



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Evaluación de prototipos de tableros aislantes térmicos con fibra de totora

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Arquitecto

Autor:

Viviana Mercedes Bermeo Alvaro

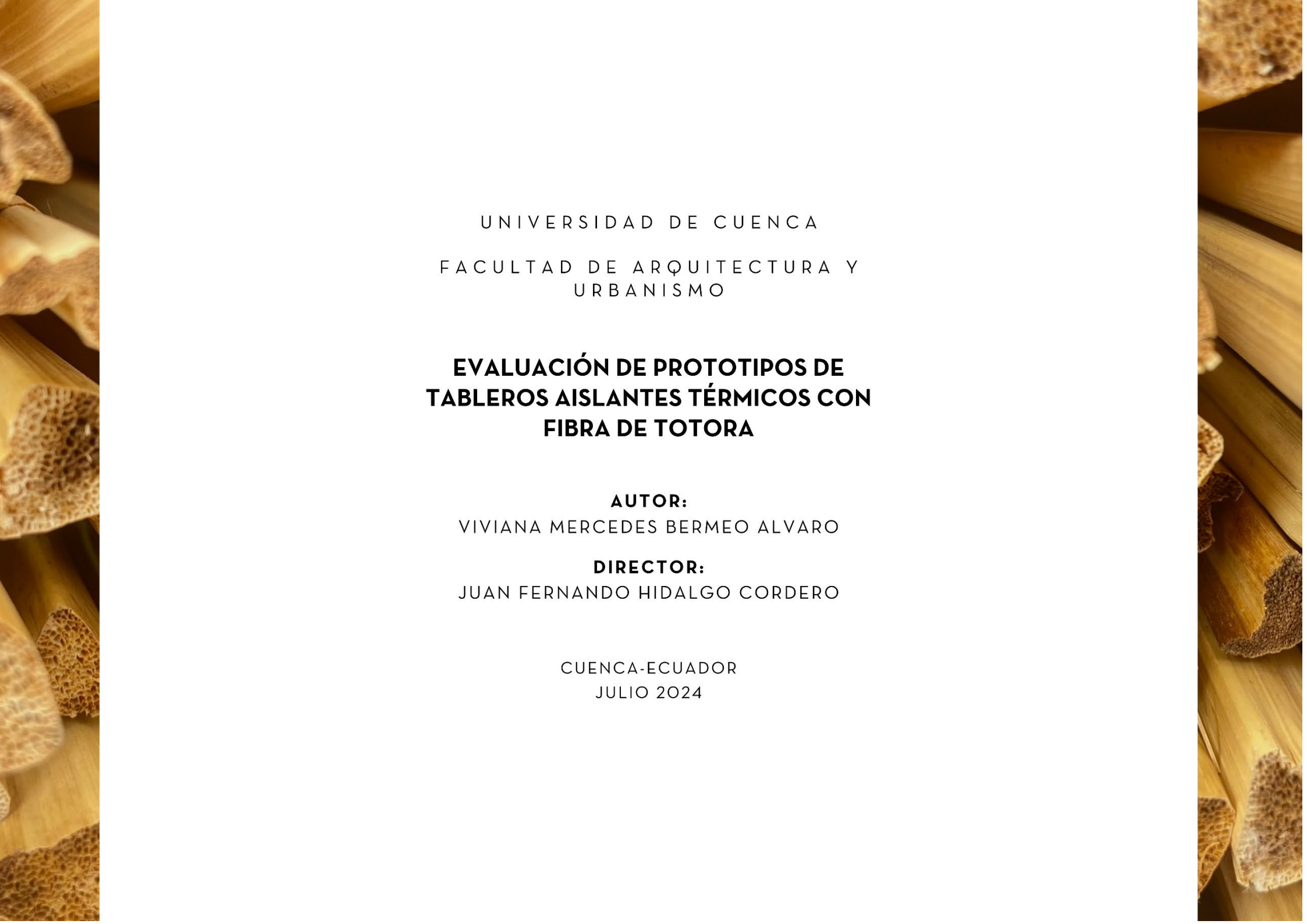
Director:

Juan Fernando Hidalgo Cordero

ORCID:  0000-0002-2334-9569

Cuenca, Ecuador

2024-07-29



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y
URBANISMO

**EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS DE
TABLEROS AISLANTES TÉRMICOS CON
FIBRA DE TOTORA**

AUTOR:

VIVIANA MERCEDES BERMEO ALVARO

DIRECTOR:

JUAN FERNANDO HIDALGO CORDERO

CUENCA-ECUADOR
JULIO 2024

Resumen

El objetivo del documento es evaluar las propiedades de paneles aislantes térmicos a partir de la fibra de totora. Se plantea investigar las propiedades y características de la planta. La investigación se basa en un estudio bibliográfico detallado para comprender la planta y su potencial como especie. Con un enfoque exploratorio cuantitativo, se llevan a cabo procedimientos prácticos en laboratorio para responder a la pregunta de si es viable elaborar paneles aislantes con esta planta. La construcción de prototipos se realizó en el laboratorio, tras un tratamiento específico de trituración, corte y secado de la planta. Se produjeron muestras en cubos y cilindros con diferentes tamaños de partículas, utilizando resina polimérica como pegamento bajo una presión de prensado determinada. Se efectuaron ensayos para evaluar sus propiedades como la conductividad térmica, compresión, absorción de humedad y densidad de los prototipos. Los resultados se analizaron en conjunto a otros aislantes convencionales para establecer conclusiones y recomendaciones.

El documento busca determinar la viabilidad de crear paneles aislantes térmicos con totora y proporcionar perspectivas sobre su implementación en la construcción.

Palabras clave del autor: aislamiento térmico, totora, materiales sostenibles, recursos naturales



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The objective of this paper is to evaluate the properties of thermal insulating panels from reed fiber. It is proposed to investigate the properties and characteristics of the plant. The research is based on a detailed bibliographic study to understand the plant and its potential as a species. With a quantitative exploratory approach, practical laboratory procedures are carried out to answer the question of whether it is viable to make insulating panels with this plant. The construction of prototypes was carried out in the laboratory, after a specific treatment of crushing, cutting and drying the plant. Samples are produced in cubes and cylinders with different particle sizes, using polymer resin as glue under a given pressing pressure. Tests were carried out to evaluate their properties such as thermal conductivity, compression, moisture absorption and density of the prototypes. The results were analyzed together with other conventional insulators to establish conclusions and recommendations.

The paper seeks to determine the feasibility of creating thermal insulating panels with cattails and provide perspectives on its implementation in construction.

Author Keywords: thermal insulation, totora, sustainable materials, natural resources



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción.....	11	2.1.3. Tamizado de partículas de totora	27
Problemática.....	11	2.2. Elaboración de prototipos.....	31
Objetivos	13	2.2.1. Antecedentes	31
a) Objetivo General	13	2.2.2. Elaboración de moldes.....	33
b) Objetivos Específicos.....	13	2.2.3. Proceso de elaboración de prototipos	35
Metodología.....	13	Capítulo III: Ensayos de prototipos	47
Capítulo I: Especie totora (<i>Schoenplectus Californicus</i>).....	15	3.1. Ensayos en laboratorio.....	47
1.1. Potencial de la especie.....	15	3.1.1. Absorción de humedad	47
1.1.1. Cantidad disponible	15	3.1.2. Densidad.....	49
1.1.2. Velocidad de crecimiento	16	3.1.3. Compresión	53
1.1.3. Distribución geográfica en el país	17	3.1.4. Conductividad térmica	54
1.1.4. Facilidad de manipulación	18	Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados	61
1.2. Características.....	19	4.1. Absorción de humedad	61
1.2.1. Cosecha	20	4.2. Densidad.....	69
1.2.2. Fitodepuración	21	4.3. Compresión	71
1.3. Ensayos físicos y mecánicos de la especie.	22	4.4. Conductividad térmica	76
1.3.1. Densidad	22	4.5. Síntesis de resultados y comparativa con aislantes térmicos convencionales.....	80
1.3.2. Absorción	23	4.6. Propuesta de aplicación constructiva	81
Capítulo II: Construcción de prototipos	26	Conclusiones y recomendaciones.....	84
2.1. Tratamientos previos para la elaboración de muestras.	26	Referencias.....	86
2.1.1. Corte y secado.....	26		
2.1.2. Trituración.....	27		

Índice de figuras

Figura 1. Sección del tallo de la Schoenplectus Californicus. Fuente: Hidalgo-Cordero (2007)	15
Figura 2. Conjunto de viviendas de totora en una isla de los Uros. Fuente: Hidalgo-Cordero (2007)	16
Figura 3. Plantaciones de totora, Paccha-Cuenca. Fuente: Zambrano (2018)	17
Figura 4. Isla flotante, cabañas y embarcaciones de los Uros en el Lago Titicaca-Perú, 2006. Fuente: Hidalgo-Castro, Hidalgo-Cordero, García-Navarro (2018)	18
Figura 5. Proyecto imbabureño ganador en la XX Bienal Panamericana de Arquitectura en Quito. Fuente: Prefectura de Imbabura (2015)	19
Figura 6. Laguna de Totora. Fuente: Zambrano (2018)	19
Figura 7. Laguna de totora en Paccha, Azuay-Ecuador. Fuente: Hidalgo-Cordero (2007)	20
Figura 8. Tallos de totora cortados. Fuente: Elaboración propia (2024) ..	23
Figura 9. Tallos de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)	26
Figura 10. Trituración de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)	27
Figura 11. Proceso de trituración. Fuente: Elaboración propia (2024)	27
Figura 12. Especificación Tamiz No.8. Fuente: Elaboración propia (2024)	28
Figura 13. Peso de tamices. Fuente: Elaboración propia (2024)	28
Figura 14. Totora triturada antes del tamizado. Fuente: Elaboración propia (2024)	29

Figura 15. Clasificación de partículas. Fuente: Elaboración propia (2024)	29
Figura 16. Gráfico de curva granulométrica. Fuente: Elaboración propia (2024)	30
Figura 17. Molde de acero galvanizado. Fuente: Elaboración propia (2024)	32
Figura 18. Molde de melamina. Fuente: Elaboración propia (2024)	32
Figura 19. Spray adhesivo multiuso. Fuente: Elaboración propia (2024) ..	32
Figura 20. Procesos de resultados que no cumplieron con las expectativas. Fuente: Elaboración propia (2024)	33
Figura 21. Materiales y equipos para elaboración de moldes. Fuente: Elaboración propia (2024)	34
Figura 22. Gráfico de dimensiones de las piezas para cada probeta. Fuente: Elaboración propia (2024)	34
Figura 23. Moldes con papel Contac en el interior. Fuente: Elaboración propia (2024)	35
Figura 24. Molde final de madera trípex. Fuente: Elaboración propia (2024)	35
Figura 25. Materiales para elaboración de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024)	36
Figura 26. Codificación de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024)	38
Figura 27. Peso del molde. Fuente: Elaboración propia (2024)	38
Figura 28. Molde con fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024) ..	38

Figura 29. Recipiente de vidrio. Fuente: Elaboración propia (2024)	38
Figura 30. Aglutinante para 12g fibra. Fuente: Elaboración propia (2024).....	39
Figura 31. Fibra de totora con aglutinante. Fuente: Elaboración propia (2024)	39
Figura 32. Molde con lubricante. Fuente: Elaboración propia (2024).....	39
Figura 33. Peso total de molde y contenido del prototipo. Fuente: Elaboración propia (2024).....	40
Figura 34. Presión de prensado. Fuente: Elaboración propia (2024).....	40
Figura 35. Proceso de desencofrado de prototipo de fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024).....	40
Figura 36. Proceso prototipo tallo entero. Fuente: Elaboración propia (2024)	41
Figura 37. Prototipos F1 (0.297-0.596mm) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024).....	42
Figura 38. Prototipos F2 (0.595-1.19mm) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024).....	43
Figura 39. Prototipos F3 (1.19-2.38 9mm) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024).....	44
Figura 40. Prototipos F4 (tallo entero) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024).....	44
Figura 41. Materiales para ensayo de absorción de humedad. Fuente: Elaboración propia (2024).....	48
Figura 42. Procedimiento de ensayo de absorción de humedad. Fuente: Elaboración propia (2024).....	49

Figura 43. Materiales para mecanización de prototipos para ensayo de densidad. Fuente: Elaboración propia (2024).....	50
Figura 44. Procedimiento de mecanización de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024).....	51
Figura 45. Prototipos finales mecanizados. Fuente: Elaboración propia (2024)	51
Figura 46. Materiales para ensayo de densidad. Fuente: Elaboración propia (2024)	52
Figura 47. Procedimiento ensayo de densidad anhidra. Fuente: Elaboración propia (2024).	52
Figura 48. Materiales para el ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia (2024)	53
Figura 49. Procedimiento de ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia (2024)	54
Figura 50. Materiales de mecanización para conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024).....	54
Figura 51. Procedimiento de mecanización para ensayo de conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024).....	55
Figura 52. Resultado mecanización para conductividad. Fuente: Elaboración propia (2024).....	55
Figura 53. Materiales para ensayo de conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024).....	56
Figura 54. Dispositivo HT11. Fuente: Universidad Politécnica Salesiana (s. f.)	56
Figura 55. Procedimiento de ensayo de conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024).....	58

Figura 56. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 64

Figura 57. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 65

Figura 58. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 66

Figura 59. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 67

Figura 60. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad por hora de cada fibra. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 68

Figura 61. Resultados ensayo de compresión Fibra 1. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 71

Figura 62. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 1. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 71

Figura 63. Resultados ensayo de compresión Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 72

Figura 64. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 72

Figura 65. Resultados ensayo de compresión Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 73

Figura 66. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 73

Figura 67. Resultados ensayo de compresión Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 74

Figura 68. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)..... 74

Figura 69. Gráfico de resultados de resistencia a tracción de los prototipos de fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024) 75

Figura 70. Gráfico comparativo de valores de conductividad térmica de aislantes convencionales y de los prototipos de totora. Fuente: Elaboración propia (2024) 81

Figura 71. Sistema constructivo Wood framing. Fuente: Elaboración propia (2024) 82

Figura 72. Sistema constructivo Steel framing. Fuente: Elaboración propia (2024) 83

Índice de tablas

Tabla 1. Tamices y abertura. Fuente: Elaboración propia (2024)	28	Tabla 13. Ecuaciones calculadas con los valores obtenidos. Fuente: Elaboración propia, basado en Laboratorio de Mecánica - Universidad Politécnica Salesiana (2024).....	57
Tabla 2. Porcentajes de partículas de totora por tamiz. Fuente: Elaboración propia (2024)	30	Tabla 14. Resultados de absorción de humedad durante 192 horas de prototipos fibra 1,2,3 y 4. Fuente: Elaboración propia (2024).....	62
Tabla 3. Clasificación de tamaños de partículas y tamices. Fuente: Elaboración propia (2024).....	31	Tabla 15. Porcentajes de aumento promedio de todos los prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024).....	63
Tabla 4. Parámetros de elaboración de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024).....	35	Tabla 16. Temperatura y humedad relativa ambiente registrada por anemómetro. Fuente: Elaboración propia (2024)	63
Tabla 5. Ficha técnica de cemento de contacto. Fuente: Elaboración propia, basada en Pintulac (s.f)	37	Tabla 17. Resultados absorción de humedad Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)	64
Tabla 6. Ejemplo de cálculo de aglutinante. Fuente: Elaboración propia (2024)	39	Tabla 18. Resultados absorción de humedad Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)	65
Tabla 7. Tabulación de datos Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)	42	Tabla 19. Resultados absorción de humedad Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)	66
Tabla 8. Tabulación de datos Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)	43	Tabla 20. Resultados absorción de humedad Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)	67
Tabla 9. Tabulación de datos Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)	43	Tabla 21. Ensayo de densidad de prototipos tipo cubo. Fuente: Elaboración propia (2024)	69
Tabla 10. Tabulación de datos Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)	44	Tabla 22. Ensayo de densidad de prototipos tipo cilindro. Fuente: Elaboración propia (2024).....	70
Tabla 11. Tabulación de datos de prototipos aislantes térmicos de fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)	45	Tabla 23. Resistencia a tracción resultantes del ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia (2024).....	75
Tabla 12. Valores constantes. Fuente: Elaboración propia, basado en Laboratorio de Mecánica - Universidad Politécnica Salesiana (2024)	56	Tabla 24. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)	76

Tabla 25. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 77

Tabla 26. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 77

Tabla 27. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 78

Tabla 28. Resumen de coeficiente de conductividad térmica de prototipos de fibra de totora con resina polimérica. Fuente: Elaboración propia (2024) 79

Tabla 29. Gráfico Desviación Estándar. Fuente: Elaboración propia (2024) 79

Tabla 30. Gráfico grafico de conductividad térmica con respecto al delta de temperatura. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 79

Tabla 31. Resumen de resultados de ensayos. Fuente: Elaboración propia (2024)..... 80

Tabla 32. Características de rendimiento de materiales aislantes de edificios comunes utilizados en paredes exteriores. Fuente: (Zhao et al., 2022) 81

Agradecimientos

Agradezco sinceramente a mi director, Juan Fernando Hidalgo, por su invaluable orientación, apoyo académico y acceso a recursos durante todo el proceso de investigación. También quiero expresar mi gratitud al Arq. Juan Uyaguari del laboratorio, cuya asistencia técnica y acceso a recursos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Extendiendo mi reconocimiento, agradezco a Mateo y Eli del equipo de Virtual por su colaboración y apoyo constante, facilitando el acceso a recursos y herramientas tecnológicas que enriquecieron este proyecto.

A mi amada familia, les debo un profundo agradecimiento por su inquebrantable apoyo moral y emocional, que me sostuvo en los momentos de mayor estrés y desafío. Su presencia y aliento fueron el pilar que me mantuvo firme.

Y a mi querido hijo, quien, con su inocencia y amor incondicional, fue mi fuente inagotable de inspiración. Cada logro de este trabajo es gracias a ti, porque tú has sido mi motor y mi razón para seguir adelante.

Dedicatoria

Con amor y gratitud, dedico este trabajo a mi niña interna que soñaba con ser arquitecta. A mi hijo Juan Francisco, quien ha sido mi fuente inagotable de inspiración y motivación, mi mayor fortaleza, te dedico cada logro de este camino.

A mis amados padres, Henry y Paola, les agradezco por ser mi pilar, mi ejemplo y por su incansable apoyo que ha hecho posible este logro.

A mis queridos hermanos y cuñado, Diana, Doménica, Hernán y Leandro, quienes siempre estuvieron a mi lado, brindándome su amor y cuidado, especialmente durante los momentos más desafiantes.

A mis perros Milo, Ferdi y Mía por ser la mejor compañía.

A mis abuelitos, Lucia por su infinito amor y por cuidar de Juan Francisco mientras yo me dedicaba a este trabajo. A mi abuela Leonor, cuyo apoyo incondicional y generosidad han sido un faro en mi vida junto a mi abuelito Daniel que sé que desde el cielo me brinda su apoyo en todo momento.

A mi tía Tania y prima Valeria, por su ayuda incondicional y por ser mis cómplices en la recolección de piedras y de risas.

A mis queridos primos Gaby, Gato, Rudy y Pau quienes han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional y han sido como una segunda familia para mí.

A mi mejor amiga Paz, por tantos años de amistad y apoyo en todo momento.

Y sin dejar atrás a toda mi familia, a mis tíos, primos y seres queridos, les agradezco por su confianza en mí y por ser parte de mi historia, su orgullo es mi mayor motivación. Este logro también es de ustedes. ¡Gracias por todo!

Introducción

En un mundo donde la sostenibilidad se ha convertido en un imperativo, la búsqueda de materiales ecológicos y eficientes para la construcción es más relevante que nunca. La totora (*Schoenoplectus californicus*), una planta nativa de las regiones andinas, ha sido utilizada tradicionalmente en la construcción y artesanía por diversas culturas debido a sus propiedades únicas y su abundancia. Este estudio se centra en explorar y cuantificar las capacidades de la totora para ser utilizada como material principal en la fabricación de paneles aislantes térmicos. A través de un enfoque exploratorio cuantitativo, este trabajo investiga la viabilidad de transformar esta planta en un componente esencial para la construcción sostenible, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas a través de prototipos específicos.

Se ofrece un análisis detallado sobre la totora, resaltando su importancia histórica y contemporánea en aplicaciones tradicionales y potenciales usos innovadores. Además, se describe la metodología empleada para la elaboración de prototipos, desde la preparación inicial del material hasta la aplicación de técnicas de ensamblaje y pruebas de laboratorio. Este enfoque permite no solo garantizar la calidad de los prototipos, sino también evaluar características críticas como la conductividad térmica y la resistencia a la compresión, que son esenciales para su aplicación en la industria de la construcción.

Se busca contribuir a la literatura científica sobre el uso de materiales naturales en la construcción moderna, proponiendo un modelo de aprovechamiento de recursos naturales que integra prácticas ancestrales con tecnologías avanzadas para fomentar un desarrollo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Problemática

El agua es un recurso esencial no renovable para la humanidad. La demanda de agua aumenta proporcionalmente con el crecimiento poblacional, lo que conlleva a una escasez de agua con el paso del tiempo. Es crucial tratar el agua utilizada para garantizar su disponibilidad continua y mitigar esta escasez. El tratamiento del agua es fundamental para eliminar bacterias y cualquier tipo de contaminantes, convirtiéndola en potable y segura para el consumo. Lamentablemente, cerca de 2.000 millones de personas en todo el mundo acceden a agua potable no tratada o la obtienen de fuentes no seguras y contaminadas (United Nations, 2020). Como respuesta al problema se encuentra la Fito depuración como sistema de tratamiento de aguas residuales con características sobresalientes (García-Herrero et al., 2022).

