diseño preciso de mezclas, ya que permite estimar con exactitud el volumen absoluto que ocupará el cemento en el mortero y optimizar así su rendimiento.

Tabla 14*Densidad del cemento*

Parámetro	Valor	Unidad
Masa de cemento	64,00	g
Lectura inicial	0,10	ml
Lectura final	22,80	ml
Volumen desplazado	22,70	ml
Densidad del cemento	2,82	g/cm ³

Dosificación y Evaluación en Estado Fresco de Morteros Patrón*Dosificación de los Morteros de Control*

Una vez conocidas las propiedades físicas tanto del cemento como del agregado fino; el siguiente paso consistió en proceder a la formulación de las dosificaciones base del estudio. Elegimos tres proporciones de masa, bastante extendidas en ejecución de mamposterías y enlucidos: 1:4, 1:5 y 1:6.

Para garantizar la reproducibilidad del ensayo, todas las mezclas utilizaron una cantidad fija de 250 g de cemento, variando el volumen de arena de acuerdo con la combinación de áridos elegida. Si bien el agua-cemento de partida fue 0,5, se ajustó el volumen de agua de manera empírica a lo largo de la mezcla, buscando la trabajabilidad perfecta.

Así, los consumos de agua alcanzaron 126,53 g, 136,91 g y 137,29 g para las mezclas 1:4, 1:5 y 1:6, respectivamente, estas dosificaciones conforman el grupo de morteros patrón, que funcionarán como referencia clave para comparar el efecto de añadir fibras de cabuya.

Tabla 15*Dosificaciones mortero convencional*

Material	Dosificación			Unidad
	1:4	1:5	1:6	
Cemento	250	250	250	g
Arena	1193,21	1491,5	1789,2	g
Agua	125	125	125	g

Material	Dosificación			Unidad
	1:4	1:5	1:6	
Relación a/c	0,5	0,5	0,5	-
Agua corregida	126,53	136,91	137,29	g
Relación a/c corregida	0,51	0,55	0,55	-

Ensayo de Flujo

El parámetro fundamental para validar el diseño de las mezclas en estado fresco fue la trabajabilidad, evaluada cuantitativamente mediante el ensayo de escurrimiento en la mesa de sacudidas. El objetivo de esta prueba fue asegurar que todas las dosificaciones patrón alcanzarán un grado de fluidez homogéneo, típicamente estandarizado en un rango de $110 \pm 5\%$, lo cual garantiza que el mortero tenga la plasticidad necesaria para su aplicación como revestimiento.

De acuerdo con la metodología estándar, tras aplicar los ciclos de caída libre a la muestra troncocónica, se tomaron cuatro lecturas diametrales cuyo sumatorio determina el porcentaje de flujo total de la mezcla.

Tabla 16

Resultados de los ensayos de flujo mortero convencional

Línea	Dosificación			Unidad
	1:4	1:5	1:6	
1	28,0	27,4	27,8	%
2	27,5	27,2	27,5	%
3	27,3	27,9	27,0	%
4	27,2	27,6	27,2	%
Flujo	110	110,1	109,5	%

Los resultados obtenidos confirman que las tres dosificaciones cumplieron con el parámetro de diseño. La mezcla 1:4 alcanzó un flujo de 110%; la dosificación 1:5 registró 110,1%; y la mezcla 1:6 presentó un escurrimiento de 109,5%.

Tabla 17*Resultados de los ensayos de flujo mortero con fibras dosificación 1:4*

Línea	0,25%	0,50%	0,75%	Unidad
1	28,0	27,4	28,1	%
2	27,5	27,8	27,9	%
3	27,3	28,3	27,5	%
4	27,2	27,4	27,5	%
Flujo	110,25	111,40	111,75	%

Tabla 18*Resultados de los ensayos de flujo mortero con fibras dosificación 1:5*

Línea	0,25%	0,50%	0,75%	Unidad
1	27,8	28,1	27,8	%
2	27,5	27,8	27,7	%
3	27,9	27,7	28,3	%
4	27,3	28,2	28,0	%
Flujo	110,5	111,8	111,8	%

Tabla 19*Resultados de los ensayos de flujo mortero con fibras dosificación 1:6*

Línea	0,25%	0,50%	0,75%	Unidad
1	27,7	28,7	28,1	%
2	27,8	27,8	28,2	%
3	27,5	28,5	28,5	%
4	27,9	27,9	28,2	%
Flujo	110,9	112,9	113	%

Los resultados de flujo en todas las dosificaciones con diferentes porcentajes de fibra cumplen con el rango estimado por la normativa, por lo que se considera una dosificación apta para trabajar.

Propiedades del Mortero

Tras controlar los parámetros de trabajabilidad y consistencia en estado fresco, la investigación se enfocó en la evaluación del comportamiento mecánico de los morteros, en base

a las propiedades en estado endurecido que determinan la capacidad real del material para soportar los esfuerzos asociados a su aplicación en obra, tanto en elementos de unión en mampostería como en su función de capa de revestimiento en enlucidos.

La incorporación de fibra de cabuya tiene como objetivo modificar la matriz cementicia para reducir su fragilidad inherente, para cuantificar este efecto, se realizaron ensayos destructivos de resistencia a la compresión simple y a la flexión en probetas cúbicas y prismáticas, evaluadas a los 1, 3, 7 y 28 días de curado, dicho cronograma permite analizar tanto la resistencia final como la evolución y el incremento de la resistencia a lo largo del proceso de hidratación del cemento.

Resistencia a la Compresión

La valoración de la resistencia a la compresión simple es el elemento medidor de la calidad estructural y la homogeneización del mortero elaborado. El comportamiento mecánico de las mezclas se evaluó mediante el cruce de dos variables en paralelo: la variación de la proporción geométrica cemento-arena (1:4, 1:5 y 1:6) y el contenido porcentual de adición de fibra de cabuya (0% - 0,25% - 0,50% y 0,75% respecto a la masa del cemento). Las probetas cúbicas se ensayaron destructivamente a las edades de 1, 3, 7 y 28 días de curado para registrar la cinética de ganancia de resistencia en el tiempo.

Los registros detallados de los ensayos de laboratorio, que incluyen el peso específico, la carga de rotura leída en la prensa y el esfuerzo límite calculado en megapascuales para cada briqueta individual.

Tabla 20*Densidad de briquetas en mortero 1:4*

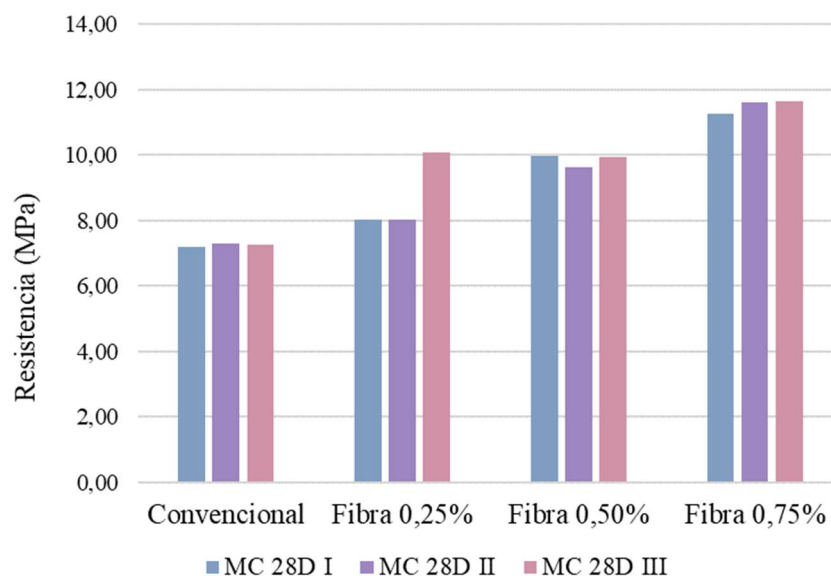
Edad (días)	Briqueta	Convencional	Porcentaje de fibras			Unidad
			0,25%	0,50%	0,75%	
1	MC 24H I	2,03	2,00	2,00	2,05	g/cm ³
	MC 24H II	2,01	2,05	2,01	2,05	g/cm ³
	MC 24H III	2,01	2,00	2,03	2,04	g/cm ³
3	MC 3D I	2,06	2,00	2,06	2,02	g/cm ³
	MC 3D II	2,05	2,02	2,06	2,03	g/cm ³
	MC 3D III	2,07	2,07	2,06	2,01	g/cm ³
7	MC 7D I	2,01	2,01	2,01	2,01	g/cm ³
	MC 7D II	2,00	2,52	2,00	2,02	g/cm ³
	MC 7D III	2,02	2,03	2,05	2,02	g/cm ³
28	MC 28D I	2,01	2,03	2,02	2,05	g/cm ³
	MC 28D II	2,01	2,03	2,03	2,02	g/cm ³
	MC 28D III	2,04	2,04	2,03	2,01	g/cm ³

Tabla 21*Resistencia a la compresión del mortero 1:4*

Edad (días)	Briqueta	Convencional	Porcentaje de fibras			Unidad
			0,25%	0,50%	0,75%	
1	MC 24H I	2,06	1,42	1,74	2,09	MPa
	MC 24H II	2,14	1,68	2,07	2,16	MPa
	MC 24H III	2,08	1,57	1,75	1,82	MPa
3	MC 3D I	3,71	3,15	3,04	3,99	MPa
	MC 3D II	3,59	2,81	2,78	3,86	MPa
	MC 3D III	3,65	3,16	2,71	3,85	MPa
7	MC 7D I	5,60	5,38	4,68	6,50	MPa
	MC 7D II	4,76	5,84	4,94	5,62	MPa
	MC 7D III	5,27	4,91	4,25	5,93	MPa
28	MC 28D I	7,20	8,03	9,96	11,26	MPa
	MC 28D II	7,28	8,01	9,61	11,60	MPa
	MC 28D III	7,26	10,06	9,92	11,63	MPa

Figura 18

Resistencia a la compresión del mortero 1:4 edad 28 días



Nota. Resultados de resistencia a la compresión expresados en megapascuales (MPa) a los 28 días de curado (MC 28D) para las tres series de ensayos (I, II y III).

