



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Influencia de la fibra de abacá en el comportamiento a
tracción del mortero actual y envejecido.**

AUTORES:

**Palacios Sánchez César Andrés
Salas Pacheco Lissette Carolina**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTORA:

ALCÍVAR BASTIDAS, STEFANY ESTHER

Guayaquil, Ecuador

24 de febrero del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

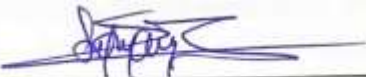
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Palacios Sánchez César Andrés** y **Salas Pacheco Lissette Carolina**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTORA

f. 
Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 
Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc

Guayaquil, a los 24 del mes de febrero del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: **Palacios Sánchez César Andrés y Salas Pacheco Lissette
Carolina.**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación: **Influencia de la fibra de abacá en el comportamiento a tracción del mortero actual y envejecido**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

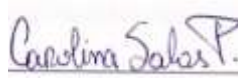
Guayaquil, a los 24 del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR

f. 

Palacios Sánchez César Andrés

LA AUTORA

f. 

Salas Pacheco Lissette Carolina



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Nosotros: **Palacios Sánchez César Andrés y Salas Pacheco Lissette
Carolina.**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Influencia de la fibra de abacá en el comportamiento a tracción del mortero actual y envejecido**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

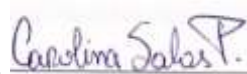
Guayaquil, a los 24 del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR

LA AUTORA

f. 

Palacios Sánchez César Andrés

f. 

Salas Pacheco Lissette Carolina



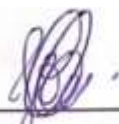
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

f. 

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc
TUTORA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN
f. 
Ing. Federico von Buchwald de Janon, Ph.D.

DECANO DE FACULTAD

f. 

Ing. José Barros Cabezas, M.Sc.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 
Ing. Daniel Petroche, M.Sc.

OPONENTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL
REPORTE URKUND

Document Information

Analyzed document	Palacios César_ Salas Lissette_ Trabajo de titulación_FINAL.pdf (D159349075)
Submitted	2/23/2023 7:13:00 PM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

Entire Document

V

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA INGENIERÍA CIVIL TEMA: Influencia de la fibra de abacá en el comportamiento a tracción del mortero actual y envejecido AUTORES: Palacios Sánchez César Andrés Salas Pacheco Lissette Carolina

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL TUTOR: ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, MSc Guayaquil, Ecuador 24 de febrero del 2023

VI

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Palacios Sánchez César Andrés y Salas Pacheco Lissette Carolina, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Civil. TUTORIA f. _____ Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc DIRECTOR DE LA CARRERA f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc Guayaquil, a los 24 del mes de febrero del año 2023.

VII

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA INGENIERÍA CIVIL DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Palacios Sánchez César Andrés y Salas Pacheco Lissette Carolina. DECLARAMOS QUE: El Trabajo de Titulación Influencia de la fibra de abacá

en el comportamiento a tracción del mortero actual y envejecido previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías.

Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido. Guayaquil, a los 24 del mes de febrero del

año 2023

EL AUTOR LA AUTORA f. _____

f. _____ Palacios Sánchez César Andrés Salas Pacheco Lissette Carolina

VIII

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA INGENIERÍA CIVIL AUTORIZACIÓN Nosotros,

Palacios Sánchez César Andrés y Salas Pacheco Lissette Carolina.

Autorizo

a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, Influencia

Agradecimiento

Gracias a la Ing. Stefany Alcívar, por ser una gran tutora, sabiendo guiarnos a lo largo de este proceso, al Ing. Daniel Petroche por toda la ayuda brindada junto con el equipo del Centro de Innovación Holcim. Además, al Dr. Mauricio Cornejo y equipo del Lemat por toda la ayuda brindada y al laboratorio de mecánica de sólidos por el uso de sus instalaciones.

César Andrés Palacios Sánchez

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la bendición y salud para poder culminar mis estudios. A mi mami Silvia porque sin ella no hubiera tenido la fortaleza de avanzar y que siempre con sus sabias palabras supo darme aliento. A mi papi Wilson porque fue quien me animó a estudiar esta bonita carrera y también quien estuvo presente ayudándome en los proyectos de distintas materias.

A mi familia porque siempre me entendieron y me motivaron a continuar.

A los mejores amigos que me pudo dar la universidad, gracias por todos los momentos increíbles que pasamos en estos 5 años.

A la Ing. Stefany Alcívar por ser una excelente tutora quien con paciencia nos guió en este proceso. Al Ing. Daniel Petroche y todo el equipo del Centro Innovación Holcim porque nos recibieron con los brazos abiertos y siempre que lo necesitábamos nos brindaban su ayuda. Al Dr. Mauricio Cornejo y demás personas del Laboratorio Lemat y al laboratorio de Mecánica de Sólidos en la Espol, gracias por tratarnos como uno de los suyos y ayudarnos a realizar nuestros ensayos.

Lisette Carolina Salas Pacheco

Dedicatoria

Dedicada a mi familia, por el gran apoyo y motivación que me dieron a lo largo de este proceso.

César Andrés Palacios Sánchez

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi mami, gracias por todo.

Lisette Carolina Salas Pacheco

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	2
1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Justificación	4
CAPÍTULO 2	5
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Cemento	6
2.2 Arena	6
2.3 Fibra de Abacá	7
2.4 Mortero	7
2.5 Tratamiento Alcalino	8
2.6 Envejecimientos.....	8
3 Marco metodológico	10
3.1 Revisión bibliográfica	10
3.2 Experimental.....	11
3.2.1 Arena.....	11
3.2.2 Proceso de tratamiento para la fibra de abacá.....	13
3.2.3 Mortero.....	15

3.2.4	Amasado del mortero	17
3.2.5	Elaboración de probetas	17
3.3	Envejecimiento	20
3.3.1	Envejecimiento wet and dry acelerado uno	20
3.3.2	Proceso	20
3.3.3	Envejecimiento wet and dry acelerado dos	20
3.3.4	Proceso	21
CAPÍTULO 4.....		22
4.	Ensayos y resultados	23
4.1	Tracción	23
4.2	Flexotracción	30
4.3	Compresión	34
4.4	Envejecimientos.....	39
4.4.1	Envejecimiento acelerado 1 (wet & dry).	39
4.4.2	Resultados de ensayos a tracción envejecimiento acelerado	44
4.4.3	Resultados de ensayos a flexión envejecimiento acelerado 1	45
4.4.4	Resultados de ensayos a compresión envejecimiento acelerado 1.....	45
4.4.5	Envejecimiento wet and dry acelerado 2	46
4.4.6	Resultados de ensayos a tracción envejecimiento acelerado 2	51
4.4.7	Resultados de ensayos a flexión envejecimiento acelerado agresivo ..	52
4.4.8	Resultados de ensayos a compresión envejecimiento acelerado agresivo	52
4.4.9	Resultados de ensayos posterior a ciclos de envejecimiento	53

4.5	Tablas resumen	56
CAPÍTULO 5		57
5.	Conclusiones	58
5.1	Tracción	58
5.2	Flexotracción	60
5.3	flexión	60
5.4	Compresión	61
5.5	Recomendaciones	62
6.	Bibliografía	63

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Requisitos físicos del cemento para mampostería Fuente: (Instituto ecuatoriano de normalización, 2010)	6
Ilustración 2: Granulometría norma ASTM C144-04. Fuente: Autor	7
Ilustración 3. Primera parte- Revisión bibliográfica. Fuente: Autor	11
Ilustración 4. Segunda parte-Metodología Experimental. Fuente: Autor	11
Ilustración 5. a) Arena en horno a 110 °C. b) Tamizadora. Fuente: Autor	12
Ilustración 6. Curva granulométrica. Fuente: Autor	13
Ilustración 7. Separación de fibra previo al tratamiento de NaOH. Fuente: Autor	14
Ilustración 8. Perlas de Hidróxido de Sodio (NaOH). Fuente: Autor	14
Ilustración 9. Proceso de tratamiento de Hidróxido de Sodio. (A) Solución de H ₂ O +NaOH, (B) Mezcla de solución con la fibra y reposo, (C) Lavado de fibra tratada, (D) Secado de la fibra tratada, (E) Sellado de fibra en bolsas herméticas. Fuente: Autor.....	15
Ilustración 10: Mesa de flujo para verificar trabajabilidad del mortero. Fuente: Autor	16
Ilustración 11. a) fibra de abacá, b) cemento, c) arena. Fuente: Autor	16
Ilustración 12: Fundición de moldes en 2 capas. Fuente: Autor	17

Ilustración 13: Probetas en mesa vibratoria.	
Fuente: Autor	18
Ilustración 14: Probetas enrasadas, se deja fraguar durante 24 horas.	
Fuente: Autor	18
Ilustración 15: Fundición de probetas de tracción y flexo-tracción.	
Fuente: Autor	19
Ilustración 16: Curado de probetas de tracción y flexo tracción.	
Fuente: Autor	19
Ilustración 17: Dimensiones de probetas Dog bone para ensayo a tracción.	
Fuente: Autor	24
Ilustración 18. Máquina para ensayo a tracción a probeta dog bone.	
Fuente: Autor	25
Ilustración 19. Zona de rotura en probeta ensayada a tracción.	Fuente:
Autor	26
Ilustración 20. Rotura de probeta en ensayo a tracción y gráfica que presenta el software enlazado a la máquina de tracción.	
Fuente: Autor	27
Ilustración 21: Comparativa de resistencia tracción de mortero con fibra y sin fibra. Fuente: Autor.	29
Ilustración 22. a) moldes de acero, b) máquina industrial para ensayos a flexión. Fuente: Autor	30
Ilustración 23. Elemento usado para ensayos de resistencia a la flexión. Fuente: Autor	31
Ilustración 24. Proceso de ensayo de probeta a flexión. Fuente: Autor	32
Ilustración 25: Comparativa de resistencia a flexión de mortero con fibra y sin fibra. Fuente: Autor	34

Ilustración 26. Ensayo a Compresión. Fuente: Autor	35
Ilustración 27: Comparativa de resistencia a compresión de mortero con fibra y sin fibra. Fuente: Autor	38
Ilustración 28: Proceso de humedecido para envejecimiento acelerado 1 (wet & dry). Fuente: Autor.....	39
Ilustración 29: Lectura de masa de probetas para ensayo de tracción. Fuente: Autor	40
Ilustración 30: Proceso de secado para envejecimiento acelerado 1 (wet & dry). Fuente: Autor	40
Ilustración 31: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros convencionales, para ensayos a flexión. Fuente: Autor....	41
Ilustración 32: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros reforzados, para ensayos a flexión. Fuente: Autor	42
Ilustración 33: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros convencionales, para ensayos a tracción. Fuente: Autor .	43
Ilustración 34: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros reforzados, para ensayos a tracción. Fuente: Autor	44
Ilustración 35: Bandejas con agua sellada, introducidas a un horno a temperatura de 70 °C. Fuente: Autor	47
Ilustración 36: Probetas dentro del horno a temperatura de 70 °C. Fuente: Autor	47
Ilustración 37:Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros convencionales, para ensayos a flexión. Fuente: Autor....	48

Ilustración 38: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros reforzados, para ensayos a flexión. Fuente: Autor	49
Ilustración 39: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros convencionales, para ensayos a tracción. Fuente: Autor .	50
Ilustración 40: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros reforzados, para ensayos a tracción. Fuente: Autor	51
Ilustración 42: Comparativa de resistencia a tracción de mortero con fibra y sin fibra, posterior a procesos de envejecimientos. Fuente: Autor	53
Ilustración 42: Comparativa de resistencia a flexo tracción de mortero con fibra y sin fibra, posterior a procesos de envejecimientos. Fuente: Autor	54
Ilustración 43: Comparativa de resistencia a compresión de mortero con fibra y sin fibra, posterior a procesos de envejecimientos. Fuente: Autor	55
Ilustración 44. Fractura de las probetas MFT (con fibra) y MSF (sin fibra) ensayadas a tracción. Fuente: Autor	59
Ilustración 45. Fractura de las probetas sometidas a envejecimientos MFT (con fibra) y MSF (sin fibra) ensayadas a tracción. Fuente: Autor	60
Ilustración 46. Fractura de probetas con fibra (MFT) y sin fibra (MSF) ensayadas a flexión. Fuente: Autor.....	61
Ilustración 47. Fractura de probetas con fibra (MFT) y sin fibra (MSF) ensayadas a compresión. Fuente: Autor	62

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de tratamiento de Wet and Dry. Fuente: (Chasiguasín & Santana, 2020).....	9
Tabla 2: Granulometría de arena a trabajar. Fuente: Autor	13
Tabla 3: Resultados de ensayo a tracción para morteros sin fibra (MSF) a 7 días. Fuente: Autor	27
Tabla 4: Resultados de ensayo a tracción para morteros sin fibra (MSF) a 14 días. Fuente: Autor	27
Tabla 5: Resultados de ensayo a tracción para morteros sin fibra (MSF) a 28 días. Fuente: Autor	28
Tabla 6: Resultados de ensayo a tracción para morteros reforzados con fibra de abacá (MFT) a 7 días. Fuente: Autor	28
Tabla 7: Resultados de ensayo a tracción para morteros reforzados con fibra de abacá (MFT) a 14 días. Fuente: Autor	28
Tabla 8: Resultados de ensayo a tracción para morteros reforzados con fibra de abacá (MFT) a 28 días. Fuente: Autor	28
Tabla 9: Resultados de ensayo a flexión a morteros sin fibra (MSF) a 7 días. Fuente: Autor	32
Tabla 10: Resultados de ensayo a flexión a morteros sin fibra (MSF) a 14 días. Fuente: Autor	32
Tabla 11: Resultados de ensayo a flexión a morteros sin fibra (MSF) a 28 días. Fuente: Autor	33
Tabla 12: Resultados de ensayo a flexión a morteros con fibra (MFT) a 7 días. Fuente: Autor	33
Tabla 13: Resultados de ensayo a flexión a morteros con fibra (MFT) a 14 días. Fuente: Autor	33

Tabla 14: Resultados de ensayo a flexión a morteros con fibra (MFT) a 28 días. Fuente: Autor	33
Tabla 15. Resultados de ensayo a compresión de morteros sin fibra (MSF) a 7 días. Fuente: Autor	36
Tabla 16. Resultados de ensayo a compresión de morteros sin fibra (MSF) a 14 días. Fuente: Autor	36
Tabla 17. Resultados de ensayo a compresión de morteros sin fibra (MSF) a 28 días. Fuente: Autor	36
Tabla 18. Resultados de ensayo a compresión de morteros con fibra (MFT) a 7 días. Fuente: Autor	37
Tabla 19. Resultados de ensayo a compresión de morteros con fibra (MFT) a 14 días. Fuente: Autor	37
Tabla 20. Resultados de ensayo a compresión de morteros con fibra (MFT) a 28 días. Fuente: Autor	37
Tabla 21: Resultados de ensayo a tracción de morteros convencionales a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1). Fuente: Autor	44
Tabla 22:Resultados de ensayo a tracción de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E1). Fuente: Autor	45
Tabla 23: Resultados de ensayo a flexión de morteros sin fibra a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1). Fuente: Autor	45
Tabla 24: Resultados de ensayo a flexión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1). Fuente: Autor	45
Tabla 25: Resultados de ensayo a compresión de morteros convencionales a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1). Fuente: Autor	46
Tabla 26: Resultados de ensayo a compresión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E1). Fuente: Autor	46

Tabla 27: Resultados de ensayo a tracción de morteros convencionales a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor	51
Tabla 28: Resultados de ensayo a tracción de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor	52
Tabla 29: Resultados de ensayo a flexión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor	52
Tabla 30: Resultados de ensayo a flexión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor	52
Tabla 31: Resultados de ensayo a compresión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor	53
Tabla 32: Resultados de ensayo a compresión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor	53

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Esfuerzo de tracción.....	23
Ecuación 2. Fórmula de esfuerzo a flexión.	31
Ecuación 3. Fórmula para la resistencia a compresión.....	35

Resumen

El abacá es endémico de Filipinas, debido a su valor comercial se cultiva en Ecuador. Sus fibras vegetales presentan alta resistencia a la tracción, siendo ideal para usarla como refuerzo en materiales compuestos. El objetivo del presente trabajo es comparar la influencia de la fibra de abacá como refuerzo en morteros a corto y largo plazo. La elaboración de morteros para mampostería se hizo con una relación 1:3 (cemento:arena) en relación a su masa, analizando el efecto de la adición 0.2% (peso total de los sólidos) de fibra de abacá tratada en una solución de NaOH al 3%. Se analizaron propiedades como tracción en probetas dog bone y vigas para flexotracción y compresión y como estas propiedades variaban en función del tiempo aplicando procesos de wet and dry. Los resultados mostraron que la adición de fibra de mejora las propiedades a tracción para edades de 7, 14 y 28 días, además posterior a los procesos de wet and dry mantiene la resistencia similar a los morteros convencionales. Lo cual nos indica que es un excelente refuerzo para los morteros de mampostería.