Es importante destacar que mantener un funcionamiento óptimo del sistema de humedales requiere un cuidadoso mantenimiento, que incluye la cosecha de las plantas adultas para facilitar la absorción de nuevos nutrientes y fomentar el crecimiento de nuevas plantas. No obstante, las posibilidades de uso de estas especies están restringidas en muchos casos, ya que a menudo deben ser tratadas como residuos orgánicos contaminados. Un ámbito de aplicación prometedor para aprovechar estos recursos radica en el campo de los materiales de construcción.

El sector de la construcción representa aproximadamente el 33% de las emisiones de CO₂ a nivel global. Como una estrategia clave para mitigar este impacto se plantea el desarrollo de materiales provenientes de fuentes renovables y con un análisis de ciclo de vida favorable.

Un ejemplo de planta utilizada en la fitodepuración es la totora, que crece rápidamente y puede producir hasta 50 toneladas por hectárea al año. Es posible cosecharla cada 6 meses y posee notables capacidades de fitodepuración, además de otras características que la convierten en un

material de interés desde la perspectiva sustentable (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023).

Los tallos de totora tienen una estructura interna compuesta por tejido aerénquima, formado por paredes celulares delgadas que rodean cámaras de aire. Esta estructura confiere flexibilidad a los tallos y previene la inundación de los órganos internos de la planta (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023). Debido a esta naturaleza esponjosa y la organización interna de las cámaras de aire, la totora puede ser empleada como material de aislamiento térmico natural con un impacto ambiental reducido.

Objetivos

a) Objetivo General

Evaluar los prototipos de paneles aislantes térmicos contruidos a partir de la planta de totora.

b) Objetivos Específicos

1. Investigar características y propiedades de la planta de totora.
2. Construir prototipos de paneles de aislamiento térmico con totora en base a parámetros específicos como tamaño de tablero, tipo de pegamento, dimensión de partículas y presión de prensado.
3. Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los prototipos, considerando la conductividad térmica, compresión, absorción de humedad y densidad.

Metodología

La investigación se realizó en base al estudio bibliográfico acerca de la planta de totora (*Schoenoplectus Californicus*), por medio de la misma se obtuvo datos de su cosecha, velocidad de crecimiento y sitios en los que se es posible encontrar la misma. Por consiguiente, se analizó su potencial como especie, sus características y propiedades importantes.

El estudio realizado tiene un enfoque exploratorio de tipo cuantitativo, debido a que responde a la pregunta y los objetivos a través de procedimientos prácticos realizados en laboratorio. Esto tanto para la especie como para el prototipo elaborado. Como primer acercamiento se investigó sobre los ensayos de densidad y absorción realizados con la especie.

En base a los datos obtenidos, se inició la construcción de prototipos en laboratorio, previo al mismo se realizó un tratamiento previo de corte secado, triturado y tamizado de la especie. Además, se elaboraron los moldes de acuerdo a las dimensiones necesarias para los diferentes ensayos. Los prototipos fueron 24 unidades en total, la mitad en forma de cubos de 30mm x 30mm y cilindros de 30mm de diámetro con un espesor de 30mm. Las muestras tuvieron cuatro variaciones de tamaños de partículas las cuales fueron: <0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-5 mm y tallo entero. Además, el tipo de pegamento que se usó fue la resina polimérica con una presión de prensado de 0.1kg/cm².

Simultáneamente, se realizaron ensayos de laboratorio para evaluar y determinar la vialidad de las propiedades físicas y mecánicas de los prototipos como: la conductividad térmica, compresión, absorción de humedad y densidad. Así mismo, se efectuó un análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante las diferentes pruebas. Finalmente, se determinaron las conclusiones y recomendaciones respectivas para contestar la pregunta de investigación ¿es posible evaluar las propiedades de prototipos con el fin de obtener paneles aislantes térmicos a partir de plantas como la totora?

01

MARCO TEÓRICO

ESPECIE TOTORA (SCHOENOPLECTUS
CALIFORNICUS).



Capítulo I: Especie totora (*Schoenoplectus Californicus*)

La totora, conocida científicamente como *Schoenoplectus californicus* ha sido durante siglos un recurso vital en diversas culturas andinas, aprovechada en la construcción y la artesanía. El siguiente capítulo tiene como objetivo explorar en profundidad el potencial multifacético de la totora, evaluando sus características intrínsecas que la hacen favorable para usos sostenibles y eco-amigables. Además, se abrirá la discusión sobre cómo la gestión adecuada de este recurso puede alinearse con los principios de sostenibilidad y resiliencia ecológica, resaltando la importancia de políticas y prácticas que aseguren su aprovechamiento óptimo y responsable.

Su rápido crecimiento, capacidad de renovación cada seis meses y su estructura porosa interna la convierten en un material de interés tanto para comunidades locales como para diversas industrias. Desde tiempos antiguos, culturas en regiones como Perú, Ecuador y Bolivia han aprovechado la totora en la construcción de viviendas, utensilios y artesanías, acumulando un vasto conocimiento sobre su cultivo y manejo. Este capítulo también aborda la distribución geográfica de la totora en diferentes países y su importancia en las comunidades locales, destacando cómo su uso tradicional y sus aplicaciones modernas contribuyen al sustento y desarrollo de estas poblaciones.

La versatilidad de la totora se refleja en su capacidad para adaptarse a diversas zonas climáticas y en su aplicabilidad en una amplia gama de usos, desde la artesanía tradicional hasta proyectos de construcción. Sin embargo, la falta de regulación en su cosecha y uso plantea desafíos para su explotación sostenible y eficiente. Por ende, es esencial comprender las características físicas y mecánicas de la totora, como su baja densidad y capacidad de absorción, para explorar su potencial en la industria de la construcción.

1.1. Potencial de la especie

En la siguiente sección, se profundiza en aspectos como la disponibilidad, la velocidad de crecimiento, la distribución geográfica en el país y la facilidad de manipulación de la totora, con el fin de comprender su potencial.

1.1.1. Cantidad disponible

La "totora", una planta de raíz acuática que prospera en lagos y humedales, presenta una longitud media de 3.5 metros y un diámetro de 2.5 centímetros. Su rápido crecimiento y capacidad de renovación la convierten en un recurso cosechable cada seis meses. Internamente, la totora exhibe una estructura porosa (Figura 1), similar a una esponja, compuesta por cámaras de aire que confieren ligereza y propiedades aislantes al material (Hidalgo-Cordero, 2007).

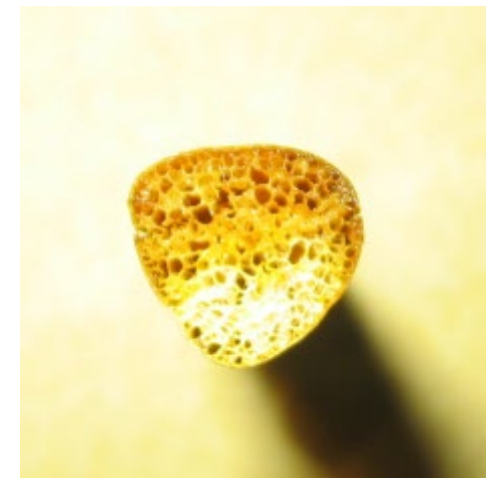


Figura 1. Sección del tallo de la *Schoenoplectus Californicus*. Fuente: Hidalgo-Cordero (2007)

Varias investigaciones analizaron las diferencias morfológicas y químicas que existe entre los tallos de totora que fue recolectada en distintos lagos y en diversos sustratos de calidad de agua. Los resultados revelaron que la estructura general de la planta y la configuración de su tejido aerénquima, que es de gran interés para la propiedad de aislamiento térmico de la fibra, no se vio afectada de manera significativa, por lo tanto, la ubicación en la que se cosechó la fibra no influye en su capacidad de aislación (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023).

Hidalgo-Cordero aborda una amplia gama de factores que influyen en su aprovechamiento, lo que lo convierte en una fuente valiosa de conocimiento. Analizar detalladamente los hallazgos y conclusiones de esta investigación es esencial para comprender mejor las prácticas y técnicas relacionadas con el uso de la totora en la construcción.



Figura 2. Conjunto de viviendas de totora en una isla de los Uros. Fuente: Hidalgo-Cordero (2007)

A lo largo de la historia, la humanidad ha sabido aprovechar las características y propiedades de las especies vegetales presentes en su entorno. La "totora" no es una excepción, y su presencia abarca desde las costas a nivel del mar hasta altitudes de 3800 metros en la cordillera sudamericana. Desde tiempos ancestrales, comunidades en Perú, Ecuador

y Bolivia han empleado la totora en la construcción de viviendas (Figura 2), utensilios y esteras. La facilidad de cultivo y manejo ha permitido que algunas culturas conserven sus métodos tradicionales hasta hoy, acumulando conocimiento sobre el cultivo y la preservación de esta planta.

El rápido crecimiento y la adaptabilidad de la totora a diversas zonas climáticas la posicionan como un recurso de renovación sencilla. Utilizar este tipo de materiales no solo está alineado con la conciencia ecológica actual, que destaca la importancia de conservar el entorno, sino que también responde a la necesidad en arquitectura de emplear materiales renovables en la construcción.

Aunque la totora no se aprovecha completamente en ciertas regiones, quizás debido a la falta de conocimiento sobre sus beneficios, su resistencia, durabilidad y baja densidad, evidenciadas en la construcción de embarcaciones y viviendas en otras áreas, sugieren un potencial sin explotar en el ámbito de la arquitectura y la construcción (Hidalgo-Cordero, 2007).

1.1.2. Velocidad de crecimiento

La totora (*Schoenoplectus californicus* (CA Mey.) Soják) es una macrófita que florece en lagos y estanques, desde las costas de California hasta Chile e incluso en algunas islas del Pacífico. Con un crecimiento rápido, esta planta puede generar hasta 50 toneladas por hectárea al año en condiciones propicias. (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023) Además, la planta alcanza su máxima expansión en profundidades que oscilan entre los 30 y 70 cm. No obstante, en entornos particulares como el Lago Titicaca, se ha observado su crecimiento en profundidades que llegan hasta los 5 metros (Iltis y Dejoux, 1991).

Según el ciclo fenológico anual, los tallos aéreos de esta planta se secan y mueren de manera natural cada año, permitiendo el surgimiento de nuevos brotes desde el mismo sistema radicular (Hidalgo-Cordero & García-

Navarro, 2017). De acuerdo con los autores citados, una cosecha cuidadosa no produce un impacto significativo. La rapidez de su crecimiento, que posibilita dos cosechas anuales, asegura un suministro constante de material en una superficie de plantación relativamente reducida.

La totora, gracias a su notable adaptabilidad a diversas zonas climáticas, su rápido crecimiento y su presencia abundante en algunas localidades, ha encontrado aplicaciones versátiles en diversos ámbitos. Desde ser utilizada como forraje, medicina, y fuente de alimentación hasta servir como material de construcción y combustible. Es destacable que según investigaciones de expertos como Hidalgo Cordero (2007), Mardorf (1985), y Simbaña (2003), se han desarrollado variadas técnicas para aprovecharla como material. Esta versatilidad permite su utilización en la creación de objetos que van desde artesanías hasta embarcaciones y cabañas, demostrando así su valor en una amplia gama de aplicaciones.

1.1.3. Distribución geográfica en el país

En Ecuador, las plantaciones de totora se encuentran comúnmente alrededor de lagos y lagunas situados a más de 2500 metros sobre el nivel del mar. Esta presencia es especialmente notable en la región central de la cordillera andina ecuatoriana, específicamente en la comunidad de San Rafael de la Laguna, perteneciente al cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Este enclave alberga lagunas destacadas como Colta, San Pablo y Yahuarcocha (Zambrano, 2018).

En esta región, florecen asociaciones de artesanos que se especializan en el delicado arte de trabajar con la totora, una planta que abunda en sus alrededores. Sin embargo, su aplicación se restringe mayormente a propósitos decorativos y artesanales. Es crucial resaltar que estas comunidades ejercen una gestión sostenible, aunque restringida, de este recurso natural, en perfecta armonía con el delicado equilibrio de su entorno geográfico.

La totora emerge como un símbolo de la relación simbiótica entre la humanidad y la naturaleza. Las asociaciones de artesanos, con su dedicación y destreza, no solo preservan una tradición ancestral, sino que también ejercen un papel vital en la conservación del ecosistema local. Es un testimonio vivo de cómo el ser humano puede coexistir de manera armoniosa y respetuosa con su entorno, nutriéndose mutuamente en un ciclo de cuidado y respeto por la naturaleza.



Figura 3. Plantaciones de totora, Paccha-Cuenca. Fuente: Zambrano (2018)

En la ciudad de Cuenca, específicamente en las parroquias rurales de Paccha, Tarqui, y otras áreas circundantes, se encuentran plantaciones de totora que abastecen a los artesanos locales con la fibra necesaria para la elaboración de sus creaciones. Además, es posible observar lagunas de totora en lugares cercanos a los cauces de los ríos o donde se produce estancamiento de agua (Figura 3).

Es fundamental destacar que, hasta la fecha, los Ministerios de Medio Ambiente (MAE) y Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) no han establecido acuerdos ministeriales en sus normativas para regular el uso y

la cosecha de estas fibras. Esta falta de regulación dificulta la explotación eficiente, ya que las plantaciones se extienden hacia terrenos privados. Esta situación genera inquietud en el Gobierno Autónomo Descentralizado de la zona, ya que la comunidad se enfrenta a desafíos para acceder y aprovechar estas fibras, resultando en un notable desperdicio. Con la implementación de normativas adecuadas, este recurso podría transformarse en una fuente de sustento para los habitantes locales, fomentando la sostenibilidad y un equilibrio en la explotación que permita una convivencia armoniosa entre la naturaleza y la comunidad (Zambrano, 2018).

1.1.4. Facilidad de manipulación

La notable velocidad de crecimiento, la capacidad de renovación acelerada, la baja densidad, la estructura interna esponjosa y la eficiente relación peso-resistencia convierten a este material en una opción fascinante para investigar su aplicación en el ámbito del aislamiento térmico dentro de la industria de la construcción (Hidalgo-Cordero & García-Navarro, 2018).

La totora es reconocida por su sorprendente facilidad de manipulación, lo que la convierte en un material extraordinariamente versátil para una amplia gama de aplicaciones. Sus notables características de flexibilidad, maleabilidad y ligereza facilitan de sobremano su manejo y adaptación, ya sea en proyectos artesanales o constructivos. Un ejemplo emblemático de esta aplicación lo menciona (Hidalgo Castro et al., 2018), los Uros (Figura 4), una comunidad indígena asentada en Perú, que ha aprovechado las propiedades excepcionales de esta planta. A lo largo de épocas ancestrales, la subsistencia de los Uros ha estado casi exclusivamente ligada a la totora, empleándola en la elaboración meticulosa de islas flotantes, embarcaciones ingeniosas, viviendas resistentes y utensilios diversos.



Figura 4. Isla flotante, cabañas y embarcaciones de los Uros en el Lago Titicaca-Perú, 2006. Fuente: Hidalgo-Castro, Hidalgo-Cordero, García-Navarro (2018)

Por otro lado, en Ecuador, la totora desempeña un papel destacado en la creación de esteras y artesanías tejidas. La provincia de Imbabura se destaca como el epicentro principal de esta actividad, siendo reconocida por su prolífica producción. Las esteras, elaboradas mediante el tejido de dos tallos de totora aplastada y entrelazada, son notables por su flexibilidad y resistencia (Figura 5). Este diseño único permite una versatilidad en su aplicación, ya que se utilizan para confeccionar una amplia variedad de productos, como alfombras de piso, bases de cama, revestimientos y cielos rasos, entre otros (Hidalgo Castro et al., 2018). El conocimiento de la manipulación artesanal de la totora en Imbabura ha posicionado a esta provincia como un centro destacado en la producción de artículos tejidos de alta calidad.

En cuanto al almacenamiento correcto de los materiales, se puede optar por dos métodos: la disposición vertical, donde se colocan recostados e intercalados sobre un caballete; y la disposición horizontal, sobre soportes

de madera. En este último caso, es importante asegurarse de que los cúmulos no superen la altura de 2 metros, permitiendo separaciones entre ellos para facilitar la circulación de aire (Zambrano, 2018). Este enfoque estratégico en el almacenamiento no solo preserva la calidad de los materiales, sino que también contribuye a su durabilidad, asegurando condiciones óptimas que minimizan los efectos adversos del entorno y facilitan su acceso y manipulación cuando sea necesario.



Figura 5. Proyecto imbabureño ganador en la XX Bienal Panamericana de Arquitectura en Quito. Fuente: Prefectura de Imbabura (2015)

Hidalgo Cordero & Ullauri Donoso (2015), brindan una perspectiva crucial sobre la importancia de la totora en la zona del Azuay, subrayando su papel esencial en la vida cotidiana y la economía local. A través de su trabajo, no solo arrojan luz sobre los desafíos que enfrenta esta tradición, sino que también resalta el potencial renovable y sostenible de la totora en un mundo cada vez más consciente de las preocupaciones ambientales.

Como se mencionó previamente, la totora ocupa un lugar de gran importancia en la parroquia de Paccha, ubicada en la provincia del Azuay. Durante años, la región albergó una variedad de lagunas donde la totora florecía abundantemente, sirviendo como un recurso esencial para la

comunidad local, especialmente en la confección de tejidos, esteras y otros productos elaborados con esta fibra natural.

Con el transcurso del tiempo, se ha observado una preocupante disminución en el número de estas lagunas (Figura 6). Esto se debe a que la población local ha optado por desecar estas áreas para destinarlas a cultivos considerados más rentables desde el punto de vista económico. Este cambio en las prácticas locales ha llevado a la pérdida gradual de un ecosistema que, más allá de su importancia económica, desempeñaba un papel crucial en la ecología regional.



Figura 6. Laguna de Totorá. Fuente: Zambrano (2018)

1.2. Características

En la próxima sección, se abordará detalladamente la importancia crítica de gestionar adecuadamente la totora en su proceso de cosecha y uso. Se explorará cómo esta gestión no solo garantiza la sostenibilidad a largo plazo de este recurso, sino que también maximiza su potencial para generar ingresos en las comunidades locales. Se resaltarán el papel crucial que

desempeña esta práctica en fortalecer la resiliencia de la planta y en preservar la biodiversidad del entorno.

Además, se discutirá cómo estas prácticas sostenibles no solo benefician a las personas al proporcionar una fuente económica estable, sino que también tienen un impacto positivo en la salud del medio ambiente, promoviendo así un equilibrio armonioso entre las necesidades humanas y la conservación de los ecosistemas locales.

1.2.1. Cosecha

Los estudios de Hidalgo-Cordero y García-Navarro enfatizan la relevancia de la fibra de totora como recurso multifacético, esencial tanto en prácticas tradicionales como en proyectos modernos de conservación ambiental. Este recurso, con su manejo adecuado, no solo asegura la sostenibilidad a largo plazo y proporciona ingresos para las comunidades, sino que también fortalece la resiliencia de la totora y promueve prácticas amigables con el medio ambiente. El ciclo de cosecha de la totora, garantiza un suministro continuo de materia prima y promueve la salud y la vitalidad de la planta en su hábitat natural.

La fibra de totora emerge como un recurso de inestimable valor para diversas comunidades, desplegando su versatilidad no solo en usos tradicionales, sino también en iniciativas modernas. Ha encontrado aplicación destacada en proyectos de fitorremediación y en la restauración de marismas en varias regiones de Latinoamérica. Según informes especializados, la totora propicia una biodiversidad más rica en comparación con otras macrófitas emergentes. No obstante, es imperativo subrayar que este beneficio se materializa plenamente mediante una gestión adecuada de la totora.

La manera en que se maneja la totora no solo garantiza su sostenibilidad a largo plazo, sino que también maximiza su potencial para ofrecer una fuente de ingresos para las personas que la cosechan. Este enfoque, llevado a

cabo con un mínimo impacto medioambiental, no solo fortalece la resiliencia de la totora, sino que también contribuye significativamente al cuidado del planeta. La totora, cuando se utiliza de manera consciente, no solo se erige como un recurso económico para las comunidades, sino que también desempeña un papel activo en la preservación de la biodiversidad y en la promoción de prácticas sostenibles que benefician tanto a las personas como al medio ambiente.



Figura 7. Laguna de totora en Paccha, Azuay-Ecuador. Fuente: Hidalgo-Cordero (2007)

Después de haber sido implementada, la totora alcanza su madurez y se presenta lista para ser cosechada dos veces al año. Este proceso de recolección no solo tiene un impacto en la obtención de la fibra, sino que además juega un papel fundamental en el mantenimiento de la salud de las plantas. La actividad de cosecha no solo estimula el crecimiento de nuevos culmos, sino que también contribuye de manera significativa a mantener las plantas en un estado limpio y libre de la hojarasca que pueda haberse acumulado durante su fase senescente. Este ciclo de cosecha, por lo tanto,

no solo garantiza un suministro continuo de materia prima, sino que también promueve la salud y la vitalidad de la totora en su hábitat natural (Hidalgo-Cordero & García-Navarro, 2018).

Basándose en los estudios llevados a cabo por Mallison & Thompson (2010) en el lago Tohopekaliga en Florida, se han delineado estrategias óptimas para la plantación de totora. Sus conclusiones señalan que, si el objetivo es establecer una única planta robusta, la opción preferida consistirá en plantar un rizoma de mayores dimensiones que incluya varios culmos vivos emergentes. Por otro lado, si la meta es lograr una distribución más extensa, se recomienda dividir el rizoma en trozos de menor tamaño para ser plantados en diversos culmos vivos emergentes.

Los resultados del estudio indican que la totora debe ser sembrada de manera emergente, ya que la tasa de supervivencia fue significativamente menor en las plantas cortadas bajo el nivel del agua en comparación con aquellas cortadas por encima o no cortadas. Esto se debe a que la recolección adecuada estimula el nuevo crecimiento y desarrollo de la planta. El aprovechamiento cuidadoso de la totora, mediante prácticas de cosecha adecuadas, puede generar resultados positivos al mantener un equilibrio ecológico mientras proporciona fuentes de ingresos sostenibles para los recolectores (Hidalgo-Cordero & García-Navarro, 2018).