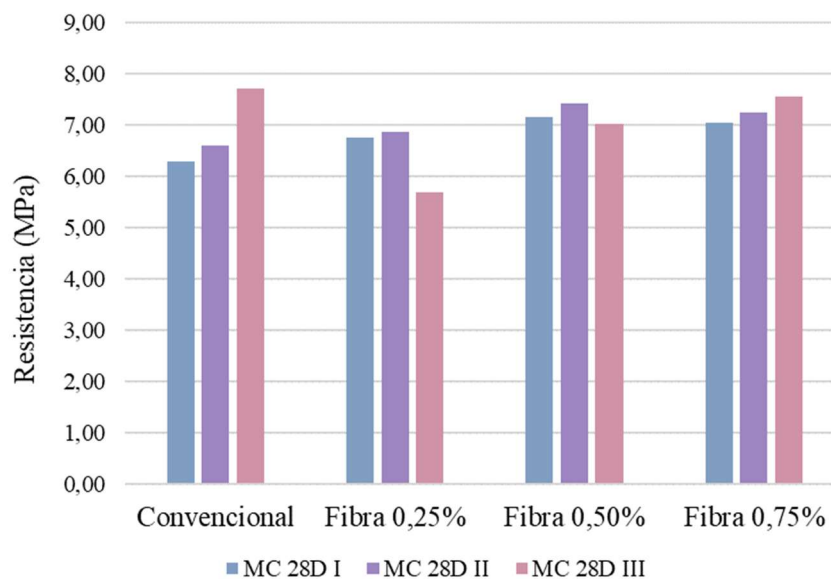
Tabla 22

Densidad de briquetas en mortero 1:5

Edad (días)	Briqueta	Convencional	Porcentaje de fibras			Unidad
			0,25%	0,50%	0,75%	
1	MC 24H I	2,07	2,05	2,03	2,05	g/cm ³
	MC 24H II	2,07	2,03	2,07	2,04	g/cm ³
	MC 24H III	2,06	2,01	2,12	2,03	g/cm ³
3	MC 3D I	2,00	2,02	2,05	2,01	g/cm ³
	MC 3D II	2,05	2,07	2,07	2,02	g/cm ³
	MC 3D III	2,01	2,01	2,01	2,04	g/cm ³
7	MC 7D I	2,02	2,03	2,03	2,02	g/cm ³
	MC 7D II	2,04	2,02	2,07	2,01	g/cm ³
	MC 7D III	2,00	2,03	2,02	2,06	g/cm ³
28	MC 28D I	2,01	2,05	2,04	2,05	g/cm ³
	MC 28D II	2,03	2,01	2,07	2,01	g/cm ³
	MC 28D III	2,03	2,05	2,06	2,00	g/cm ³

Tabla 23*Resistencia a la compresión del mortero 1:5*

Edad (días)	Briqueta	Convencional	Porcentaje de fibras			Unidad
			0,25%	0,50%	0,75%	
1	MC 24H I	1,66	1,33	1,35	1,40	MPa
	MC 24H II	1,55	1,50	1,16	1,36	MPa
	MC 24H III	1,47	1,31	1,37	1,28	MPa
3	MC 3D I	2,79	2,30	1,95	2,62	MPa
	MC 3D II	2,41	2,50	1,81	2,52	MPa
	MC 3D III	2,64	2,67	2,16	2,40	MPa
7	MC 7D I	2,70	4,76	2,92	4,25	MPa
	MC 7D II	3,26	4,71	2,90	4,21	MPa
	MC 7D III	3,15	4,87	3,05	3,49	MPa
28	MC 28D I	6,29	6,75	7,16	7,05	MPa
	MC 28D II	6,60	6,88	7,43	7,26	MPa
	MC 28D III	7,72	5,70	7,04	7,55	MPa

Figura 19*Resistencia a la compresión del mortero 1:5 edad 28 días*

Nota. Resultados de resistencia a la compresión expresados en megapascuales (MPa) a los 28 días de curado (MC 28D) para las tres series de ensayos (I, II y III).

Tabla 24*Densidad de briquetas en mortero 1:6*

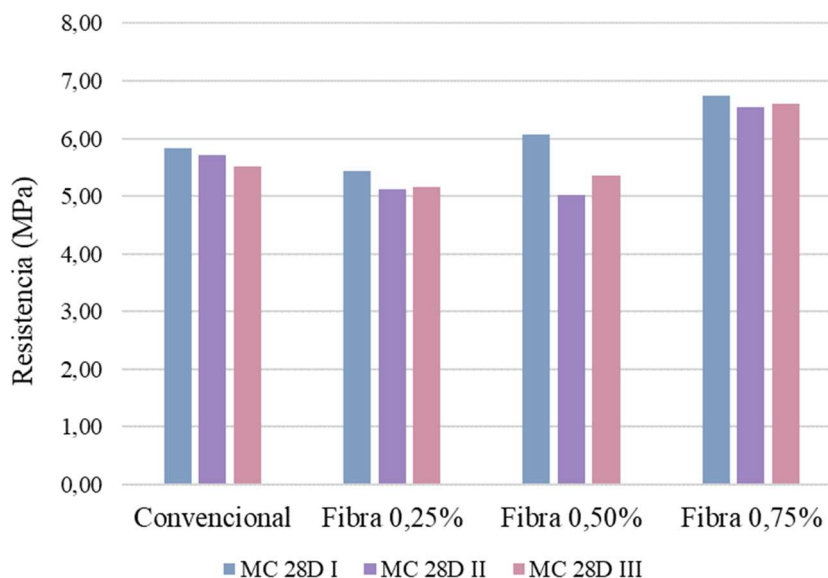
Edad (días)	Briqueta	Convencional	Porcentaje de fibras			Unidad
			0,25%	0,50%	0,75%	
1	MC 24H I	2,06	2,06	2,02	2,04	g/cm ³
	MC 24H II	2,08	2,06	2,02	2,07	g/cm ³
	MC 24H III	2,03	2,04	2,07	2,07	g/cm ³
3	MC 3D I	2,02	2,01	2,05	2,02	g/cm ³
	MC 3D II	2,01	2,03	2,02	2,02	g/cm ³
	MC 3D III	2,08	2,04	2,02	2,01	g/cm ³
7	MC 7D I	2,01	2,06	2,07	2,02	g/cm ³
	MC 7D II	2,07	2,03	2,02	2,02	g/cm ³
	MC 7D III	2,06	2,01	2,02	2,00	g/cm ³
28	MC 28D I	2,09	2,07	2,04	2,03	g/cm ³
	MC 28D II	2,02	2,04	2,08	2,03	g/cm ³
	MC 28D III	2,01	2,03	2,08	2,06	g/cm ³

Tabla 25*Resistencia a la compresión del mortero 1:6*

Edad (días)	Briqueta	Convencional	Porcentaje de fibras			Unidad
			0,25%	0,50%	0,75%	
1	MC 24H I	1,22	0,98	1,15	1,19	MPa
	MC 24H II	1,32	0,98	1,32	1,19	MPa
	MC 24H III	1,16	1,03	1,23	1,19	MPa
3	MC 3D I	2,12	2,05	1,68	1,85	MPa
	MC 3D II	2,08	2,25	1,49	1,91	MPa
	MC 3D III	2,29	2,10	1,42	2,00	MPa
7	MC 7D I	3,65	2,76	3,51	2,91	MPa
	MC 7D II	3,46	2,42	4,16	2,85	MPa
	MC 7D III	3,42	2,60	4,06	3,29	MPa
28	MC 28D I	5,82	5,44	6,07	6,74	MPa
	MC 28D II	5,72	5,12	5,03	6,55	MPa
	MC 28D III	5,52	5,16	5,35	6,60	MPa

Figura 20

Resistencia a la compresión del mortero 1:6 edad 28 días



Nota. Resultados de resistencia a la compresión expresados en megapascuales (MPa) a los 28 días de curado (MC 28D) para las tres series de ensayos (I, II y III).

Durante los primeros días, específicamente del 1 al 3, la incorporación de fibra de cabuya genera pequeñas disminuciones o alteraciones en la velocidad de ganancia de resistencia del mortero. Este efecto se hace más evidente cuanto más cantidad de mezclas 1:5, 1:6, una mezcla en la que los filamentos toman espacio y alteran la continuidad de la pasta de cemento antes de pasar a los productos de hidratación, de esta manera se alteraba la disposición inicial de las arenas. La matriz a los 7 días de curado se estabiliza y la respuesta cambia dependiendo de la cantidad de cemento.

En el caso 1:4, el promedio del mortero patrón fue de 5,21 MPa, un poquito más que las mezclas a las que se han adicionado 0,50% de fibra, pero la adición de 0,75% de fibra hace que pase a 6,02 MPa. En la serie 1:5 ocurre lo contrario: la mezcla con 0,25% de fibra da un

promedio de 4,78 MPa a 3,20 MPa del testigo, lo que permite pensar que la fibra juega un papel en el control de microfisuras internas por contracción lateral en mezclas con menos aglomerante.

El efecto de las hebras de cabuya se nota claramente cuando el mortero madura a los 28 días de curado. El análisis de las tres series muestra que el impacto del refuerzo depende directamente de la cantidad de pasta de cemento en el sistema:

En la mezcla 1:4, la ganancia mecánica aumenta de forma proporcional y continua según el contenido de cabuya. El mortero patrón tiene una resistencia media de 7,25 MPa, mientras que agregar 0,25%; 0,50% y 0,75% de fibra eleva los promedios a 8,02 MPa; 9,83 MPa y 11,50 MPa, respectivamente. Este aumento lineal, con una mejora máxima del 58,6% usando 0,75% de fibra muestra que, en mezclas con un alto contenido de aglomerante, la unión entre fibra y cemento es óptima y la cabuya distribuye bien las tensiones de corte secundarias.

A la dosificación 1:5, el material compuesto alcanzó el límite de la saturación física. En el mortero de control, la resistencia promedio fue de 6,45 MPa. El 0,25% de cabuya provocó un leve incremento de la resistencia a 6,81 MPa. El 0,50% de cabuya presentó un promedio de 7,21 MPa, es decir un incremento del 11,8% respecto al control. Con el contenido elevado a 0,75% de cabuya, la resistencia a compresión se estabiliza en 7,29 MPa, confirmando el hecho de que el material llega a un límite de saturación física en el que se asegura el refuerzo. Los resultados muestran que, aunque el 0,50% representa el punto álgido importante, es el 0,75% el que garantiza máxima estabilidad mecánica y evita la pérdida de desempeño, y un material más fiable en aplicaciones prácticas.

La relación de la dosificación 1:6, donde la disminución de la cantidad de cemento altera ostensiblemente el comportamiento del material a bajas adiciones de fibra, se traduce en una pérdida de la resistencia a 28 días para los contenidos del 0,25% y del 0,50% en comparación

con el mortero de referencia. Sin embargo, en el caso de las adiciones del 0,75%, el material presenta un aumento de las propiedades mecánicas y una resistencia media que asciende hasta los 6,63 MPa, lo que se traduce en una mejora del 16,5% con respecto al mortero sin fibra.

Estos resultados apuntan a que, en condiciones de escasez de aglomerante, se precisa de una elevada densidad crítica de filamentos para suplir la debilidad estructural que tiene la matriz y que puede ser rescatada a partir del confinamiento físico de la red de fibras.

Resistencia a la Flexión y Caracterización de la vigueta

La evaluación del comportamiento mecánico bajo esfuerzos de flexión es esencial en morteros destinados a capa de revestimiento y capa de enlucido. Al contrario que la compresión que indica la capacidad portante general de la matriz, el ensayo de flexión permite evaluar la tolerancia del material a las deformaciones provocadas y la capacidad para frenar la propagación de fisuras provocadas por retracción hídrica, por asentamientos diferenciales o por gradientes térmicos en la edificación. La adición de fibra de cabuya tratada tiene como objetivo modificar la falla frágil e intempestiva característica de las matrices cementicias, promoviendo un comportamiento más dúctil después de la aparición de la primera fisura a través del mecanismo de transferencia de tensiones internas.

Los registros detallados obtenidos en el laboratorio, que comprenden los valores individuales de peso específico, lecturas de desplazamiento instrumental, cargas máximas de rotura a flexión y compresión sobre fragmentos de vigueta, así como los esfuerzos mecánicos calculados en megapascuales (MPa) para cada serie experimental.