Palabras clave: ***Abacá, Fibra, Tracción, Naoh, Dog Bone, Ensayos***

Abstract

Abaca is endemic from the Philippines, due to its commercial value it is cultivated in Ecuador. Its vegetable fibers have high tensile strength, making it ideal for use as reinforcement in composite materials. The objective of this investigation is to compare the influence of abaca fiber as a reinforcement in mortars in the short and long term. The preparation of mortar for masonry was done with a 1:3 ratio (cement: sand) in relation to its mass, analyzing the effect of adding 0.2% (total weight of solids) of abaca fiber treated in a NaOH solution. at 3%. Properties such as traction in dog bone specimens and beams for flexotraction and compression and how these properties varied as a function of time applying wet and dry processes were analyzed. The results showed that the addition of fiber improves the tensile properties for ages of 7, 14 and 28 days, in addition, after the wet and dry processes, it maintains the resistance similar as conventional mortars. Which indicates that it is an excellent reinforcement for masonry mortars.

Key words: ***Abacá, Fibra, Tracción, Naoh, Dog Bone, Ensayos***

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

(Kilinç et al., 2017) indica que las fibras vegetales han sido usadas como materiales desde tiempos antiguos, han permitido el desarrollo del hombre con la fabricación de cuerdas o hilos los cuales usaban para caza, pesca o vestimenta, con el paso del tiempo se fueron descubriendo nuevas fibras, como el yute, cáñamo, algodón y lino, siendo estos los principales tipos de fibra. El abacá o Musa Textilis es una planta endémica de Filipinas, sin embargo, gracias a las favorables condiciones climáticas y los suelos aluviales fértiles se pudo cultivar con éxito en Ecuador, abasteciendo al 16% del mercado mundial con esta fibra (Benotman, 2021). Además, las fibras de abacá son las más fuertes en comparación al resto fibras naturales comerciales y gracias a sus propiedades mecánicas el abacá se ha utilizado como refuerzo a nivel industrial (Kilinç et al., 2017).

Como se puede constatar en la investigación de (Cai et al., 2016) los científicos han captado un gran interés en las fibras naturales y en su aplicación como agente de refuerzo de los materiales compuesto. Esto debido a la abundancia de las fibras y su bajo costo en el mercado, al igual que sus propiedades físicas como su alto módulo específico y peso ligero. La modificación de la superficie de la fibra se ha convertido en todo un campo de investigación gracias a su potencial uso en la industria (Cai et al., 2015). Siendo el tratamiento álcali de Hidróxido de Sodio (NaOH) el óptimo con excelentes resultados (Freire Marjorie, 2019).

El alcalde de Pedernales comenta en (el Comercio, 2016): “El 80 o 90% de las construcciones están afectadas...” debido al terremoto de Ecuador en el año 2016, siendo este país uno de los que tiene mayor actividad sísmica, un análisis de la trabajabilidad de las propiedades del mortero reforzado con fibra sería necesario. Tal como menciona (Onuaguluchi & Banthia, 2016) : “Estudios han demostrado que diferentes tipos de fibras de origen vegetal puede mejorar las tensiones de tracción generadas en las mezclas de cemento plástico”.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Comparar el comportamiento a tracción del mortero convencional y mortero reforzado con fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio a corto y largo plazo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar probetas para ensayos a tracción de morteros convencionales y morteros reforzados con fibra de abacá.
- Comparar el comportamiento a tracción de mortero convencional y mortero reforzado con fibra de abacá.
- Comparar el comportamiento a tracción de mortero convencional y mortero reforzado con fibra de abacá luego de ser sometidos a procesos de envejecimiento.

1.3 Hipótesis

El uso de fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio mejorará la resistencia a la tracción de los morteros a corto y largo plazo.

1.4 Justificación

(Kumar Sinha et al., 2017) menciona en su investigación que las fibras tratadas al 3% de hidróxido de sodio tienen una mejor adhesión interfacial aumentando la rugosidad en la superficie de la fibra, mejorando a su vez la resistencia a tracción y flexión. Además, (de Azevedo et al., 2020) indica que las fibras sin tratamiento reducen las resistencias mecánicas de los morteros debido a las impurezas de estas, mientras que las fibras tratadas muestran un aumento significativo de las fibras a tracción, por lo que las fibras tratadas son eficientes como refuerzo para la matriz cementosa gracias a la adherencia entre estos materiales.

Estudios realizados por (Freire Marjorie, 2019) muestran la diferencia del comportamiento de un mortero tratado con fibra de abacá vs un mortero tradicional resultando así en una mejor adhesión de las partículas. Al igual que en investigaciones previas de (Chasiguasín & Santana, 2020) concluyeron en sus pruebas que el mortero reforzado con fibra tratada con Hidróxido de Sodio es más denso en las fases de envejecimiento que ensayaron, siendo resultados favorables puesto que significa un aumento de resistencia en las propiedades mecánicas.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Cemento

(HOLCIM S.A.) indica que el cemento Holcim Fuerte tipo GU está diseñado para todo tipo de construcción general. Además, indican que uno de los usos más comunes de este tipo de cemento, es para mampostería y pega de bloques de acuerdo con la norma NTE INEN 2380 (Instituto ecuatoriano de normalización, 2011). También se debe cumplir con la norma NTE INEN 1806, el cual para el cemento Holcim fuerte tipo GU, corresponde a la característica de un cemento para mampostería tipo M (Ilustración 1) y a su vez, cumplir con los requisitos para morteros de mampostería de la norma NTE INEN 2518, la cual indica que no debe contener mayor adición de cemento o cal hidratada (Instituto ecuatoriano de normalización, 2010)

Tipo de cemento para mampostería	N	S	M
Finura, residuo sobre el tamiz de 45 µm (No. 325), % máx.	24	24	24
Expansión en autoclave, % máx.	1,0	1,0	1,0
Tiempo de fraguado, método de Gillmore			
Tiempo inicial, minutos, no menos de	120	90	90
Tiempo inicial, minutos, no mayor de	1 000	1 000	1 000
Resistencia a la compresión (promedio de 3 cubos)			
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de 1 parte de cemento y 3 partes de arena mezclada (la mitad de arena graduada normalizada y la otra mitad de arena normalizada 20 – 30) en volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta norma, debe ser igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, MPa	3,4 [500Psi]	9,0[1300Psi]	12,4[1800Psi]
28 días, MPa	6,2 [900Psi]	14,5[2100Psi]	20,0[2900Psi]
Contenido de aire del mortero, preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta norma.			
Volumen, % mín	8	8	8
Volumen, % máx.	21	19	19
Valor de retención de agua, min, % de flujo original	70	70	70

Ilustración 1. Requisitos físicos del cemento para mampostería

Fuente: (Instituto ecuatoriano de normalización, 2010)

2.2 Arena

Para el presente proyecto se trabaja con la arena del río boliche la cual debe cumplir cierta caracterización como indica en la norma ASTM C144-04, la cual se observa en la Ilustración 2.

Granulometría					
Tamaño de tamiz		Procentaje pasante			
		Arena natural		Arena Artificial	
Diámetro	Tamiz	Min	Max	Min	Max
4.75 mm	(No.4)	100	100	100	100
2.36 mm	(No.8)	95	100	95	100
1.18 mm	(No.16)	70	100	70	100
0 μm	(No.30)	40	75	40	75
300 μm	(No.50)	10	35	20	40
150 μm	(No.100)	2	15	10	25
75 μm	(No.200)	0	5	0	10

Ilustración 2: Granulometría norma ASTM C144-04.

Fuente: Autor

2.3 Fibra de Abacá

De acuerdo con (Freire Marjorie, 2019) la fibra abacá ha sido usada como materia prima, debido a que se ha constatado que esta fibra tiene un alto esfuerzo a tracción, resistencia a putrefacción y un esfuerzo a flexión específico a la fibra de vidrio. Estas fibras se pueden extraer después de dos años de su sembrado y se puede realizar la extracción cada 3 o 6 meses. Además, estas fibras pueden llegar a medir entre 1.5 a 4 metros de longitud, su color puede variar entre blanco y amarillo. En la investigación de (Calle, 2019) se determinó que el porcentaje óptimo de fibra para morteros es el 0.2% del peso total de sólidos y una longitud de 3 cm para un mejor comportamiento mecánico del mortero.

2.4 Mortero

Es un conglomerante compuesto de agua, arena y cemento. (Zambrano Karina, 2020) nos indica que es importante realizar una dosificación adecuada, ya sea en función del volumen o pesos de este, dando una buena resistencia y trabajabilidad. Además, en la actualidad es muy común el uso de aditivos o fibras vegetales, dándole un extra al mortero, ya que sirven como modificadores dependiendo el uso del mortero. Todas estas características se referencian en la NTE INEN 2518.

2.5 Tratamiento Alcalino

El proceso químico que se utilizó fue el tratamiento alcalino con Hidróxido de Sodio (véase en la Ilustración 9), ya que tal como explica (Kabir et al., 2012), las fibras tienen compuestos como lignina y celulosa, las cuales poseen propiedades hidrófilas (absorben agua) y al mezclarse pueden alterar la matriz cementicia. Por ese motivo, este tratamiento modifica la estructura molecular de la fibra, permitiendo que su superficie sea menos irregular y logrando una mejor adhesión con la matriz.

2.6 Envejecimientos

El envejecimiento está en todas partes y debemos adaptarnos. Sería imposible simular el paso del tiempo en un corto plazo, por tal razón se han analizado diferentes procesos simulando la aceleración del proceso con el paso del tiempo. Procesos como W/D son los más comunes y mejor adaptables a nuestra zona, ya que solo se tiene dos temporadas lluviosas y secas.

Gracias a muchas investigaciones sobre este tema, se han derivado métodos para observar el comportamiento de un sistema conforme pasa el tiempo, para así crear materiales resistentes con el fin que se prolongue su vida útil (Van et al., 2018).

La mayoría de los ambientes tropicales se caracterizan por ciclos de humedad y variaciones de temperatura que provocan la lixiviación de compuestos de cemento, lo que lleva a la formación de micro fisuras y más aún cuando estos compuestos son reforzados con fibras ya que su durabilidad es cuestionada luego de un tiempo de estar expuestos al medio ambiente. Efectos como la hidratación del cemento mejorando las propiedades de resistencia y también cambios de volumen ocasionados por el proceso de carbonatación son muy comunes al realizarse procesos de Wet and Dry (secado/húmedo) además de tener un impacto importante en las propiedades y en la durabilidad de los compuestos cementosos reforzados con fibras (Akinyemi & Omoniyi, 2020).

Tabla 1. Tipos de tratamiento de Wet and Dry.

Fuente: (Chasiguasín & Santana, 2020)

Tipo de tratamiento	Tipo de elemento	Consecuencias
Wetting and Drying	Mortero con fibra curaua	El comportamiento de flexión compuesto se modifica (Zukowski et al., 2018). Este proceso puede conducir a un aumento de enlaces entre las fibras y la matriz. La petrificación de la fibra aparentemente aumenta su resistencia y rigidez, y a su vez conduce a una mayor resistencia. El aumento en la fuerza fue acompañado de una disminución de la tenacidad, que podría deberse a la densificación de las interfaces de fibra-matriz (Soroushian et al., Este proceso actúa directamente en la mejora de la resistencia a tracción y a su vez en la rigidez del mortero. Pero disminuye el Módulo de elasticidad del mortero reforzado con fibra, lo que genera que sea más fácil de doblarse frente a carga aplicada (Wei et al., 2016).
Wetting and Drying	Mortero con Kraft (SSK) pulp.	
Wetting and Drying	Mortero con fibra de sisal.	
Wetting and Drying	Mortero con fibra de sisal.	La investigación propuso un tratamiento de 1 y 24 horas con CO2 luego de 6 horas de hidratación se usa un flujo multidireccional (Neves et al., 2019).

3 Marco metodológico

El presente trabajo se divide en 5 capítulos:

1. Introducción
2. Marco teórico
3. Marco metodológico
4. Ensayos y resultados
5. Conclusiones y recomendaciones

Cabe destacar que este trabajo de investigación tiene como propósito analizar la influencia del mortero reforzado con fibra de abacá en ensayos de tracción y flexo-tracción luego de ser expuestos a procesos de envejecimientos acelerados de Wet and Dry.

Para lograr el objetivo general de esta investigación, se establece el siguiente marco metodológico:

3.1 Revisión bibliográfica

Para esta primera fase se realizó la revisión bibliográfica, la cual permitió evaluar y analizar los resultados de investigaciones previas enfocadas en el mortero reforzado con distintos tipos de fibras naturales. También se compararon las propiedades de resistencias a la tracción y flexo-tracción si fuera el caso de estudio, para así, al culminar con este trabajo investigativo comprobar los resultados obtenidos con los pasados y así poder tener un criterio más acertado sobre el tema.

El Centro de Innovación Holcim (CIH) ha participado en el desarrollo de este proyecto al brindar sus servicios en sus instalaciones, facilitando el uso de equipos, herramientas y materiales.

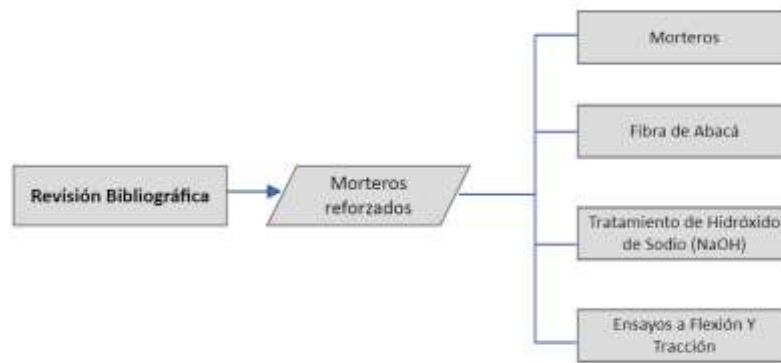


Ilustración 3. Primera parte- Revisión bibliográfica.

Fuente: Autor.

3.2 Experimental

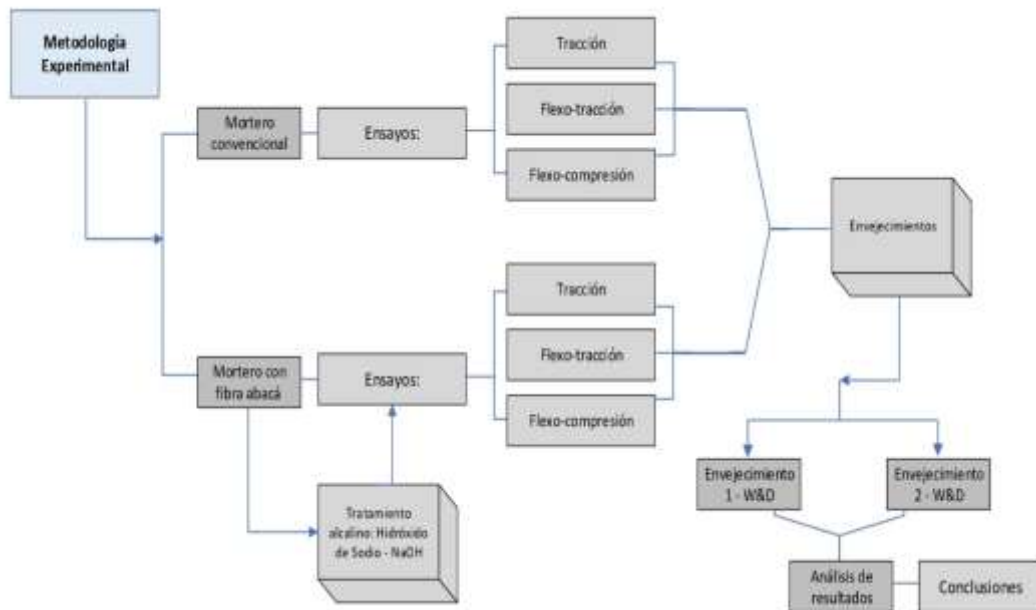


Ilustración 4. Segunda parte-Metodología Experimental.