1.2.2. Fitodepuración

Su capacidad de adaptarse a diversas altitudes es notable, ya que puede crecer tanto a nivel del mar como a altitudes de hasta 4500 metros. La totora ofrece la ventaja de ser cosechada cada seis meses, y su versatilidad la convierte en una opción valiosa para la fitodepuración en humedales artificiales, resaltando así sus beneficios ambientales (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023).

Las pequeñas lagunas, donde la totora prospera, cumplen funciones ecológicas esenciales. No solo contribuyendo a la recarga de acuíferos

subterráneos, sino que, también mejorando la calidad del agua, controlando las inundaciones y previniendo la erosión del suelo. Además, las lagunas constituyen una fuente primordial de materia prima para la actividad económica tradicional relacionada con el tejido y el manejo de la totora. La pérdida de estos ecosistemas afecta no solo la economía local, sino también el equilibrio ecológico y el bienestar de la comunidad en general (Hidalgo-Cordero & Ullauri-Donoso, 2015).

La investigación llevada a cabo por Hidalgo-Cordero & García-Navarro (2018) destaca el papel fundamental de la familia a la que pertenece la totora, Cyperaceae, en la construcción de humedales destinados al tratamiento de agua. La versatilidad de la planta de totora ha sido aprovechada de manera extensa en humedales artificiales, utilizándola para la fitorremediación y fitoextracción. Aunque el uso de la totora en el tratamiento del agua presenta diversos beneficios, es imperativo destacar la importancia de un manejo adecuado de la planta.

El cuidado apropiado es esencial, ya que existe el riesgo de acumulación de contaminantes en los tejidos internos de los culmos de la totora. Estos contaminantes pueden ser absorbidos por la planta y, en última instancia, reintroducirse en el flujo del agua, comprometiendo la efectividad del proceso de tratamiento. Por lo tanto, la gestión precisa de la totora se convierte en un factor crítico para garantizar que los beneficios ambientales de su utilización en humedales artificiales no se vean comprometidos por potenciales impactos negativos. La comprensión detallada de estos procesos y la implementación de prácticas de manejo cuidadosas son esenciales para maximizar la eficacia de la totora en la mejora de la calidad del agua y en la mitigación de los impactos ambientales derivados de la contaminación.

El tipo de humedal artificial que se aborda Delgadillo et al. (2010) es de flujo subsuperficial, con un enfoque en las plantas utilizadas en este tipo de humedal, específicamente las helófitas y, en particular, la totora. Las helófitas son plantas adaptadas a condiciones de alta humedad e

inundación, siempre que no estén completamente sumergidas en agua. Estas plantas pueden soportar una limitada disponibilidad de oxígeno en el suelo, con una parte de su estructura bajo el nivel del agua y otra parte expuesta al aire.

El rol de las helófitas en los humedales artificiales se puede resumir en varios aspectos clave:

- **Filtración Física:** Actúan como filtros que mejoran los procesos físicos de separación de partículas.
- **Asimilación de Nutrientes y Metales:** Absorben nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como metales, que son retirados del medio acuático e incorporados en el tejido vegetal.
- **Soporte para Biopelículas:** Proveen soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos que purifican el agua a través de procesos aerobios de degradación.
- **Transporte de Oxígeno:** Transportan grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta las raíces y rizomas, donde es utilizado por los microorganismos.

Estas funciones hacen que las helófitas, y en especial la totora, sean esenciales para la fitodepuración en sistemas de humedales artificiales (Delgadillo et al., 2010).

1.3. Ensayos físicos y mecánicos de la especie.

En este último apartado del marco teórico, se explorará en detalle la anatomía y las propiedades absorbentes de la totora, una planta de gran importancia ecológica y utilidad práctica. Se analizará la estructura interna de los tallos de totora, destacando la función de la médula y la corteza en su flexibilidad, resistencia y capacidad de flotación. Además, se examinará

el fenómeno de absorción de la totora durante procesos de inmersión, proporcionando una visión detallada de su comportamiento y sus implicaciones prácticas, especialmente en el ámbito de la construcción. Este análisis se basará en investigaciones recientes lideradas por Hidalgo-Cordero y colaboradores, que arrojan luz sobre las propiedades únicas de la totora y su potencial aplicación en diversas áreas.

1.3.1. Densidad

El estudio realizado por Hidalgo-Cordero y Aza-Medina (2023) adquiere una relevancia crucial al desvelar la anatomía especializada de los tallos de totora, destacando su sorprendente adaptación al entorno acuático. Esta investigación revela propiedades únicas que distinguen a la totora como un recurso de inestimable valor tanto en términos ecológicos como prácticos. Los hallazgos obtenidos subrayan la importancia de analizar minuciosamente la estructura interna de la totora para comprender plenamente su potencial en una amplia gama de aplicaciones, desde iniciativas de conservación ambiental hasta avances en el ámbito de la construcción y el diseño.

La exploración detallada de la anatomía de los tallos de totora revela la presencia de dos elementos principales que definen su estructura: la médula, ubicada en la parte interna y esponjosa del tallo, y la corteza que la rodea. La médula está compuesta por un tejido aerénquima, caracterizado por sus finas paredes celulares, creando así una estructura esponjosa con diminutas cámaras de aire. Esta configuración única confiere a los tallos una combinación excepcional de flexibilidad y resistencia, atributos que derivan de su baja densidad, la cual oscila entre los 70 y 80 kg/m³. Resulta notable destacar que esta densidad es aproximadamente la mitad de la que se encuentra en la madera de balsa, la cual registra un valor de alrededor de 178 kg/m³, situando a la totora como una de las especies de madera menos densas conocidas.



Figura 8. Tallos de totora cortados. Fuente: Elaboración propia (2024)

Esta singular estructura anatómica no solo proporciona a la totora su notable ligereza, sino que también le confiere una versatilidad excepcional en términos de aplicaciones prácticas. La presencia de las pequeñas cámaras de aire en la médula permite que los tallos floten con facilidad en el agua, contribuyendo así a su capacidad de adaptación a hábitats acuáticos y su uso en la construcción de estructuras flotantes. Además, la combinación de flexibilidad y resistencia de los tallos los hace ideales para diversas aplicaciones, desde la creación de artesanías hasta la construcción de estructuras arquitectónicas más elaboradas.

La anatomía especializada de los tallos de totora revela una adaptación impresionante a su entorno acuático, ofreciendo propiedades únicas que la distinguen como un recurso valioso tanto en términos ecológicos como prácticos. Estos hallazgos destacan la importancia de comprender en

detalle la estructura interna de la totora para apreciar plenamente su potencial en una variedad de contextos, desde la conservación ambiental hasta la innovación en la construcción y el diseño.

La capacidad de flotación de la totora se atribuye al tejido aerénquima, el cual no solo contribuye a su elevada flotabilidad, sino que también desempeña un papel crucial en la mitigación de daños por inundaciones, al tiempo que facilita el intercambio de gases a lo largo de los tallos. En contraste, la corteza cumple la función de una capa protectora donde se concentran la mayoría de las fibras estructurales lignificadas, así como las funciones de intercambio de gases y nutrientes. Este diseño anatómico confiere a la totora una adaptabilidad única para sobrevivir en hábitats acuáticos, destacando su papel no solo en la preservación de la planta misma, sino también en la prevención de desastres naturales y en la promoción de ciclos ecológicos saludables (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023).

1.3.2. Absorción

La investigación liderada por Hidalgo-Cordero J. respecto al aprovechamiento de la totora como material de construcción ha proporcionado descubrimientos notables que merecen una detallada consideración. Se destaca que, cuando la totora se somete a un proceso de inmersión sin presión durante un período de 24 horas, experimenta un notable incremento de aproximadamente cuatro veces su peso seco inicial. Los primeros 20 minutos de inmersión revelan una sorprendente velocidad de absorción, alcanzando un aumento de peso del 7% por minuto. A medida que el proceso avanza, la velocidad general de absorción disminuye gradualmente hasta llegar a su estado de saturación, registrando un 0.3% por minuto, y la velocidad de secado se estabiliza en 0.13% por minuto hasta alcanzar su estado seco original.

En un enfoque diferente, al atar la totora con poca presión y sumergirla durante un día completo, se observa un aumento promedio del 50% en su

peso seco inicial. En los primeros 20 minutos de inmersión, la velocidad inicial de absorción muestra un incremento de 3.8% más de su peso por minuto, y la velocidad de absorción general, hasta llegar a su estado de saturación, se fija en 0.18% por minuto.

Es relevante destacar que el fenómeno del aumento de volumen durante su estado de saturación presenta una particularidad intrigante. La muestra tomada en la investigación previamente mencionada reveló un aumento significativo del 16.6% en su volumen seco. Este incremento plantea ciertos desafíos, ya que induce al ensanchamiento de los tallos, aunque, interesantemente, la longitud apenas sufre variaciones apreciables. Estos resultados no solo proporcionan una visión detallada de las propiedades de la totora en distintos estados de absorción, sino que también ofrecen información valiosa para su aplicación práctica en el ámbito de la construcción, subrayando la versatilidad de esta planta en diversas aplicaciones considerando pesos saturados (Hidalgo-Cordero, 2007).

En resumen, la totora es una planta acuática que crece en lagos y humedales, destacándose por su rápida renovación y estructura porosa, la cual le confiere ligereza y propiedades aislantes. Sus características la convierten en un recurso valioso para diversas aplicaciones, incluyendo la construcción, la fitodepuración y la artesanía. Se puede cosechar cada seis meses sin afectar significativamente su estructura ni su capacidad de aislamiento térmico, independientemente del lugar de cosecha. La totora se distribuye ampliamente en regiones de Ecuador, Perú y Bolivia, y ha sido utilizada tradicionalmente en la construcción de viviendas y utensilios.

En términos de crecimiento, la totora puede producir hasta 50 toneladas por hectárea anualmente, prosperando en diferentes condiciones climáticas y altitudes, desde el nivel del mar hasta los 4500 metros. Su adaptabilidad y versatilidad también la hacen adecuada para el tratamiento de aguas en humedales artificiales. En Ecuador, se encuentran plantaciones notables en la región andina y en la provincia de Imbabura, donde se utiliza principalmente para la elaboración de esteras y artesanías.

La facilidad de manipulación de la totora, junto con su baja densidad y estructura interna esponjosa, permite su uso en la construcción de embarcaciones, viviendas y otros objetos. La cosecha adecuada de la planta promueve su salud y crecimiento, permitiendo un suministro constante de materia prima. La gestión sostenible de la totora es crucial para maximizar su potencial y garantizar beneficios económicos y ambientales a las comunidades locales.

Finalmente, la anatomía de la totora, con su médula esponjosa y corteza protectora, le otorga una combinación única de flexibilidad, resistencia y capacidad de flotación. Estos atributos la posicionan como un recurso valioso para aplicaciones prácticas y ecológicas, destacando su importancia en la conservación ambiental y el diseño innovador.

En conclusión, es fundamental continuar fomentando el uso responsable de la totora, promoviendo prácticas de manejo que preserven su renovabilidad y desarrollando políticas que aseguren una explotación equitativa y efectiva. La investigación y la innovación jugarán roles cruciales en optimizar su utilización y en explorar nuevas aplicaciones que beneficien tanto a las comunidades locales como al medio ambiente global.

Además, la totora se presenta no solo como un recurso esencial para la biodiversidad de su hábitat, sino también como un elemento clave en la promoción de un futuro más sostenible. Su aprovechamiento adecuado y su integración en soluciones ecológicas pueden marcar una diferencia significativa en los esfuerzos por alcanzar una armonía entre el desarrollo humano y la conservación ambiental.

02

CONSTRUCCIÓN
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS



Capítulo II: Construcción de prototipos

El capítulo profundizará la tarea de construir prototipos utilizando la versátil totora como su material principal. Aquí, se desglosará meticulosamente el proceso, desde los primeros pasos de preparación de los materiales hasta la culminación de los prototipos. Se abordarán aspectos cruciales como la meticulosa selección y disposición de los prototipos de totora, detallando el método de ensamblaje empleado, así como el tiempo de secado requerido para garantizar la integridad de las piezas. En este contexto, es fundamental comprender los antecedentes en la construcción de prototipos de materiales naturales, donde la investigación y experimentación previas han jugado un papel vital.

Además, abarcará los detalles de las normativas y regulaciones aplicables durante la elaboración de los prototipos. El proceso comenzará con los tratamientos previos como corte, secado y trituración del material, seguido de un minucioso proceso de tamizado para clasificar las partículas por tamaño. Este riguroso enfoque resultará en un total de 24 probetas, con 6 muestras para cada tamaño de partículas, asegurando una representación adecuada de la variedad de la totora utilizada.

Finalmente, se discutirán las técnicas de ensamblaje y los parámetros específicos, tales como la presión de prensado y la temperatura de secado, que se han optimizado a través de una serie de pruebas experimentales. Este enfoque meticuloso y sistemático no solo garantizará la calidad y eficacia de los prototipos finales, sino que también resaltará el potencial y la versatilidad de la totora como material base en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta el diseño sostenible. La capacidad de la totora para ser moldeada y utilizada en diferentes contextos refuerza su valor como recurso natural renovable, demostrando que puede ser una alternativa viable y ecológica en la fabricación de nuevos materiales.

2.1. Tratamientos previos para la elaboración de muestras.

Antes de iniciar la elaboración de prototipos, es imperativo realizar tratamientos adecuados en la especie con el fin de asegurar resultados satisfactorios, siguiendo rigurosamente métodos previamente investigados y validados. En esta perspectiva, el siguiente apartado se enfoca en detallar el proceso de corte, secado, triturado y tamizado de la totora, destacando su importancia como etapas fundamentales en el manejo técnico de este material.

2.1.1. Corte y secado

La totora empleada en la elaboración de los prototipos para este proyecto fue adquirida de lagunas ubicadas en la parroquia de Paccha, ubicada en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Los tallos utilizados fueron previamente tratados y cosechados durante la época de floración. Para su recolección, se realizó un corte a 5 cm sobre el nivel del agua.



Figura 9. Tallos de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

Posteriormente, los tallos fueron sometidos a un proceso de secado de acuerdo con el método tradicional descrito por Hidalgo-Cordero. Este proceso implica extender los tallos en el suelo para que se sequen al aire libre durante tres meses. Luego, se trasladan a un lugar cubierto para

completar el proceso de secado ambiental durante varios meses más. (Hidalgo-Cordero & Aza-Medina, 2023)

Este enfoque en la selección y preparación de la materia prima garantiza la calidad y la integridad de los prototipos producidos, al tiempo que respeta y valora la tradición y el conocimiento local relacionado con el uso de la totora en la región de Cuenca.

2.1.2. Trituración

Para iniciar el proceso, se llevó a cabo una inspección exhaustiva de los implementos a utilizar, garantizando su completa limpieza y correcto funcionamiento. Además, se seleccionó un recipiente con tapa para almacenar la totora triturada y así minimizar la absorción de humedad ambiental. La trituración de los tallos de totora se inició cortando los tallos en segmentos de 4 a 8 cm, con el fin de mejorar su maleabilidad durante el proceso. Posteriormente, se procedió al triturado a máquina, para este propósito se utilizó una licuadora común de cocina marca Oster (Figura 10).

Material	Herramienta	Resultado
Tallos de totora de 4-8cm	Licuadora doméstica Oster	Totora triturada sin tamizar
		

Figura 10. Trituración de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

La totora se trituró en porciones de aproximadamente 32 gramos a una velocidad constante de 1 durante lapsos de 4 minutos, repitiendo este proceso cinco veces (Figura 11). Durante cada intervalo de 4 minutos, se aseguraba de reorganizar la totora dentro de la licuadora para garantizar que todo el material se triturara.

Porción de 32 gramos de totora	Totora después de triturarla 5 veces por 4 minutos
	

Figura 11. Proceso de trituración. Fuente: Elaboración propia (2024)

2.1.3. Tamizado de partículas de totora

El proceso de tamizado inicia con la selección de tamices para obtener tres tamaños distintos de partículas, dejando de lado el cuarto tamaño, que consistía en el tallo entero según lo indicado en la investigación. Para asegurar la precisión en la obtención de los tamaños requeridos, se emplearon un total de cuatro tamices, cada uno de ellos seleccionado debido a su certificación conforme a los exigentes estándares establecidos por la norma ASTM E-11. Esta certificación garantiza la exactitud y

confiabilidad del proceso de tamizado utilizado en la separación de materiales granulares según su tamaño de partícula.

N.º de tamiz	Tamaño de abertura (mm)
8	2,38
16	1,19
30	0,595
50	0,297

Tabla 1. Tamices y abertura. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 12. Especificación Tamiz No.8. Fuente: Elaboración propia (2024)

Durante el tamizado además de los tamices ya antes mencionados se utilizó una balanza analítica y de precisión Adventurer™ Pro AV8101C, para poder tomar los datos de peso que se necesitarán para reportar los porcentajes de totora resultante en cada tamiz. El proceso fue el siguiente:

1. Se procedió a pesar individualmente cada tamiz vacío con el fin de que finalizado el tamizado se pueda obtener con precisión el peso exacto de la totora resultante por separado. Las unidades se muestran en gramos.



Figura 13. Peso de tamices. Fuente: Elaboración propia (2024)

- 2. Se tamizó en porciones pequeñas, se optó por 45 gramos de fibra de totora triturada debido al tamaño de cada tamiz.



Figura 14. Totora triturada antes del tamizado. Fuente: Elaboración propia (2024)

- 3. La muestra fue sometida a un proceso de tamizado tridimensional manual, incorporando movimientos verticales junto con rotaciones simultáneas. Este método proporcionó una separación más eficaz de las partículas. Los movimientos combinados se mantuvieron consistentemente durante un periodo de dos minutos para cada porción de fibra, asegurando así una distribución homogénea y efectiva.
- 4. Se procedió a pesar cada tamiz con la fibra contenida para poder obtener los porcentajes retenidos de fibra promedio por cada tamiz y el porcentaje que pasa por el mismo (Tabla 2).
- 5. Además, se realizó un gráfico de dispersión que representa a la curva granulométrica. En donde se representa al tamaño de abertura en

escala logarítmica, con relación al porcentaje que pasa de fibra (Figura 16).

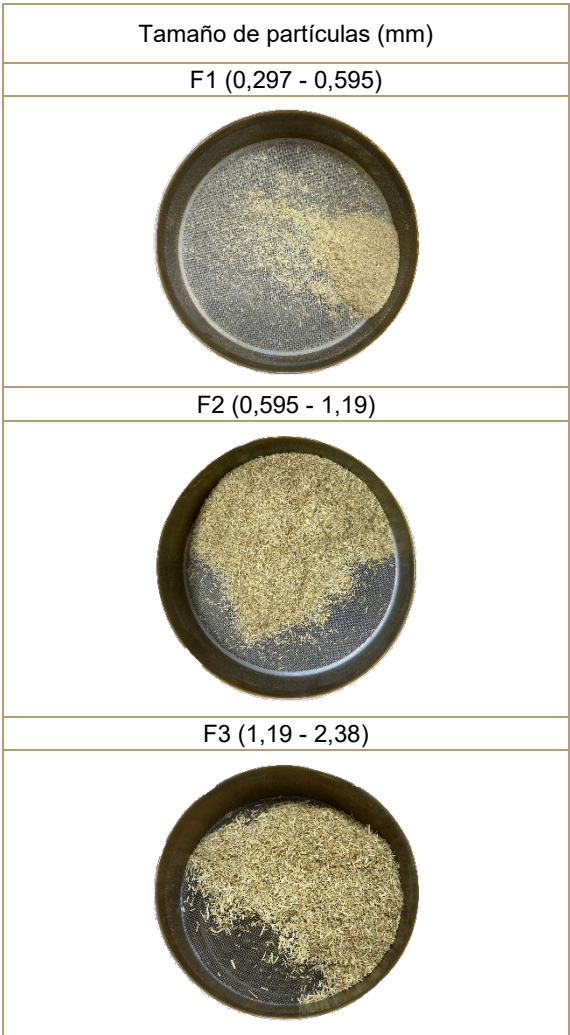


Figura 15. Clasificación de partículas. Fuente: Elaboración propia (2024)

Porcentajes de partículas de totora por tamiz							
Nº de tamiz	Tamaño de abertura (mm)	Peso tamiz (g)	Peso fibra + tamiz (g)	Fibra retenida (g)	Fibra que pasa (g)	Porcentaje de fibra retenida (%)	Porcentaje de fibra que pasa (%)
8	2,38	481,4	484,8	3,4	41,6	8%	92%
16	1,19	442,8	460,9	18,1	23,6	40%	52%
30	0,595	374,7	392,4	17,7	5,9	39%	13%
50	0,297	344,3	349,1	4,8	1,2	11%	3%
base		458,7	459,9	1,2	0	3%	0%
Total (45g)				45,1	-	100%	-

Tabla 2. Porcentajes de partículas de totora por tamiz. Fuente: Elaboración propia (2024)

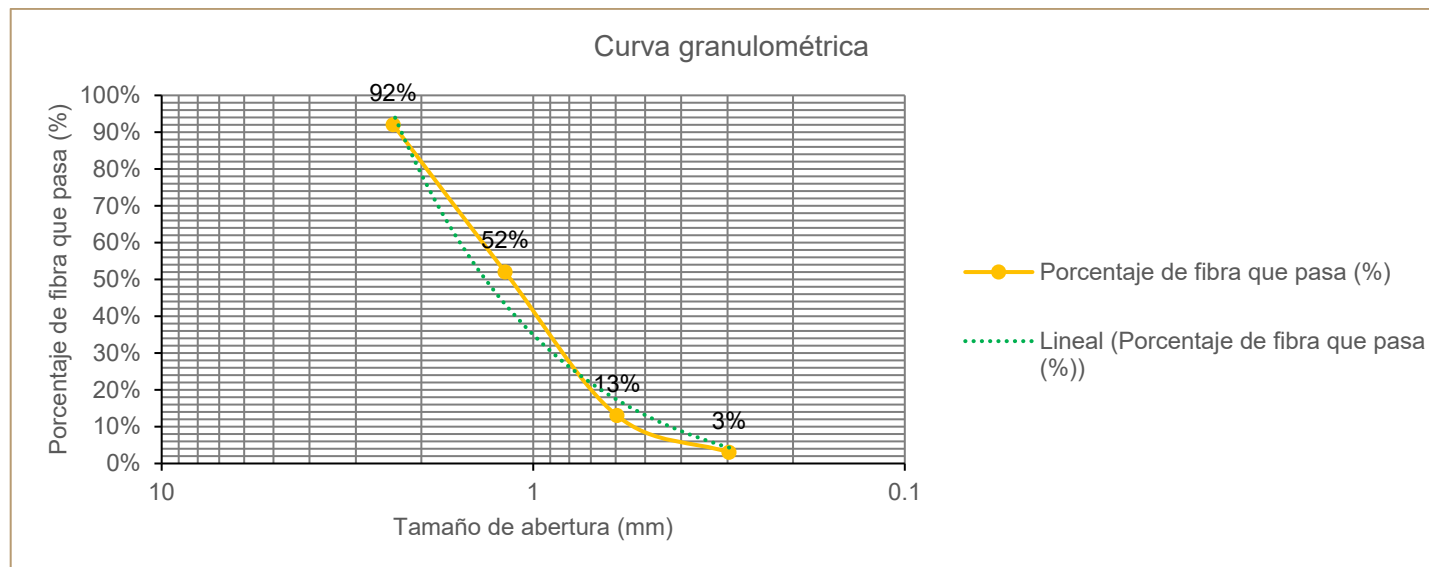


Figura 16. Gráfico de curva granulométrica. Fuente: Elaboración propia (2024)

6. Finalmente, se clasificó la fibra. Los tres tamaños se seleccionaron descartando el material retenido en el tamiz No. 8 y el contenido en la base.