Tabla 26*Densidad y desplazamiento de viguetas a flexión del mortero 1:4*

Edad (días)	Vigueta	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
		ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)
1	MC 24H I	2,00	0,22	2,18	0,33	2,06	0,26	2,07	0,36
	MC 24H II	2,06	-	2,01	0,44	2,00	0,22	2,08	0,20
	MC 24H III	2,05	0,18	2,00	0,32	2,09	0,36	2,02	0,27
3	MC 3D I	2,12	0,38	2,05	0,78	2,06	0,28	2,12	0,29
	MC 3D II	2,13	0,16	2,01	-	2,05	0,21	2,00	0,29
	MC 3D III	2,13	0,18	2,09	0,25	2,06	0,19	2,06	0,23
7	MC 7D I	2,09	0,43	2,04	0,29	2,07	0,22	2,04	0,33
	MC 7D II	2,08	-	2,03	0,32	2,04	0,19	2,06	0,52
	MC 7D III	2,03	0,34	2,01	0,09	2,01	0,07	2,04	0,02
28	MC 28D I	2,13	0,36	2,03	0,30	2,01	0,02	2,13	0,26
	MC 28D II	2,14	0,31	2,03	0,21	2,09	0,26	2,20	0,52
	MC 28D III	2,21	0,44	2,03	0,44	2,03	0,38	2,10	0,62

Nota. Para cada tipo de mortero se presenta los resultados de ρ (densidad) y Δ (desplazamiento)

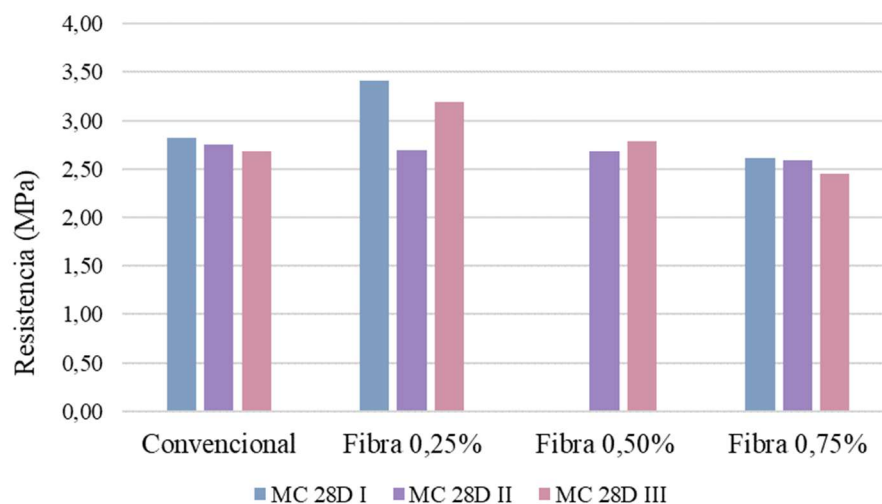
Tabla 27*Resistencia a la flexión y compresión de viguetas del mortero 1:4*

Edad (días)	Viguetas	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
		Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.
		MPa		MPa		MPa		MPa	
1	MC 24H I	0,93	2,14	0,37	2,56	0,54	1,36	0,62	2,08
	MC 24H II	-	2,34	0,40	2,25	0,53	1,25	0,55	2,42
	MC 24H III	1,02	2,11	0,43	2,10	0,67	1,45	0,55	2,50
3	MC 3D I	1,26	4,24	1,29	6,25	1,02	4,75	0,94	4,57
	MC 3D II	1,00	3,80	-	5,92	0,94	3,87	1,05	4,15
	MC 3D III	1,08	4,04	1,23	5,56	1,04	3,96	0,88	3,90
7	MC 7D I	1,82	4,97	1,79	8,09	1,50	5,79	1,43	6,42
	MC 7D II	-	5,65	1,62	7,40	1,40	5,55	1,56	6,34
	MC 7D III	1,65	5,30	1,48	7,91	1,21	4,88	0,04	6,66
28	MC 28D I	2,82	8,95	3,41	12,95	0,04	11,84	2,61	13,63
	MC 28D II	2,75	8,55	2,70	10,16	2,69	12,74	2,59	13,53
	MC 28D III	2,69	9,27	3,19	12,26	2,79	10,88	2,45	14,01

Nota. Para cada tipo se presenta los resultados de Flex. (Flexión) y Compr. (Compresión)

Figura 21

Resistencia a flexión mortero 1:4 edad 28 días



Nota. Resultados de resistencia a la flexión expresados en megapascuales (MPa) a los 28 días de curado (MC 28D) para las tres series de ensayos (I, II y III).

Tabla 28

Densidad y desplazamiento de viguetas a flexión del mortero 1:5

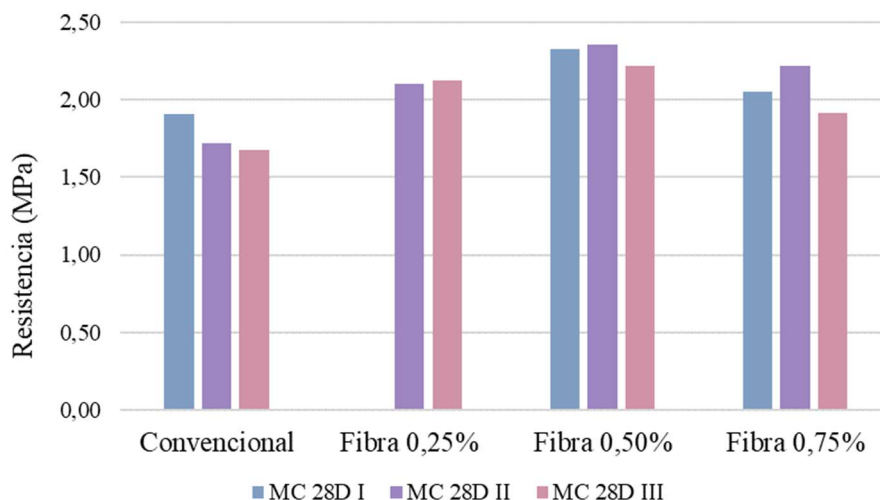
Edad (días)	Vigueta	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
		ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)
1	MC 24H I	-	-	2,03	0,29	2,03	0,13	2,07	0,28
	MC 24H II	2,06	0,76	2,05	0,20	2,14	0,17	2,11	0,23
	MC 24H III	2,00	0,34	2,16	0,27	2,04	0,12	2,05	0,21
3	MC 3D I	2,05	0,35	2,03	0,48	2,02	0,01	2,18	0,21
	MC 3D II	2,13	0,47	2,06	0,52	2,10	0,27	2,00	0,20
	MC 3D III	2,05	0,12	2,04	0,32	2,04	0,27	2,12	0,53
7	MC 7D I	2,02	0,01	2,02	0,41	2,08	0,02	2,18	0,44
	MC 7D II	2,12	1,02	2,03	0,78	2,06	0,24	2,00	0,58
	MC 7D III	2,15	0,21	2,10	0,08	2,03	0,38	2,03	0,39
28	MC 28D I	2,10	0,37	2,20	0,08	2,06	0,22	2,19	0,64
	MC 28D II	2,11	0,29	2,09	0,22	2,03	0,21	2,17	0,70
	MC 28D III	2,15	0,35	2,14	0,29	2,14	0,32	2,14	0,22

Nota. Para cada tipo de mortero se presenta los resultados de ρ (densidad) y Δ (desplazamiento)

Tabla 29*Resistencia a la flexión y compresión de viguetas del mortero 1:5*

Edad (días)	Viguetas	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
		Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.
		MPa		MPa		MPa		MPa	
1	MC 24H I	-	-	0,21	1,33	0,33	1,97	0,40	1,53
	MC 24H II	0,44	1,48	0,25	1,47	0,40	1,81	0,45	1,88
	MC 24H III	0,42	1,38	0,23	1,46	0,13	2,10	0,41	1,76
3	MC 3D I	0,72	3,23	0,68	2,77	0,62	4,02	0,63	3,22
	MC 3D II	0,65	2,79	0,70	3,00	0,70	3,43	0,60	2,96
	MC 3D III	0,09	3,06	0,72	2,87	0,64	3,41	0,64	3,37
7	MC 7D I	0,08	4,37	1,00	4,87	0,02	4,59	1,01	4,94
	MC 7D II	1,06	3,96	1,11	4,63	1,14	4,08	0,96	5,01
	MC 7D III	0,97	4,50	0,58	4,78	1,15	4,74	0,99	4,75
28	MC 28D I	1,91	8,19	0,09	7,27	2,33	8,26	2,05	9,96
	MC 28D II	1,72	7,72	2,11	6,56	2,36	9,22	2,22	9,06
	MC 28D III	1,68	8,69	2,12	7,48	2,22	8,36	1,91	10,45

Nota. Para cada tipo se presenta los resultados de Flex. (Flexión) y Compr. (Compresión)

Figura 22*Resistencia a la flexión del mortero 1:5 edad 28 días*

Nota. Resultados de resistencia a la flexión expresados en megapascals (MPa) a los 28 días de curado (MC 28D) para las tres series de ensayos (I, II y III).

Tabla 30*Densidad y desplazamiento de viguetas a flexión del mortero 1:6*

Edad (días)	Vigueta	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
		ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)	ρ (g/cm ³)	Δ (mm)
1	MC 24H I	2,08	0,19	2,11	0,80	2,06	0,28	2,03	0,17
	MC 24H II	2,09	0,44	2,03	0,40	2,04	0,24	1,99	0,25
	MC 24H III	2,07	0,31	2,01	-	2,04	0,18	1,97	0,22
3	MC 3D I	2,02	0,20	2,10	0,34	2,03	0,01	2,14	0,49
	MC 3D II	2,10	0,30	2,24	0,23	2,00	0,01	1,95	0,50
	MC 3D III	2,10	0,43	2,09	0,18	2,13	0,21	2,06	0,19
7	MC 7D I	2,10	0,44	2,12	0,49	2,05	0,25	2,00	0,19
	MC 7D II	2,14	0,20	2,09	0,38	2,12	0,30	2,04	0,17
	MC 7D III	2,15	0,26	2,12	0,32	2,06	0,25	2,00	0,15
28	MC 28D I	2,12	0,54	2,02	0,37	2,12	0,42	2,13	0,32
	MC 28D II	2,09	0,00	2,10	0,55	2,13	0,32	2,28	0,31
	MC 28D III	2,01	0,58	2,14	0,22	2,02	0,17	2,12	0,35

Nota. Para cada tipo de mortero se presenta los resultados de ρ (densidad) y Δ (desplazamiento)

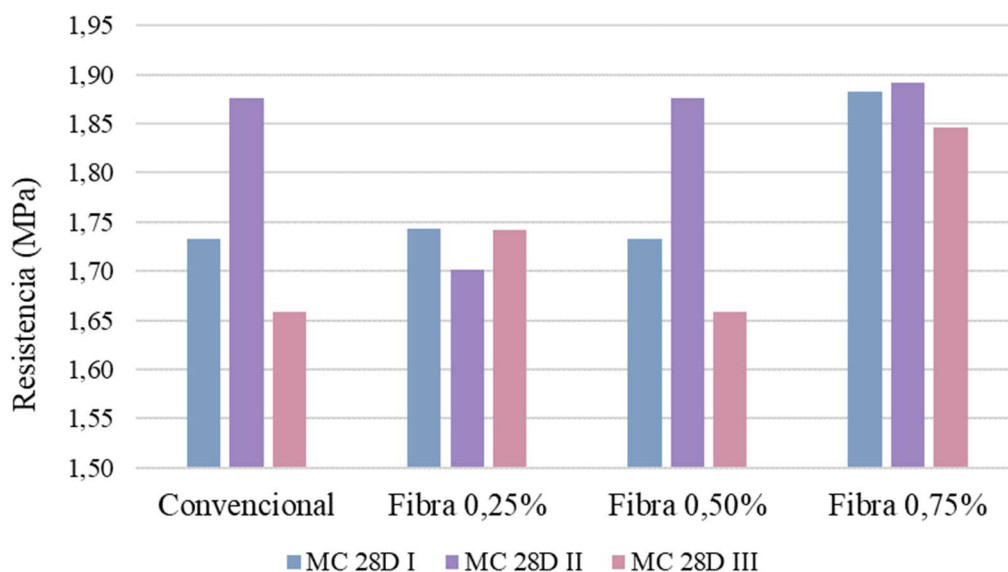
Tabla 31*Resistencia a la flexión y compresión de viguetas del mortero 1:6*

Edad (días)	Viguetas	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
		Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.
		MPa		MPa		MPa		MPa	
1	MC 24H I	0,30	1,00	0,30	1,21	0,30	2,66	0,35	0,96
	MC 24H II	0,27	1,10	0,28	1,29	0,27	3,18	0,35	0,94
	MC 24H III	0,27	1,03	-	1,44	0,27	2,93	0,35	1,07
3	MC 3D I	0,03	2,67	0,56	3,00	0,22	2,82	0,48	2,43
	MC 3D II	0,60	2,28	0,62	2,76	0,23	3,35	0,57	2,52
	MC 3D III	0,72	2,83	0,55	2,66	0,57	3,06	0,56	2,69
7	MC 7D I	0,81	4,17	0,86	4,23	0,81	2,48	0,84	3,75
	MC 7D II	0,86	4,67	0,77	4,17	0,86	3,12	0,72	4,07
	MC 7D III	0,93	4,43	0,87	4,25	0,93	3,15	0,75	3,94
28	MC 28D I	1,73	7,14	1,74	6,88	1,73	6,37	1,88	7,28
	MC 28D II	1,88	6,74	1,70	6,88	1,88	6,36	1,89	7,28
	MC 28D III	1,66	7,29	1,74	6,73	1,66	6,58	1,85	7,17

Nota. Para cada tipo se presenta los resultados de Flex. (Flexión) y Compr. (Compresión)

Figura 23

Resistencia a la flexión del mortero 1:6 edad 28 días



Nota. Resultados de resistencia a la flexión expresados en megapascuales (MPa) a los 28 días de curado (MC 28D) para las tres series de ensayos (I, II y III).