Fuente: Autor

3.2.1 Arena

Para el presente proyecto se tuvo que gradar la arena, para lo cual fue necesario secar la arena en un horno a una temperatura de 110 °C y luego tamizarla para separar el porcentaje retenido en cada tamiz como se observa

en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, esto con el objetivo e cumplir con los requisitos de granulometría según ASTM C144-04, el cual se debe cumplir con los rangos de pasantes de cada tamiz, por lo que se realizó un proceso de tamizado para obtener esta curva granulométrica como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 2.



Ilustración 5. a) Arena en horno a 110 °C. b) Tamizadora.

Fuente: Autor

Tabla 2: Granulometría de arena a trabajar.

Fuente: Autor

Granulometría					
Tamiz	Masa retenida (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Masa Pasante (g)	Pasante (%)
.75 mm	0.0	0.00	0.00	1620.0	100.00
.36 mm	40.5	2.50	2.50	1579.5	97.50
.18 mm	218.7	13.50	16.00	1360.8	84.00
500 µm	461.7	28.50	44.50	899.1	55.50
300 µm	534.6	33.00	77.50	364.5	22.50
150 µm	226.8	14.00	91.50	137.7	8.50
75 µm	97.2	6.00	97.50	40.5	2.50
Fondo	40.5	2.50	100.00	0.0	0.00
Total	1620.0				

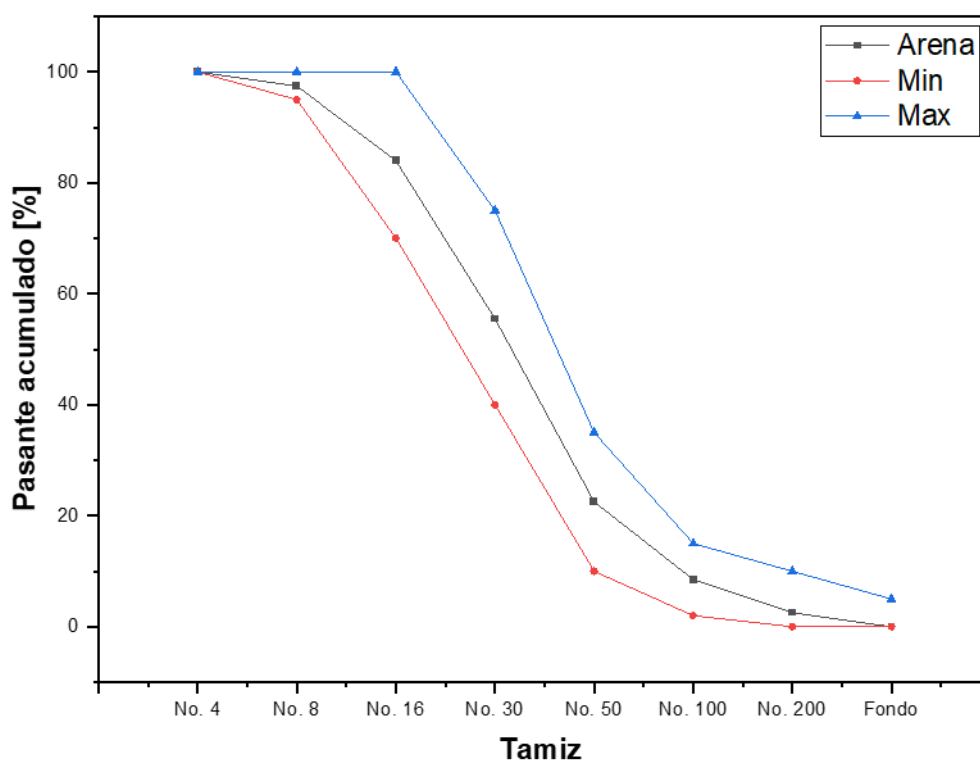


Ilustración 6. Curva granulométrica.

Fuente: Autor

3.2.2 Proceso de tratamiento para la fibra de abacá

Una vez obtenida la fibra, se la separa de forma manual (Ilustración 7), con la finalidad de evitar que se formen ataduras en las fibras, lo cual podría evitar un buen tratamiento y dificultades al momento de pesar la muestra. Para este

proceso se realizó el peso del hidróxido aproximadamente de 60 gramos en 60 gramos con el objetivo de realizar la disolución de forma más rápida (Ilustración 8).



Ilustración 7. Separación de fibra previo al tratamiento de NaOH.

Fuente: Autor



Ilustración 8. Perlas de Hidróxido de Sodio (NaOH).

Fuente: Autor

Para este tratamiento (Ilustración 9), la fibra de abacá fue cortada a 3 cm y se mezclan 240 gramos de hidróxido de sodio con 7760 gramos de agua, teniendo así una relación del 3% de NaOH con respecto a la cantidad de agua. Luego de tener la solución ($H_2O + NaOH$), se procede a sumergir la fibra durante 4 horas. Pasado el tiempo, se enjuaga la fibra con agua potable entre 5 a 7 veces verificando que el agua se vuelva transparente. Para el secado de la fibra tratada, se calienta el horno a $85 \pm 1^\circ C$ y se coloca la fibra por 24 horas. Posterior al secado, se colocó la fibra tratada en una bandeja para que repose a temperatura ambiente, luego se guardaron en bolsas herméticas para ser usadas en la mezcla de mortero (Jiang et al., 2018).



Ilustración 9. Proceso de tratamiento de Hidróxido de Sodio. (A) Solución de $H_2O + NaOH$, (B) Mezcla de solución con la fibra y reposo, (C) Lavado de fibra tratada, (D) Secado de la fibra tratada, (E) Sellado de fibra en bolsas herméticas. Fuente: Autor

3.2.3 Mortero

Tal como se especifica en la norma NTE INEN 2615 (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2012), el mortero tiene una relación 3 de arena 1 de cemento ya que es el típico mortero de enlucido nacional. Se

debe cumplir con un rango de flujo de 110 ± 5 (en 4 direcciones de la mesa) por temas de trabajabilidad (Ilustración 10).



Ilustración 10: Mesa de flujo para verificar trabajabilidad del mortero.

Fuente: Autor

Para el mezclado se necesita un total de:

- 1620g de arena
- 540g de cemento
- 4,3g de fibra de abacá.
- El agua potable debe ser proporcionada con la correcta relación a/c.

Todos estos datos previamente justificados.

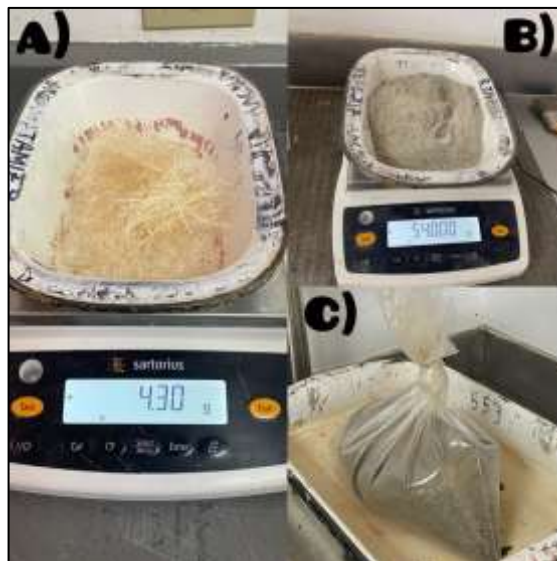


Ilustración 11. a) fibra de abacá, b) cemento, c) arena.

Fuente: Autor

3.2.4 Amasado del mortero

Para la mezcla del mortero se sigue los pasos dictados según la norma NTE INEN 155 (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2009)..

3.2.5 Elaboración de probetas

Para la elaboración de probetas se debe considerar el tipo de molde y ensayo que se va a realizar, la elaboración de probetas se da posterior al amasado y mesa de flujo. Para las probetas de Flexo-tracción se pueden seguir los siguientes pasos:

- Armar el molde.
- Engrasar el molde con aceite o algún desmoldante.
- Llenar en 2 capas de 15 golpes cada una.



Ilustración 12: Fundición de moldes en 2 capas.

Fuente: Autor

- Poner en la mesa vibratoria 45 segundos por capa.



Ilustración 13: Probetas en mesa vibratoria.

Fuente: Autor

- Enrasar el material con la llana metálica.



Ilustración 14: Probetas enrasadas, se deja fraguar durante 24 horas.

Fuente: Autor

- Desmoldar posterior a las 24 horas
- Limpiar el molde y repetir proceso.

Para las probetas de tracción se sigue el mismo proceso, el resultado de este proceso se puede observar en la Ilustración 15.

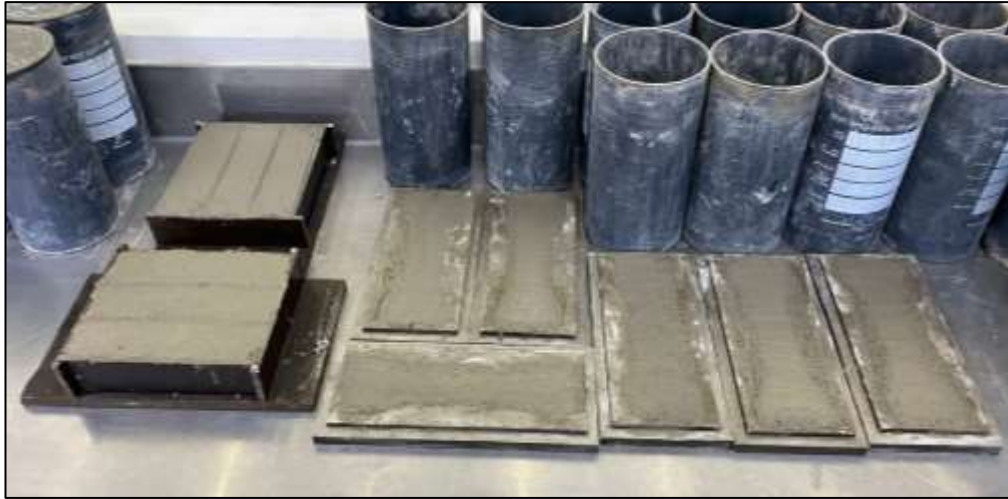


Ilustración 15: Fundición de probetas de tracción y flexo-tracción.

Fuente: Autor

Posterior a las 24 horas se desmolda, se ubican las probetas en una bandeja, posterior a esto se llena de agua con cal y se curan durante 7,14 o 28 días respectivamente (Ilustración 16).



Ilustración 16: Curado de probetas de tracción y flexo tracción.

Fuente: Autor

3.3 Envejecimiento

3.3.1 Envejecimiento wet and dry acelerado uno

Para este proceso se tomó como referencia la investigación de (Neves Junior et al., 2019) este proceso inicia saturando las probetas en agua a una temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Cada ciclo tiene una duración de 3 días, 24 horas sumergidas en agua siendo este un tiempo estimado para que la probeta se sature, luego se deja secar 2 días dentro de un horno. Este horno debe tener una temperatura de $36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y con una velocidad del viento de 0.5 m/seg, luego de 48 horas de secado las probetas presentan pérdidas de al menos un 70% de la masa saturada (Neves Junior et al., 2019).

3.3.2 Proceso

- Colocar una bandeja con agua sellada en el horno a una temperatura de 30°C , durante 30 minutos.
- Tomar medidas de masa inicial.
- Colocar las probetas dentro de esta bandeja con la cantidad de agua suficiente para que queden sumergidas en su totalidad, luego de 24 horas se saca las probetas y retira los excesos de agua para tomar lecturas de masa.
- Se vuelven a introducir en el horno durante 24 horas de secado y se toman medidas.
- Se repite el proceso de secado durante un día más.

Culminado el tercer día, se da por concluido el primer ciclo y se reinicia el proceso.

3.3.3 Envejecimiento wet and dry acelerado dos

De acuerdo con (Wei et al., 2016) las muestras se sumergieron en agua potable la cual es sellada a 70°C y se secan en un horno a una temperatura de 70°C . Determinando el cambio de masa en función del tiempo de mojado y secado. La ganancia o pérdida de masa para ciclo de seco y húmedo se midió cada 10 minutos durante 2 horas, luego cada hora luego cada 3 horas húmedo o 4 horas en seco durante 12 horas. La muestra se va a considerar

en equilibrio cuando su masa cambie menos del 2% durante tres medidas consecutivas.

3.3.4 Proceso

- Colocar una bandeja con agua sellada en el horno a una temperatura de 70°C, durante 30 minutos.
- Sumergir las probetas en la bandeja con agua a 70°C, las probetas y tomar lectura cada 10 minutos durante una hora.
- Colocar las probetas en una bandeja vacía, introducir al horno a una temperatura de 70°C y tomar lecturas cada 10 min durante una hora.
- Luego se dejan dentro del horno y se procede a tomar lecturas cada hora durante 6 horas.
- Posterior se repite el proceso tomando muestras cada 3 horas en húmedo o 4 horas en seco hasta que la masa se estabilice, es decir que la lectura de masas no supere el 2%.

CAPÍTULO 4

4. Ensayos y resultados

4.1 Tracción

En la Ilustración 17 se puede observar las dimensiones de las probetas con las que se va a trabajar, dado que no existe una normal como tal, se toman de referencia investigaciones pasadas tales como (Zhao et al., 2019) donde usan probetas de mayor longitud y menor espesor. Además, en la investigación de (Yang et al., 2017) las probetas tienen un mayor espesor y menor ancho en comparación a la probeta de la Ilustración 17. De acuerdo con (American Society for Testing and Materials, 2013) se utilizará la Ecuación 1 para el cálculo del esfuerzo a tracción.

Ecuación 1: Esfuerzo de tracción.

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2013)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Siendo:

P: La fuerza máxima de tensión.

A: El área de la zona de ruptura.

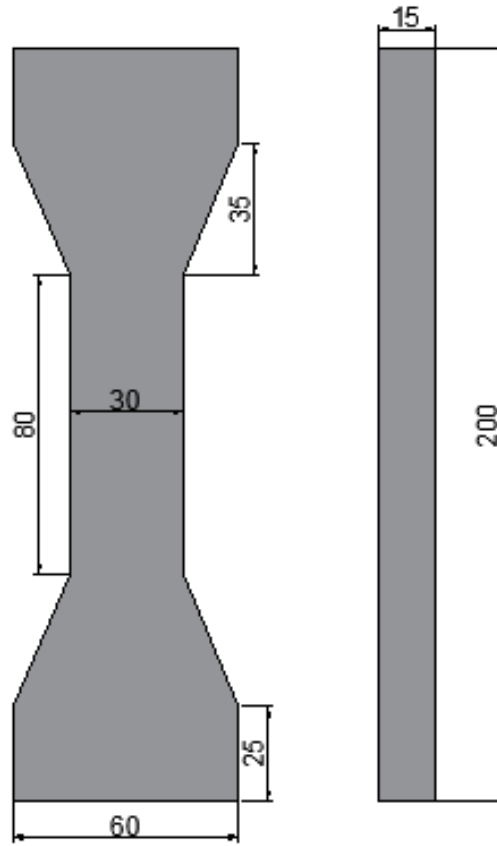


Ilustración 17: Dimensiones de probetas Dog bone para ensayo a tracción. Fuente: Autor

Los ensayos a tracción fueron realizados en el probador universal de precisión de la serie Shimadzu Autograph AGS-X con capacidad de 50 kN (Ilustración 18), permitiendo obtener los resultados de carga máxima y desplazamientos de las probetas, al igual que su gráficas y valores medidos (SHIMADZU).