Tamaños de partículas (mm)	Código	No. de Tamiz	Tamices
>2,38	-	8	
1,19 - 2,38	F3	16	
0,595 - 1,19	F2	30	
0,297 - 0,595	F1	50	
<0,297	Base	Base	

Tabla 3. Clasificación de tamaños de partículas y tamices. Fuente: Elaboración propia (2024)

2.2. Elaboración de prototipos

En el siguiente apartado se explicó el método y los materiales necesarios para la fabricación de los prototipos de totora. Se realizaron diversas pruebas con distintos materiales y cantidades hasta alcanzar los resultados finales adecuados, conformando el apartado de antecedentes de la siguiente sección. Tras analizar los resultados, se seleccionaron materiales específicos, entre los cuales se incluyó el uso de una resina polimérica especial como pegamento; se optó por el cemento de contacto debido a su idoneidad para el propósito.

Además, se aplicó una presión de prensado específica durante el proceso, junto con el empleo de totora en diferentes tamaños. Durante la elaboración, se siguieron procesos estandarizados aplicables, seleccionando las regulaciones asociadas a la madera debido a su similitud con la totora. Inicialmente, se trituró el material, seguido de un proceso de tamizado para clasificarlo por tamaño, resultando en un total de 24 probetas, con 6 muestras de cada tamaño de partículas.

Los moldes se diseñaron con dimensiones precisas para obtener las medidas requeridas según los parámetros establecidos. Optando por tableros triplex, se aseguró la facilidad en su desencofrado y la posibilidad de reutilización. Además, sometiendo las probetas a un proceso de secado en horno, justificado mediante estudios previos, se garantizó su estabilidad y uniformidad antes de su uso en las pruebas y análisis correspondientes.

2.2.1. Antecedentes

Inicialmente, se realizaron pruebas utilizando moldes de acero galvanizado (Figura 17). Aunque el sistema de desencofrado mostró resultados satisfactorios y la resistencia del material a las altas temperaturas fue adecuada, se presentaron problemas significativos durante el proceso de fabricación. La complejidad radicaba en el tiempo requerido y la dificultad de los cortes necesarios debido al pequeño tamaño de los moldes y las piezas, que resultaban complicadas de obtener y manipular. El acero galvanizado, pese a sus ventajas, no facilitó el corte preciso necesario, incrementando así la dificultad del proceso de manufactura.

En la siguiente prueba, se evaluaron moldes fabricados con tableros de melamina (Figura 18) para superar las dificultades encontradas con el acero galvanizado. Aunque el problema de obtener las piezas se resolvió satisfactoriamente, surgió una nueva complicación relacionada con la resistencia al calor. El material de melamina se hinchaba cuando se sometía a altas temperaturas, lo que resultó en una falla significativa en su desempeño.

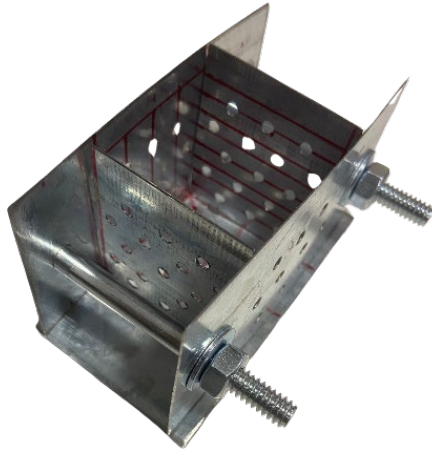


Figura 17. Molde de acero galvanizado. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 18. Molde de melamina. Fuente: Elaboración propia (2024)

Aparte de los problemas relacionados con los moldes, se presentaron dificultades con la resina polimérica utilizada. Inicialmente, se empleó un adhesivo en aerosol, y el procedimiento consistió en pesar la lata antes y

después de su aplicación, utilizando la diferencia de peso para determinar la cantidad de resina empleada.

Spray adhesivo antes de su uso	Spray adhesivo después de su uso
	

Figura 19. Spray adhesivo multiuso. Fuente: Elaboración propia (2024)

Proceso 1: En este procedimiento, se aplicaba adhesivo durante 3 segundos por cada capa de 5 mm de espesor (Figura 19). El principal inconveniente observado fue el desperdicio de fibra, ya que la presión del rociador dispersaba las partículas, causando pérdida de material. Además, al rociar el adhesivo en el molde, este se manchaba con la goma y la fibra. Posteriormente, los moldes se sometieron a un secado en horno a 70 grados centígrados durante 24 horas. Al desencofrar, los prototipos fallaron y se desintegraron completamente.

Proceso 2: En este procedimiento, se aplicaba adhesivo a la fibra dentro de un recipiente de vidrio antes de colocarla en el molde. El proceso consistía en rociar durante 5 segundos y mezclar hasta asegurar que toda la fibra estuviera cubierta de resina, repitiendo este ciclo cuatro veces por cada porción. Una vez colocada en el molde, se compactaba la mezcla aplicando presión con ocho golpes en cada lado por cada capa de 5mm. Aunque los

prototipos obtenidos mediante este método presentaron una menor degradación en comparación con el Proceso 1, aún se separaba parte de partículas al desencofrar.

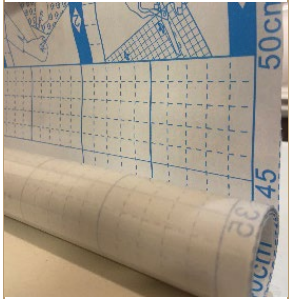
Proceso 1		
Molde cubierto de adhesivo	Prueba después del secado	Resultado después del desencofrado
		
Proceso 2		
Recipiente de vidrio con fibra y adhesivo	Molde con fibra compactada	Resultado después del desencofrado
		

Figura 20. Procesos de resultados que no cumplieron con las expectativas.
Fuente: Elaboración propia (2024)

Con base en los resultados no satisfactorios obtenidos con los materiales empleados para la construcción de moldes, se determinó realizar pruebas utilizando madera triplex de 6 mm, lo cual permitió superar las dificultades encontradas con los materiales anteriores. Respecto al adhesivo en aerosol y los métodos previamente mencionados, se observaron resultados desfavorables, como el desperdicio y la falta de control sobre la cantidad utilizada en cada prototipo. Como alternativa, se propuso el empleo de cemento de contacto líquido mezclado con disolvente, cuyo método de aplicación se detallará en la siguiente sección.

2.2.2. Elaboración de moldes

A partir de los resultados obtenidos en los antecedentes, fue necesario crear moldes específicos para la fabricación de los prototipos, capaces de soportar el proceso de encofrado y resistir adecuadamente la temperatura del horno sin presentar fallas. Se obtuvieron resultados adecuados utilizando tableros de madera triplex de 6 mm, manteniendo el mismo diseño empleado en los antecedentes, pero ampliando la base y la tapa para soportar el peso del prensado.

Materiales		
Tablero de madera triplex	Super bonder de precisión	Papel Contac
		

Lubricante	Pernos y arandelas	Nivel
		
Equipos		
Taladro	Sierra Caladora	
		

Figura 21. Materiales y equipos para elaboración de moldes. Fuente: Elaboración propia (2024)

En primer lugar, se procedió a cortar pedazos del tablero de madera triplex de espesor de 6mm con dimensiones específicas que permitieran obtener un espacio central de 40x40mm con una altura de 50mm (Figura 21). Esta medida se tomó considerando la posibilidad de que el prototipo pueda reducir su tamaño en alto debido a la presión ejercida durante la

construcción. La tapa y la base se hicieron cuadradas de 9x9cm para poder colocar las pesas u otros objetos para poder obtener la presión de prensado solicitada, evitando que las mismas puedan caer en el proceso de secado.

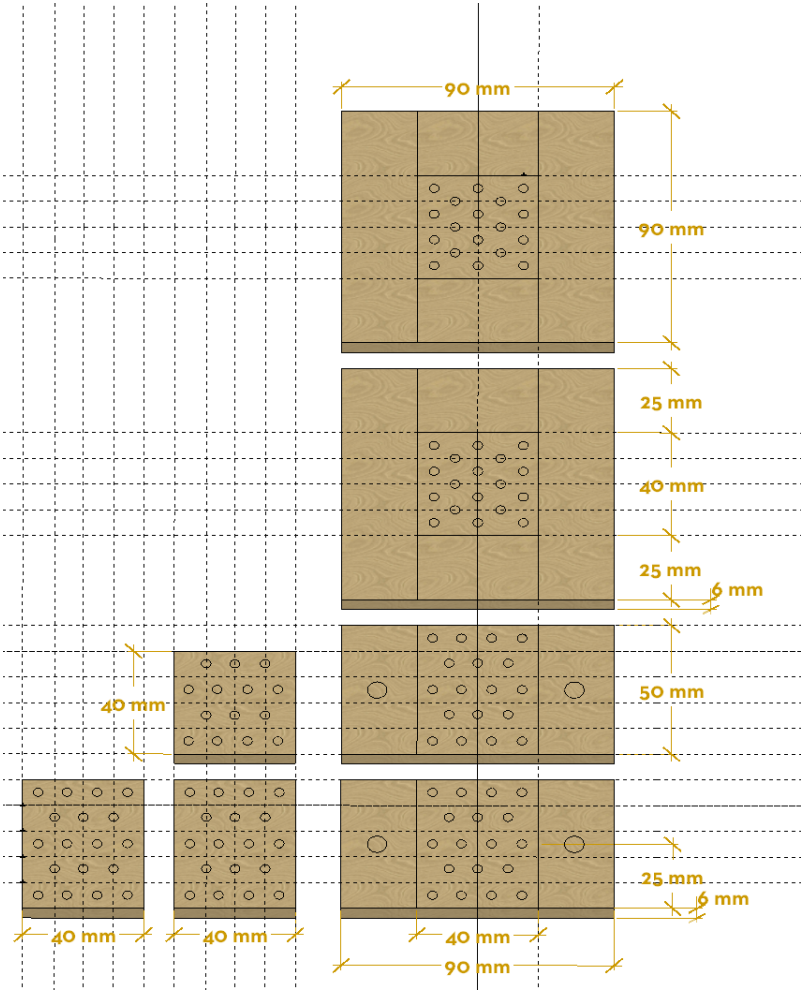


Figura 22. Gráfico de dimensiones de las piezas para cada probeta. Fuente: Elaboración propia (2024)

Además, se perforaron agujeros de 1/8" de diámetro en la zona central de cada pieza de manera ordenada utilizando el taladro. Esta disposición se llevó a cabo para facilitar la ventilación de la fibra una vez que se introduzca en el horno.

En las piezas de madera más largas, se realizaron agujeros de 1/4" en cada lado a la misma altura. Estos agujeros están diseñados para alojar pernos y arandelas de 1/4"-20 x 2 1/2", permitiendo que el molde funcione bajo presión y facilitando el desencofrado posterior para su reutilización sin inconvenientes.

Luego, se aplicó papel Contac en las paredes del molde donde se colocaría la totora, es decir, en los lugares que forman el cuadrado de 4x4x5cm donde se hicieron los agujeros. Esta medida se adoptó para evitar que el pegamento se adhiriera a las paredes del molde y evite dañarlo al desencofrar. Asimismo, se utilizó grasa lubricante para asegurar que el pegamento se deslice sobre el papel Contac de manera efectiva.



Figura 23. Moldes con papel Contac en el interior. Fuente: Elaboración propia (2024)

Para ensamblar el molde, y sea de fácil desencofrado de las probetas, se utilizó super bonder de precisión para adherir únicamente las piezas más pequeñas, de 4x5 cm, a la base. Esto resultó en la fijación de dos lados

paralelos, mientras que los otros dos más largos quedaron móviles y sujetos mediante pernos y arandelas, permitiendo un ajuste a presión.



Figura 24. Molde final de madera triplex. Fuente: Elaboración propia (2024)

2.2.3. Proceso de elaboración de prototipos

Los parámetros se establecieron previamente con el fin de realizar una evaluación exhaustiva y producir prototipos con características específicas. Esto permite diferenciar el estudio de otras investigaciones que comparten el mismo objetivo, pero emplean parámetros distintos.

Dimensiones	Cubos de 30x30mm
	Cilindros de 30 mm de diámetro, e=30mm
Tipo de pegamento	Resina Polimérica
Tamaños de partículas	0,297 - 0,595 mm / 0,595 - 1,19 mm / 1,19 - 2,38 mm / Tallo entero
Presión de prensado	0,1 kg/cm2

Tabla 4. Parámetros de elaboración de prototipos. Fuente Elaboración propia (2024)

Después de un exhaustivo proceso de prueba y error, y tras analizar las fallas observadas en los procesos previos, se lograron resultados que cumplieran con los objetivos establecidos. Para la fabricación de los prototipos se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

Materiales		
Moldes	Cemento de contacto (Africano)	Totora tamizada
		
Disolvente (diluyente para laca)	Recipiente de vidrio	Paletas de silicón
		

Nivel	Pesas	Piedras de río
		
Equipos		
Horno Modelo 4GC Lab Oven	Balanza de precisión AdventurerTm pro Av8101C	Anemómetro Kestrel 5500
		

Figura 25. Materiales para elaboración de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024)

El adhesivo utilizado con resultados óptimos que se utilizó en este estudio consistió en una resina polimérica, de tipo cemento de contacto, específicamente de la marca *Africano*, como se detalla en la Tabla 5. Este adhesivo de alto rendimiento es ampliamente empleado en diversas industrias, incluidas la maderera, calzado, automotriz y construcción. El cemento de contacto está compuesto por poli cloropreno o también conocidos como neopreno, el cual tiene una estabilidad química buena y su

flexibilidad se mantiene en un amplio rango de temperaturas. Es importante mencionar que el neopreno es un material similar a la goma con propiedades de aislamiento similares al caucho (Troughton Michael J., 2009).

Africano. Cemento de Contacto. Adheplast	
Materia prima básica	Poli cloropreno
Tipo	Disolución
Sólidos	20.5±0.5% (AF1)
	19±0.5% (AF4)
Viscosidad	2.400 ± 300CPS (AF1)
	2.200 ± 200CPS (AF4)
Color	Café amarillento
Olor	Solventes aromáticos

Tabla 5. Ficha técnica de cemento de contacto. Fuente: Elaboración propia, basada en Pintulac (s.f)

En cuanto a la presión de prensado, se aplicó una fuerza de 0.1 kg/cm2, un factor crucial para la evaluación final, ya que esta medida impacta directamente en la densidad final de los prototipos. Es importante destacar que el peso total aplicado fue de 1.6 kg, considerando que el área de cada prototipo fue de 16 cm2.

Por otra parte, se produjeron un total de 24 prototipos, con seis muestras correspondientes a cada tamaño de partícula. La determinación de los tamaños de las partículas se efectuó mediante el proceso de tamizado previamente descrito en la sección 2.1.3.

Para iniciar el proceso, se estableció una base de datos en Excel. En ella, se registró el código de cada prototipo para diferenciarlos y sus diversas variables. Todos los prototipos fueron sometidos a un proceso de secado en horno a 70 grados centígrados durante 24 horas. La temperatura se seleccionó basándose en los hallazgos de un estudio científico publicado por la revista Nature. El artículo titulado "Influence of drying on coconut fibers" sugiere que una temperatura de secado de 70 °C ofrece resultados óptimos, proporcionando compuestos reforzados con fibras que exhiben buena resistencia a la tracción y adecuada ductilidad (Martinelli et al., 2024). Se eligió esta referencia específica porque la fibra de coco comparte características similares con la fibra de totora, y actualmente no existen investigaciones que evalúen el mismo proceso con la totora.

Como resultado de la investigación antes mencionada, se observó que las fibras secadas en hornos a temperaturas superiores a los 100 °C mostraron una mayor resistencia a la tracción en comparación con aquellas secadas a temperaturas inferiores o al aire libre. Sin embargo, estas fibras presentaron una menor ductilidad, lo que significa que se deforman menos antes de romperse, exhibiendo un comportamiento más frágil. Además, se menciona que no hay diferencias estadísticas significativas en la resistencia entre las fibras secadas a 100 °C y aquellas a 70 °C, pero sí en cuanto a la deformación bajo tensión (Martinelli et al., 2024).

A continuación, se explican los pasos para la elaboración de prototipos F1-F2-F3, que corresponden a todos los tamaños de fibras tamizadas. El siguiente procedimiento se repite en todos los prototipos, a excepción de los de tallos enteros (F4) que tuvieron un procedimiento distinto.

1. Se pesó el molde a utilizar y se lo codificó. A pesar de que se construyeron seis moldes y todos con las mismas características, era necesario pesar antes de iniciar cada proceso debido a que por el calor del horno el tablero de trípex tiende a variar su peso.



Figura 26. Codificación de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 27. Peso del molde. Fuente: Elaboración propia (2024)

2. Calibrar la balanza en cero y colocar la fibra a utilizar en el molde para poder saber cuánta fibra se necesitará para llenar completamente el molde.



Figura 28. Molde con fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

3. Ya conocida la cantidad necesaria procedimos a utilizar el recipiente de vidrio para pesar en ella la cantidad de fibra que se va a utilizar.



Figura 29. Recipiente de vidrio. Fuente: Elaboración propia (2024)

4. Con el fin de obtener el aglutinante requerido, se diluyó al cemento de contacto con disolvente, dado que su consistencia intrínseca resultó demasiado viscosa para la aplicación deseada. En base a pruebas previas, se consiguió un resultado bueno con una dosificación de aglutinante de 1:1.
5. Para la cantidad de aglutinante para la fibra F1, F2 Y F3 se ocupó la siguiente fórmula:

$$A = 2 \times (2F + 15\%(2F))$$

Donde:

A es el peso total de aglutinante (g).

F es el peso de fibra de totora (g).

P2 Fibra (g)	Dosificación aglutinante	P3 Aglutinante (g)	P. Resina polimérica (g)
12	1:1	55,2	27,6

Tabla 6. Ejemplo de cálculo de aglutinante. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 30. Aglutinante para 12g fibra. Fuente: Elaboración propia (2024)

6. Se mezcló la fibra con el aglutinante, hasta conseguir que toda la fibra sea cubierta.



Figura 31. Fibra de totora con aglutinante. Fuente: Elaboración propia (2024)

7. Se aplicó el lubricante tanto en la tapa como en el interior del molde para evitar que la mezcla se adhiriera a las paredes y cause problemas durante el desmoldado.



Figura 32. Molde con lubricante. Fuente: Elaboración propia (2024)

8. Se colocó la mezcla en el molde en capas de 5 mm, compactando cada capa con 8 golpes en cada lado, sumando un total de 36 golpes por capa.
9. Se pesó el molde con su contenido para determinar el peso total. Este valor sirvió para conocer el peso neto de la fibra más la resina antes del secado, y así comparar con el peso neto de la fibra y la resina después del secado.



Figura 33. Peso total de molde y contenido del prototipo. Fuente: Elaboración propia (2024)

10. La tapa, junto con las pesas o piedras utilizadas, se pesaron en una balanza de precisión para conocer la presión de prensado aplicada a cada prototipo.



Figura 34. Presión de prensado. Fuente: Elaboración propia (2024)

11. Se colocó la tapa utilizando un nivel para asegurar que la presión ejercida sobre ella fuera uniforme en todo el prototipo.

12. Ingreso de la probeta al horno, el horno que se ocupó fue un horno Modelo 4GC Lab Oven, a una temperatura de 70 °C.

13. Después de completar el período de secado de 24 horas, se procedió al desencofrado. Este proceso comenzó con la extracción de los pernos ubicados en los lados más largos del molde. A continuación, se retiraron ambas piezas laterales y, con la ayuda de un estilete, se extrajo el prototipo del molde con cuidado, asegurando que su forma cúbica se mantuviera intacta.



Figura 35. Proceso de desencofrado de prototipo de fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el proceso de los prototipos con la fibra 4, correspondiente al tallo entero, se realizaron ajustes en la metodología de construcción previamente descrita. Entre los cambios implementados se incluyen la modificación de la fórmula del aglutinante y el tratamiento previo del tallo antes de su uso (Figura 36). Los tallos fueron lijados para remover la capa exterior brillante, garantizando así una mejor adherencia del aglutinante y mejorando la cohesión estructural del prototipo.