Resultados Promedios

Resistencia a Compresión de Briquetas

Tabla 32

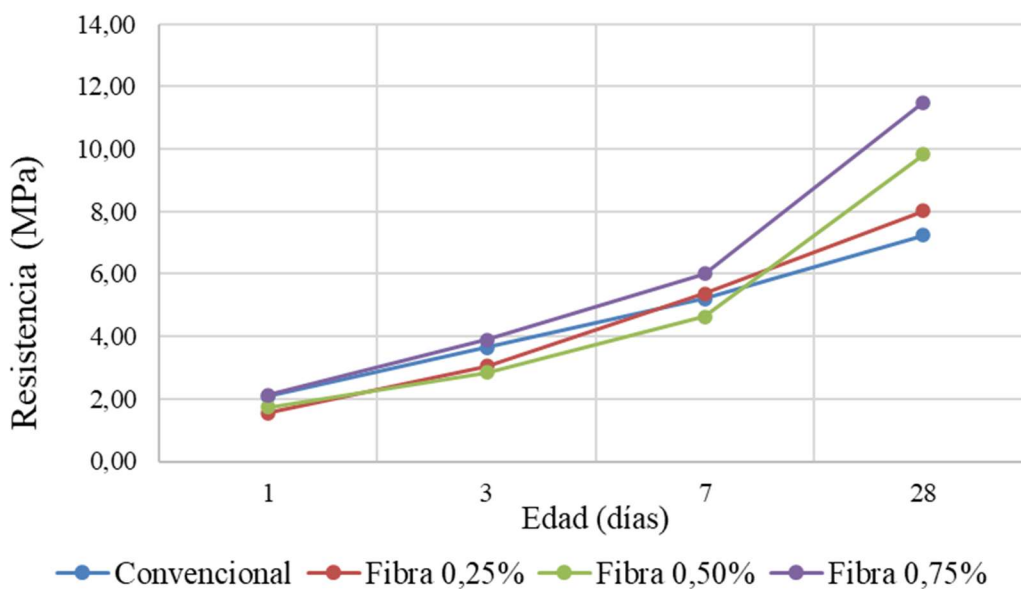
Resumen muestras mortero 1:4 ensayo a compresión de briquetas

Edad (días)	Convencional (MPa)	Fibra 0,25% (MPa)	Fibra 0,50% (MPa)	Fibra 0,75% (MPa)
1	2,09	1,56	1,74	2,12
3	3,65	3,04	2,84	3,90
7	5,21	5,38	4,62	6,02
28	7,25	8,02	9,83	11,50

Nota, Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo de compresión, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 24

Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:4 briquetas



Nota. Se presenta como avanza la resistencia a compresión del mortero 1:4 con variaciones del porcentaje de fibra en la mezcla según la edad de curado.

Tabla 33

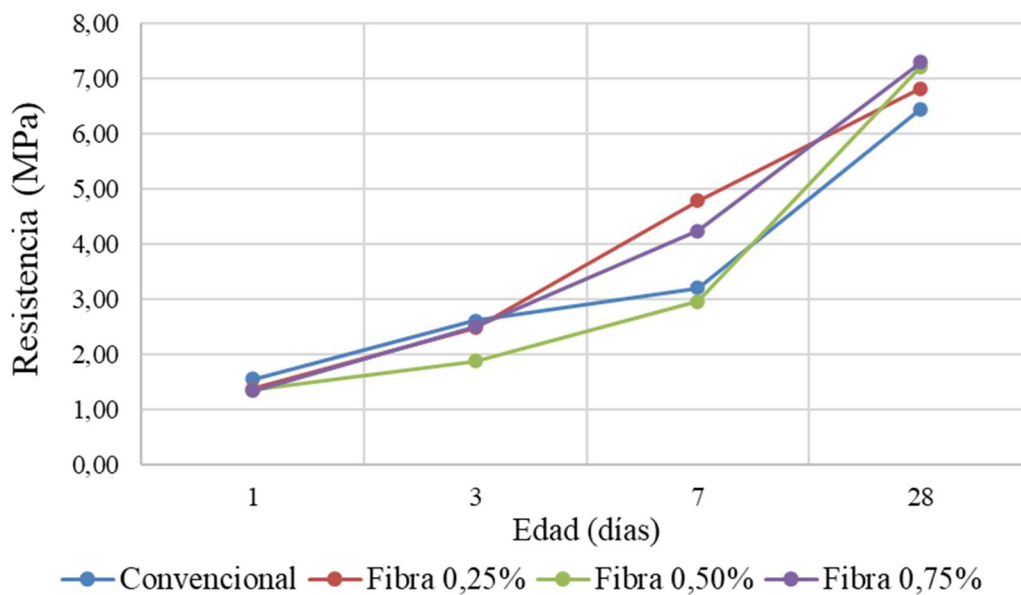
Resumen muestras mortero 1:5 ensayo a compresión de briquetas

Edad (días)	Convencional (MPa)	Fibra 0,25% (MPa)	Fibra 0,50% (MPa)	Fibra 0,75% (MPa)
1	1,56	1,38	1,36	1,35
3	2,61	2,49	1,88	2,51
7	3,20	4,78	2,96	4,23
28	6,45	6,81	7,21	7,29

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo de compresión, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 25

Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:5 en briquetas



Nota. Se presenta como avanza la resistencia a compresión del mortero 1:5 con variaciones del porcentaje de fibra en la mezcla según la edad de curado.

Tabla 34

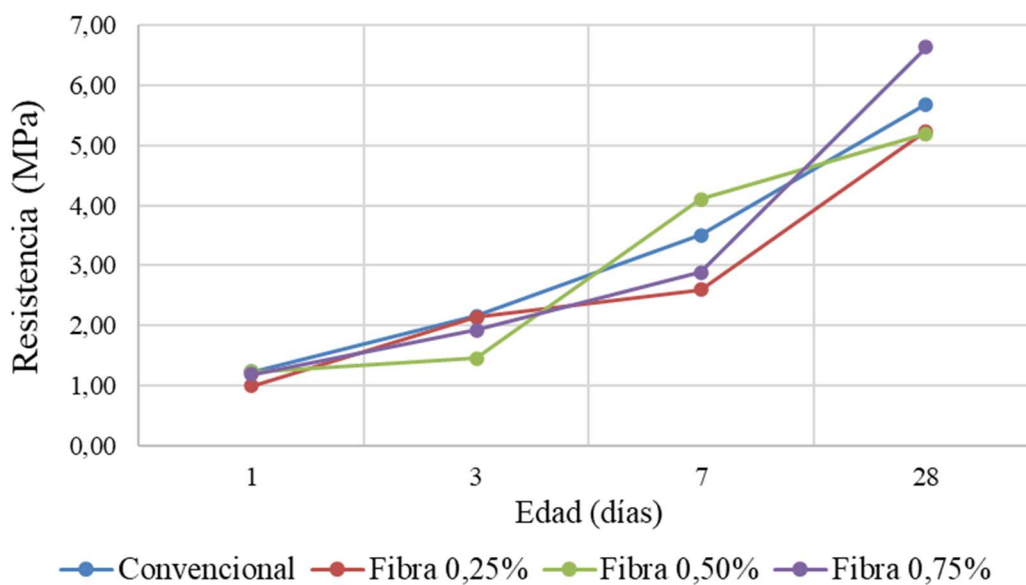
Resumen muestras mortero 1:6 ensayo a compresión de briquetas

Edad (días)	Convencional (MPa)	Fibra 0,25% (MPa)	Fibra 0,50% (MPa)	Fibra 0,75% (MPa)
1	1,23	1,00	1,23	1,19
3	2,16	2,13	1,46	1,92
7	3,51	2,59	4,11	2,88
28	5,69	5,24	5,19	6,63

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo de compresión, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 26

Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:6 en briquetas



Nota. Se presenta como avanza la resistencia a compresión del mortero 1:6 con variaciones del porcentaje de fibra en la mezcla según la edad de curado.

Resistencia a Flexión y Compresión de Viguetas

Tabla 35

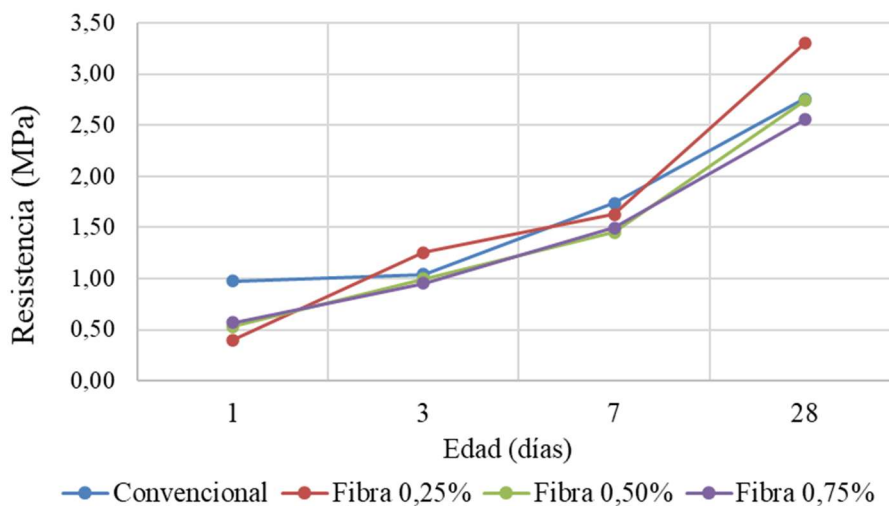
Resumen muestras mortero 1:4 ensayo a flexión de viguetas

Edad (días)	Convencional		Fibras 0,25%		Fibras 0,50%		Fibras 0,75%	
	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	0,98	2,20	0,40	2,17	0,53	1,35	0,57	2,46
3	1,04	4,03	1,26	5,91	1,00	3,91	0,96	4,21
7	1,74	5,31	1,63	7,80	1,45	5,41	1,50	6,47
28	2,75	8,92	3,30	12,61	2,74	11,82	2,55	13,72

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas.