Ilustración 18. Máquina para ensayo a tracción a probeta dog bone.

Fuente: Autor

En cuanto a la precisión al momento de tomar datos, tiene un amplio rango de precisión por lo que la máquina es muy sensible a cambios, consiguiendo una menor variabilidad de errores. De acuerdo con (Pourfalah, 2018) la velocidad de ensayo debe ser de 1mm/min, debido a que las rupturas se daban muy rápido los ensayo se realizaron a una velocidad de 0.5mm/min.

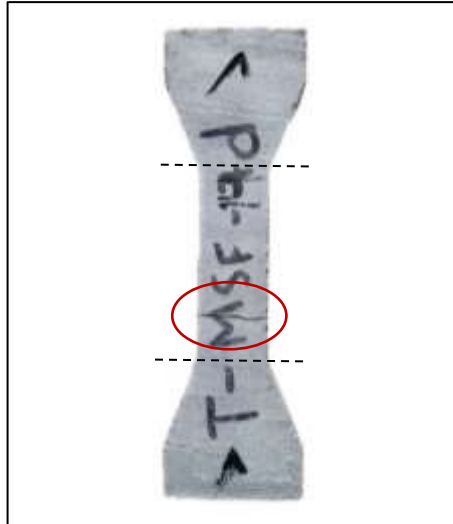


Ilustración 19. Zona de rotura en probeta ensayada a tracción.

Fuente: Autor

En la Ilustración 19 se puede observar que la rotura o fallo de la probeta se da en la zona intermedia, conocido como zona de estricción. Luego de darse el esfuerzo último, la deformación se ubica en una determinada zona y no a lo largo de su longitud. Al realizarse el ensayo a tracción, esta rotura a medida que se alarga o se tensiona el espécimen, causa la fractura en el “cuello” de las probetas, tal como se puede evidenciar en la investigación de (Esmaeeli et al., 2013)

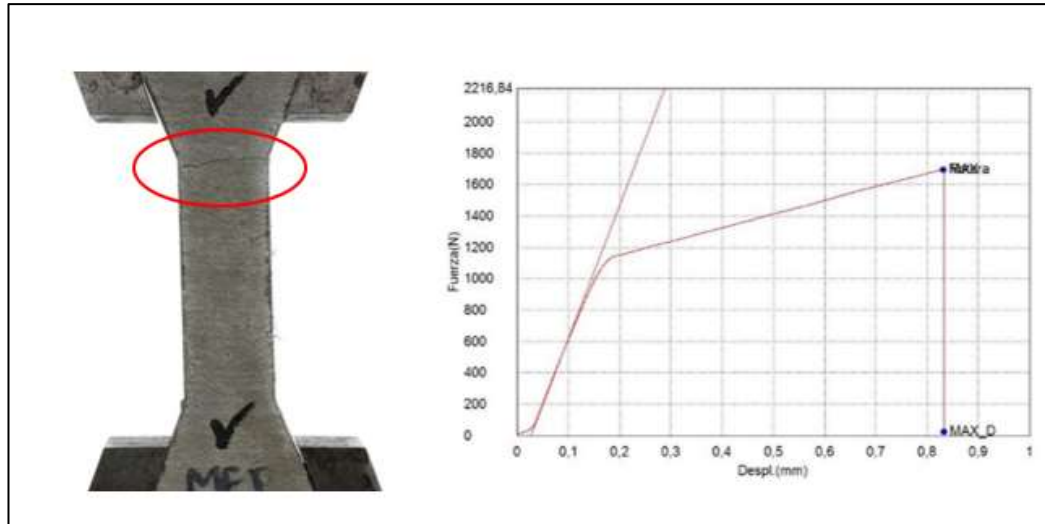


Ilustración 20. Rotura de probeta en ensayo a tracción y gráfica que presenta el software enlazado a la máquina de tracción.

Fuente: Autor

Los resultados de los ensayos a tracción para las probetas de mortero convencional se pueden observar en la Tabla 3 para una edad de 7 días, para esfuerzo de cada probeta y el esfuerzo promedio de dicha probeta. Además, en la Tabla 4 se tienen los resultados para una edad de 14 días y en la Tabla 5 para una edad de 28 días.

Tabla 3: Resultados de ensayo a tracción para morteros sin fibra (MSF) a 7 días. Fuente: Autor

T-MSF-7d	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	304	30	15	0.99	2.19	2.16
2	306	30	15	0.92	2.04	
3	303	30	15	1.01	2.24	

Tabla 4: Resultados de ensayo a tracción para morteros sin fibra (MSF) a 14 días. Fuente: Autor

T-MSF-14d	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	308	30	15	1.08	2.40	2.39
2	305	30	15	1.09	2.42	
3	307	30	15	1.06	2.36	

Tabla 5: Resultados de ensayo a tracción para morteros sin fibra (MSF) a 28 días. Fuente: Autor

T-MSF-28d	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	300	30	15	1.37	3.04	2.87
2	306	30	15	1.23	2.73	
3	307	30	15	1.28	2.84	

Además, en las tablas (Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8) se tienen los esfuerzos de ruptura de las probetas de mortero reforzado con fibra de abacá, a edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 6: Resultados de ensayo a tracción para morteros reforzados con fibra de abacá (MFT) a 7 días. Fuente: Autor

T-MFT-7d	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	303	30	15	1.15	2.55	2.36
2	306	30	15	1.07	2.38	
3	309	30	15	0.97	2.16	

Tabla 7: Resultados de ensayo a tracción para morteros reforzados con fibra de abacá (MFT) a 14 días. Fuente: Autor

T-MFT-14d	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	308	30	15	1.27	2.82	2.47
2	289	30	15	0.94	2.09	
3	307	30	15	1.12	2.49	

Tabla 8: Resultados de ensayo a tracción para morteros reforzados con fibra de abacá (MFT) a 28 días. Fuente: Autor

T-MFT-28d	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	303	30	15	1.70	3.77	3.89
1	300	30	15	1.81	4.02	
1	301	30	15	1.75	3.89	

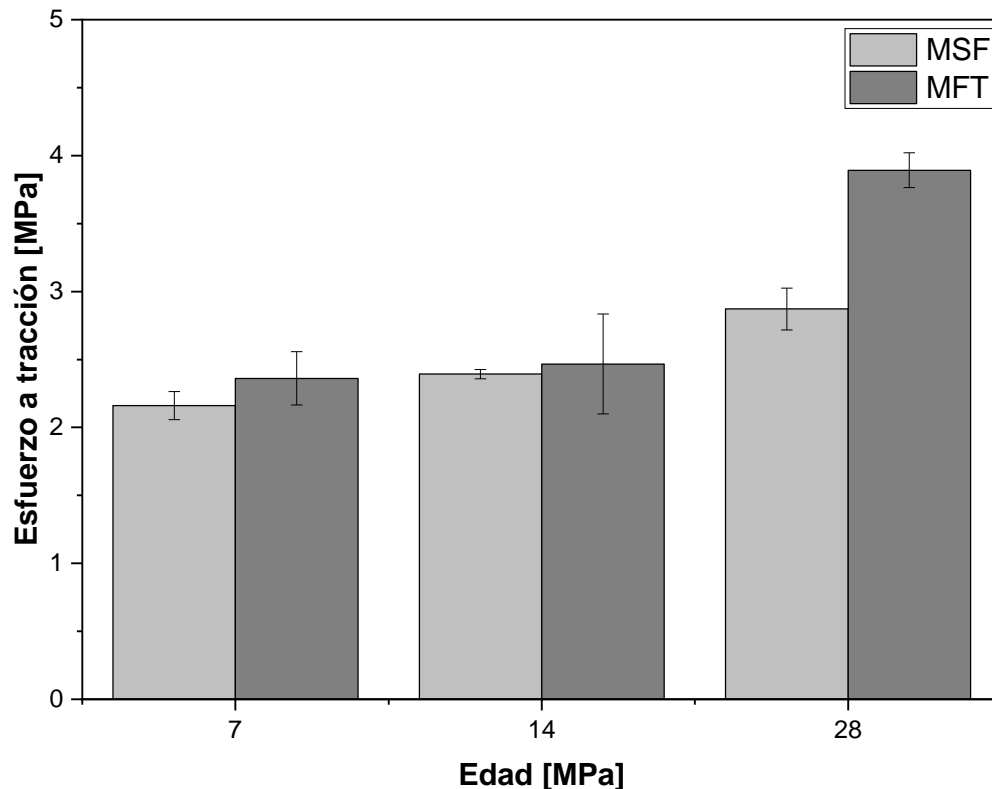


Ilustración 21: Comparativa de resistencia tracción de mortero con fibra y sin fibra. Fuente: Autor.

Evaluando la gráfica (Ilustración 21) comparando las edades de los morteros convencionales y reforzados con fibra de abacá, se puede observar cierto aumento en la resistencia a tracción para los morteros reforzados en comparación a los convencionales. Además, que los morteros con o sin fibra tienden a incrementar su resistencia mientras pasan los días. Pero sin duda el mortero reforzado con fibra de abacá y tratada con hidróxido de sodio a una edad de 28 días alcanzó una resistencia considerable en comparación con el resto de las probetas, aumentando alrededor del 26.22% en comparación al mortero convencional. También se puede destacar que las probetas a edades de 7 y 14 días reforzadas con fibra de abacá no muestra un gran incremento con las probetas de mortero convencional teniendo un incremento de 8% y 3% respectivamente, teniendo a edades tempranas un comportamiento lineal y exponencial en el tramo final de su proceso de curado.

Al ensayarlas en la máquina a tracción, las grietas de las probetas reforzadas eran mínimas y ligeramente visibles, por el contrario, las probetas sin fibra se

dividían en 2 partes luego de la ruptura.

4.2 Flexotracción

Para realizar los ensayos a flexo-tracción se trabajó bajo la norma EN 1015-11, para determinar la resistencia a flexión del mortero para albañilería. Las probetas en moldes de acero tienen unas dimensiones de 40x40x160 mm (European Standar, 2020). A estas probetas se les aplican 3 cargas puntuales (una en el centro y 2 a los extremos) tal como se puede observar en la Ilustración 22b.

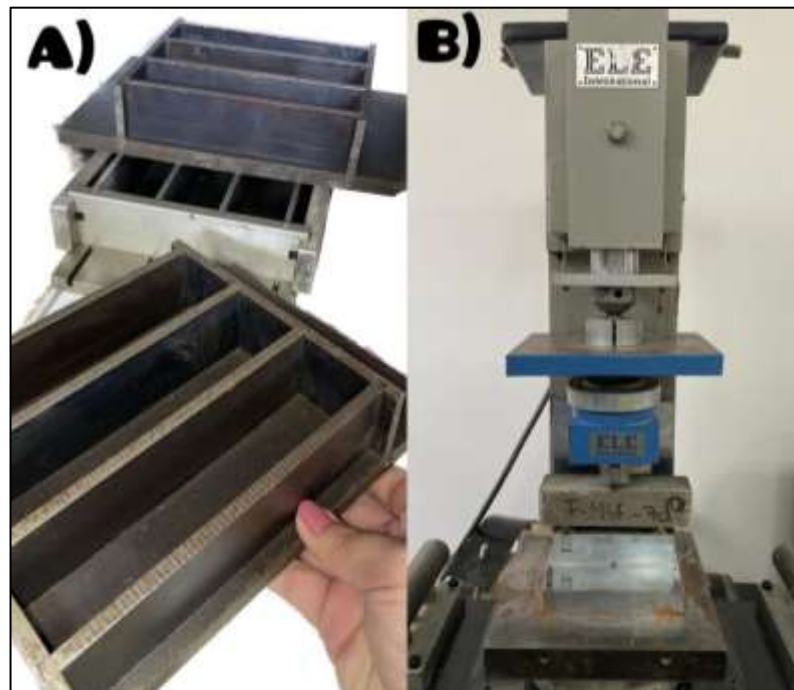


Ilustración 22. a) moldes de acero, b) máquina industrial para ensayos a flexión. Fuente: Autor

De acuerdo con (Chasiguasín & Santana, 2020) máquina debe funcionar bajo una carga aplicada con una velocidad de entre 0.01 a 0,05 kN/s especificado en la norma UNE-EN-1015-11, mientras que los especímenes son colocados entre los rodillos que especifican sus dimensiones a continuación (ver Ilustración 23).

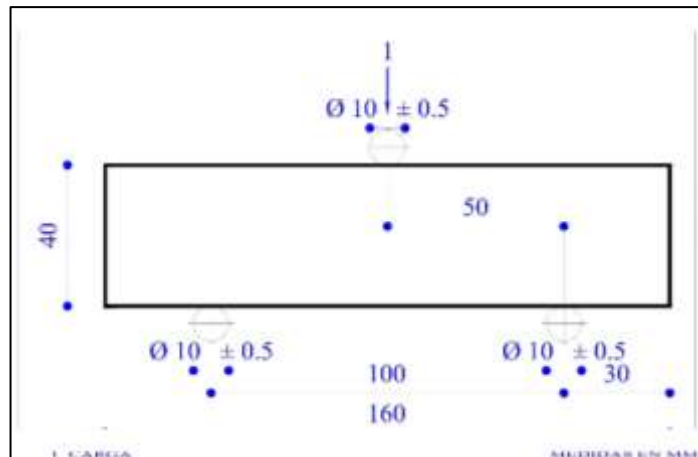


Ilustración 23. Elemento usado para ensayos de resistencia a la flexión.

Fuente: Autor

Posteriormente de ser ensayadas las probetas, se procede a calcular la resistencia a través de la siguiente ecuación, obtenida de la investigación de (Chasiguasín & Santana, 2020):

Ecuación 2. Fórmula de esfuerzo a flexión.

$$f = \frac{3 * F * L}{2 * b * d^2}$$

Siendo:

f : Resistencia a Flexión (MPa)

F : Fuerza o carga máxima aplicada (N)

L : Longitud o distancia entre los apoyos extremos (mm)

b : Ancho del espécimen (mm)

d : Grosor del espécimen (mm)



Ilustración 24. Proceso de ensayo de probeta a flexión.

Fuente: Autor

Los resultados de los ensayos (Ilustración 24) a flexión a 7 días se pueden observar en la Tabla 9 en la cual se da el esfuerzo promedio de las tres rupturas. De igual forma en la Tabla 10 y Tabla 11 Tabla se muestran los resultados de la resistencia flexión a 14 y 28 días para los morteros convencionales.

Tabla 9: Resultados de ensayo a flexión a morteros sin fibra (MSF) a 7 días. Fuente: Autor

FL-MSF-7d	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	608	40	40	100	1.43	3.35	3.45
2	611	40	40	100	1.45	3.40	
3	605	40	40	100	1.54	3.61	

Tabla 10: Resultados de ensayo a flexión a morteros sin fibra (MSF) a 14 días. Fuente: Autor

FL-MSF-14d	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	599	40	40	100	1.90	4.45	4.50
2	593	40	40	100	1.99	4.66	
3	591	40	40	100	1.87	4.38	

Tabla 11: Resultados de ensayo a flexión a morteros sin fibra (MSF) a 28 días. Fuente: Autor

FL-MSF-28d	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	596	40	40	100	3.06	7.17	6.56
2	591	40	40	100	2.74	6.42	
3	593	40	40	100	2.60	6.09	

La resistencia de las probetas a flexión para morteros reforzados con fibra de abacá se puede observar en la Tabla 12, para mortero con una edad de 7 días. Mientras que en la Tabla 13 y Tabla 14 se puede observar la resistencia a flexión de 14 y 28 días para los morteros reforzados con fibra de abacá.