Cortar y lijar la totora de 4cm	Fórmula de aglutinante para tallo entero	Mezcla de tallos con aglutinante
	$A = (2F)$ Donde: A es el peso de aglutinante (g). F es el peso de fibra de totora (g).	
Colocar por capas a los tallos alternando su dirección. 8-9 tallos por capa.	Peso de tallos y aglutinante total	Proceso de desencofrado de prototipos de tallo entero
		

Figura 36. Proceso prototipo tallo entero. Fuente: Elaboración propia (2024)

Durante el proceso, se registraron los valores en la base de datos de Excel previamente mencionada, de manera simultánea a la elaboración de cada prototipo. Estos valores permiten controlar las cantidades de material utilizadas para cada probeta. A continuación, se detallan las variables registradas.

- Código: Corresponde a la codificación, que determina tamaño de fibra y número de prototipo.
- Tamaño de fibra: Valor en milímetros que especifica el tamaño de partícula utilizado.
- P1: Peso neto en gramos del molde utilizado.
- P2: Peso de la fibra utilizada por cada prototipo en gramos.
- P3: Peso del aglutinante total que se necesita en gramos, calculado por la fórmula específica antes mencionada.
- P. Resina polimérica: Peso solo del cemento de contacto.
- P4: Peso total. Suma del peso del molde, fibra y aglutinante.
- P5: Peso del prototipo (fibra y aglutinante antes del secado). Diferencia del peso total P4 y el peso del molde P1.
- Peso fibra seca: Peso del prototipo al salir del horno después de 24 horas de secado.
- Peso aglutinante después del secado: Diferencia entre peso de fibra seca y peso de fibra inicial P2, se tiene el peso del aglutinante.

Para complementar, se recogieron datos de la temperatura ambiente y la humedad relativa en el laboratorio donde se fabricaron los prototipos.

Fibra 1 (0.297-0.596mm)

Para la fibra 1, la cantidad utilizada varió en un rango de 1 gramo, empleándose entre 11 y 12 gramos de fibra por cada prototipo. Se observó que este tamaño de partícula requería una mayor cantidad de fibra debido a su menor tamaño y su capacidad para absorber el aglutinante instantáneamente. En cuanto al secado, esta fibra presentó menos porosidad, lo que permitió que el aglutinante se mantuviera en su lugar. En contraste, en fibras de mayor tamaño, el aglutinante tendía a derramarse a través de los orificios del molde al recibir calor.

En cuanto al aglutinante, se observó una significativa reducción al recibir calor. Según los datos registrados, el peso inicial del aglutinante disminuyó considerablemente tras el proceso de secado. Comparando los valores iniciales y finales del aglutinante, se evidenció una reducción del 89% al 93%.

Código	P1 Molde (g)	P2 Fibra (g)	P3 Aglutinante (g)	P4 (P1+P2+P3) (g)	P5 (P4-P1) (g)	Peso de prensado (g)	Peso fibra secada (g)	Peso aglutinante después de secado
F1_01	115,3	12	55,2	169,2	53,9	1637,5	17	5
F1_02	114,2	12	55,2	174,7	60,5	1604,8	15,9	3,9
F1_03	114,5	11	50,6	167,4	52,9	1645,6	16,7	5,7
F1_04	113	11	50,6	168,1	55,1	1605,7	14,3	3,3
F1_05	113,7	12	55,2	173,3	59,6	1609,8	16,1	4,1
F1_06	115,4	12	55,2	173,5	58,1	1647,3	17,5	5,5

Tabla 7. Tabulación de datos Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)

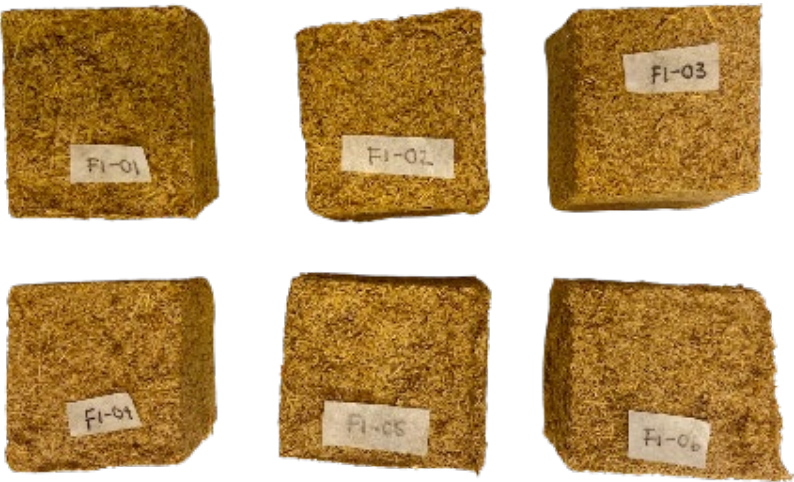


Figura 37. Prototipos F1 (0.297-0.596mm) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024)

Fibra 2 (0,595 - 1,19 mm)

Para la fibra 2, la cantidad utilizada varió entre 10 y 12 gramos por probeta, con una fluctuación de 1 a 2 gramos. Esta variación se debió a la presión de prensado, que comprimía la fibra y reducía sus dimensiones, requiriendo así mayor cantidad de material. Se observó que, para este tamaño de fibra, la construcción de los prototipos resultó más maleable al combinarse con el aglutinante. Durante el secado, el aglutinante prácticamente no se derramó, ya que el tamaño de la fibra no era ni demasiado pequeño ni demasiado grande, dejando que la resina se mantuviera en su gran parte en el prototipo.

Con respecto al aglutinante, se observó que, de manera similar a la fibra 1, experimentó una reducción notable durante el proceso de secado. Al comparar los valores iniciales y finales del aglutinante, se evidenció una reducción del 89% al 94%, presentando una disminución similar a la observada en el caso de la fibra 1.

Código	P1 Molde (g)	P2 Fibra (g)	P3 Aglutinante (g)	P4 (P1+P2+P3) (g)	P5 (P4-P1) (g)	Peso de prensado (g)	Peso fibra secada (g)	Peso aglutinante después de secado
F2_01	115	10	46	161,8	46,8	1637,6	15,2	5,2
F2_02	114,2	10	46	160,5	46,3	1682,3	14,2	4,2
F2_03	112,7	10	46	159	46,3	1609,2	12,8	2,8
F2_04	113,2	10	46	158,8	45,6	1660,8	13	3
F2_05	114,2	11	50,6	166,5	52,3	1645,5	14,7	3,7
F2_06	114,4	12	55,2	169,1	54,7	1636,6	16,8	4,8

Tabla 8. Tabulación de datos Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 38. Prototipos F2 (0.595-1.19mm) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024)

Fibra 3 (1.19 – 2.38 mm)

La cantidad utilizada por prototipo se mantuvo en 11 gramos. Este tamaño de fibra mostró una maleabilidad comparable a la de la fibra 2 al mezclarse con el aglutinante. Durante el proceso de secado, se registró un significativo derrame del aglutinante, ya que el mayor tamaño de las fibras permitió que el aglutinante se filtrara a través de los espacios entre las partículas. A pesar de utilizar la misma cantidad de fibra, se observó una diferencia en los pesos de la fibra seca, atribuida a problemas durante el desencofrado. Parte de la fibra se adhirió a las paredes del molde, provocando una pérdida de material y, en consecuencia, una variación en el peso final.

En cuanto al aglutinante, se observó que, de manera similar a las fibras 1 y 2, experimentó una reducción notable durante el proceso de secado. Al comparar los valores iniciales y finales del aglutinante, se evidenció una reducción del 88% al 94%, presentando una disminución similar a la observada en los casos de las fibras 1 y 2.

Código	P1 Molde (g)	P2 Fibra (g)	P3 Aglutinante (g)	P4 (P1+P2+P3) (g)	P5 (P4-P1) (g)	Peso de prensado (g)	Peso fibra secada (g)	Peso aglutinante después de secado
F3_01	116,1	11	50,6	169,1	53	1646,9	15,9	4,9
F3_02	114,3	11	50,6	166,2	51,9	1661,3	14,4	3,4
F3_03	115,4	11	50,6	165,6	50,2	1601,9	14,3	3,3
F3_04	115,2	11	50,6	164,3	49,1	1607,7	14	3
F3_05	116,5	11	50,6	168,5	52	1637,2	17,1	6,1
F3_06	115,4	11	50,6	167,5	52,1	1605,7	15,3	4,3

Tabla 9. Tabulación de datos Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 39. Prototipos F3 (1.19-2.38 9mm) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024)

Fibra 4 (tallo entero)

A diferencia de las fibras 1, 2 y 3, los prototipos de tallo entero, debido a su tratamiento distinto, mantuvieron una cantidad constante de fibra de 11 gramos. La cantidad de aglutinante varió, ya que las pruebas indicaron que la fórmula utilizada en las fibras anteriores resultaba en un exceso de aglutinante. Además, una característica notable es que el peso de la fibra seca fue significativamente menor en comparación con las otras fibras.

En cuanto al aglutinante, después del secado, se observó una reducción tan drástica que los valores obtenidos fueron negativos. Esto indica que el tallo absorbió el aglutinante por completo, resultando en una disminución del 97% al 103% en comparación con la cantidad inicial de aglutinante. Por otro lado, la presión de prensado aplicada hizo que los tallos se comprimieran considerablemente, lo que resultó en una pérdida significativa de dimensión en los prototipos.

Código	P1 Molde (g)	P2 Fibra (g)	P3 Aglutinante (g)	P4 (P1+P2+P3) (g)	P5 (P4-P1) (g)	Peso de prensado (g)	Peso fibra secada después (g)	Peso aglutinante después de secado
F4_01	116,6	11	33	150	33,4	1602,3	11,6	0,6
F4_02	116,2	11	33	142,3	26,1	1637,8	10,9	-0,1
F4_03	116,9	11	33	145,9	29	1646,5	12,1	1,1
F4_04	116	11	33	142,8	26,8	1605,3	11,2	0,2
F4_05	114,9	11	33	141,4	26,5	1609,2	10,9	-0,1
F4_06	116,8	11	33	142,7	25,9	1638,7	10	-1

Tabla 10. Tabulación de datos Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 40. Prototipos F4 (tallo entero) sin mecanizar. Fuente: Elaboración propia (2024)

Código	Tamaño de fibra (mm)	P1 Molde (g)	P2 Fibra (g)	P3 Aglutinante (g)	P. Resina polimérica (g)	P4 (P1+P2+P3) (g)	P5 (P4-P1) Solo fibra y aglutinante antes de secado (g)	Peso de prensado (g)	Peso fibra seca (g)	Peso resina después de secado (g)	T. prom ingreso (°C)	H. relativa prom. ingreso	T. prom salida (°C)	H. relativa prom. salida
F1_01	0,297-0,595	115,3	12	55,2	27,6	169,2	53,9	1637,5	17	5	18	52,2	18,1	67,7
F1_02	0,297-0,595	114,2	12	55,2	27,6	174,7	60,5	1604,8	15,9	3,9	18	52,2	18,1	67,7
F1_03	0,297-0,595	114,5	11	50,6	25,3	167,4	52,9	1645,6	16,7	5,7	20,7	58,4	20,6	67,4
F1_04	0,297-0,595	113	11	50,6	25,3	168,1	55,1	1605,7	14,3	3,3	20,7	58,4	20,6	67,4
F1_05	0,297-0,595	113,7	12	55,2	27,6	173,3	59,6	1609,8	16,1	4,1	18	52,2	18,1	67,7
F1_06	0,297-0,595	115,4	12	55,2	27,6	173,5	58,1	1647,3	17,5	5,5	18	52,2	18,1	67,7
F2_01	0,595-1,19	115	10	46	23	161,8	46,8	1637,6	15,2	5,2	20,7	58,4	20,6	67,4
F2_02	0,595-1,19	114,2	10	46	23	160,5	46,3	1682,3	14,2	4,2	20,7	58,4	20,6	67,4
F2_03	0,595-1,19	112,7	10	46	23	159	46,3	1609,2	12,8	2,8	20,7	58,4	20,6	67,4
F2_04	0,595-1,19	113,2	10	46	23	158,8	45,6	1660,8	13	3	20,7	58,4	20,6	67,4
F2_05	0,595-1,19	114,2	11	50,6	25,3	166,5	52,3	1645,5	14,7	3,7	20,4	58,4	20,1	57,6
F2_06	0,595-1,19	114,4	12	55,2	27,6	169,1	54,7	1636,6	16,8	4,8	20,4	58,4	20,1	57,6
F3_01	1,19-2,38	116,1	11	50,6	25,3	169,1	53	1646,9	15,9	4,9	18,9	60,3	19,3	61,2
F3_02	1,19-2,38	114,3	11	50,6	25,3	166,2	51,9	1661,3	14,4	3,4	20,4	58,4	20,1	57,6
F3_03	1,19-2,38	115,4	11	50,6	25,3	165,6	50,2	1601,9	14,3	3,3	20,4	58,4	20,1	57,6
F3_04	1,19-2,38	115,2	11	50,6	25,3	164,3	49,1	1607,7	14	3	20,4	58,4	20,1	57,6
F3_05	1,19-2,38	116,5	11	50,6	25,3	168,5	52	1637,2	17,1	6,1	18,9	60,3	19,3	61,2
F3_06	1,19-2,38	115,4	11	50,6	25,3	167,5	52,1	1605,7	15,3	4,3	18,9	60,3	19,3	61,2
F4_01	Tallo entero	116,6	11	33	16,5	150	33,4	1602,3	11,6	0,6	18,9	60,3	19,3	61,2
F4_02	Tallo entero	116,2	11	33	16,5	142,3	26,1	1637,8	10,9	-0,1	19,3	61,2	19	62,9
F4_03	Tallo entero	116,9	11	33	16,5	145,9	29	1646,5	12,1	1,1	19	62,9	19,6	63,9
F4_04	Tallo entero	116	11	33	16,5	142,8	26,8	1605,3	11,2	0,2	19	62,9	19,6	63,9
F4_05	Tallo entero	114,9	11	33	16,5	141,4	26,5	1609,2	10,9	-0,1	19	62,9	19,6	63,9
F4_06	Tallo entero	116,8	11	33	16,5	142,7	25,9	1638,7	10	-1	19	62,9	19,6	63,9

Tabla 11. Tabulación de datos de prototipos aislantes térmicos de fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

03

EXPERIMENTACIÓN

ENSAYOS DE PROTOTIPOS



Capítulo III: Ensayos de prototipos

En el siguiente capítulo se presentarán los ensayos de laboratorio realizados para evaluar las propiedades de los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora. Los ensayos abarcarán pruebas de conductividad térmica, compresión, absorción de humedad y densidad, aspectos fundamentales para determinar la viabilidad del uso de la totora en aplicaciones prácticas. Cada ensayo será descrito detalladamente, incluyendo el tratamiento previo o preparación del prototipo, así como los procedimientos empleados, los materiales utilizados, el equipo necesario y la tabulación de los datos obtenidos.

Los ensayos mecánicos de laboratorio son esenciales para entender el comportamiento de los prototipos bajo diversas condiciones. Estos ensayos proporcionan información crucial sobre cómo el material responde a diferentes fuerzas y ambientes, lo cual es vital para comparar la totora con otros materiales utilizados como aislantes térmicos. La caracterización mecánica incluye pruebas de compresión, que evalúan la resistencia del material a cargas aplicadas, y pruebas de densidad, que permiten comprender la masa y estructura interna del material. Estos resultados serán fundamentales para determinar la idoneidad de la totora como aislante térmico en diversas aplicaciones constructivas.

La conductividad térmica es una propiedad clave que define la eficacia de un material como aislante térmico. En los ensayos de conductividad térmica, se medirá la capacidad de los prototipos de totora para conducir el calor, una propiedad crucial para su aplicación en la construcción de edificios energéticamente eficientes. La baja conductividad térmica es deseable en materiales aislantes, y estos ensayos permitirán comparar la eficacia de la totora con otros aislantes disponibles en el mercado. La absorción de humedad también será evaluada, ya que esta propiedad influye en la durabilidad y el rendimiento del material en condiciones de alta humedad.

La meta del estudio es desarrollar prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora que no solo cumplan con los estándares técnicos y mecánicos, sino que también sean una alternativa sostenible y ecológica. A través de estos ensayos, se buscará validar la eficacia de la totora como material aislante, contribuyendo a la innovación en la construcción sostenible y el aprovechamiento de recursos naturales renovables.

3.1. Ensayos en laboratorio

3.1.1. Absorción de humedad

Para el ensayo de absorción de humedad, no fue necesario someter las probetas a ningún proceso adicional de mecanización. Las probetas se utilizaron en el estado en que se presentaron en el apartado de elaboración de prototipos. Este ensayo es crucial para evaluar la capacidad de las probetas de totora para resistir la humedad ambiental, una característica esencial para cualquier material que se pretenda utilizar como aislante térmico en diversas condiciones.

Este ensayo es vital para comprender cómo los prototipos de totora se comportarían en entornos reales donde la humedad es un factor crítico. La capacidad de resistir la absorción de humedad no solo afecta la durabilidad del material, sino también su eficacia como aislante térmico, ya que la presencia de agua puede disminuir las propiedades aislantes al alterar su estructura interna. Por lo tanto, los resultados de este ensayo contribuirán significativamente a evaluar la viabilidad de la totora como un material de construcción sostenible y eficiente en términos energéticos. Debido a que no existe proceso estandarizado se asume la siguiente metodología:

Materiales

1. Balanza de precisión AdventurerTm pro Av8101C.

2. Balanza electrónica CAMRY ISO 9001. Modelo EHA501.
3. Anemómetro Kestrel 5500.
4. Horno marca Humboldt, modelo 40GC Series Lab Ovens.
5. Prototipos F1, F2, F3, y F4.



Figura 41. Materiales para ensayo de absorción de humedad. Fuente: Elaboración propia (2024)

Procedimiento

1. Registro del peso inicial: Medir y registrar el peso inicial de cada prototipo utilizando una balanza de precisión.
2. Medición de condiciones ambientales: Utilizando un anemómetro, registrar la temperatura y la humedad ambiental presentes en el laboratorio.
3. Preparación del horno: Ajustar la temperatura del horno a 70 °C para el proceso de secado.
4. Secado de los prototipos: Colocar los prototipos dentro del horno y mantenerlos a 70 °C durante un período de 24 horas.
5. Registro del peso seco: Extraer cada prototipo del horno y medir su peso seco con una balanza de precisión.
6. Registro de condiciones post secado: Con el anemómetro, registrar nuevamente la temperatura y la humedad ambiental.
7. Registro de peso periódico: Medir y registrar el peso de cada prototipo a intervalos de una hora y dos horas después del secado inicial. Se utilizó una balanza de mano que tenía la misma precisión que la balanza ocupada inicialmente.
8. Registro de peso extendido: Continuar midiendo y registrando el peso de cada prototipo a los siguientes intervalos: 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h y 192h.
9. Registro continuo de condiciones ambientales: Durante el período de observación de 8 días, registrar continuamente la temperatura y

la humedad ambiental coincidiendo con cada medición de peso de los prototipos.

Este procedimiento detallado garantiza la recopilación de datos precisos sobre la capacidad de absorción de humedad de los prototipos de totora.



Figura 42. Procedimiento de ensayo de absorción de humedad. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.1.2. Densidad

Para el ensayo de densidad, fue necesario realizar una mecanización previa de los prototipos. Este paso es crucial, ya que la precisión en la determinación de la densidad requiere que todos los lados de los prototipos estén completamente rectos, permitiendo así la obtención de un volumen exacto. La mecanización garantiza que las superficies sean planas y uniformes, eliminando cualquier irregularidad que pueda afectar la medición del volumen.

La densidad es un parámetro fundamental que influye en las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales. En el caso de los prototipos de totora, conocer su densidad es esencial para evaluar su rendimiento como aislante térmico. Una densidad adecuada puede indicar una buena compactación del material, lo cual es beneficioso para sus propiedades aislantes. Además, la densidad afecta la capacidad del material para soportar cargas y su resistencia al desgaste. La normativa a ocupar para el ensayo fue

Mecanización

La siguiente mecanización de los prototipos se realizará para prepararlos adecuadamente para los ensayos de densidad y compresión.

Materiales

1. Calibrador vernier.
2. Lijadora Orbital 125 MM / 12000 RPM.
3. Discos de lija para lijadora A60, A80.
4. Cuchilla.
5. Compás.

6. Regla y escuadra.



Figura 43. Materiales para mecanización de prototipos para ensayo de densidad.
Fuente: Elaboración propia (2024)

Procedimiento

1. Preparación de la lijadora orbital: Colocar la lijadora orbital sobre una mesa de trabajo de manera horizontal, asegurando que esté estable y lista para ser utilizada con facilidad. La velocidad utilizada fue de nivel 1.

2. Determinación de la base de referencia: Utilizando una regla y una escuadra, identificar el lado más recto del prototipo. Este lado servirá como base para tomar las medidas de cada lado y validar que estén a escuadra.
3. Marcado de cilindros: Para la creación de los cilindros, se utilizó un compás para trazar una circunferencia interna en dos lados paralelos del prototipo. Estas marcas deben estar niveladas y a escuadra entre sí.
4. Nivelación de los lados del cubo: Para nivelar los lados de los cubos, se utilizó una lija A080, que es más fina en comparación con la A60, permitiendo lijar los lados desiguales con mayor precisión y cuidado.
5. Lijado hasta la circunferencia: Con la ayuda de la lija A080, lijar hasta alcanzar la marca de la circunferencia trazada, asegurando una forma cilíndrica precisa.
6. Acabado del prototipo: Tanto los cubos como los cilindros se lijaron con la lija A060 para obtener un acabado final liso y uniforme.
7. Asegurar que los cilindros tengan un diámetro de 30 mm y que los cubos tengan lados mínimos de 30 mm. El tamaño de los cilindros se determinó en relación a la base de la máquina que se utilizará para los ensayos de conductividad.
8. Verificación de dimensiones: Como último paso, y de manera constante durante el procedimiento, medir cada lado del prototipo con un calibrador.