Figura 27

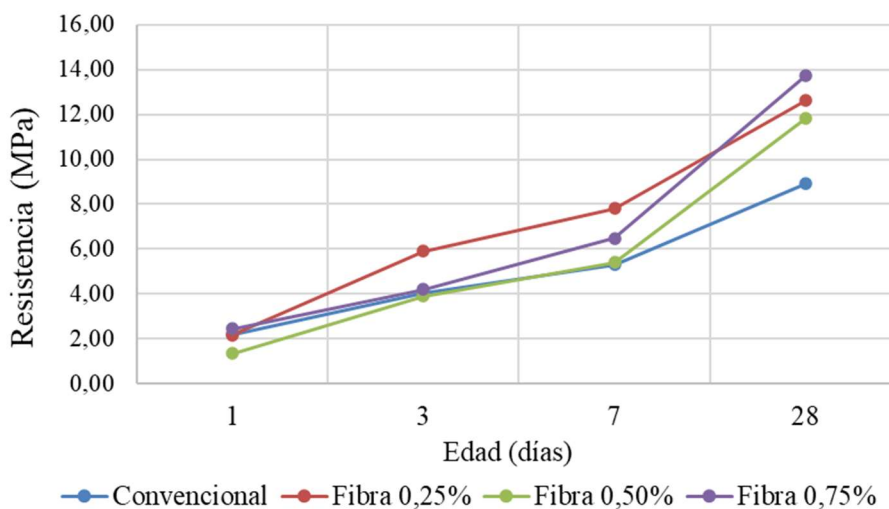
Desarrollo de la resistencia a flexión del mortero 1:4 en viguetas



Nota. Resistencia a la flexión (MPa) medida a la edad de 1, 3, 7 y 28 días para mezclas convencional, Fibra 0,25%; Fibra 0,50% y Fibra 0,75%.

Figura 28

Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:4 en viguetas



Nota. Resistencia a la compresión (MPa) medida a la edad de 1, 3, 7 y 28 días para mezclas convencional, Fibra 0,25%; Fibra 0,50% y Fibra 0,75%.

Tabla 36

Resumen muestras mortero 1:5 ensayo a flexión de viguetas

Edad (días)	Convencional		Fibras 0,25%		Fibras 0,50%		Fibras 0,75%	
	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	0,43	1,43	0,23	1,42	0,37	1,96	0,42	1,82
3	0,68	3,03	0,70	2,88	0,66	3,42	0,62	3,18
7	1,01	4,28	1,06	4,76	1,14	4,47	0,99	4,90
28	1,77	8,20	2,12	7,10	2,30	8,61	2,06	9,83

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo de flexión, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 29

Desarrollo de la resistencia a flexión del mortero 1:5 en viguetas

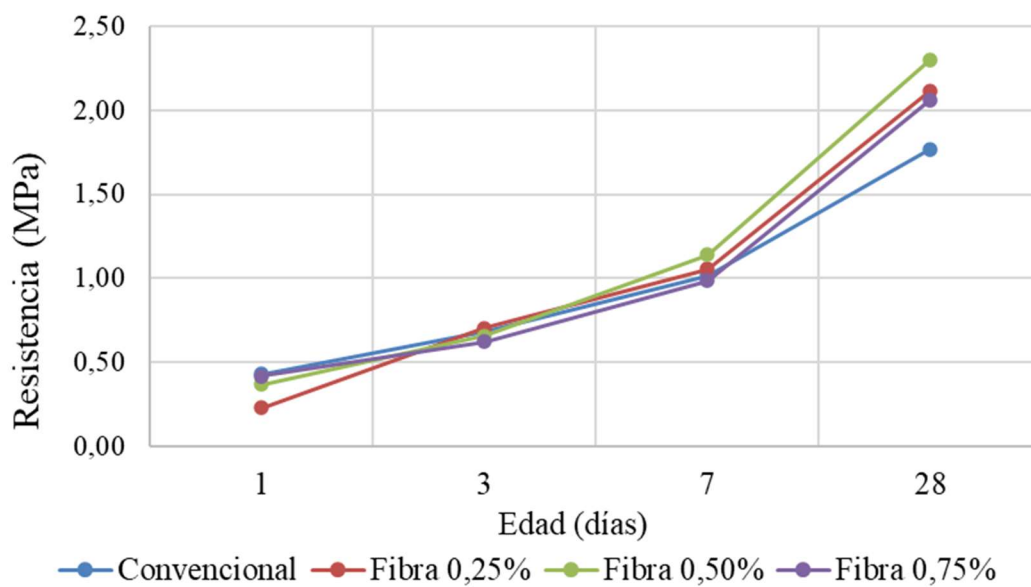
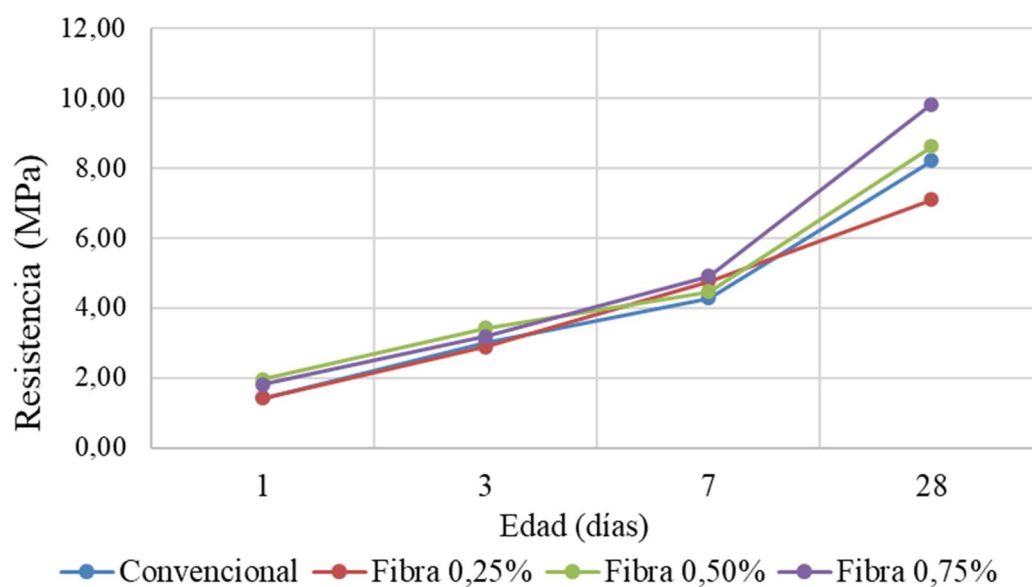


Figura 30

Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:5 en viguetas

**Tabla 37**

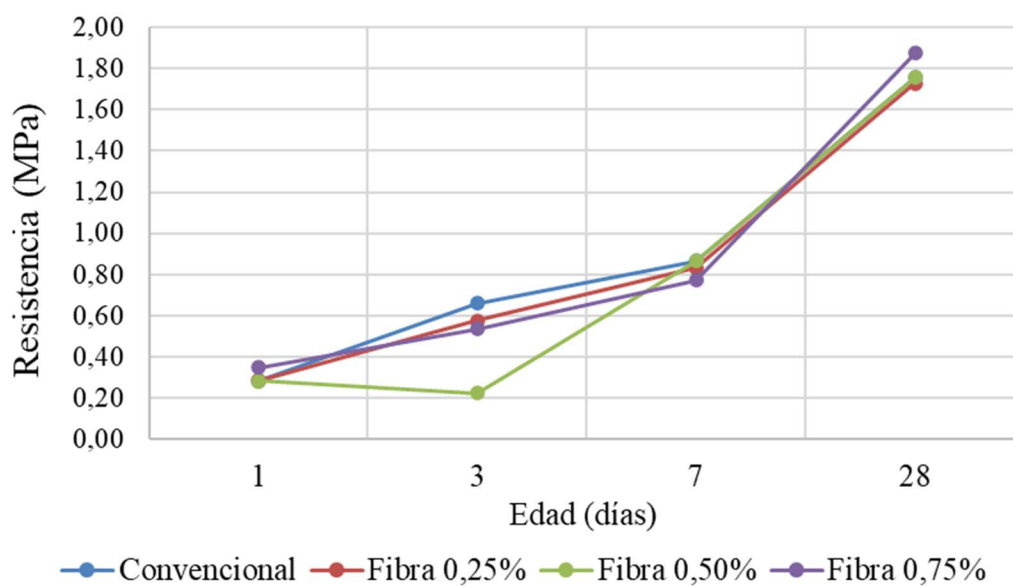
Resumen muestras mortero 1:6 ensayo a flexión de viguetas

Edad (días)	Convencional		Fibras 0,25%		Fibras 0,50%		Fibras 0,75%	
	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.	Flex.	Compr.
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	0,55	0,98	0,46	1,28	0,45	2,86	0,56	0,99
3	1,17	2,53	0,81	2,81	0,84	3,08	0,81	2,55
7	1,58	4,42	1,33	4,21	1,39	2,91	1,18	3,92
28	3,17	7,06	2,77	6,83	2,81	6,44	3,00	7,25

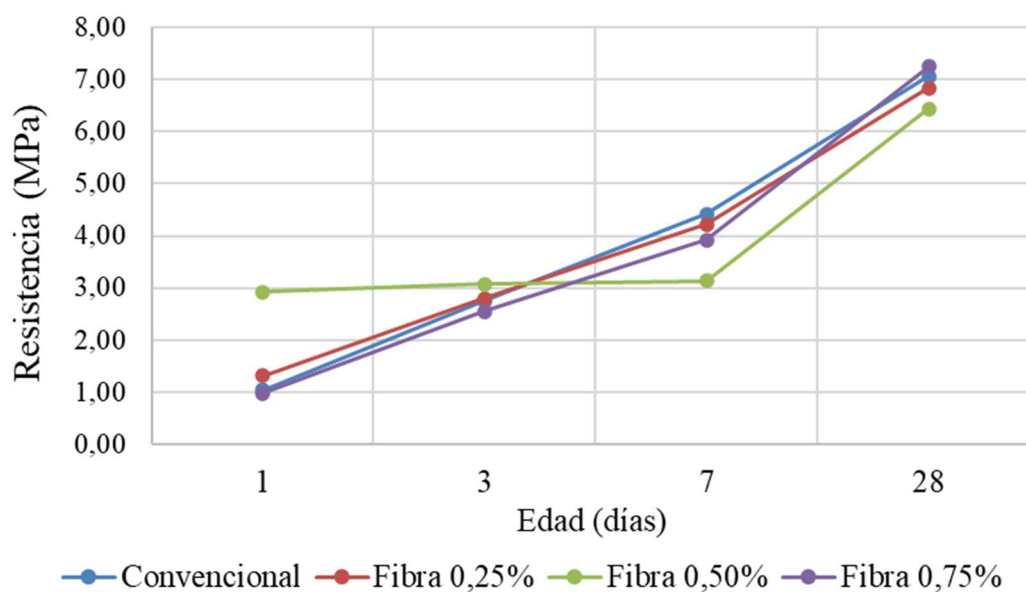
Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo de flexión, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 31

Desarrollo de la resistencia a flexión del mortero 1:6 en viguetas

**Figura 32**

Desarrollo de la resistencia a compresión del mortero 1:6 en viguetas



El análisis de los resultados a los 28 días indica que algunas probetas individuales presentaron fallas prematuras en el laboratorio debido a defectos físicos. Por ejemplo, la muestra II de la mezcla 1:4 con 0,50% de fibra y la muestra III del mortero convencional 1:6 mostraban estos problemas, por lo que estos valores atípicos no se considerarían para los promedios generales con la intención de no distorsionar las tendencias de los valores de mecánica de cada grupo.

En el ensayo de resistencia a flexión, la influencia que otorga la adición de cabuya fue determinada por la cantidad de cemento utilizada en cada serie, fue en la dosificación 1:4 donde el valor óptimo se alcanzó con 0,25% de fibra, alcanzando un promedio de 3,30 MPa, representando un aumento del 20% respecto al patrón. Porcentajes superiores generaron una disminución de la resistencia, por la saturación de los filamentos en la matriz con alto contenido de cemento.

En la dosificación 1:5, la adición del 0,50% de fibra consolidó el mejor desempeño de toda la serie, con 2,30 MPa, lo que representa un incremento neto del 30,0% en comparación con el mortero convencional de control que fue de 1,77 MPa.

En la dosificación 1:6, al disminuir el volumen de pasta de cemento, la fibra redujo inicialmente la resistencia a la flexión en dosis de 0,25% y 0,50%. No obstante, al alcanzar el 0,75% de adición, el entramado físico de filamentos recuperó la capacidad dúctil del compuesto hasta promediar 3,00 MPa.