Tabla 12: Resultados de ensayo a flexión a morteros con fibra (MFT) a 7 días. Fuente: Autor

FL-MFT-7d	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	595	40	40	100	1.92	4.50	4.16
2	598	40	40	100	1.67	3.91	
3	593	40	40	100	1.74	4.08	

Tabla 13: Resultados de ensayo a flexión a morteros con fibra (MFT) a 14 días. Fuente: Autor

FL-MFT-14d	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	596	40	40	100	2.10	4.92	5.01
2	588	40	40	100	2.15	5.04	
3	590	40	40	100	2.16	5.06	

Tabla 14: Resultados de ensayo a flexión a morteros con fibra (MFT) a 28 días. Fuente: Autor

FL-MFT-28d	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	584	40	40	100	3.43	8.04	8.11
2	584	40	40	100	3.58	8.39	
3	586	40	40	100	3.37	7.90	

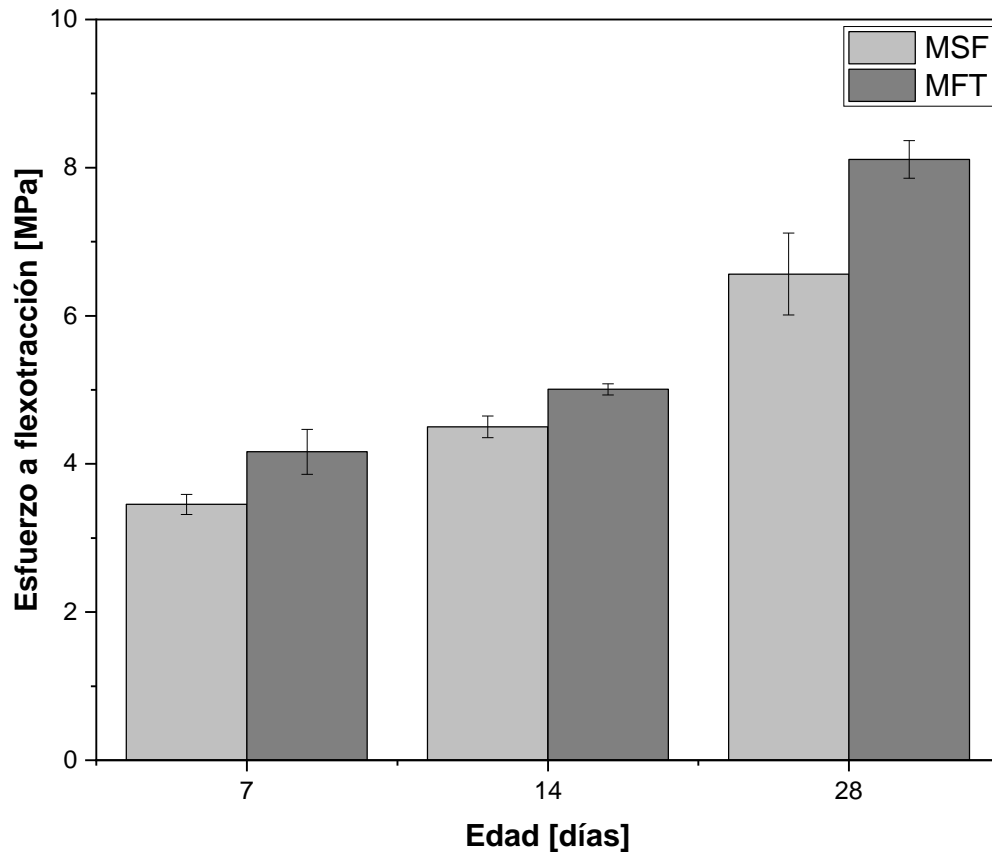


Ilustración 25: Comparativa de resistencia a flexión de mortero con fibra y sin fibra. Fuente: Autor

Con la gráfica comparativa (Ilustración 25) se puede visualizar un incremento en la resistencia en los morteros convencionales conforme van pasando los días (7,14 y 28 días respectivamente) y también en los morteros reforzados con fibra de abacá. Además de que se puede observar que los morteros reforzados con fibras presentan resistencias mayores que los de mortero convencional teniendo una mejora del 17.06% para una edad de 7 días, del 10.17% para una edad de 14 días y del 19.11% para una edad de 28 días. Al momento de realizar el ensayo a flexión, las vigas con mortero tradicional (sin fibra) se separaban al llegar a la ruptura mientras que, las que estaban reforzadas no se separaban debido a que las fibras estaban entrelazadas.

4.3 Compresión

El ensayo de compresión se realiza de acuerdo con la norma UNE - EN 1015-11, la cual indica que el ensayo debe ejecutarse luego de las roturas a flexión.

Las probetas son ensayadas en ambas mitades con una velocidad aplicada entre los 0.05 – 0.5 kN/s en un intervalo de 30 a 90 segundos (Chasiguasín & Santana, 2020).

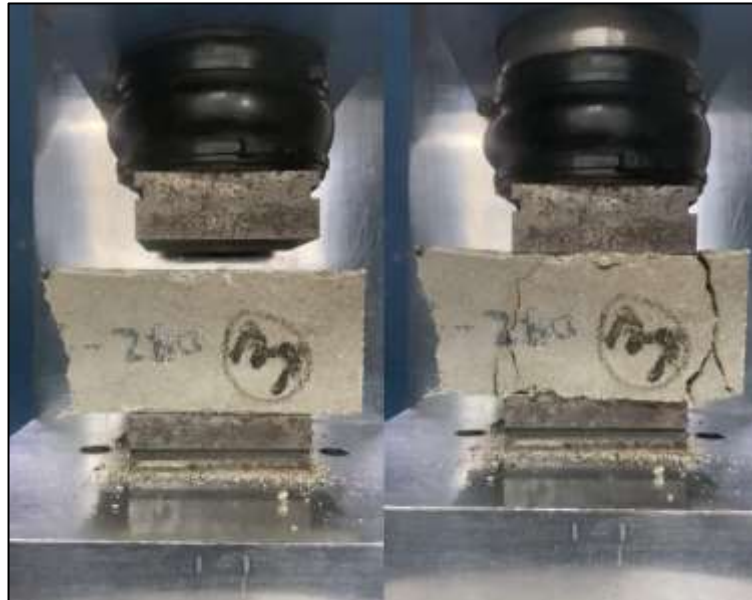


Ilustración 26. Ensayo a Compresión.

Fuente: Autor

Para determinar la resistencia a compresión, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Fórmula para la resistencia a compresión

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

Siendo así:

C : Resistencia a compresión (MPa)

F : Fuerza máxima aplicada (N)

A : Área transversal (mm²)

Posterior al ensayo, se obtienen resultados para morteros convencionales y morteros reforzados con fibra de abacá, la resistencia a compresión que se muestra en las tablas son el promedio de los resultados obtenidos en los ensayos de ambas mitades.

En la Tabla 15 se indica el esfuerzo de cada elemento y el esfuerzo promedio de compresión para el mortero convencional a una edad de 7 días. Además, en la Tabla 16 y Tabla 17 se muestran los valores para edades de 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 15. Resultados de ensayo a compresión de morteros sin fibra (MSF) a 7 días. Fuente: Autor

FL-MSF-7d	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	608	3200	28.53	8.92	8.85
2	611	3200	31.53	9.85	
3	605	3200	24.92	7.79	

Tabla 16. Resultados de ensayo a compresión de morteros sin fibra (MSF) a 14 días. Fuente: Autor

FL-MSF-14d	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	599	3200	46.27	14.46	14.38
2	593	3200	45.76	14.30	
3	591	3200	45.98	14.37	

Tabla 17. Resultados de ensayo a compresión de morteros sin fibra (MSF) a 28 días. Fuente: Autor

FL-MSF-28d	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	596	3200	62.48	19.53	19.33
2	591	3200	62.87	19.65	
3	593	3200	60.23	18.82	

Para los resultados de morteros reforzados con fibra de abacá se sigue la misma metodología y el esfuerzo de cada probeta será el promedio de sus dos mitades. Lo cual podemos observar en la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20, para edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 18. Resultados de ensayo a compresión de morteros con fibra (MFT) a 7 días. Fuente: Autor

FL-MFT-7d	Peso (g)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	595	3200	33.50	10.47	10.73
2	598	3200	32.46	10.14	
3	593	3200	37.01	11.56	

Tabla 19. Resultados de ensayo a compresión de morteros con fibra (MFT) a 14 días. Fuente: Autor

FL-MFT-14d	Peso (g)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	596	3200	60.74	18.98	18.19
2	588	3200	58.45	18.27	
3	590	3200	55.46	17.33	

Tabla 20. Resultados de ensayo a compresión de morteros con fibra (MFT) a 28 días. Fuente: Autor

FL-MFT-28d	Peso (g)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	584	3200	96.80	30.25	27.35
2	584	3200	86.32	26.98	
3	586	3200	79.47	24.83	

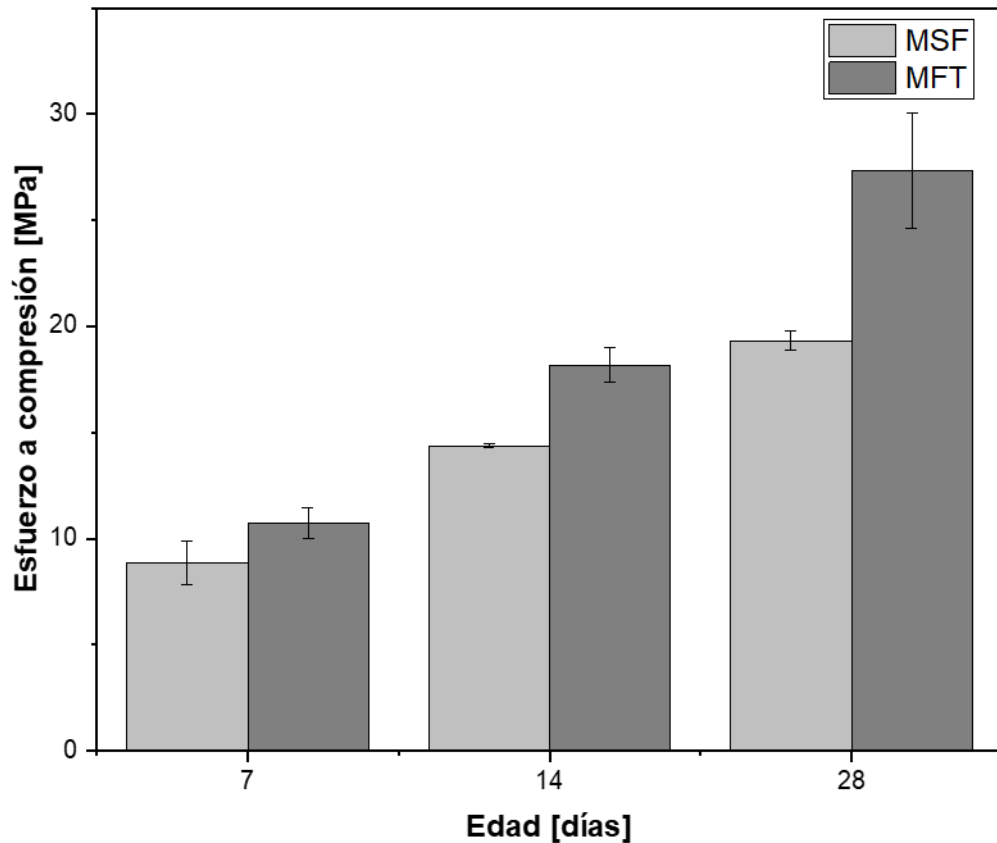


Ilustración 27: Comparativa de resistencia a compresión de mortero con fibra y sin fibra. Fuente: Autor

Los ensayos a compresión se realizaron a 7, 14 y 28 días, y al analizar las tablas de resultados se puede observar un aumento para los 7 días del mortero reforzado con fibra con una resistencia de 10.73 MPa comparado con el convencional con un 8.85 MPa. De igual manera el mortero con fibra a los 14 y 28 días (14.38 y 27.35 MPa respectivamente) como se observa en la Ilustración 27 lideran en comparación con los morteros tradicionales. Teniendo un aumento en su resistencia de 17.48% para edades de 7 días, de 20.97% para edades de 14 días y de 29.33% para edades de 28 días (Ilustración 27).

Cabe destacar que lo más interesante al ensayar las probetas fue que los morteros sin fibra se desintegraban al momento de la ruptura, en tanto que las probetas reforzadas fallaban, pero sus partes permanecían unidas.

4.4 Envejecimientos

4.4.1 Envejecimiento acelerado 1 (wet & dry).

Una vez culminado el periodo de curado, se procede hacer el envejecimiento de las respectivas probetas, para el envejecimiento uno, se debe buscar dos recipientes, los cuales se deben llenar con agua a una temperatura de 30 °C, se coloca las probetas en estos recipientes verificando que queden totalmente sumergidas como se observa en la Ilustración 28.



Ilustración 28: Proceso de humedecido para envejecimiento acelerado 1 (wet & dry). Fuente: Autor

Luego de 24 horas se sacan las probetas y se toma una lectura de su masa (Ilustración 29), posterior a esto se las coloca en una bandeja metálica y se las deja dentro del horno a una temperatura de 36 °C \pm 1 °C como se observa en la Ilustración 30.



Ilustración 29: Lectura de masa de probetas para ensayo de tracción.

Fuente: Autor



Ilustración 30: Proceso de secado para envejecimiento acelerado 1 (wet & dry). Fuente: Autor

Una vez culminados los ciclos se pueden obtener gráficas de la ganancia y pérdida de masa durante el transcurso de los días, esto debido a las lecturas de masa constantes, en las siguientes ilustraciones (Ilustración 31, Ilustración 32, Ilustración 33 e Ilustración 34) podemos apreciar el cambio de masa de cada tipo de probeta.

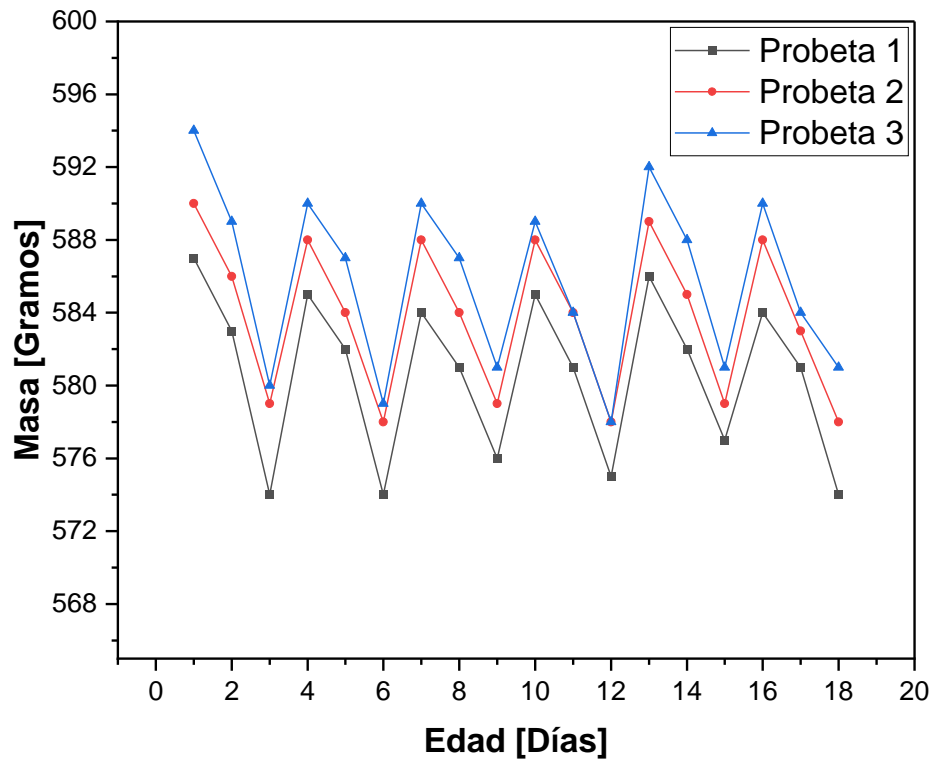


Ilustración 31: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros convencionales, para ensayos a flexión. Fuente: Autor

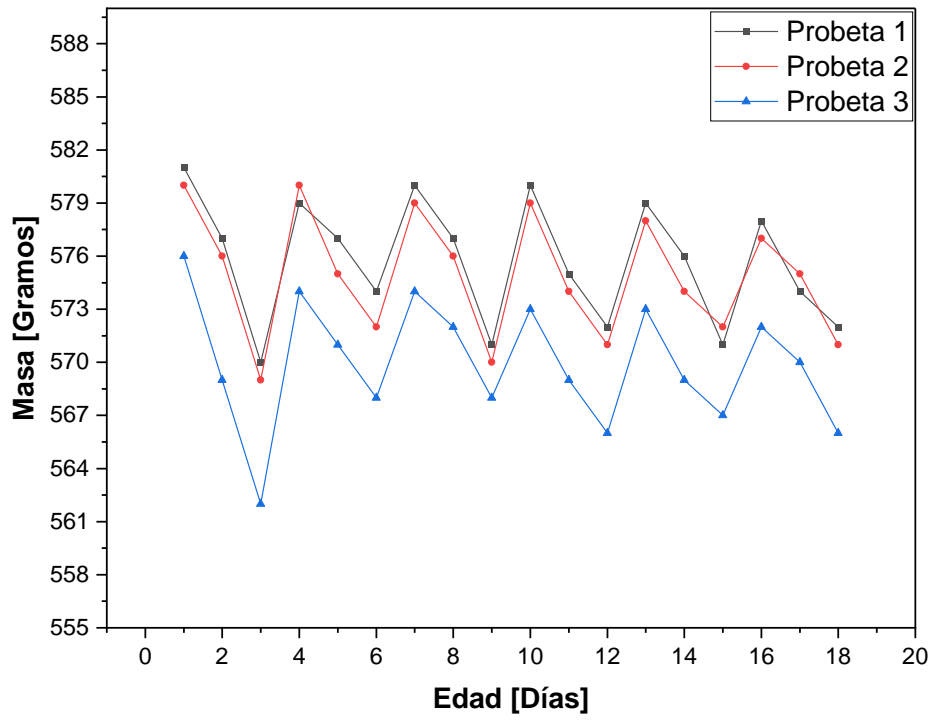


Ilustración 32: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros reforzados, para ensayos a flexión.