Este procedimiento garantiza que los prototipos tengan las dimensiones precisas y las superficies uniformes necesarias para obtener resultados exactos en los ensayos de densidad.



Figura 44. Procedimiento de mecanización de prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 45. Prototipos finales mecanizados. Fuente: Elaboración propia (2024)

Con los prototipos ya mecanizados y listos, se procederá a realizar el ensayo de densidad. Este ensayo es fundamental para determinar la masa por unidad de volumen de los prototipos y requerirá lo siguiente:

Materiales

1. Calibrador vernier.
2. Horno marca Humboldt, modelo 40GC Series Lab Ovens.
3. Balanza de precisión AdventurerTm pro Av8101C.

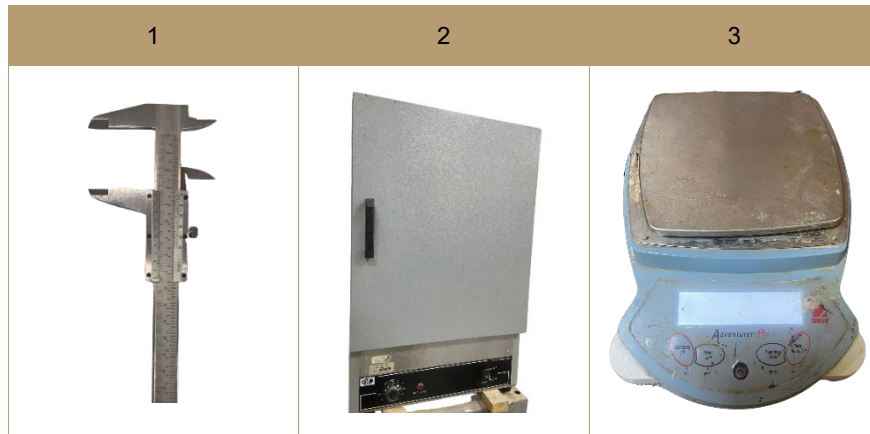


Figura 46. Materiales para ensayo de densidad. Fuente: Elaboración propia (2024)

Procedimiento

1. Medición de Dimensiones: Utilizar un calibrador Vernier para medir con precisión los lados de cada prototipo, registrando los datos de longitud (x), ancho (y) y altura (z). En el caso de los cilindros, medir el diámetro y la altura.
2. Ajuste del Horno: Configurar la temperatura del horno a 70 °C para el proceso de secado.
3. Secado de los Prototipos: Colocar los prototipos en el horno y mantenerlos a 70 °C durante 24 horas.
4. Registro del Peso Posterior al Secado: Tras el periodo de secado, retirar los prototipos del horno y registrar su peso para obtener la densidad anhidra.
5. Cálculo de la Densidad: Calcular la densidad utilizando la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ es la densidad anhidra (g/cm³).

m es la masa del prototipo (g).

v es el volumen del prototipo (cm³).

6. Normativa de Referencia: De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para estructuras de madera, se define la densidad seca al horno o anhidra como la relación entre el peso y el volumen de la madera en estado anhidro, es decir, con un contenido de humedad del 0% (NEC, 2015).

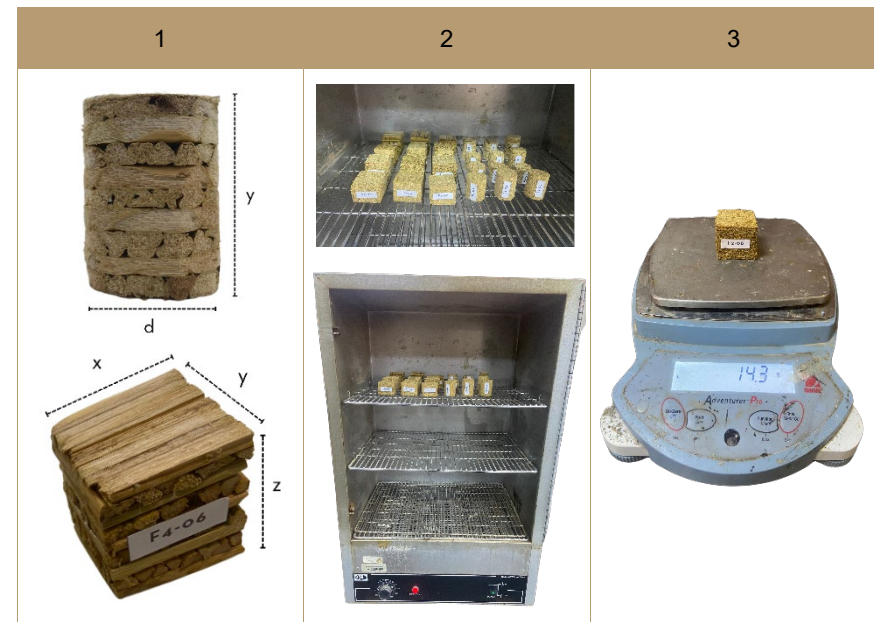


Figura 47. Procedimiento ensayo de densidad anhidra. Fuente: Elaboración propia (2024).

3.1.3. Compresión

Para el ensayo de compresión, se utilizaron los cubos mecanizados previamente en la sección del ensayo de densidad. Los prototipos se dejaron estabilizar durante un período mínimo de 7 días antes de proceder con el siguiente ensayo. A continuación, se detallan los materiales y equipos necesarios, así como el procedimiento del ensayo.

Materiales

1. Prototipos mecanizados tipo cubos F1, F2, F3 y F4.
2. Calibrador Vernier
3. Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN, equipada con una celda de carga de 20 kN y una articulación móvil para mejorar la sensibilidad.

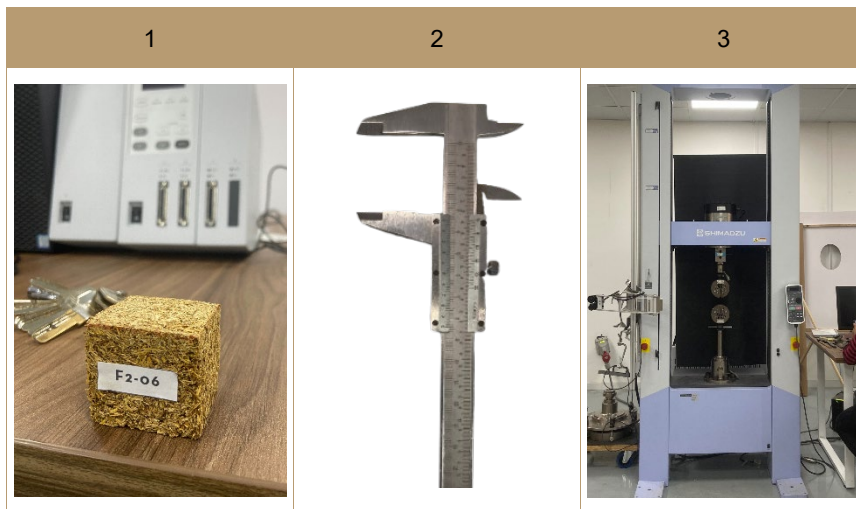
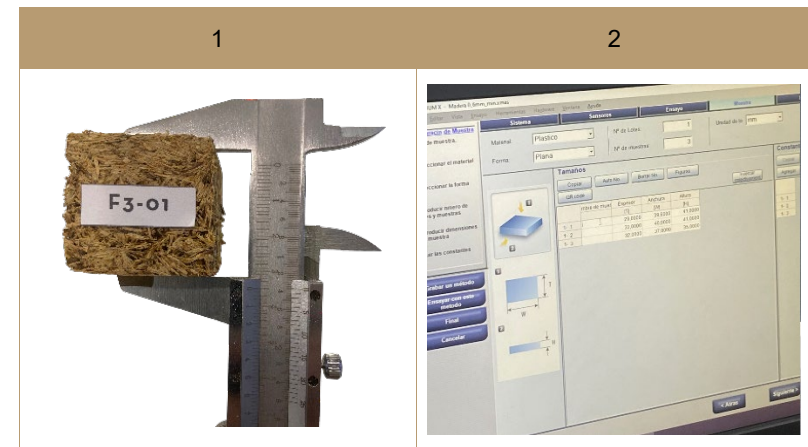


Figura 48. Materiales para el ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia (2024)

Procedimiento

1. Medición inicial: Utilizar el calibrador Vernier para medir las dimensiones exactas de cada cubo (largo, ancho y altura).
2. Configuración del equipo de ensayo: El ensayo se llevó a cabo utilizando la máquina Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN. La velocidad de carga se estableció en 0.6 mm/min, de acuerdo con las normas ISO-N314-22157 (2004).
3. Colocación de las probetas: Digitar el tamaño de cada probeta, se ensayó por tamaño de fibra. Colocar cuidadosamente cada cubo en la máquina de ensayo, asegurándose de que esté centrado y alineado correctamente.
4. Aplicación de la carga: Iniciar el ensayo aplicando una carga creciente de manera continua hasta que el cubo falle o se deforme permanentemente.
5. Registro de datos: Utilizar el software de datos para registrar la fuerza aplicada y la deformación correspondiente en tiempo real.



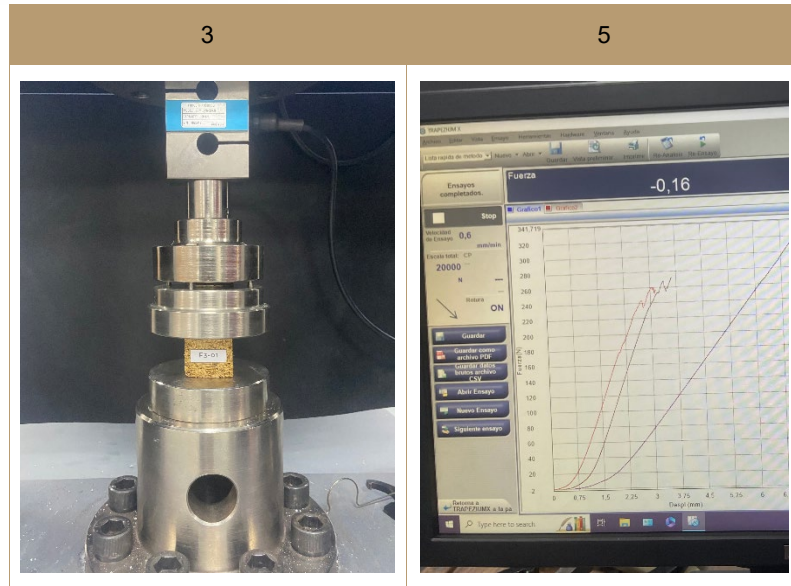


Figura 49. Procedimiento de ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.1.4. Conductividad térmica

El ensayo de conductividad térmica es crucial para determinar la capacidad de los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora para conducir el calor. Utilizando el método de "Conducción en paredes compuestas en estado estable", se evaluó cómo los prototipos manejan el calor en condiciones controladas. Para asegurar que los prototipos cumplieran con las dimensiones específicas requeridas por el equipo de ensayo, fue necesario mecanizarlos previamente. Esto implicó reducir los prototipos a discos de espesor y diámetro precisos para garantizar un ajuste adecuado en el dispositivo de medición.

Mecanización

Fue necesario reducir las probetas a pequeños discos de espesor reducido y con un diámetro de 3 mm.

Materiales

1. Lijas A99 y A080
2. Prototipos tipo cilindro F1, F2, F3 y F4
3. Cuchilla y calibrador

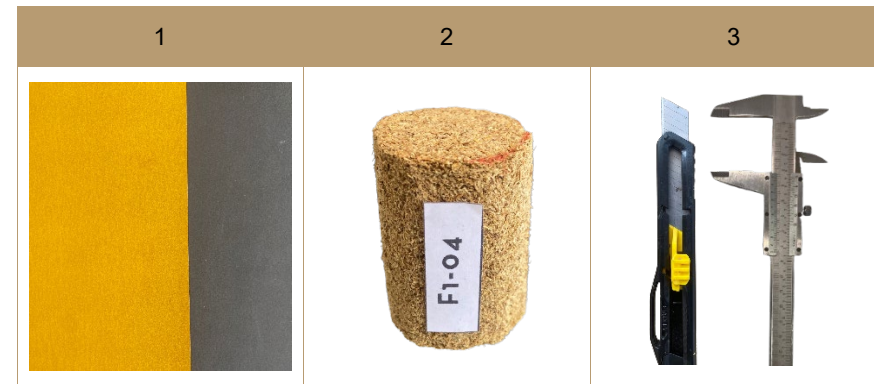


Figura 50. Materiales de mecanización para conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024)

Procedimiento

1. Corte inicial: Utilizar la cuchilla para cortar los cilindros en secciones.
2. Lijado preliminar: Usar la lija A080 para reducir los discos hasta alcanzar el grosor más fino posible.
3. Lijado de acabado: Emplear la lija A99 para lijar cuidadosamente los discos, asegurando que mantengan su forma, permanezcan

compactos y alcancen un espesor entre 1.5 y 3 mm para F1-F2-F3, y para el caso de tallo entero su espesor debe tener entre 6 y 7 mm.

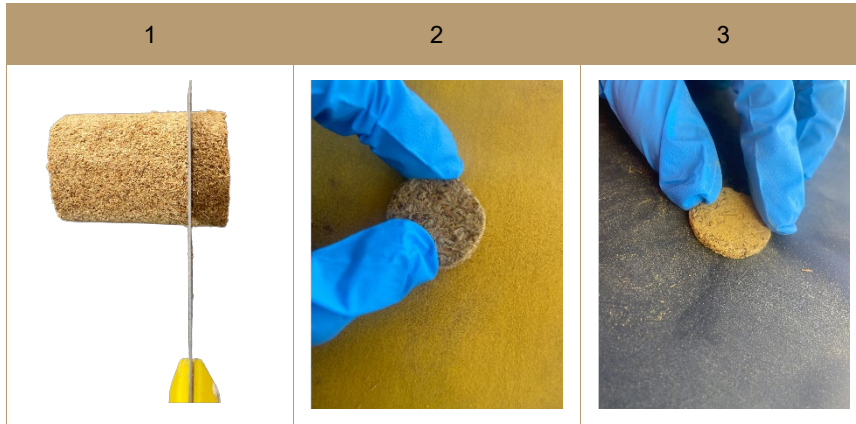


Figura 51. Procedimiento de mecanización para ensayo de conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 52. Resultado mecanización para conductividad. Fuente: Elaboración propia (2024)

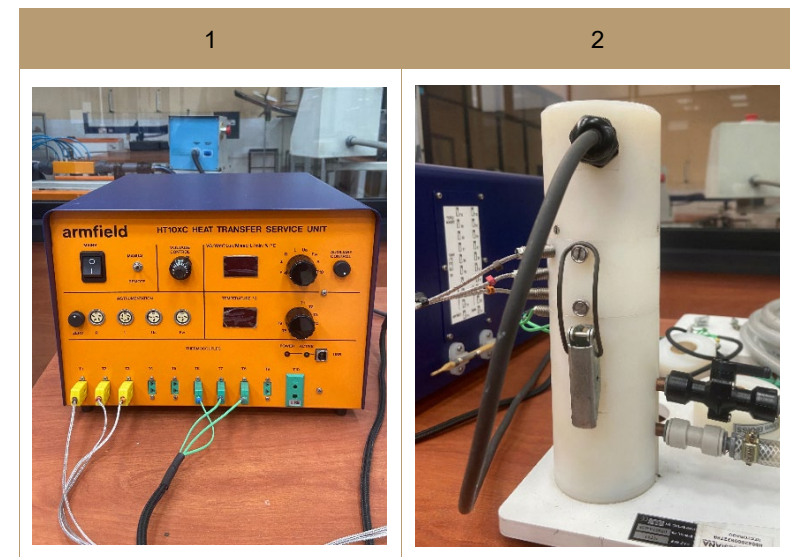
La codificación de los prototipos consistió en 6 dígitos. Los dos primeros dígitos de izquierda a derecha indicaban el tamaño de la fibra (F1, F2, F3, F4), los dos dígitos siguientes correspondían al número de la probeta de la

que se extrajo el disco mecanizado, y los dos últimos dígitos identificaban el número del disco. Una vez completado el proceso de mecanización, en el cual los prototipos fueron reducidos a discos de espesor y diámetro específicos, se procedió a realizar el ensayo de conductividad térmica.

El objetivo del ensayo fue medir el flujo de calor para el caso de conducción estable de calor a través de una pared plana, y calcular el valor del coeficiente de conductividad térmica del material.

Materiales

1. Unidad de servicio de transferencia de calor HT10CX.
2. Equipo de transferencia de calor de conducción lineal HT11.
3. Prototipos de totora mecanizados tipo disco F1, F2, F3 y F4.
4. Pasta térmica.



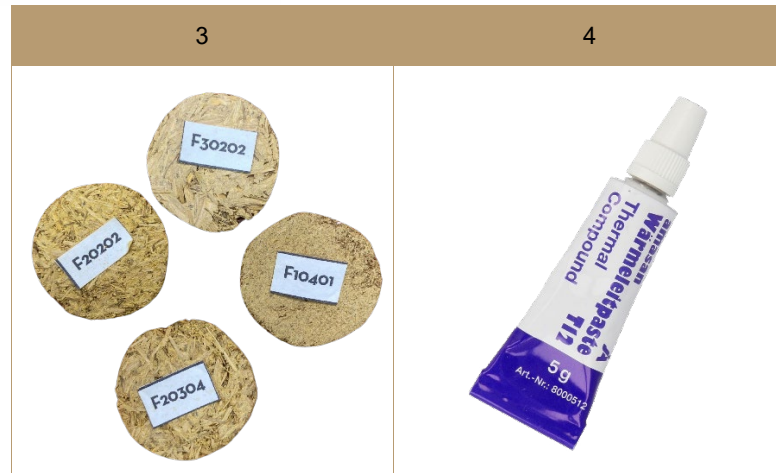


Figura 53. Materiales para ensayo de conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024)

Procedimiento

Para el siguiente ensayo se siguió la metodología descrita por el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, específicamente en la práctica titulada "Conducción en Paredes Compuestas en Estado Estable".

Como principio para el ensayo, se utilizó la ley de Fourier para conducción en paredes planas:

En los medios sólidos, la conducción es el único mecanismo posible para la transmisión del calor. Cuando estos cuerpos presentan un gradiente de temperatura en la dirección x , el calor se mueve desde la región con mayor temperatura hacia la región con menor temperatura. El calor transmitido por conducción, Q , es proporcional al gradiente de temperatura dT/dx y a la superficie A (Universidad Politécnica Salesiana, s. f.)

Constante	Medida	Unidad
Distancia entre Termocupla T1 y la superficie caliente	$X_{caliente} = 0.0375$	m
Distancia entre la superficie caliente y superficie fría	$X_{int} = 0.030$	m
Distancia entre la superficie caliente y la termocupla T8	$X_{fria} = 0.0375$	m
Diámetro de la barra	$D = 0.025$	m
Distancia entre cada termocupla	$d = 0.015$	m
Distancia entre termocuplas T3 y T6 y el borde de la barra	$X = 0.0075$	m
Conductividad del Bronce	121	W/m°C
Conductividad del Acero Inoxidable	25	W/m°C

Tabla 12. Valores constantes. Fuente: Elaboración propia, basado en Laboratorio de Mecánica - Universidad Politécnica Salesiana (2024)

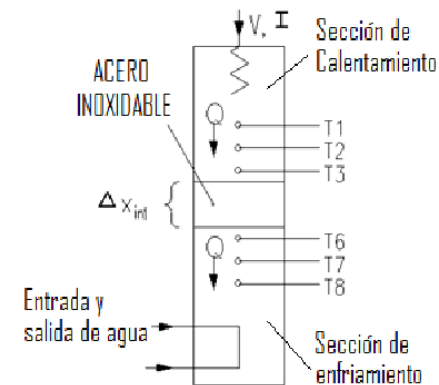


Figura 54. Dispositivo HT11. Fuente: Universidad Politécnica Salesiana (s. f.)

1. Creación de base de datos: Se desarrolló una base de datos en Excel para registrar la información del ensayo y realizar los cálculos del coeficiente de conductividad térmica k utilizando las fórmulas respectivas (Tabla 13).

Variable	Ecuación	Unidad
Flujo de calor	$Q = V * I$	W
Área transversal	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	m ²
Diferencia de temperatura en la sección compuesta	$\Delta T_{1-8} = T_1 - T_8$	°C
Temperatura en la sección de calentamiento	$T_{caliente} = T_3 - \frac{T_2 - T_3}{2}$	°C
Temperatura en la sección de enfriamiento	$T_{fría} = T_6 - \frac{T_6 - T_7}{2}$	°C
Diferencial de temperatura entre secciones	$\Delta T_{int} = T_{caliente} - T_{fría}$	°C
Coeficiente de Conductividad Térmica de la sección intermedia	$k_{int} = \frac{Q * \Delta x_{int}}{A_{int} * \Delta T_{int}}$	W/m °C
Resistencia al flujo de calor	$R = \frac{1}{U} = \frac{\Delta X_{caliente}}{k_{caliente}} + \frac{\Delta X_{inter}}{k_{inter}} + \frac{\Delta X_{fría}}{k_{fría}}$	1/°C
Coeficiente Global de transferencia de calor	$U = \frac{Q}{A(T_1 - T_8)} \quad U = \frac{1}{R}$	W/ m ² C
Gradiente de temperatura en la sección intermedia	$Grad_{inter} = \frac{\Delta T_{int}}{\Delta x_{int}}$	°C/m

Tabla 13. Ecuaciones calculadas con los valores obtenidos. Fuente: Elaboración propia, basado en Laboratorio de Mecánica - Universidad Politécnica Salesiana (2024)

2. Preparación y ajuste del equipo: Conectar los termopares a la unidad de servicio HT10XC, asegurándose de que cada termopar esté correctamente conectado en su zócalo correspondiente. Los puntos de conexión y terminales están numerados del 1 al 8; sin embargo, para este ejercicio no se conectaron los termopares T4 y T5.
3. Verificación de la conexión de la unidad de servicio: Asegurarse de que la unidad de servicio esté correctamente conectada. Esto incluye verificar que la conexión eléctrica esté acoplada a la parte posterior de la unidad y que la salida de 24 V (OUTPUT2) esté conectada a la sección de calentamiento.
4. Ubicación del dispositivo HT11: Colocar el dispositivo HT11, armado con las secciones a trabajar, al mismo nivel que la unidad de servicio HT10XC.
5. Encendido de la unidad de servicio: Encender la unidad de servicio HT10XC utilizando el botón de encendido en la parte superior izquierda de la unidad y verificar que el panel frontal se ilumine.
6. Ajuste del control del dispositivo: Seleccionar el modo MANUAL en el control del dispositivo y ajustar el voltaje inicial a 1.4V girando el control de voltaje de la del dispositivo HT10XC.
7. Estabilización del equipo: Dejar que el equipo se estabilice durante al menos 15 minutos. La estabilización se confirma cuando los datos de temperatura no varían durante un minuto.