Por otro lado, la resistencia a la compresión medida en los fragmentos de las viguetas rotas mostró un incremento observado respecto al mortero convencional, registrando los valores más elevados con el 0,75% de cabuya en las tres dosificaciones ensayadas. Finalmente, la densidad volumétrica se mantuvo estable en un rango estrecho de 1,98 g/cm³ a 2,08 g/cm³ en

todas las probetas, lo que confirma que la introducción del refuerzo vegetal no alteró la compacidad física ni generó poros de gran tamaño perjudiciales en el mortero endurecido.

Desplazamiento a Flexión de Viguetas

Tabla 38

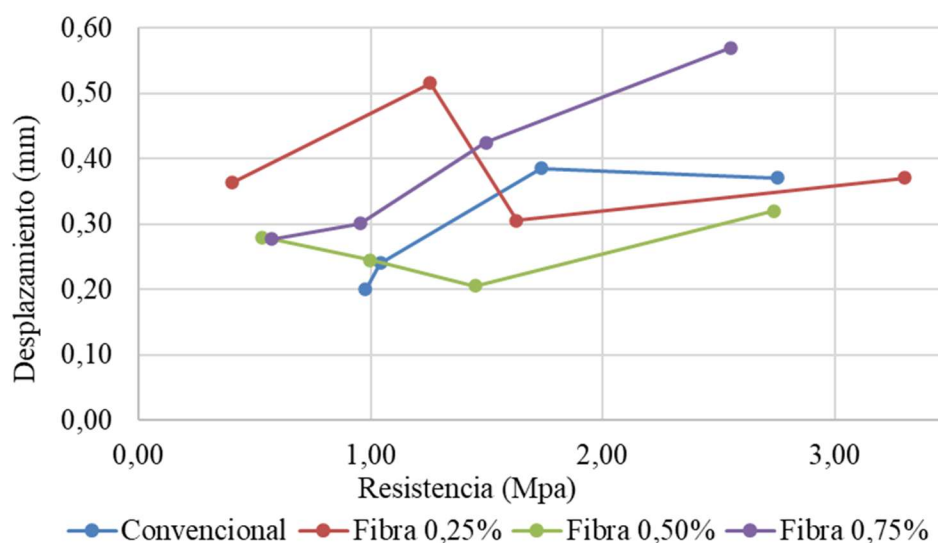
Resumen desplazamiento y resistencia en morteros 1:4 ensayo a flexión viguetas

Edad (días)	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
	Despl. (mm)	Resis. (Mpa)	Despl. (mm)	Resis. (Mpa)	Despl. (mm)	Resis. (Mpa)	Despl. (mm)	Resis. (Mpa)
1	0,20	0,98	0,36	0,40	0,28	0,53	0,28	0,57
3	0,24	1,04	0,52	1,26	0,24	1,00	0,30	0,96
7	0,39	1,74	0,31	1,63	0,21	1,45	0,43	1,50
28	0,37	2,75	0,37	3,30	0,32	2,74	0,57	2,55

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo a flexión de viguetas, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 33

Evolución del desplazamiento frente a la resistencia en viguetas 1:4 ensayo a flexión



Nota. Se presenta la evolución del desplazamiento del mortero 1:4 en viguetas con variación de porcentaje de fibra según la edad de curado y resistencia adquirida.

Tabla 39

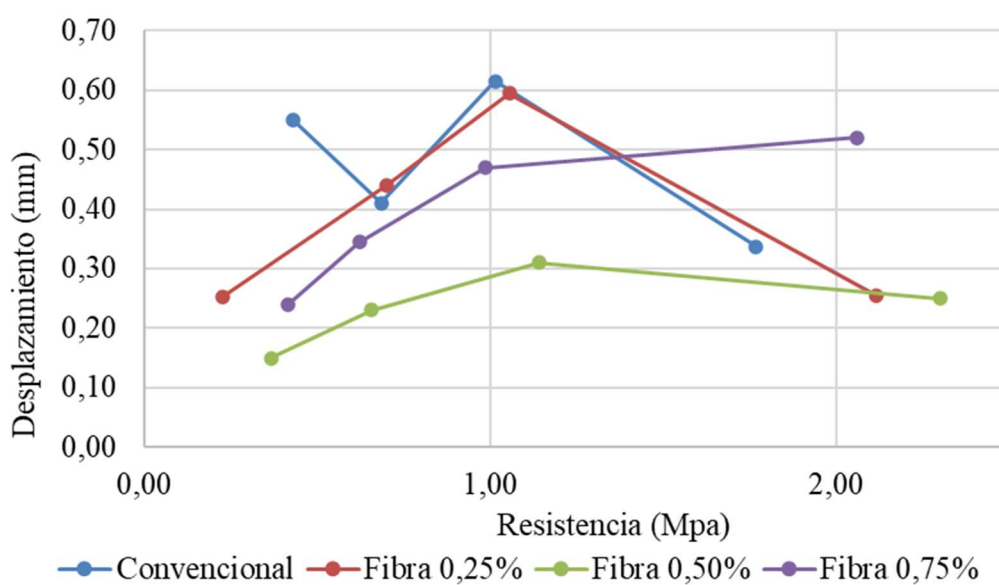
Resumen desplazamiento y resistencia en morteros 1:5 ensayo a flexión viguetas

Edad (días)	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
	Despl. (mm)	Resis. (MPa)	Despl. (mm)	Resis. (MPa)	Despl. (mm)	Resis. (MPa)	Despl. (mm)	Resis. (MPa)
1	0,55	0,43	0,25	0,23	0,15	0,37	0,24	0,42
3	0,41	0,68	0,44	0,70	0,23	0,66	0,34	0,62
7	0,62	1,01	0,60	1,06	0,31	1,14	0,47	0,99
28	0,34	1,77	0,26	2,12	0,25	2,30	0,52	2,06

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo a flexión de viguetas, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 34

Evolución del desplazamiento frente a la resistencia en viguetas 1:5 ensayo a flexión



Nota. Se presenta la evolución del desplazamiento del mortero 1:5 en viguetas con variación de porcentaje de fibra según la edad de curado y resistencia adquirida.

Tabla 40

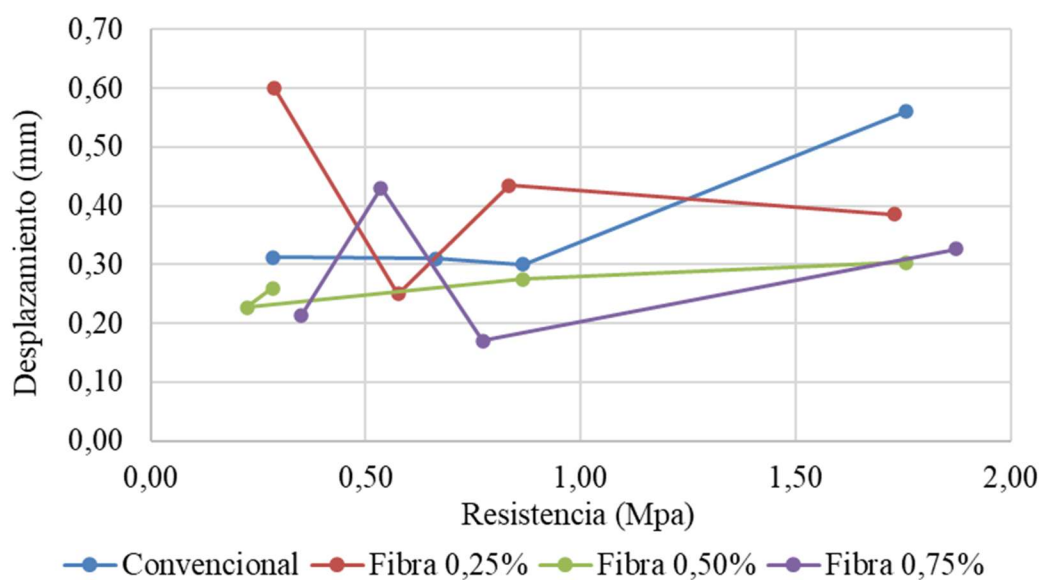
Resumen desplazamiento y resistencia en morteros 1:6 ensayo a flexión viguetas

Edad (días)	Convencional		Fibra 0,25%		Fibra 0,50%		Fibra 0,75%	
	Despl. (mm)	Resis. (MPa)	Despl. (mm)	Resis. (MPa)	Despl. (mm)	Resis. (MPa)	Despl. (mm)	Resis. (MPa)
1	0,31	0,28	0,60	0,29	0,26	0,28	0,21	0,35
3	0,31	0,66	0,25	0,58	0,23	0,22	0,43	0,54
7	0,30	0,87	0,44	0,83	0,28	0,87	0,17	0,77
28	0,56	1,76	0,39	1,73	0,30	1,76	0,33	1,87

Nota. Los valores son promedio de las muestras utilizadas para el ensayo a flexión de viguetas, las muestras que presentaban dispersión en los resultados fueron descartadas del cálculo.

Figura 35

Evolución del desplazamiento frente a la resistencia en viguetas 1:6 ensayo a flexión



Nota. Se presenta la evolución del desplazamiento del mortero 1:6 en viguetas con variación de porcentaje de fibra según la edad de curado y resistencia adquirida.

Evaluación Cualitativa y Comportamiento Superficial del Enlucido Vertical en Muretes

Con el propósito de validar la viabilidad práctica en obra del mortero compuesto frente al agrietamiento térmico y por retracción, se aplicó el material como revestimiento vertical sobre muretes experimentales a escala real. Las estructuras de mampostería contaron con una longitud horizontal de 1,50 m y una altura vertical de 1,06 m. Con el fin de someter el material a condiciones reales de exposición en esta prueba y a la situación de confinamiento de este, todo el enlucido se realizó por completo en ambas caras de cada pared, con un espesor nominal de acabado de 1,5 cm.

En esta etapa del estudio se evaluaron los dos extremos del espectro de adición; la mezcla patrón y los morteros modificados a máximo contenido de refuerzo vegetal, que es del 0,75 % del total de la fibra de cabuya, contrastando su comportamiento superficial en las tres dosificaciones de diseño. Para dimensionar el ancho de las fisuras y documentar su evolución gráfica, se aplicó la técnica de registro fotográfico con escala de referencia conocida.

Tabla 41

Matriz de distribución y frentes de enlucido vertical en muretes experimentales

Identificación del Murete	Proporción Máfica	Porcentaje de Fibra (%)	Área Total Enlucida (m ²)	Ubicación del Revestimiento
Murete M-1 (Control)	1:4	0%	3,18	Cara exterior e interior
Murete M-2 (Reforzado)	1:4	0,75%	3,18	
Murete M-3 (Control)	1:5	0%	3,18	
Murete M-4 (Reforzado)	1:5	0,75%	3,18	
Murete M-5 (Control)	1:6	0%	3,18	
Murete M-6 (Reforzado)	1:6	0,75%	3,18	

Nota. Organización general de los frentes de aplicación y codificación de los muretes ensayados a escala real.