Fuente: Autor

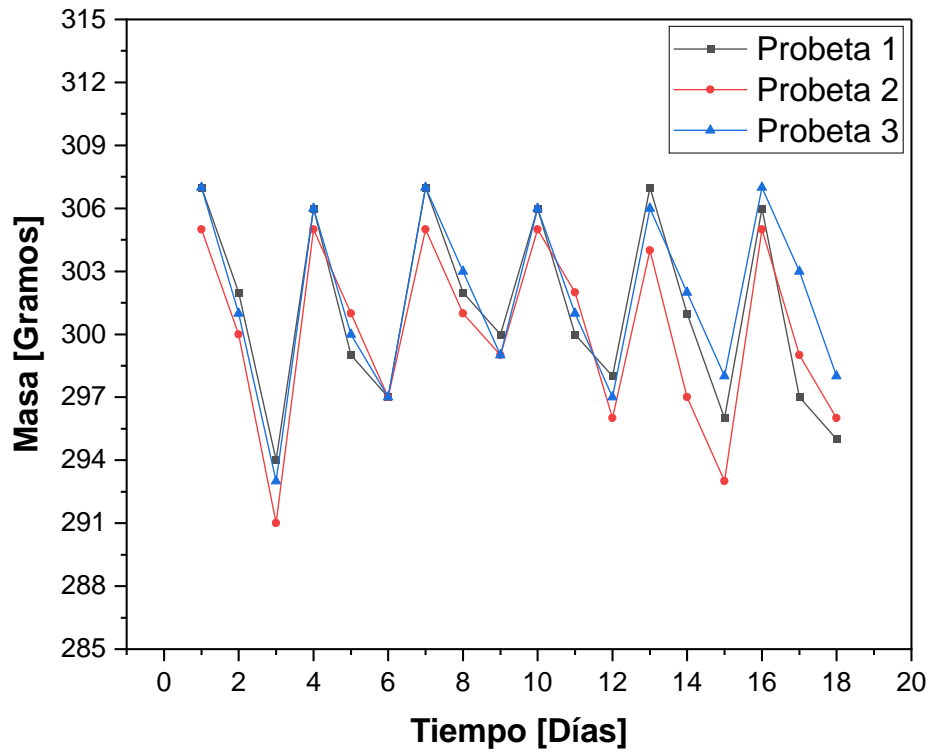


Ilustración 33: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros convencionales, para ensayos a tracción. Fuente: Autor

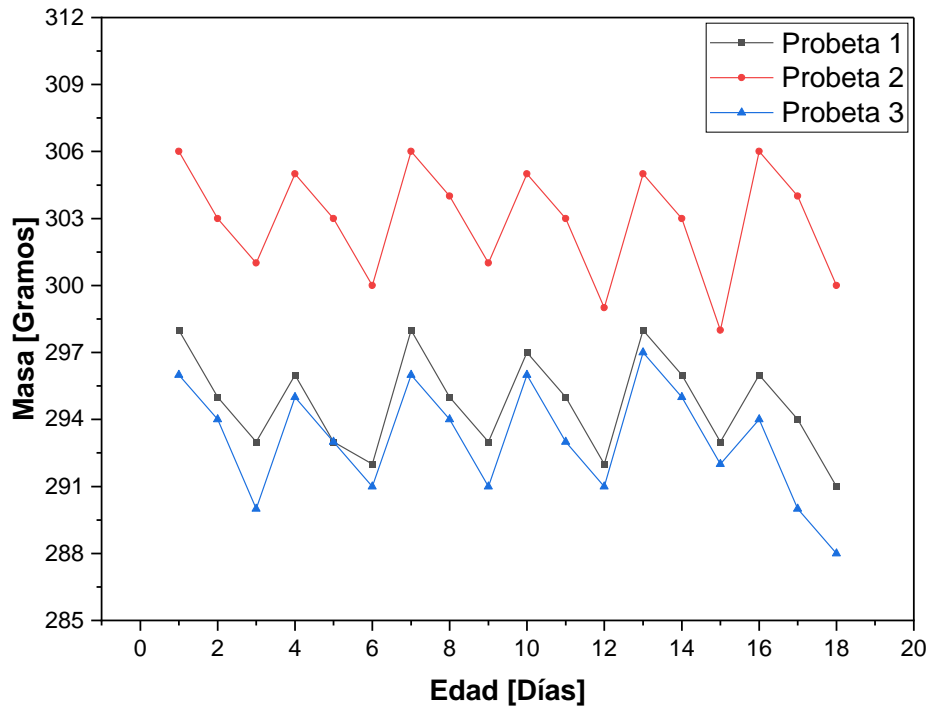


Ilustración 34: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 1, para morteros reforzados, para ensayos a tracción.

Fuente: Autor

4.4.2 Resultados de ensayos a tracción envejecimiento acelerado

Una vez culminado los ciclos de wet and dry se ensaya las probetas para resistencia a tracción, en la Tabla 21 una se observar el esfuerzo promedio para morteros convencionales, mientras que en la Tabla 22 se indica el esfuerzo promedio para morteros reforzados con fibra de abacá.

Tabla 21: Resultados de ensayo a tracción de morteros convencionales a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1). Fuente: Autor

T-MSF-E1	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	284	30	15	1.16	2.58	2.53
2	302	30	15	1.13	2.51	
3	303	30	15	1.12	2.49	

Tabla 22: Resultados de ensayo a tracción de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E1). Fuente: Autor

Ensayo a tracción						
T-MFT-E1	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	301	30	15	1.12	2.49	2.53
2	301	30	15	1.15	2.56	
3	296	30	15	1.14	2.53	

4.4.3 Resultados de ensayos a flexión envejecimiento acelerado 1

Una vez finalizados los ciclos de envejecimiento wet and dry uno, se pueden realizar los ensayos respectivos para determinar la resistencia a flexión, compresión y tracción de los elementos. En la Tabla 23 y Tabla 24 se puede observar el esfuerzo promedio a flexión luego de los 6 ciclos de wet and dry.

Tabla 23: Resultados de ensayo a flexión de morteros sin fibra a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1). Fuente: Autor

FL-MSF-E1	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	608	40	40	100	2.53	5.93	5.95
2	611	40	40	100	2.40	5.63	
3	605	40	40	100	2.69	6.30	

Tabla 24: Resultados de ensayo a flexión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E1). Fuente: Autor

FL-MFT-E1	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	595	40	40	100	2.70	6.33	6.52
2	598	40	40	100	2.85	6.68	
3	593	40	40	100	2.80	6.56	

4.4.4 Resultados de ensayos a compresión envejecimiento acelerado 1

En la Tabla 25 se puede observar los esfuerzos de ruptura de cada probeta y el respectivo esfuerzo promedio de este grupo de probetas, para morteros convencionales y en la Tabla 26 se indican los esfuerzos para morteros reforzados con fibra de abacá.

Tabla 25: Resultados de ensayo a compresión de morteros convencionales a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MSF -E1).

Fuente: Autor

FL-MSF-E1	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	608	3200	45.76	14.30	13.80
2	611	3200	44.35	13.86	
3	605	3200	42.37	13.24	

Tabla 26: Resultados de ensayo a compresión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E1). Fuente: Autor

FL-MFT-E1	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	595	3200	54.75	17.11	17.16
2	598	3200	55.03	17.20	
3	593	3200	54.92	17.16	

4.4.5 Envejecimiento wet and dry acelerado 2

Una vez culminado el periodo de curado, se procede hacer el envejecimiento de las respectivas probetas, para el envejecimiento dos, se debe buscar dos recipientes, los cuales se deben llenar con agua a una temperatura de 70 °C (Ilustración 35), se coloca las probetas en estos recipientes verificando que queden totalmente sumergidas, se toman lecturas cada 10 minutos durante una hora, luego se coloca las probetas en una bandeja metálica y se toman lecturas 10 minutos durante una hora, luego cada hora durante 3 horas y luego una lectura final después de 3 horas.



Ilustración 35: Bandejas con agua sellada, introducidas a un horno a temperatura de 70 °C.

Fuente: Autor



Ilustración 36: Probetas dentro del horno a temperatura de 70 °C.

Fuente: Autor

Una vez culminado los ciclos de wet and dry, se puede observar en las siguientes Ilustraciones (Ilustración 37, Ilustración 38, Ilustración 39 e Ilustración 40) el cambio de masa.

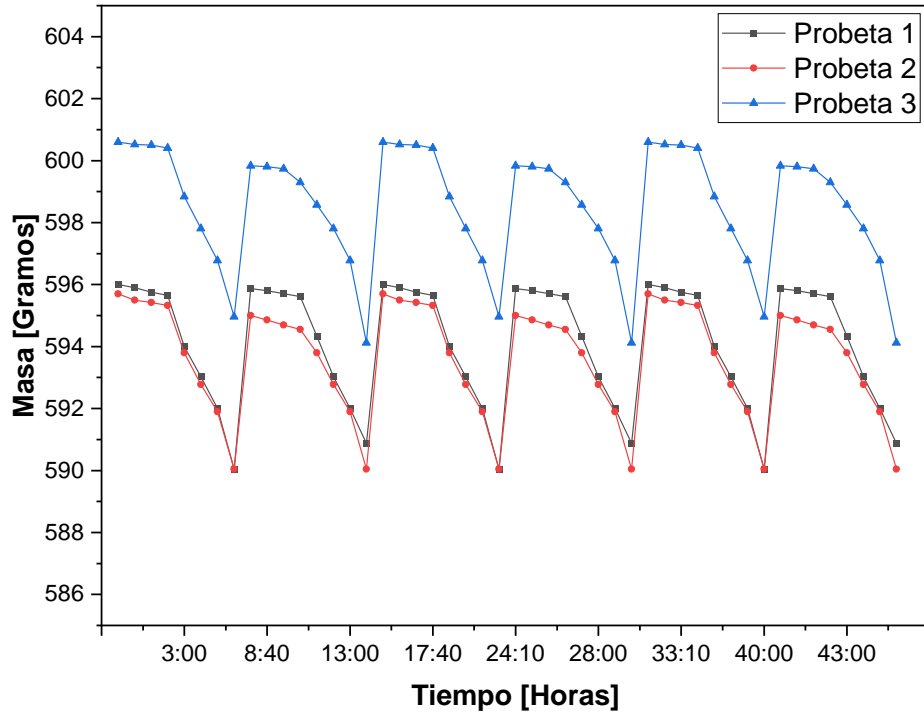


Ilustración 37: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros convencionales, para ensayos a flexión. Fuente: Autor

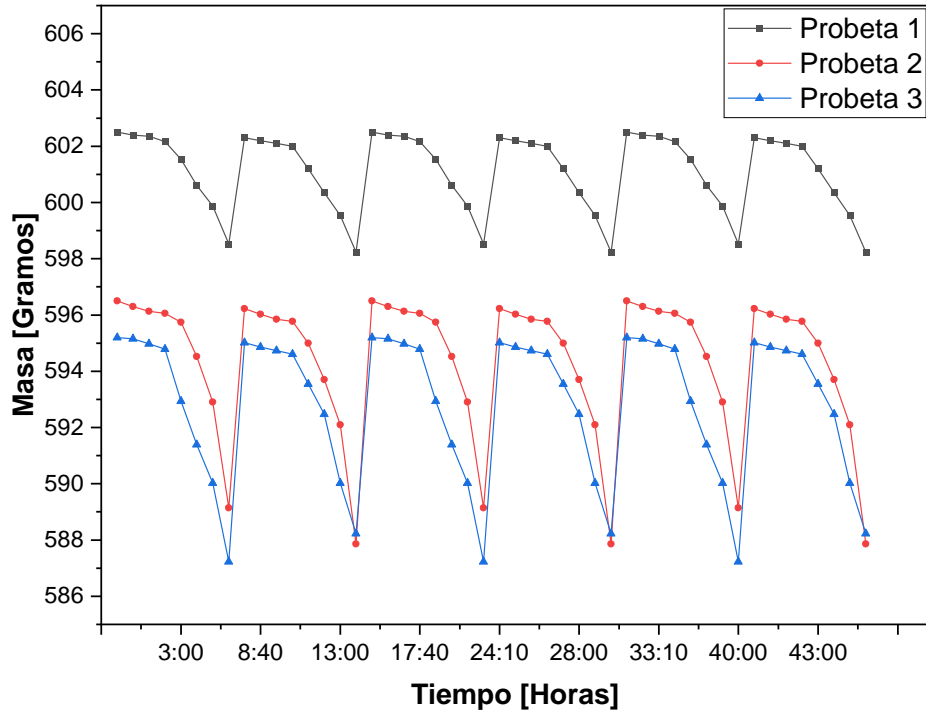


Ilustración 38: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros reforzados, para ensayos a flexión.