8. Aplicación de la pasta térmica: Con el equipo estabilizado, aplicar la pasta térmica en las superficies de contacto de las secciones del dispositivo HT11.
9. Colocación de la probeta: Colocar la probeta en la superficie de contacto inferior del dispositivo.
10. Cierre del dispositivo HT11: Asegurar correctamente el dispositivo HT11 utilizando las agarraderas correspondientes.
11. Registro de temperaturas: Registrar las temperaturas de T2, T3, T6 y T7 a los 15 y 30 minutos para las probetas F1, F2 y F3. Para las probetas de tallo entero, registrar a los 15, 30, 45 y 60 minutos. Además, registrar el espesor de la probeta como 1.5 mm, que es el espacio entre las superficies de contacto.
12. Cálculo del coeficiente de conductividad térmica k : Calcular el coeficiente de conductividad térmica k utilizando la ecuación de Fourier.

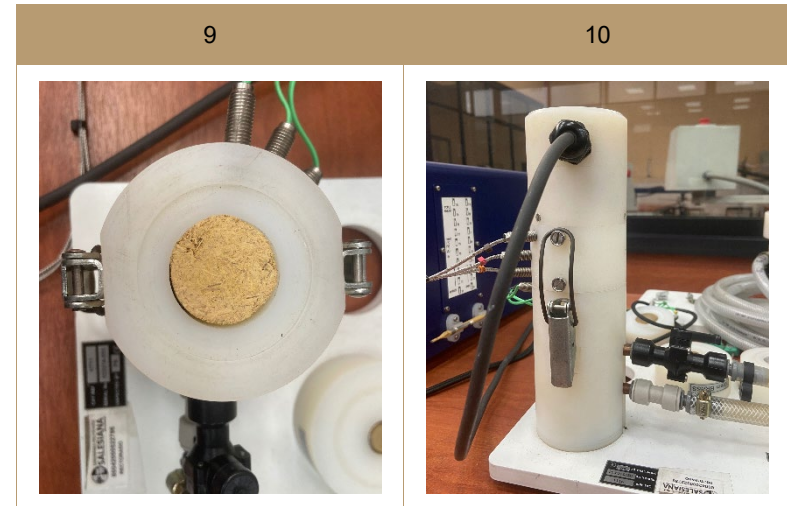
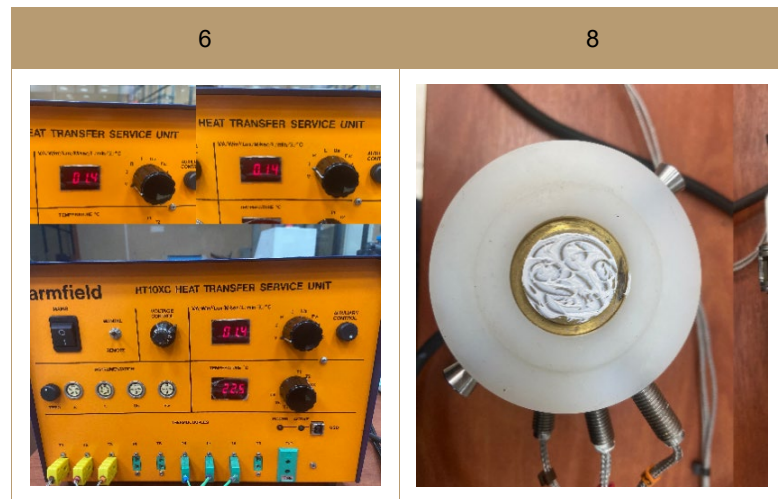


Figura 55. Procedimiento de ensayo de conductividad térmica. Fuente: Elaboración propia (2024)

En este capítulo, se ha descrito detalladamente el procedimiento de los ensayos realizados para evaluar las propiedades de los prototipos de tableros aislantes térmicos fabricados con fibra de totora. Los ensayos abarcados incluyen absorción de humedad, densidad, compresión y conductividad térmica. Cada uno de estos ensayos fue crucial para comprender cómo se comportan los materiales bajo diferentes condiciones y asegurar su viabilidad para aplicaciones futuras.

En el ensayo de absorción de humedad, se determinó la capacidad de los prototipos para resistir la humedad ambiental, un factor crucial para su uso en condiciones diversas. Los resultados mostraron la variación del peso en condiciones controladas a lo largo de ocho días, proporcionando datos clave sobre la viabilidad de la totora como material de construcción sostenible.

Para el ensayo de densidad, se mecanizaron los prototipos para obtener superficies planas y uniformes, necesarias para mediciones precisas. Los

datos obtenidos sobre la densidad permitieron evaluar la compactación del material, relevante para sus propiedades aislantes y su capacidad para soportar cargas.

En el ensayo de compresión, se utilizó un equipo especializado para aplicar una carga creciente a los prototipos y medir su resistencia a la deformación. Los resultados indicaron la capacidad del material para soportar fuerzas compresivas, un aspecto crucial para su aplicación en la construcción.

Finalmente, el ensayo de conductividad térmica, basado en la ley de Fourier y utilizando el método de "Conducción en paredes compuestas en estado estable", permitió medir la capacidad del material para conducir el calor. Los datos obtenidos y los cálculos realizados proporcionaron un coeficiente de conductividad térmica, esencial para evaluar la eficiencia energética de los prototipos de totora como aislantes térmicos.

En el siguiente capítulo, se presentarán los resultados obtenidos de cada uno de estos ensayos y se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los datos recopilados. La tabulación de los datos permitirá una evaluación comparativa y detallada del rendimiento de los prototipos, proporcionando una base sólida para validar la viabilidad de la fibra de totora como material aislante térmico y abriendo nuevas oportunidades para futuras investigaciones en el campo de los materiales de construcción sostenibles.

04

RESULTADOS

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se presentará el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los diversos ensayos de laboratorio realizados para evaluar las propiedades de los prototipos de tableros aislantes térmicos fabricados con fibra de totora. Los ensayos realizados incluyeron absorción de humedad, densidad, conductividad térmica y compresión, cada uno proporcionando datos cruciales sobre el comportamiento y las características del material bajo diferentes condiciones.

El ensayo de absorción de humedad fue fundamental para entender la capacidad del material para resistir y manejar la exposición a entornos húmedos. La capacidad de un material aislante para mantener sus propiedades térmicas y estructurales en presencia de humedad es crucial para su viabilidad en aplicaciones reales. Los resultados de este ensayo nos permitirán evaluar la eficacia de las fibras de totora en entornos donde la humedad puede ser un factor significativo.

La densidad del material es otro parámetro crítico que influye en su capacidad aislante y en sus propiedades mecánicas. A través del ensayo de densidad, hemos determinado la relación entre la masa y el volumen de los prototipos, proporcionando información esencial sobre la compacidad y homogeneidad del material. Estos datos son vitales para asegurar que los tableros aislantes no solo sean eficientes en términos de aislamiento térmico, sino también duraderos y robustos.

La conductividad térmica es una propiedad clave que define la eficiencia de un material como aislante térmico. Los ensayos de conductividad térmica realizados nos han permitido medir la capacidad de los prototipos de totora para conducir el calor. Una baja conductividad térmica es indicativa de un buen material aislante, y los resultados obtenidos nos ayudarán a comparar la totora con otros materiales aislantes disponibles en el mercado.

Finalmente, los ensayos de compresión evalúan la resistencia del material a las cargas aplicadas, lo cual es fundamental para garantizar que los tableros aislantes puedan soportar las condiciones estructurales a las que estarán expuestos en aplicaciones reales. Este ensayo proporciona datos sobre la capacidad del material para mantener su integridad estructural bajo presión, un factor crucial para su uso en la construcción y otros campos.

En conjunto, estos ensayos proporcionaron una comprensión integral de las propiedades y el desempeño de los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora. A través del análisis e interpretación de los resultados, se pudo evaluar la viabilidad del material.

4.1. Absorción de humedad

Para el análisis de absorción de humedad, se clasificaron los datos según el tamaño de fibra para calcular el promedio del porcentaje de absorción de cada tipo. Este enfoque permitió evaluar cómo varía la capacidad de absorción de humedad en función del tamaño de las partículas, proporcionando información crucial sobre las propiedades físicas de los prototipos.

Además, se presentan los datos máximos, mínimos y promedios ambientales de temperatura y humedad. Estos datos fueron fundamentales para comprender cómo las condiciones ambientales afectan la absorción de humedad de los materiales y su desempeño como aislantes térmicos.

Los resultados destacaron la importancia de seleccionar el tipo de fibra adecuado en función de su capacidad para resistir la absorción de humedad. Este conocimiento es esencial para garantizar que los tableros aislantes térmicos sean eficaces y duraderos en diversos entornos. Finalmente, se representaron gráficamente los datos de absorción de humedad por cada tipo de fibra, facilitando la visualización de las diferencias y permitiendo una comparación clara entre ellos.

Tabla 14. Resultados de absorción de humedad durante 192 horas de prototipos fibra 1,2,3 y 4. Fuente: Elaboración propia (2024)

PORCENTAJE DE AUMENTO PROMEDIO	Salida-ingreso horno	1 hora	2 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	120 horas	144 horas	168 horas	192 horas
	-4,4%	0,0%	0,7%	4,0%	5,1%	5,8%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%

Tabla 15. Porcentajes de aumento promedio de todos los prototipos. Fuente: Elaboración propia (2024)

	Día ingreso horno	Día salida horno	1 hora	2 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	120 horas	144 horas	168 horas	192 horas
TEMPERATURA AMBIENTE MÍNIMA	19,4	21,1	21,7	21,7	21,1	21,1	20,9	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO	19,6	21,2	21,9	21,9	21,5	21,5	21,4	21,2	21,4	21,4	21,6	21,6
TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA	19,7	21,3	22,1	22,1	21,7	21,7	21,7	21,8	22,4	22,4	22,6	22,6
HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA	62,8	58,6	56,2	56,2	59,5	58,8	58,5	57,2	53,5	53,5	53,5	53,5
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	63,9	60,9	59,4	59,4	62,1	61,6	61,2	61,2	59,4	59,4	58,5	58,7
HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA	67,2	63,2	66,7	66,7	66,8	66,8	67,3	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1

Tabla 16. Temperatura y humedad relativa ambiente registrada por anemómetro. Fuente: Elaboración propia (2024)

Código	Tamaño de fibra (mm)	PESO (g)																							
		Día ingreso horno	Día salida horno	Salida-ingreso	1 hora		2 horas		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas		168 horas		192 horas		
F1_01	0,297-0,595	17,3	16,5	-4,6%	16,5	0,0%	16,6	0,6%	17,3	4,7%	17,3	4,8%	17,4	5,5%	17,5	6,1%	17,5	6,1%	17,5	6,1%	17,5	6,1%	17,5	6,1%	
F1_02	0,297-0,595	16,1	15,3	-5,0%	15,3	0,0%	15,5	1,3%	16,1	5,0%	16,2	5,9%	16,3	6,5%	16,3	6,5%	16,3	6,5%	16,3	6,5%	16,3	6,5%	16,3	6,5%	
F1_03	0,297-0,595	16,8	16	-4,8%	16,0	0,0%	16,1	0,6%	16,7	4,4%	16,8	5,0%	16,9	5,6%	16,9	5,6%	16,9	5,6%	16,9	5,6%	16,9	5,6%	16,9	5,6%	
F1_04	0,297-0,595	14,5	13,9	-4,1%	13,9	0,0%	13,9	0,0%	14,4	3,6%	14,5	4,3%	14,6	5,0%	14,6	5,0%	14,6	5,0%	14,6	5,0%	14,6	5,0%	14,6	5,0%	
F1_05	0,297-0,595	16,3	15,4	-5,5%	15,4	0,0%	15,5	0,6%	16,1	4,5%	16,3	5,8%	16,3	5,8%	16,3	5,8%	16,3	5,8%	16,3	5,8%	16,3	5,8%	16,3	5,8%	
F1_06	0,297-0,595	17,7	16,9	-4,5%	16,9	0,0%	17	0,6%	17,6	4,1%	17,8	5,3%	17,9	5,9%	17,9	5,9%	17,9	5,9%	17,9	5,9%	17,9	5,9%	17,9	5,9%	
PORCENTAJE DE AUMENTO PROMEDIO				-4,8%		0,0%		0,6%		4,4%		5,2%		5,7%		5,8%		5,8%		5,8%		5,8%		5,8%	

Tabla 17. Resultados absorción de humedad Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)

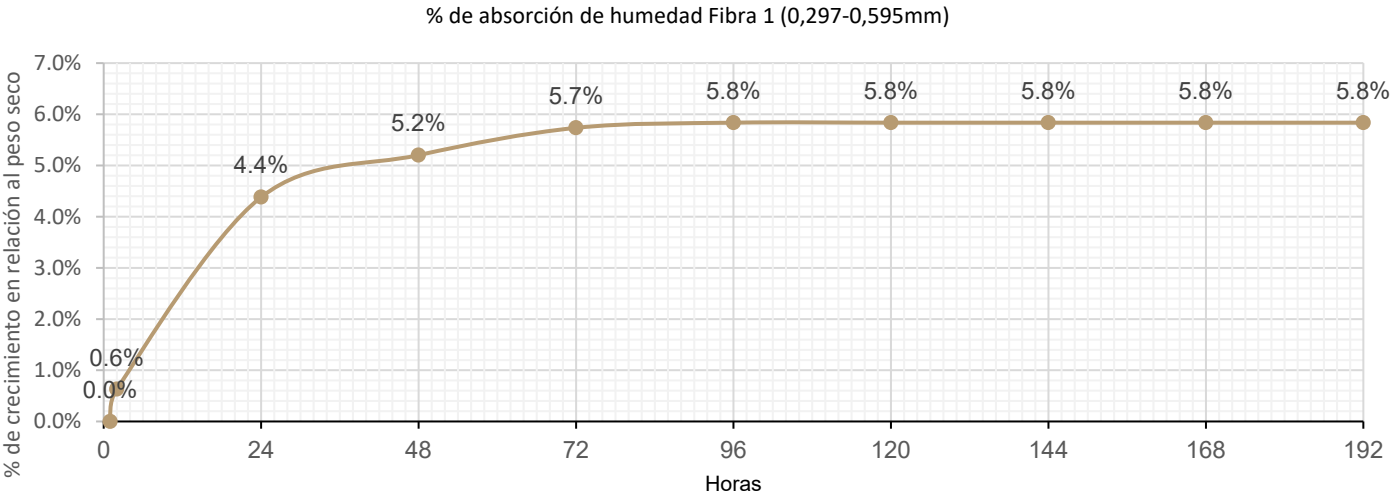


Figura 56. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)

Código	Tamaño de fibra (mm)	PESO (g)																								
		Día ingreso horno	Día salida horno	Salida-ingreso	1 hora		2 horas		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas		168 horas		192 horas			
F2_01	0,595-1,19	15,5	14,7	-5,2%	14,7	0,0%	14,8	0,7%	15,3	4,1%	15,4	4,8%	15,5	5,4%	15,5	5,4%	15,5	5,4%	15,5	5,4%	15,5	5,4%	15,6	6,1%	15,6	6,1%
F2_02	0,595-1,19	14,4	13,6	-5,6%	13,6	0,0%	13,7	0,7%	14,1	3,7%	14,2	4,4%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,3	5,1%
F2_03	0,595-1,19	13,2	12,5	-5,3%	12,5	0,0%	12,6	0,8%	12,9	3,2%	13,1	4,8%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%
F2_04	0,595-1,19	13,2	12,5	-5,3%	12,5	0,0%	12,6	0,8%	12,9	3,2%	13,1	4,8%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%	13,2	5,6%
F2_05	0,595-1,19	14,7	13,7	-6,8%	13,7	0,0%	13,8	0,7%	14,2	3,6%	14,4	5,1%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%
F2_06	0,595-1,19	17,1	16,2	-5,3%	16,2	0,0%	16,3	0,6%	16,8	3,7%	17	4,9%	17,1	5,6%	17,1	5,6%	17,1	5,6%	17,1	5,6%	17,1	5,6%	17,1	5,6%	17,1	5,6%
PORCENTAJE DE AUMENTO PROMEDIO				-5,6%		0,0%		0,7%		3,6%		4,8%		5,5%		5,5%		5,5%		5,5%		5,6%		5,6%		

Tabla 18. Resultados absorción de humedad Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)

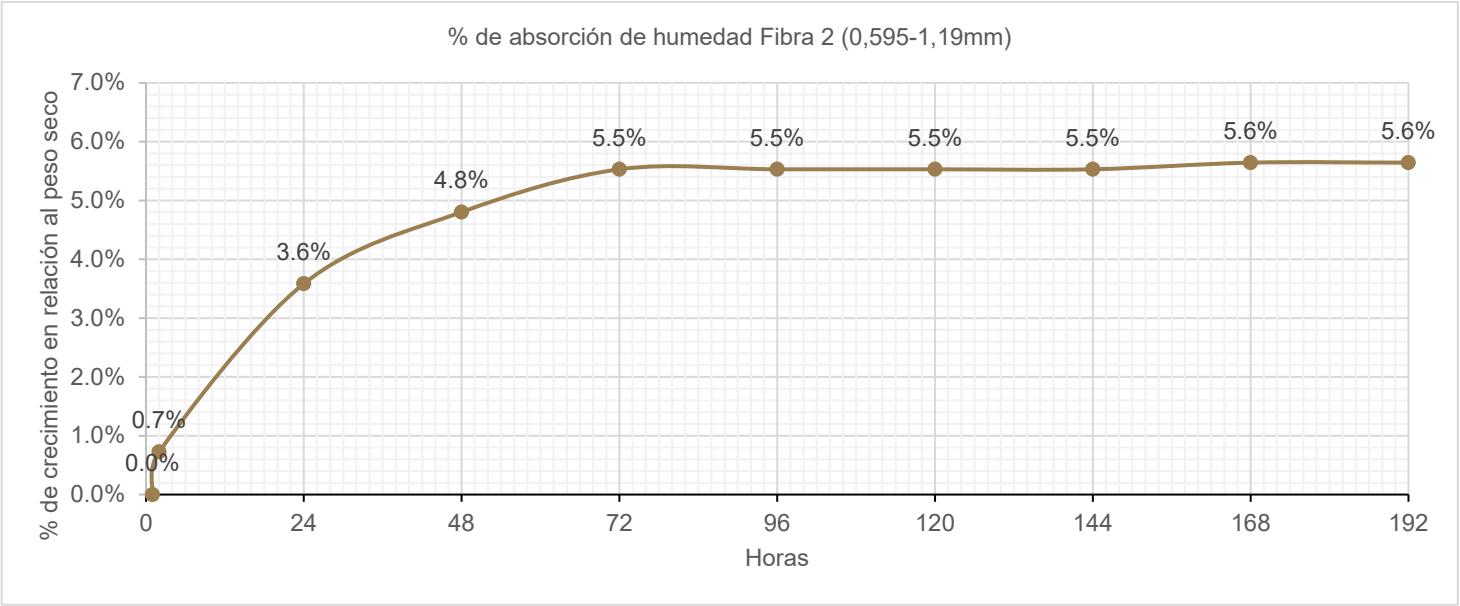


Figura 57. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 2. Fuente: Elaboración propia (2024)

Código	Tamaño de fibra (mm)	PESO (g)																							
		Día ingreso horno	Día salida horno	Salida-ingreso	1 hora		2 horas		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas		168 horas		192 horas		
F3_01	1,19-2,38	16,1	15,5	-3,7%	15,5	0,0%	15,6	0,6%	16,1	3,9%	16,2	4,5%	16,4	5,8%	16,4	5,8%	16,4	5,8%	16,4	5,8%	16,4	5,8%	16,4	5,8%	
F3_02	1,19-2,38	14,4	13,7	-4,9%	13,7	0,0%	13,8	0,7%	14,2	3,6%	14,4	5,1%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	14,5	5,8%	
F3_03	1,19-2,38	14,4	13,7	-4,9%	13,7	0,0%	13,8	0,7%	14,2	3,6%	14,4	5,1%	14,5	5,8%	14,6	6,6%	14,6	6,6%	14,6	6,6%	14,6	6,6%	14,6	6,6%	
F3_04	1,19-2,38	14,1	13,6	-3,5%	13,6	0,0%	13,6	0,0%	14,1	3,7%	14,2	4,4%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,3	5,1%	14,4	5,9%	14,4	5,9%	14,4	5,9%	
F3_05	1,19-2,38	17,2	16,7	-2,9%	16,7	0,0%	16,7	0,0%	17,3	3,6%	17,4	4,2%	17,6	5,4%	17,6	5,4%	17,6	5,4%	17,6	5,4%	17,6	5,4%	17,6	5,4%	
F3_06	1,19-2,38	15,5	15	-3,2%	15,0	0,0%	15	0,0%	15,6	4,0%	15,7	4,7%	15,8	5,3%	15,9	6,0%	15,9	6,0%	15,9	6,0%	15,9	6,0%	15,9	6,0%	
PORCENTAJE DE AUMENTO PROMEDIO				-3,9%		0,0%		0,4%		3,7%		4,7%		5,6%		5,8%		5,8%		5,9%		5,9%		5,9%	