Tabla 42*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:4 cara exterior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	8,31	0,00	0,00	0,00	8,31
2	4,43	0,00	0,00	0,00	4,43
3	8,27	7,85	0,00	0,00	16,12
4	17,46	6,37	0,00	0,00	23,84
5	0,00	3,07	0,00	0,00	3,07
6	6,22	2,77	0,00	0,00	8,99
7	0,00	20,08	0,00	0,00	20,08
8	0,00	0,00	12,53	0,00	12,53
9	0,00	5,78	0,00	0,00	5,78
10	0,00	4,23	0,00	0,00	4,23
11	0,00	0,00	9,99	0,00	9,99
12	0,00	4,81	0,00	0,00	4,81
13	0,00	0,00	3,96	0,00	3,96
14	0,00	3,16	0,00	0,00	3,16
15	0,00	4,13	2,15	0,00	6,28
16	0,00	10,60	0,00	3,96	14,56
17	0,00	6,91	0,00	0,00	6,91
18	0,00	0,00	3,68	0,00	3,68
19	6,90	0,00	0,00	0,00	6,90
20	4,66	0,00	0,00	0,00	4,66
21	3,13	0,00	0,00	10,61	13,74
22	0,00	0,00	0,00	10,94	10,94
23	7,65	3,13	0,00	0,00	10,77
24	0,00	11,70	0,00	0,00	11,70
25	0,00	5,40	0,00	0,00	5,40
26	0,00	6,43	0,00	0,00	6,43
27	7,43	0,00	0,00	3,59	11,02
28	0,00	0,00	0,00	7,16	7,16
29	0,00	0,00	10,71	0,00	10,71
30	0,00	0,00	0,00	4,19	4,19
31	0,00	6,86	0,00	0,00	6,86

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 43*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:4 cara interior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	0,00	0,00	0,00	7,16	7,16
2	0,00	8,56	0,00	7,34	15,90
3	4,98	0,00	0,00	1,27	6,24
4	0,00	0,00	0,00	4,34	4,34

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 44*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:5 cara exterior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	11,65	0,00	0,00	0,00	11,65
2	67,79	11,01	7,38	0,00	86,19
3	9,70	0,00	2,79	4,93	17,41
4	0,00	8,11	0,00	0,00	8,11
5	17,03	0,00	0,00	0,00	17,03
6	3,86	1,17	0,00	0,00	5,03
7	0,00	0,00	5,70	0,00	5,70
8	8,63	1,51	0,00	1,70	11,84
9	0,00	0,00	4,53	0,00	4,53
10	0,00	3,90	0,00	0,00	3,90
11	0,00	0,00	4,46	0,00	4,46
12	0,00	5,44	0,00	0,00	5,44
13	0,00	0,00	7,61	0,00	7,61
14	0,00	8,08	0,00	4,05	12,13

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 45*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:5 cara interior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	0,00	0,00	0,00	8,32	8,32
2	16,58	2,48	0,00	0,00	19,06
3	8,28	2,61	0,00	0,00	10,89

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 46*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:6 cara exterior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	0,00	0,00	0,67	0,00	0,67
2	15,72	4,37	3,07	0,00	23,16
3	5,40	1,51	0,00	0,00	6,91
4	4,25	1,81	0,00	0,00	6,06
5	4,90	1,07	0,84	0,94	7,76
6	6,49	1,29	0,92	0,00	8,69
7	0,00	0,00	0,00	5,54	5,54
8	10,70	0,00	2,63	0,00	13,33
9	5,96	0,00	0,00	0,00	5,96
10	0,00	0,00	1,60	0,00	1,60
11	0,00	5,84	0,00	0,00	5,84
12	4,94	5,04	2,90	0,00	12,88
13	0,00	0,00	3,73	3,19	6,92
14	10,86	0,00	0,00	3,20	14,05

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 47*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero convencional 1:6 cara interior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	4,07	0,00	0,00	1,15	5,22
2	0,00	0,00	0,00	2,84	2,84
3	0,00	0,00	0,00	6,64	6,64
4	8,26	1,53	0,00	2,93	12,72
5	0,00	0,00	5,95	3,66	9,61
6	0,00	0,00	0,00	2,01	2,01
7	5,19	1,01	0,00	1,28	7,47
8	3,09	2,83	0,00	0,00	5,92
9	5,54	1,29	0,00	0,00	6,83
10	3,05	1,10	1,46	1,75	7,37
11	7,76	0,00	0,00	0,00	7,76
12	3,07	0,00	0,00	0,00	3,07
13	1,67	3,25	0,00	0,00	4,92
14	0,00	2,77	0,00	0,00	2,77
15	0,00	0,00	2,30	0,00	2,30
16	0,00	0,00	7,93	0,00	7,93

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 48*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:4 cara exterior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	0,00	0,00	0,00	4,46	4,46
2	10,28	0,00	0,00	6,76	17,04
3	13,32	0,00	0,00	0,00	13,32
4	12,69	0,00	0,00	0,00	12,69
5	0,00	0,00	12,87	0,00	12,87
6	11,69	0,00	0,00	0,00	11,69
7	16,26	0,00	0,00	0,00	16,26
8	0,00	0,00	4,11	0,00	4,11
9	6,43	0,00	0,00	0,00	6,43

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
10	9,15	3,00	0,00	0,00	12,15
11	0,00	6,12	0,00	0,00	6,12
12	10,53	0,00	3,52	0,00	14,05
13	12,21	0,00	2,36	0,00	14,57
14	7,29	0,00	0,85	0,00	8,14
15	5,06	0,00	4,93	0,00	9,99
16	4,22	0,00	0,00	0,00	4,22
17	3,11	0,00	0,00	0,00	3,11
18	14,52	0,00	0,00	3,33	17,85
19	0,00	3,69	0,00	0,00	3,69
20	0,00	0,00	2,01	0,00	2,01
21	0,00	0,00	3,11	0,00	3,11
22	3,76	0,00	1,71	3,19	8,66
23	0,00	2,85	0,00	0,00	2,85
24	6,19	0,00	0,00	0,00	6,19
25	2,58	0,00	0,00	0,00	2,58
26	2,52	0,00	0,00	0,00	2,52
27	0,00	0,00	1,72	0,00	1,72

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 49

Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:4 cara interior

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	0,00	8,79	0,00	0,00	8,79
2	0,00	10,21	0,00	0,00	10,21
3	0,00	0,00	4,54	0,00	4,54
4	4,96	0,00	0,00	0,00	4,96
5	0,00	16,75	0,00	0,00	16,75
6	0,00	0,00	16,12	0,00	16,12
7	0,00	0,00	0,00	14,70	14,70
8	0,00	0,00	15,11	0,00	15,11
9	0,00	0,00	0,00	8,23	8,23
10	0,00	0,00	0,00	5,68	5,68

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
11	0,00	5,14	0,00	0,00	5,14
12	19,94	7,42	0,00	0,00	27,36
13	0,00	0,00	8,33	0,00	8,33
14	9,41	1,51	0,00	0,00	10,92
15	0,00	0,00	5,21	0,00	5,21
16	10,95	4,25	0,00	5,88	21,08
17	0,00	24,10	0,00	5,56	29,66
18	7,36	0,00	2,78	0,00	10,14
19	10,50	8,42	0,00	0,00	18,92

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 50

Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:5 cara exterior

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	5,58	1,54	0,00	0,00	7,12
2	5,37	0,00	1,56	0,00	6,93
3	30,42	6,79	0,00	0,00	37,21
4	0,00	2,59	0,00	0,00	2,59
5	7,46	1,45	0,00	0,00	8,91
6	0,00	2,66	0,00	0,00	2,66
7	9,24	3,11	0,00	2,14	14,49
8	11,01	0,80	0,00	0,00	11,81
9	0,00	15,50	0,00	0,00	15,50
10	5,32	3,18	0,00	0,00	8,50
11	4,63	5,59	1,44	0,00	11,66
12	2,16	0,00	0,00	0,00	2,16
13	0,00	0,00	0,00	4,30	4,30
14	4,11	0,00	0,98	0,00	5,09
15	0,00	0,00	2,69	0,00	2,69
16	0,00	0,00	5,45	0,00	5,45

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 51*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:5 cara interior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	9,39	6,43	0,00	0,00	15,82
2	5,96	1,88	0,00	0,00	7,84
3	0,00	2,91	0,00	0,00	2,91
4	8,45	0,00	0,00	0,00	8,45
5	4,40	0,00	0,00	0,00	4,40
6	9,84	1,47	0,00	0,00	11,31
7	11,76	0,00	0,00	0,00	11,76
8	4,60	0,00	0,00	0,00	4,60
9	5,79	0,00	0,00	0,00	5,79
10	5,97	0,00	0,00	0,00	5,97
11	0,00	8,33	0,00	1,33	9,66
12	0,00	7,36	0,00	0,00	7,36
13	0,00	7,00	0,00	0,00	7,00
14	0,00	3,44	0,00	2,08	5,52
15	12,92	0,00	1,94	1,48	16,33
16	5,32	2,53	0,00	3,02	10,86
17	0,00	12,72	0,00	0,00	12,72
18	10,22	0,00	0,00	0,00	10,22
19	5,11	0,00	0,00	0,00	5,11
20	5,26	0,00	0,00	0,00	5,26
21	0,00	6,41	0,00	2,95	9,36
22	0,00	6,07	0,00	0,00	6,07
23	3,56	0,00	0,00	1,80	5,36
24	10,35	8,81	0,00	0,00	19,16
25	0,00	4,28	0,00	0,00	4,28
26	5,75	3,49	0,00	0,00	9,25
27	0,00	4,06	0,00	0,66	4,72
28	3,44	0,00	1,04	1,89	6,37
29	5,89	0,00	0,00	6,97	12,86
30	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50
31	4,29	2,14	0,00	0,00	6,44

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 52*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:6 cara exterior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	0,00	10,75	0,00	0,00	10,75
2	14,17	13,31	0,00	0,00	27,48
3	13,14	15,44	1,38	3,33	33,29
4	0,00	0,00	6,22	0,00	6,22
5	3,86	3,81	0,00	0,00	7,67
6	10,06	1,88	0,00	0,00	11,94
7	16,48	0,00	0,75	0,00	17,23
8	15,52	2,47	1,81	0,00	19,80
9	2,85	4,50	1,91	0,00	9,26
10	10,53	2,63	0,00	0,00	13,16
11	14,34	0,00	0,00	0,00	14,34
12	2,87	1,82	0,00	0,00	4,69
13	0,00	9,68	0,00	0,00	9,68
14	16,64	7,36	0,00	0,00	24,00
15	23,41	2,21	0,00	0,00	25,62
16	0,00	6,94	0,00	0,00	6,94
17	4,95	2,15	0,00	0,00	7,10
18	3,37	1,83	0,00	0,00	5,20
19	0,00	10,26	0,00	0,00	10,26
20	0,00	8,32	1,64	3,00	12,96
21	7,15	11,52	0,00	0,00	18,67
22	0,00	4,32	0,00	0,00	4,32
23	0,00	8,32	0,00	0,00	8,32
24	0,00	3,18	0,00	0,00	3,18
25	12,00	1,67	0,00	0,00	13,67
26	5,72	0,00	0,00	0,00	5,72
27	0,00	7,03	0,00	0,00	7,03
28	0,00	0,00	6,64	5,61	12,25
29	0,00	8,70	0,00	0,00	8,70
30	0,00	4,44	0,00	0,00	4,44
31	0,00	5,15	0,00	0,00	5,15

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 53*Cuantificación longitudinal de fisuras mortero con fibra 1:6 cara interior*

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
1	4,05	0,66	0,00	0,00	4,71
2	4,39	2,96	0,00	0,00	7,35
3	5,88	0,00	0,00	0,00	5,88
4	9,72	0,00	0,00	0,00	9,72
5	7,76	3,60	0,00	0,00	11,36
6	0,00	3,40	0,00	0,00	3,40
7	0,00	2,32	0,00	0,00	2,32
8	0,00	1,42	0,00	0,00	1,42
9	13,05	0,00	0,00	0,00	13,05
10	0,00	4,46	0,00	0,00	4,46
11	4,91	3,31	0,00	0,00	8,22
12	0,00	6,76	0,00	0,00	6,76
13	0,00	0,00	0,00	3,75	3,75
14	0,00	0,00	0,00	2,98	2,98
15	7,02	1,01	0,00	0,00	8,03
16	0,34	1,35	0,00	0,00	1,69
17	2,87	0,75	0,00	0,00	3,62
18	1,95	0,00	0,00	0,00	1,95
19	5,04	1,38	0,00	0,00	6,42
20	14,65	3,62	0,00	0,00	18,27
21	16,56	10,08	0,00	1,65	28,29
22	23,91	0,77	0,00	0,00	24,68
23	15,14	2,14	0,00	0,00	17,28
24	11,89	0,00	0,00	0,00	11,89
25	3,55	1,65	0,00	0,00	5,20
26	0,63	0,63	0,00	0,00	1,26
27	2,57	0,00	0,00	0,00	2,57
28	1,46	0,00	0,00	0,00	1,46
29	5,85	0,00	0,00	0,00	5,85
30	0,00	2,60	0,00	0,00	2,60
31	0,00	3,21	0,00	0,00	3,21
32	13,44	1,18	0,00	0,00	14,62
33	8,23	0,00	0,00	0,00	8,23
34	4,62	5,56	1,30	0,00	11,48
35	9,39	0,00	0,00	0,00	9,39