Fuente: Autor

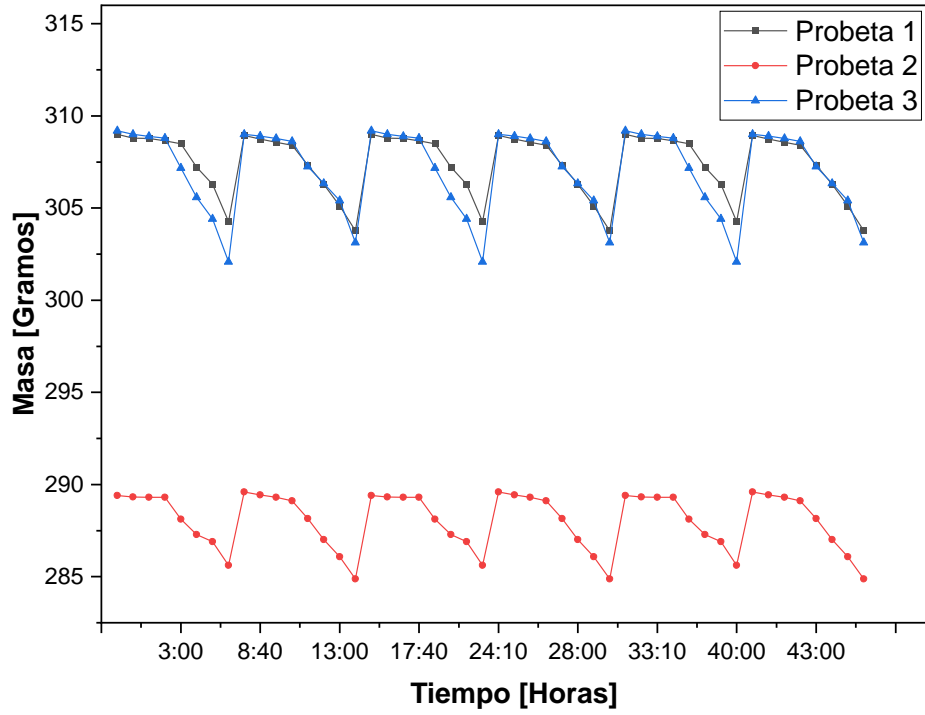


Ilustración 39: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros convencionales, para ensayos a tracción. Fuente: Autor

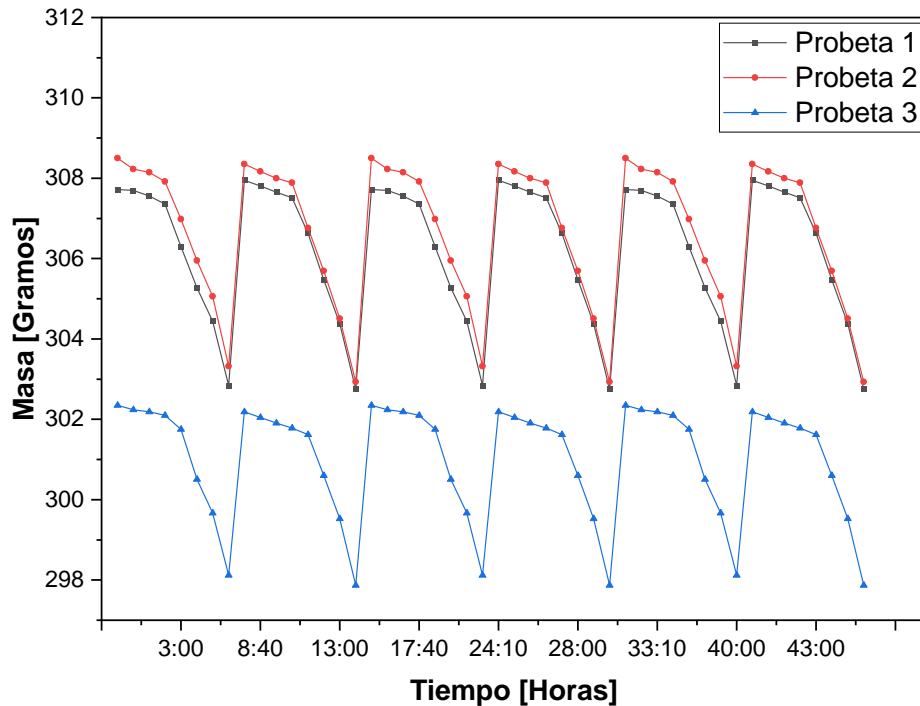


Ilustración 40: Pérdida y ganancia de masa, durante ciclos de envejecimiento 2, para morteros reforzados, para ensayos a tracción.

Fuente: Autor

4.4.6 Resultados de ensayos a tracción envejecimiento acelerado 2

Una vez que las probetas cumplen sus procesos de envejecimiento acelerado, se realizan los ensayos de flexión y compresión. En la Tabla 27 se indican los esfuerzos promedios de tracción para morteros convencionales y en la Tabla 28 se indican los resultados para morteros reforzados con fibra de abacá.

Tabla 27: Resultados de ensayo a tracción de morteros convencionales a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor

T-MSF-E2	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	304	30	15	1.14	2.53	2.64
2	294	30	15	1.23	2.73	
3	300	30	15	1.19	2.64	

Tabla 28: Resultados de ensayo a tracción de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor

Ensayo a tracción						
T-MFT-E2	Peso (g)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	301	30	15	1.04	2.31	2.64
2	300	30	15	1.31	2.91	
3	298	30	15	1.21	2.69	

4.4.7 Resultados de ensayos a flexión envejecimiento acelerado agresivo

En la Tabla 29 se puede observar los esfuerzos de cada probeta y el esfuerzo promedio de dichas probetas para morteros convencionales, mientras que en la Tabla 30 se tiene el mortero reforzado con fibra de abacá.

Tabla 29: Resultados de ensayo a flexión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor

FL-MSF-E2	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	599	40	40	100	2.23	5.23	5.28
2	593	40	40	100	2.24	5.25	
3	591	40	40	100	2.29	5.37	

Tabla 30: Resultados de ensayo a flexión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor

FL-MFT-E2	Peso (g)	Base (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	596	40	40	100	2.65	6.21	6.01
2	588	40	40	100	2.32	5.44	
3	590	40	40	100	2.72	6.38	

4.4.8 Resultados de ensayos a compresión envejecimiento acelerado agresivo

De igual forma se realiza el ensayo de los semi prismas para poder determinar los esfuerzos a compresión, como indica la Tabla 31 para morteros convencionales y la Tabla 32 para morteros con fibra de abacá.

Tabla 31: Resultados de ensayo a compresión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor

FL-MSF-E2	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	599	3200	41.13	12.85	13.04
2	593	3200	42.37	13.24	
3	591	3200	41.70	13.03	

Tabla 32: Resultados de ensayo a compresión de morteros reforzados a 28 días + 6 ciclos de wet and dry (FL-MFT -E2). Fuente: Autor

FL-MFT-E2	Peso (g)	Área (mm ²)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio
1	596	3200	51.34	16.04	15.79
2	588	3200	52.59	16.43	
3	590	3200	47.62	14.88	

4.4.9 Resultados de ensayos posterior a ciclos de envejecimiento

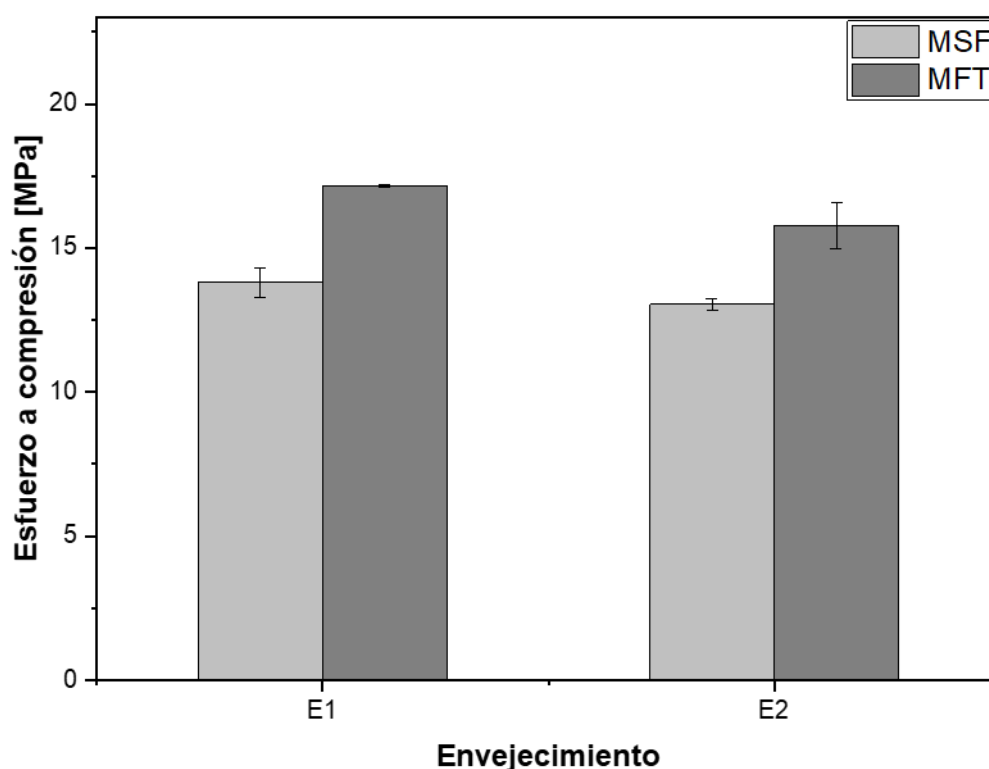


Ilustración 41: Comparativa de resistencia a tracción de mortero con fibra y sin fibra, posterior a procesos de envejecimientos. Fuente: Autor

Los ensayos a tracción que se realizaron luego de 28 días más los 6 ciclos de envejecimiento acelerado 1 para los morteros convencionales y morteros reforzados, presentan la misma resistencia (2.54 MPa). Además, para el envejecimiento 2 presenta el mismo comportamiento, ambas muestras, presentan una resistencia de (2.64 MPa). Siendo la fibra de abacá tratada con hidróxido un buen refuerzo, puesto que no perjudica las condiciones del mortero convencional o patrón.

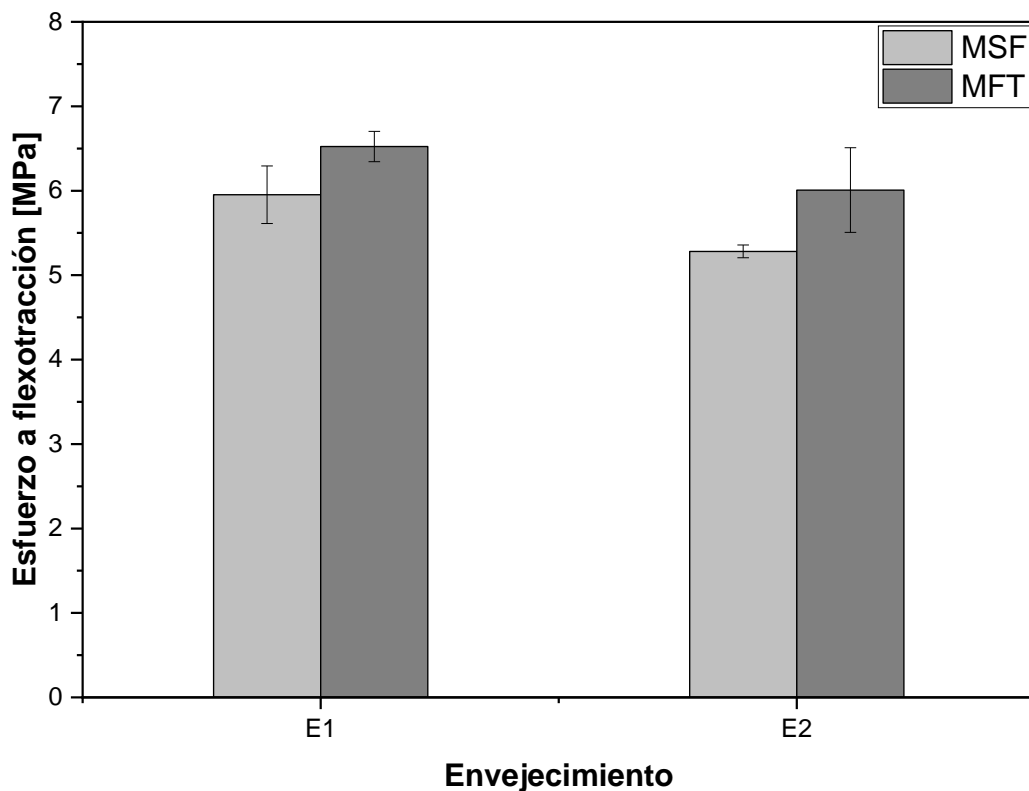


Ilustración 42: Comparativa de resistencia a flexo tracción de mortero con fibra y sin fibra, posterior a procesos de envejecimientos. Fuente:

Autor

Los ensayos a flexión que se realizaron luego de 28 días más los 6 ciclos de envejecimiento 1, las probetas de mortero reforzadas con fibra de abacá presentaron una mejor resistencia a los ciclos de wet & dry, teniendo un esfuerzo a flexión de 6.52 MPa, teniendo una diferencia del 8.71% en comparación con el mortero convencional que alcanzo una resistencia a flexión de 5.95 MPa. Además, los ensayos a flexión que se realizaron luego de 28 días más los 6 ciclos de envejecimiento 2, las probetas de mortero

reforzadas con fibra de abacá presentaron una mejor resistencia a los ciclos de wet & dry, teniendo un esfuerzo a flexión de 6.01 MPa, teniendo una diferencia del 12.14% en comparación con el mortero convencional que alcanzo una resistencia a flexión de 5.28 MPa

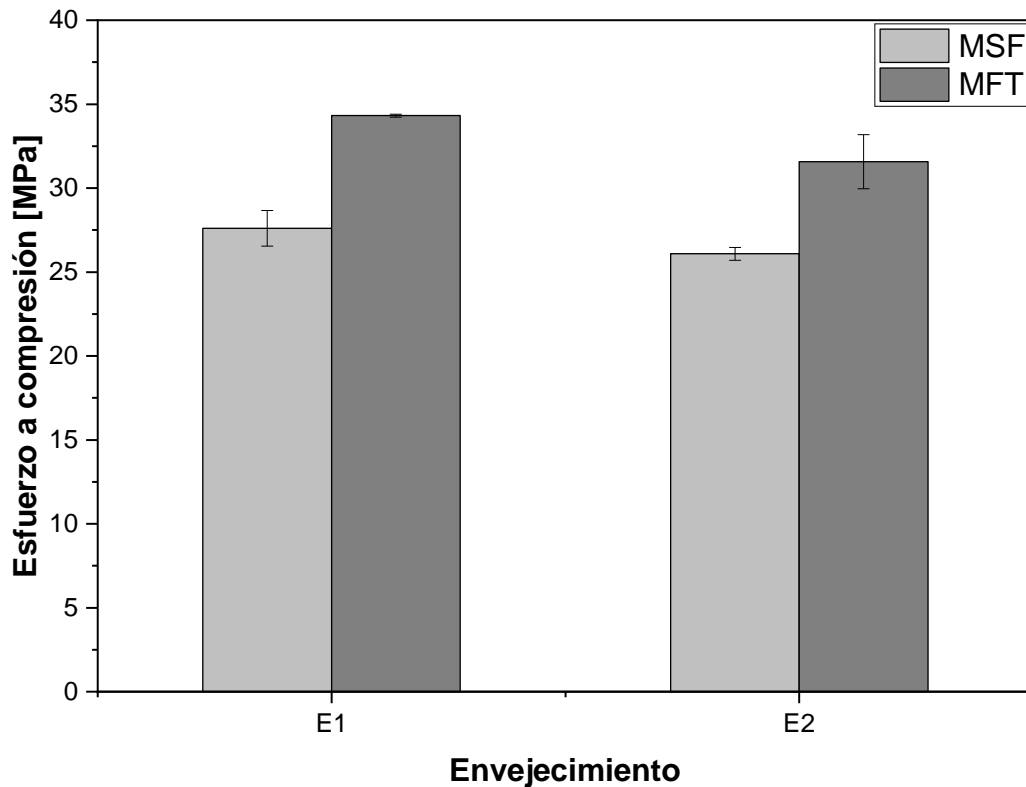


Ilustración 43: Comparativa de resistencia a compresión de mortero con fibra y sin fibra, posterior a procesos de envejecimientos. Fuente: Autor

Los ensayos a compresión que se realizaron luego de 28 días más los 6 ciclos de envejecimiento, las probetas de mortero reforzadas con fibra de abacá presentaron una mejor resistencia a los ciclos de wet & dry, teniendo un esfuerzo a compresión de 17.16 MPa, teniendo una diferencia del 19.55% en comparación con el mortero convencional que alcanzo una resistencia a compresión de 13.80 MPa. Además, los ensayos a compresión que se realizaron luego de 28 días más los 6 ciclos de envejecimiento, las probetas de mortero reforzadas con fibra de abacá presentaron una mejor resistencia a los ciclos de wet & dry, teniendo un esfuerzo a compresión de 15.79 MPa, teniendo una diferencia del 17.39% en comparación con el mortero convencional que alcanzo una resistencia a compresión de 13.04 MPa

4.5 Tablas resumen

	Edad (Días)	Esfuerzo promedio (Mpa)
Tracción		
MSF	28	2.87
MFT	28	3.89
Flexotracción		
MSF	28	6.56
MFT	28	8.11
Compresión		
MSF	28	19.33
MFT	28	27.35

Ilustración 44: Tabla resumen de esfuerzos a 28 días.