Número Fisura	7 días (cm)	14 días (cm)	21 días (cm)	28 días (cm)	Total (cm)
36	8,33	1,51	1,69	0,00	11,53
37	5,64	1,61	0,00	0,00	7,25
38	6,35	1,29	0,00	0,00	7,64
39	4,61	0,00	1,27	0,00	5,88
40	6,30	0,00	0,00	0,00	6,30
41	0,00	5,74	0,00	0,00	5,74
42	0,00	5,03	0,00	0,00	5,03
43	0,00	7,27	0,00	0,00	7,27
44	4,17	0,00	0,00	0,00	4,17
45	3,18	0,00	0,00	0,00	3,18
46	8,83	4,02	0,00	0,00	12,85
47	2,86	1,95	0,00	0,00	4,81
48	5,86	0,00	2,30	1,64	9,80
49	1,94	1,58	0,00	0,00	3,52
50	3,24	0,00	0,00	0,00	3,24
51	1,18	0,00	0,00	0,00	1,18
52	0,00	3,52	0,00	0,00	3,52
53	0,00	4,61	0,00	0,00	4,61
54	2,46	0,00	0,00	0,00	2,46
55	11,17	0,00	0,00	0,00	11,17
56	3,09	0,00	0,00	1,84	4,93
57	0,00	0,00	0,00	5,95	5,95

Nota. El registro detalla la longitud individual, expresada en centímetros (cm), de las fisuras por secado.

Tabla 54

Resumen de fisuras por secado

Dosificación	Exterior		Interior		Unidad
	Convencional	Fibra 0,75%	Convencional	Fibra 0,75%	
1:4	271,20	222,39	33,64	241,85	cm
1:5	201,01	147,07	38,27	255,22	cm
1:6	119,35	369,04	95,38	405,40	cm

Capítulo V

Conclusiones

El análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas entre los morteros convencionales y con fibras de cabuya en diferentes porcentajes añadidos se concluye que, la dosificación 1:4 alcanza la resistencia pico con un incremento del 0,75% de fibra de cabuya en el caso de briquetas a compresión con su valor más alto de 11,50 MPa, a comparación con el mortero de fibras al 0,25% y 0,50% con una resistencia de 8,02 MPa y 9,83 MPa respectivamente, por otro lado, las viguetas ensayadas a compresión alcanzan picos de hasta 13,72 MPa; sin embargo, en el caso de flexión se evidencia que la máxima resistencia se da con la adición de fibras al 0,25% alcanzando valores de 3,30 MPa, comparado con el 2,74 MPa y 2,55 MPa del mortero al 0,50% y 0,75% de fibras respectivamente, no obstante el desplazamiento registrado con este porcentaje de fibras es menor en contraste con las fibras al 0,75% lo que demuestra que el mortero colapsa de forma frágil.

En la dosificación 1:5 el porcentaje óptimo establecido es de 0,75% debido a que demostró un mejor comportamiento a los 28 días, en briquetas a compresión el valor alcanzado fue de 7,29 MPa a comparación del 6,81 MPa y 7,21 MPa de los otros morteros con fibras; respecto a los ensayos en viguetas la compresión alcanzada para estos especímenes fue de 9,83 MPa y en el caso de la flexión alcanzó picos de hasta 2,30 MPa superando la resistencia de los otros morteros con fibras ensayados; por su parte el desplazamiento mostrado con este porcentaje de fibras muestra una curva ascendente continua reflejando buena ductilidad aportada por el reforzamiento al 0,75%.

Para la dosificación 1:6 el porcentaje de fibra óptimo seleccionado es la adición del 0,75%, demostrando que a los 28 días la resistencia a la compresión en briquetas es de 6,63 MPa

superando el 5,24 MPa y 5,19 MPa de la fibra al 0,25% y 0,50% respectivamente; en cuanto al ensayo en viguetas la resistencia a compresión fue de 7,25 MPa y a flexión de 3,00 MPa siendo los valores máximos de los tres porcentajes de fibras analizados, por otro lado, el desplazamiento aunque no supera el del mortero con fibras al 0,25% al ser la diferencia mínima se procura la resistencia alcanzada en el ensayo.

Al realizar los ensayos en laboratorio la resistencia de las probetas aumenta significativamente, dado que se encuentran bajo las condiciones controladas de los moldes metálicos, provocando que la alta densidad de los filamentos logren trabajar de manera adecuada con la matriz cementante, al estar confinada en el molde y recibir una compactación mecánica estricta, la mezcla permite que el cemento recubra las fibras, haciendo que estas actúen como una micromalla interna que absorbe energía y frena la expansión de las fisuras al aplicarse la carga. Por lo tanto, si se evalúa estrictamente la capacidad de soporte estructural, el 0,75% demuestra ser el porcentaje óptimo de refuerzo.

El escenario varió al evaluar el material en los enlucidos a escala real, donde el mortero al 0,75% presentó una fisuración superficial excesiva durante el proceso de secado. Al contar con un único espécimen por dosificación y la falta de control estricto sobre variables ambientales de temperatura, humedad, viento, radiación, y también parámetros constructivos como humedad del bloque y método de curado, no es posible establecer que la fisuración se deba netamente al porcentaje de fibras añadido.

Mediante el ensayo de flujo normativo confirmamos que el fallo no se debió a un error de amasado ni a una falta o exceso de agua; de hecho, gracias al tratamiento con parafina se cumplió con la finalidad de reducir la absorción de agua de la fibra, haciendo que la mezcla demande la misma cantidad de agua calculada.

Es probable que el alto volumen de hebras recubiertas con parafina haya alterado la continuidad del mortero, actuando como un aislante frente a la superficie del bloque. Si a esto le sumamos el efecto de rebote elástico que tiene tanta fibra junta al ser presionada con la llana, el resultado son pequeños poros de aire atrapados que terminan abriéndose como fisuras, lo que demuestra empíricamente que el porcentaje óptimo del laboratorio no siempre es viable para construir.

Recomendaciones

Basándonos en el fallo por el efecto rebote elástico en el murete al 0,75%, se recomienda evaluar en investigaciones futuras los porcentajes de 0,25% y 0,50%; reducir el volumen de fibras garantizará que exista suficiente pasta de cemento libre de cera para anclarse a la mampostería, logrando un acabado liso y sin fisuras, pero conservando a la vez los beneficios estructurales que aporta la fibra natural.

Si por requerimientos de diseño estructural se requiere aprovechar obligatoriamente la alta resistencia a compresión que ofrece la mezcla al 0,75% en elementos verticales, se sugiere incorporar un puente de adherencia mecánico o químico sobre la pared antes de aplicar el enlucido, de esta manera se ayudará a contrarrestar el fuerte efecto aislante y de rebote elástico que provoca la gran cantidad de fibras encerradas en la superficie de contacto con el bloque.

El estudio del mortero con adición de fibras vegetales de cabuya debe orientarse a comparar su comportamiento con y sin tratamiento de las fibras, evaluando las propiedades físico-mecánicas. Se recomienda caracterizar previamente las fibras para conocer su resistencia y absorción de agua, aplicar distintos tratamientos y analizar cómo estos influyen en la adherencia fibra-matriz.

Referencias

- ASTM International. (2019). *ASTM C136 / C136M: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*.
- ASTM International. (2020). *ASTM C187: Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste*.
- ASTM International. (2020). *ASTM C1437: Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*.
- ASTM International. (2020). *ASTM C349-18: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)*.
- ASTM International. (2021a). *ASTM C109 / C109M: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*.
- ASTM International. (2021b). *ASTM C191: Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*.
- ASTM International. (2022). *ASTM C348: Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*.
- Barja, F. N., & Cubas, J. R. (2024). *Análisis de $f'c$ y la adherencia del mortero de asentado P2 (C:A 1:4) con la sustitución del cemento con 0.5%, 1.0% y 1.5 % de cabuya* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/674755>
- Contreras, A., & Gastelo, S. (2024). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas del mortero añadiendo fibra de musa paradisiaca de plátano y cabuya, Lima - 2024*. Universidad César Vallejo.
- Da Fonseca, R. P., Rocha, J. C., & Cheriaf, M. (2021a). Influence of Different Types of Treatments on Amazonian Vegetable Fibers on the Performance of Mortars Based on

Portland Cement, Metakaolin and Fly Ash. *Materials Research*, 24.

<https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0320>

Da Fonseca, R. P., Rocha, J. C., & Cheriaf, M. (2021b). Mechanical properties of mortars reinforced with Amazon rainforest natural fibers. *Materials*, 14(1), 1–19.

<https://doi.org/10.3390/MA14010155>

Ibujes, N., & Vega, C. (2026). *Análisis y comparación de las propiedades físico – mecánicas entre el mortero con fibras vegetales del bagazo de caña y mortero convencional, utilizados para enlucidos en construcción*. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009a). *NTE INEN 152: Cemento portland. Requisitos*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009b). *NTE INEN 156: Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009c). *NTE INEN 157: Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009d). *NTE INEN 488: Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010a). *NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010b). *NTE INEN 858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010c). *NTE INEN 2518: Morteros para unidades de mampostería. Requisitos*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010d). *NTE INEN 2536: Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos*.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011a). *NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.*
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011b). *NTE INEN 862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.*
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2025). *NTE INEN 158: Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado por el método de la aguja de Vicat.*
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 872: Agregados para hormigón de cemento hidráulico. Requisitos.*
- Juarez, L. (2024). *Influencia de la aplicación de fibra seca de agave o fibra de cabuya sobre las propiedades de un concreto convencional en el Distrito de Pomata 2024.* Universidad Andina.
- Llerena, J. A. (2019). *Reforzamiento a cortante en paredes de ladrillo, bloque y adobe utilizando materiales compuestos FRCM de cabuya.* Universidad Nacional de Chimborazo.
- Masaco, J. (2018). *Mortero de cemento y refuerzo de fibra vegetal de cabuya.* Universidad Particular de Loja.
- Merino, C. P. A., Zambrano, G. S. J., Pacheco, E. D. G., & Ocaña, F. R. M. (2023). Cabuya (*Furcraea andina*, Asparagaceae): a biocultural persistence for the reproduction of the Puruhá social being in the Guano River microbasin (Ecuadorian Andes). *Acta Botanica Mexicana*, (130). <https://doi.org/10.21829/ABM130.2023.2194>
- Orellana, E. (2024). *Análisis del hormigón reforzado con fibras de Cabuya al 0.5%, 0.75% y 1% con tratamiento químico componente C: Hormigón reforzado con fibras de Cabuya 1% con tratamiento químico.*

- Pederneiras, C. M., Veiga, R., & Brito, J. de. (2021). Incorporation of natural fibres in rendering mortars for the durability of walls. *Infrastructures*, 6(6).
<https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES6060082>
- Rashmi Nayak, J., Bochen, J., & Gołaszewska, M. (2022). Experimental studies on the effect of natural and synthetic fibers on properties of fresh and hardened mortar. *Construction and Building Materials*, 347. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128550>
- Segovia, C., Hidalgo, V., Melo, J., Benavides, I., & Segovia, J. (2023). Study of the Mechanical Characteristics of Bamboo Fibers for the Manufacture of Automotive Parts. *Revista Politecnica*, 52(1), 55–62. <https://doi.org/10.33333/RP.VOL52N1.06>
- 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>