	Tipo de Envejecimiento	Esfuerzo promedio (Mpa)
Tracción		
MSF	E1	2.53
MSF	E2	2.64
MFT	E1	2.53
MFT	E2	2.64
Flexotracción		
MSF	E1	5.95
MSF	E2	5.28
MFT	E1	6.52
MFT	E2	6.01
Compresión		
MSF	E1	13.80
MSF	E2	13.04
MFT	E1	17.16
MFT	E2	15.79

Ilustración 45: Resumen de esfuerzos posterior a procesos de envejecimiento.

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones

- Este trabajo de investigación se focalizó en comparar el comportamiento del mortero tradicional y el mortero reforzado con fibra de abacá, la cual es tratada con Hidróxido de Sodio (NaOH) cuando estos son ensayados a tracción, Flexotracción y compresión. Luego de realizar los ensayos previamente mencionados, se puede determinar que los morteros con fibra de abacá tratados con NaOH mejoran las propiedades mecánicas al aumentar la resistencia a las probetas.

5.1 Tracción

Tal como se puede observar en la Ilustración 46, las roturas en ensayos a tracción se dan en la zona del "cuello" que es donde normalmente debe fallar una probeta dog bone ya que la carga de ambos lados al tensionarla se concentra en el centro del espécimen.

También se da a notar la diferencia en ensayar una probeta reforzada con fibra (MFT) la cual presenta una fisura apenas visible pero que igual mantiene la probeta unida durante y después del ensayo debido a que las fibras se entrelazan unas con otras, mientras que, la probeta sin fibra (MSF) presentó una falla importante dividiendo al espécimen en 2 partes y con una leve disminución en la resistencia de esta. A pesar de esto se puede determinar que la fibra es un buen refuerzo para el mortero dado que mejora sus propiedades mecánicas y no presentan un gran deterioro con el paso del tiempo.

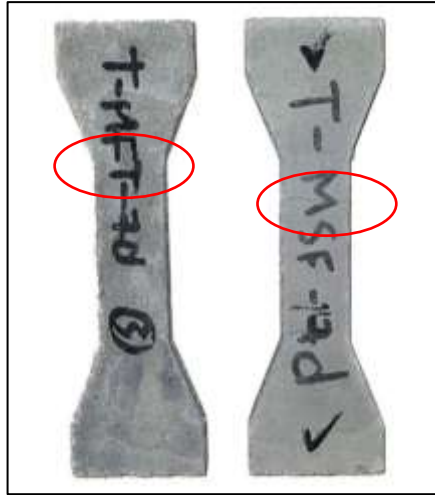


Ilustración 46. Fractura de las probetas MFT (con fibra) y MSF (sin fibra) ensayadas a tracción. Fuente: Autor

Concluyendo así que las probetas ensayadas a tracción reforzadas con fibra de abacá mejoraron óptimamente la resistencia y aumentaron proporcionalmente a la cantidad de días de curado que tuvieron cada uno de los especímenes. A pesar de seguir el mismo proceso, la resistencia a tracción para los dos procesos de wet and dry, no aumento, pero la resistencia se mantuvo igual al mortero convencional la cual puede ser producto de la esbeltez del elemento y la absorción de agua adicional que produce la fibra, a pesar de ello, sigue manteniendo las cualidades de adherencia, sujetando las dos mitades de la probeta, mientras que la probeta de mortero convencional termina dividiéndose en dos (de Azevedo et al., 2020).



Ilustración 47. Fractura de las probetas sometidas a envejecimientos MFT (con fibra) y MSF (sin fibra) ensayadas a tracción. Fuente: Autor

5.2 Flexotracción

5.3 flexión

Las probetas ciertamente mostraron un mejor comportamiento en los ensayos a flexión, pero de igual manera, eran las probetas de mortero reforzadas con fibra las que se observaban una mejora en las resistencias. Los resultados presentaron un ligero aumento proporcional a diferencia de los morteros convencionales (sin fibra de abacá). Previamente mencionado, los ensayos cuyas resistencias son las más elevadas son las de los morteros reforzados con fibras curados a 28 días, lo que se puede concluir que conforme pasaron los días, estas probetas curadas en agua iban ganando más resistencia. A pesar de que la resistencia a tracción posterior a los ciclos de wet & dry no mejoró, los ensayos a flexión presentaron una mejor resistencia para los morteros reforzados con fibra de abacá, para ambos procesos de envejecimiento pudiendo concluir que la fibra tratada con hidróxido de sodio es un excelente refuerzo a flexión.

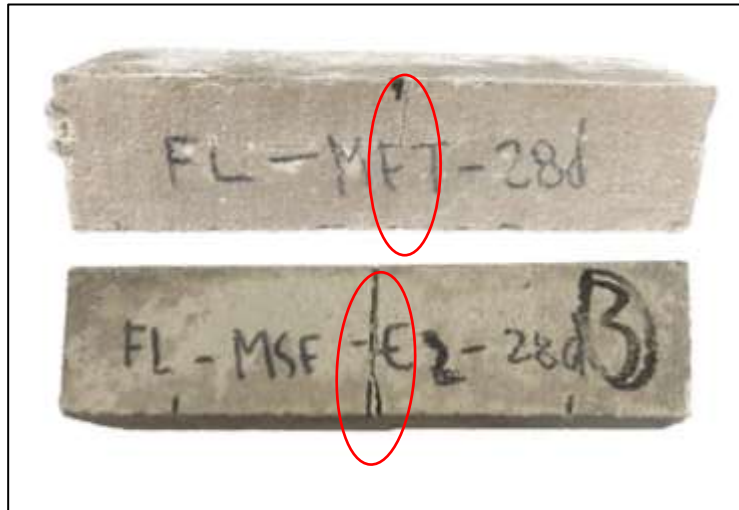


Ilustración 48. Fractura de probetas con fibra (MFT) y sin fibra (MSF) ensayadas a flexión. Fuente: Autor

5.4 Compresión

Los resultados de los ensayos a compresión tuvieron un comportamiento similar a los de flexión, ya que iban aumentando proporcionalmente y de acorde a su tiempo de curado incrementaba la resistencia. Este aumento se da tanto en morteros con o sin fibra.

Pero quienes destacan nuevamente son las probetas de mortero reforzadas con fibras de abacá ya que, al momento de realizar los ensayos, se ve una gran diferencia entre los que tienen fibra y los que no, ya que, al fallar las partículas de mortero de los que no están reforzados implosionan y se desintegran, por el contrario, los morteros con fibra a pesar de que fallaban y fracturaban, sus partes se mantenían unidas y resistían mucha más carga. También actuaron con un mejor comportamiento antes los procesos de envejecimiento, presentando una menor reducción en su resistencia en comparación a los morteros convencionales.

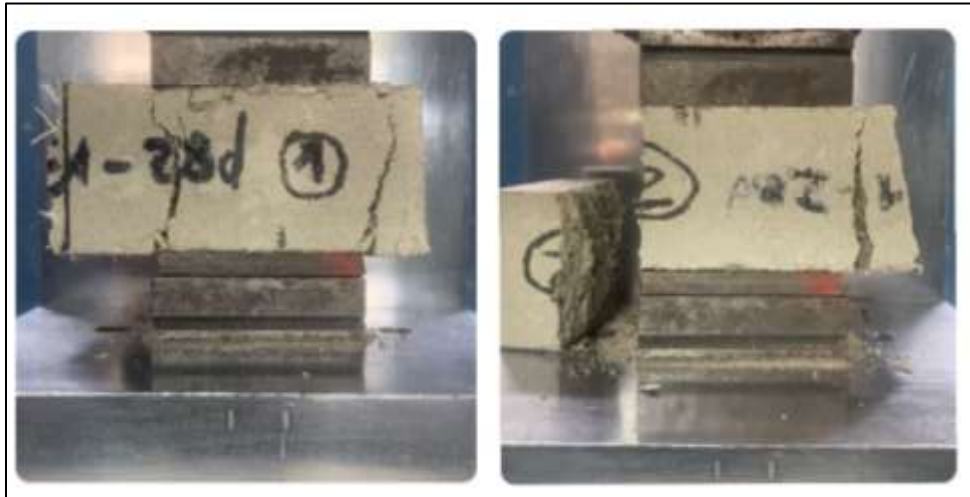


Ilustración 49. Fractura de probetas con fibra (MFT) y sin fibra (MSF) ensayadas a compresión. Fuente: Autor

5.5 Recomendaciones

Se recomienda para trabajos de investigaciones futuras, se realice una comparación en las resistencias a morteros que tengan fibra con una dispersión regular, ya que debido a que las fibras fueron agregadas al mortero de forma dispersa, se fundían las probetas tal y como salían de la amasadora y al ensayarlas se podía notar que las fibras no se ubicaban a todo lo largo y ancho de las probetas, sino que había ciertas zonas que solo estaba el mortero sin la fibra de abacá.

En relación con el tratamiento de Hidróxido de Sodio que se usa en la fibra de abacá, se recomienda reciclar la solución del NaOH para verificar si sigue teniendo el mismo efecto y poder determinar hasta cuántas veces más se la puede reutilizar.

6. Bibliografía

- Akinyemi, B. A., & Omoniyi, T. E. (2020). Effect of experimental wet and dry cycles on bamboo fibre reinforced acrylic polymer modified cement composites. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 29(1), 86–93. <https://doi.org/10.1515/jmbm-2020-0009>
- American Society for Testing and Materials. (2013). Designation: E8/E8M – 13a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1. https://doi.org/10.1520/E0008_E0008M-13A
- Benotman, A. (2021, february 22). In Ecuador, abaca workers are demanding justice and an end to 60 years of modern slavery - Equal Times. Equal Times. <https://www.equaltimes.org/in-ecuador-abaca-workers-are?lang=es#.Y41kw3bMLrf>
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Katoh, M., Ueki, T., Waterhouse, G. I. N., & Li, Y. (2015). Influence of alkali treatment on internal microstructure and tensile properties of abaca fibers. *Industrial Crops and Products*, 65, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.048>
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Li, Y., & Waterhouse, G. I. N. (2016). Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 90, 589–597. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.08.025>
- Calle, G. (2019). Facultad de Ingeniería Civil Tema: influencia del efecto alcalino en las.
- Chasiguasín, F., & Santana, L. (2020). Facultad de Ingeniería Ingeniería Civil Tema: Procesos de envejecimientos natural y acelerado del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio Autores.
- De Azevedo, A. R. G., Klyuev, S., Marvila, M. T., Vatin, N., Alfimova, N., de Lima, T. E. S., Ferie, R., & Olisov, A. (2020). Investigation of the potential use of Curauá fiber for reinforcing mortars. *Fibers*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/fib8110069>
- El Comercio. (2016, april 17). El sismo de 7,8 grados causó 41 muertes y devastación. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/sismo-grados-muertes-ecuador-terremoto.html>

- Esmaeeli, E., Manning, E., & Barros, J. A. O. (2013). Strain hardening fibre reinforced cement composites for the flexural strengthening of masonry elements of ancient structures. *Construction and Building Materials*, 38, 1010–1021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.065>
- European Standar. (2020). En-1015-11-2020.
- Freire Marjorie. (2019). Influencia del tratamiento, tamaño y dosificación de las fibras de abacá en el mortero.
- HOLCIM S.A. (n.d.). Holcim Fuerte Descripción. www.holcim.com.ec
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica.
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2011). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). Cemento para Mortero. Requisitos.
- Jiang, D., An, P., Cui, S., Xu, F., Tuo, T., Zhang, J., & Jiang, H. (2018). Effect of leaf fiber modification methods on mechanical and heat-insulating properties of leaf fiber cement-based composite materials. *Journal of Building Engineering*, 19, 573–583. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.05.028>
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883–2892. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>
- Kilinc, A. Ç., Durmuşkahya, C., & Seydibeyoğlu, M. Ö. (2017). Natural fibers. In *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites* (pp. 209–235). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101871-2.00010-2>
- Kumar Sinha, A., Narang, H. K., & Bhattacharya, S. (2017). Effect of Alkali Treatment on Surface Morphology of Abaca Fibre. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 8993–8996. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.251>
- Neves Junior, A., Ferreira, S. R., Toledo Filho, R. D., Fairbairn, E. de M. R., & Dweck, J. (2019). Effect of early age curing carbonation on the mechanical properties and durability of high initial strength Portland cement and lime-pozolan composites reinforced with long sisal fibres. *Composites Part B: Engineering*, 163, 351–362. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.006>

- Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. *Cement and Concrete Composites*, 68, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>
- Pourfalah, S. (2018). Behaviour of engineered cementitious composites and hybrid engineered cementitious composites at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 158, 921–937. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.077>
- SHIMADZU. (n.d.). Autograph AGS-X Series.
- Van, K., Dessi, B., Ton, K., & Editors, B. (2018). *The Ageing of Materials and Structures Towards Scientific Solutions for the Ageing of Our Assets*.
- Wei, J., Ma, S., & Thomas, D. G. (2016). Correlation between hydration of cement and durability of natural fiber-reinforced cement composites. *Corrosión Science*, 106, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.01.020>
- Yang, J., Su, J., Chen, B., Luo, X., & Shen, X. (2017). *Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete*.
- Zambrano Karina. (2020). Morteros para mampostería. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/morteros-para-mamposteria/>
- Zhao, K., Xue, S., Zhang, P., Tian, Y., & Li, P. (2019). Application of natural plant fibers in cement-based composites and the influence on mechanical properties and mass transport. *Materials*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/ma12213498>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Palacios Sánchez, César Andrés** con C.C: # **0929725208** y **Salas Pacheco, Lissette Carolina** con C.C: # **0926440645** autores del trabajo de titulación: **Influencia de la fibra de abacá en el comportamiento a tracción del mortero actual y envejecido**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 24 del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR

LA AUTORA

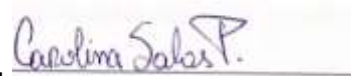
f.



Palacios Sánchez César Andrés

C.C: # 0929725208

f.



Salas Pacheco Lissette Carolina

C.C: # 0926440645

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TEMA Y SUBTEMA:	Influencia de la fibra de abacá en el comportamiento a tracción del mortero actual y envejecido.	
AUTOR(ES)	Palacios Sánchez César Andrés Salas Pacheco Lissette Carolina	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther MSc.	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Ingeniería	
CARRERA:	Ingeniería Civil	
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	24 de febrero del 2023	No. DE PÁGINAS: 65
ÁREAS TEMÁTICAS:	Materiales de Construcción, Fibras Vegetales, Morteros Reforzados.	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	<i>Abacá, Fibra, Tracción, NaOH, Dog Bone, Ensayos</i>	
RESUMEN:	<p>El abacá es endémico de Filipinas, debido a su valor comercial se cultiva en Ecuador. Sus fibras vegetales presentan alta resistencia a la tracción, siendo ideal para usarla como refuerzo en materiales compuestos. El objetivo del presente trabajo es comparar la influencia de la fibra de abacá como refuerzo en morteros a corto y largo plazo. La elaboración de morteros para mampostería se hizo con una relación 1:3 (cemento: arena) en relación a su masa, analizando el efecto de la adición 0.2% (peso total de los sólidos) de fibra de abacá tratada en una solución de NaOH al 3%. Se analizaron propiedades como tracción en probetas dog bone y vigas para flexotracción y compresión y como estas propiedades variaban en función del tiempo aplicando procesos de wet and dry. Los resultados mostraron que la adición de fibra de mejora las propiedades a tracción para edades de 7, 14 y 28 días, además posterior a los procesos de wet and dry mantiene la resistencia similar a los morteros convencionales. Lo cual nos indica que es un excelente refuerzo para los morteros de mampostería.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4	E-mail: cesar.palacios02@cu.ucsg.edu.ec lissette.salas@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4 -2206956	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		