Tabla 19. Resultados absorción de humedad Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)

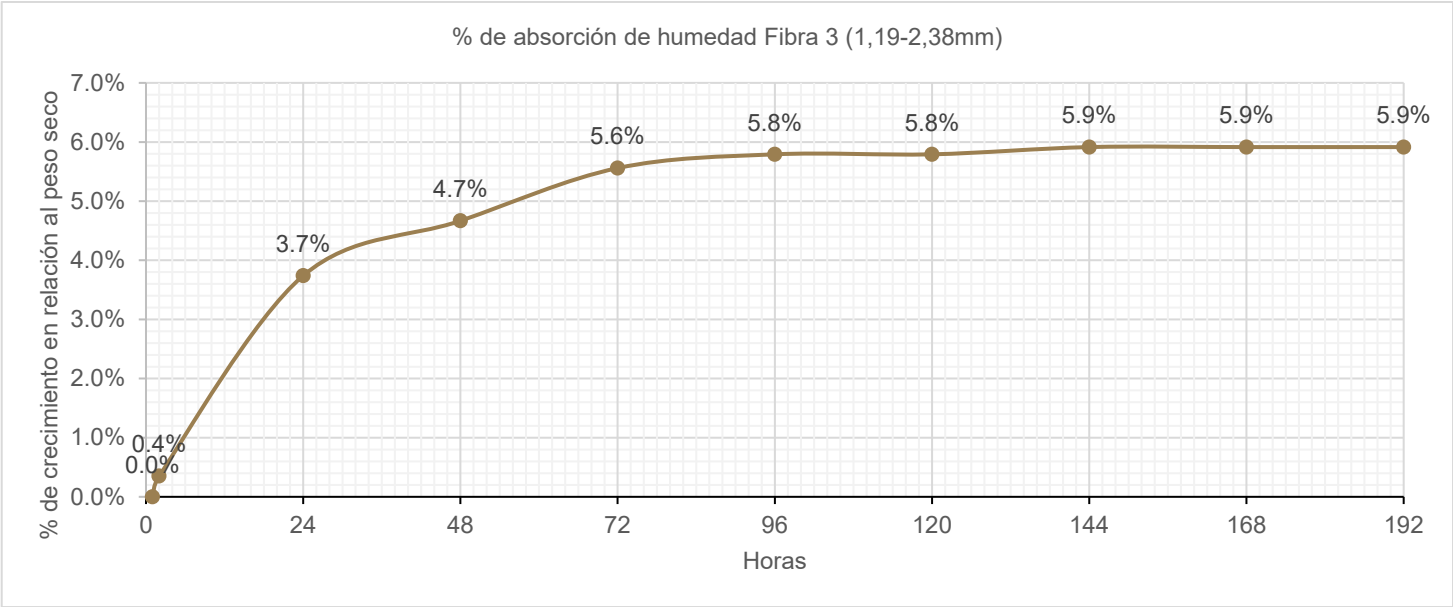


Figura 58. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 3. Fuente: Elaboración propia (2024)

Código	Tamaño de fibra (mm)	PESO (g)																							
		Día ingreso horno	Día salida horno	Salida-ingreso	1 hora		2 horas		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas		144 horas		168 horas		192 horas		
F4_01	Tallo entero	11,8	11,4	-3,4%	11,4	0,0%	11,5	0,9%	11,9	4,4%	12	5,3%	12,1	6,1%	12,2	7,0%	12,2	7,0%	12,2	7,0%	12,2	7,0%	12,2	7,0%	
F4_02	Tallo entero	11	10,6	-3,6%	10,6	0,0%	10,7	0,9%	11,1	4,7%	11,2	5,7%	11,3	6,6%	11,3	6,6%	11,3	6,6%	11,3	6,6%	11,3	6,6%	11,3	6,6%	
F4_03	Tallo entero	12,1	11,7	-3,3%	11,7	0,0%	11,8	0,9%	12,2	4,3%	12,4	6,0%	12,5	6,8%	12,5	6,8%	12,5	6,8%	12,5	6,8%	12,5	6,8%	12,5	6,8%	
F4_04	Tallo entero	11,3	11	-2,7%	11,0	0,0%	11,1	0,9%	11,4	3,6%	11,6	5,5%	11,7	6,4%	11,7	6,4%	11,7	6,4%	11,7	6,4%	11,7	6,4%	11,7	6,4%	
F4_05	Tallo entero	10,9	10,4	-4,6%	10,4	0,0%	10,5	1,0%	10,9	4,8%	11	5,8%	11	5,8%	11,1	6,7%	11,1	6,7%	11,1	6,7%	11,1	6,7%	11,1	6,7%	
F4_06	Tallo entero	10,1	9,8	-3,0%	9,8	0,0%	9,9	1,0%	10,3	5,1%	10,4	6,1%	10,5	7,1%	10,5	7,1%	10,5	7,1%	10,5	7,1%	10,5	7,1%	10,5	7,1%	
PORCENTAJE DE AUMENTO PROMEDIO				-3,9%		0,0%		0,9%		4,5%		5,7%		6,5%		6,8%		6,8%		6,8%		6,8%		6,8%	

Tabla 20. Resultados absorción de humedad Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)

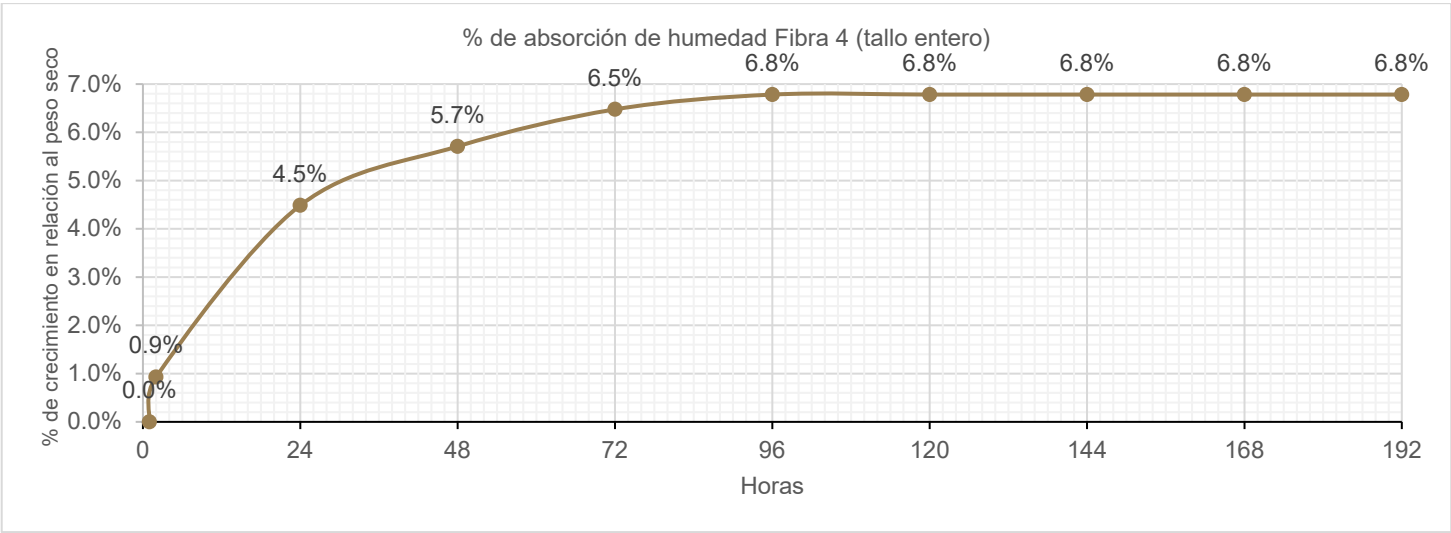


Figura 59. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)

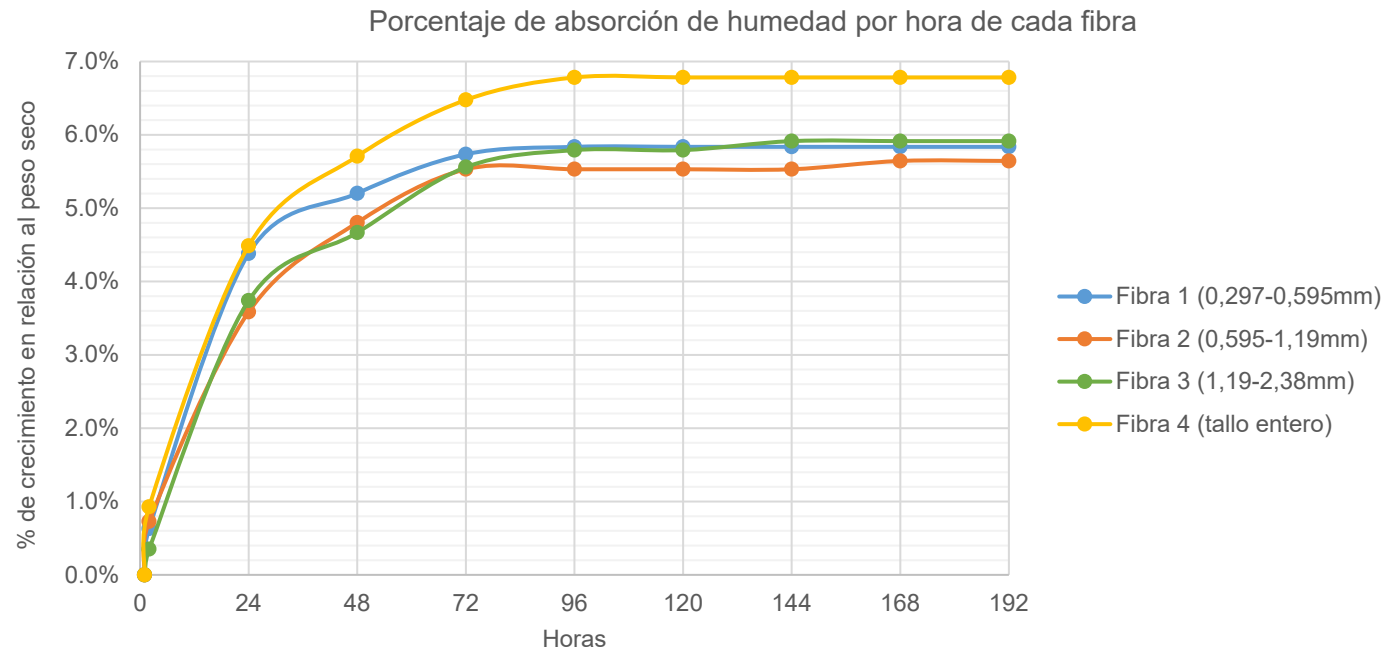


Figura 60. Gráfico de porcentaje de absorción de humedad por hora de cada fibra. Fuente: Elaboración propia (2024)

Como se puede visualizar en el gráfico, la fibra 4, que corresponde al tallo entero, presentó el mayor porcentaje de absorción de humedad. A las 192 horas, esta fibra mostró un aumento máximo del 6.8% en su peso con respecto al peso registrado de los prototipos secados en horno. En contraste, la fibra 1, que es la más pequeña, mostró un aumento del 5.8% en igual tiempo. La fibra 2, ligeramente más grande que la fibra 1, presentó un aumento del 5.6%, mientras que la fibra 3, que es la más grande antes del tallo entero, tuvo un incremento del 5.9% en su peso.

La capacidad de absorción de humedad es una característica esencial a considerar, ya que puede afectar significativamente la eficacia y la

durabilidad de los materiales aislantes. Los tableros aislantes térmicos deben mantener sus propiedades aislantes en entornos variados, incluidos aquellos con alta humedad.

La elevada absorción de humedad en la fibra 4 sugiere que, aunque esta fibra pueda ofrecer ciertas ventajas en términos de flexibilidad y manejo, podría no ser la opción ideal para la fabricación de tableros aislantes térmicos en entornos húmedos. La alta capacidad de absorción de humedad podría comprometer la estabilidad dimensional y las propiedades aislantes del material.

4.2. Densidad

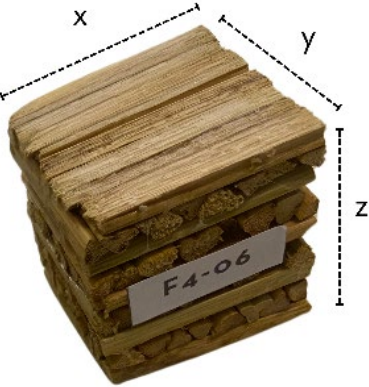
CUBOS									
Código	Dimensiones	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Volumen (mm ³)	Volumen (cm ³)	Peso fibra seca (g)	Densidad anhidra (g/cm ³)	Promedio por fibra (g/cm ³)
F1-01		39,60	29,00	41,00	47084,40	47,08	12,5	0,27	0,25
F1-03		40,00	32,00	41,00	52480,00	52,48	13,4	0,26	
F1-06		37,00	32,00	35,00	41440,00	41,44	9,1	0,22	
F2-01		37,00	35,00	38,00	49210,00	49,21	11,9	0,24	0,24
F2-05		39,00	32,00	40,00	49920,00	49,92	11,5	0,23	
F2-06		40,30	36,90	39,40	58590,56	58,59	14,3	0,24	
F3-01		38,00	34,60	36,60	48121,68	48,12	11,7	0,24	0,23
F3-03		37,60	35,50	35,50	47385,40	47,39	10,0	0,21	
F3-05		39,00	38,90	37,40	56739,54	56,74	13,7	0,24	
F4-03		40,00	44,00	40,50	71280,00	71,28	11,1	0,16	0,15
F4-04		39,50	37,50	40,60	60138,75	60,14	10,3	0,17	
F4-06		41,40	42,50	40,00	70380,00	70,38	8,8	0,13	

Tabla 21. Ensayo de densidad de prototipos tipo cubo. Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el análisis de resultados de densidad, se observó que la densidad de los prototipos en forma de cubo mostró una clara correlación con el tamaño de las partículas utilizadas. Se determinó que a medida que aumenta el tamaño de las partículas, la densidad tiende a disminuir, lo cual indica una menor compactación del material en los prototipos. Los valores de densidad

obtenidos se encontraron dentro del rango de 0,15 a 0,25 g/cm³, reflejando variaciones significativas basadas en el tamaño de partícula. Este resultado sugiere que las fibras más grandes permiten una menor compactación y, por lo tanto, una menor densidad en los tableros aislantes térmicos.

CILINDROS								
Código	Dimensiones	y (mm)	d (mm)	Volumen (mm3)	Volumen (cm3)	Peso fibra seca (g)	Densidad anhidra (g/cm3)	Promedio por fibra (g/cm3)
F1-02		37,00	30,00	26153,76	26,15	5,8	0,22	0,22
F1-04		41,00	30,00	28981,19	28,98	6,9	0,24	
F1-05		41,00	30,00	28981,19	28,98	6,2	0,21	
F2-02		39,00	29,00	25760,27	25,76	5,2	0,20	0,21
F2-03		30,00	30,00	21205,75	21,21	4,6	0,22	
F2-04		29,00	29,00	19155,08	19,16	4,0	0,21	
F3-02		31,80	29,00	21004,53	21,00	5,0	0,24	0,23
F3-04		36,70	29,50	25084,18	25,08	5,3	0,21	
F3-06		41,90	29,10	27866,98	27,87	6,7	0,24	
F4-01		50,20	29,50	34311,34	34,31	4,0	0,12	0,13
F4-02		43,40	29,10	28864,60	28,86	3,6	0,12	
F4-05		40,00	29,20	26786,48	26,79	3,8	0,14	

Tabla 22. Ensayo de densidad de prototipos tipo cilindro. Fuente: Elaboración propia (2024)

Los valores de densidad para los cilindros oscilaron entre 0.13 y 0.22 g/cm³. Esta similitud en los resultados sugiere que el formato del prototipo (cubo o cilindro) tiene un impacto menor en la densidad comparado con el tamaño de las partículas de fibra. La densidad influye en la capacidad de un material aislante térmico de varias maneras. Una densidad óptima permite que el material retenga aire en su estructura, mejorando su capacidad de aislamiento térmico. El aire atrapado en la matriz del material reduce la

conducción del calor, lo que es esencial para mantener las propiedades aislantes. Sin embargo, una densidad demasiado alta podría comprometer la ligereza y la manejabilidad del material, mientras que una densidad demasiado baja podría resultar en insuficiente capacidad aislante y menor resistencia mecánica. En resumen, los resultados obtenidos indican que tanto los cubos como los cilindros con densidades dentro del rango especificado podrían ser efectivos como aislantes térmicos.

4.3. Compresión

Para los ensayos de compresión, se realizaron pruebas en grupos, cada uno correspondiente a un tamaño específico de partícula.

Fibra 1 (0.297-0.596mm)

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	F1.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Madera 0.6mm_min.xmas
Fecha de informe	14/06/2024	Fecha de ensayo	13/06/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0,6mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	3

Nombre	M.Elastico	Pend. Standard	Max_Fuerza	Max_Tension
Parametros	Fuerza 60 – 120 N	Fuerza 60 – 120 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
F1-01	4,43939	124,346	259,727	0,22616
F1-03	4,00615	125,070	273,177	0,21342
F1-06	1,69070	57,1941	336,549	0,28425

Nombre	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion	Max_Despl.	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	mm	%	mm	%
F1-01	3,05849	7,45973	3,05849	7,45973
F1-03	3,37884	8,24108	3,37884	8,24108
F1-06	6,91609	19,7603	6,91609	19,7603

Figura 61. Resultados ensayo de compresión Fibra 1. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

Los resultados más elevados del módulo de elasticidad (4.43939 y 4.00615 N/mm²) sugieren que, en ciertas condiciones, la fibra 1 puede comportarse de manera relativamente rígida, resistiendo bien las deformaciones bajo cargas aplicadas. Sin embargo, la presencia de un valor significativamente más bajo (1.69070 N/mm²) indica que la fibra 1 puede presentar comportamientos menos deseables en ciertas circunstancias.

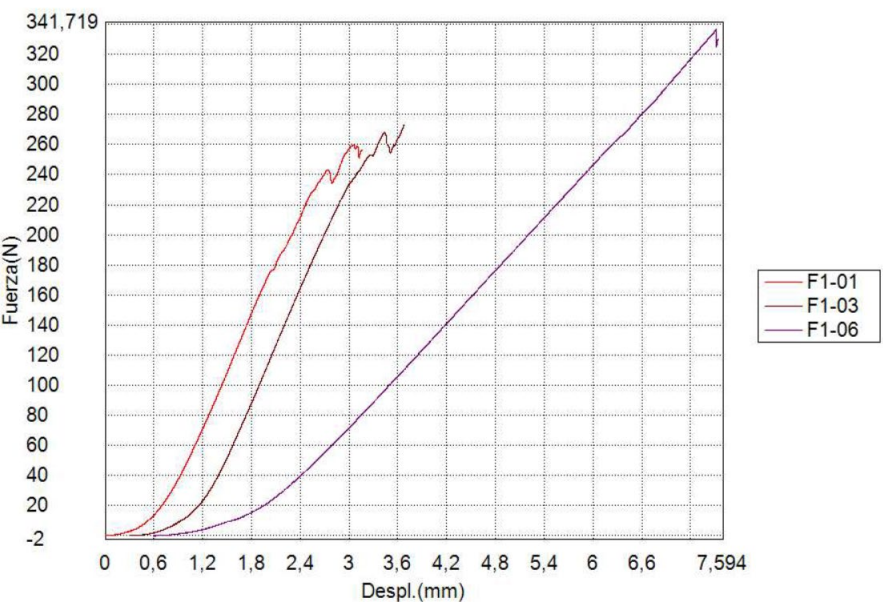


Figura 62. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 1. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

Los valores del módulo de elasticidad para la fibra 1 muestran una notable variabilidad. Esta variabilidad podría estar influenciada por factores como la homogeneidad de la fibra, las condiciones de prueba, y las propiedades intrínsecas del material. El análisis del módulo de elasticidad para la fibra 1 demuestra que, aunque esta fibra puede exhibir buena rigidez en algunos casos, su comportamiento no es completamente uniforme.

Fibra 2 (0,595 - 1,19 mm)

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	F2.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Madera 0,6mm_min.xmas
Fecha de informe	13/06/2024	Fecha de ensayo	13/06/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0,6mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	2

Nombre	M.Elastico	Pend_Standard	Max_Fuerza	Max_Tension
Parametros	Fuerza 10 – 50 N	Fuerza 10 – 50 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
F2-01	1,62555	55,3969	302,782	0,23381
F2-06	1,56983	59,2500	193,272	0,12997

Nombre	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	N	N/mm2
F2-01	4,22930	11,1297	-.-	-.-
F2-06	2,61082	6,62644	-.-	-.-

Figura 63. Resultados ensayo de compresión Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

Los resultados del módulo de elasticidad para la fibra 2, mostraron valores de 1.62555 N/mm² y 1.56983 N/mm² dentro del rango de fuerza aplicado de 10 a 50 N. Estos valores son relativamente consistentes, lo que indica que la fibra 2 tiene un comportamiento mecánico uniforme bajo cargas aplicadas. Esta consistencia es crucial para aplicaciones en las que se requiere predictibilidad y uniformidad en el rendimiento del material.

La menor rigidez de la fibra 2 sugiere que es más flexible, lo cual puede influir en su capacidad de aislamiento térmico. Un material más flexible puede adaptarse mejor a diferentes formas y superficies. La densidad y rigidez están directamente relacionadas con la capacidad de un material

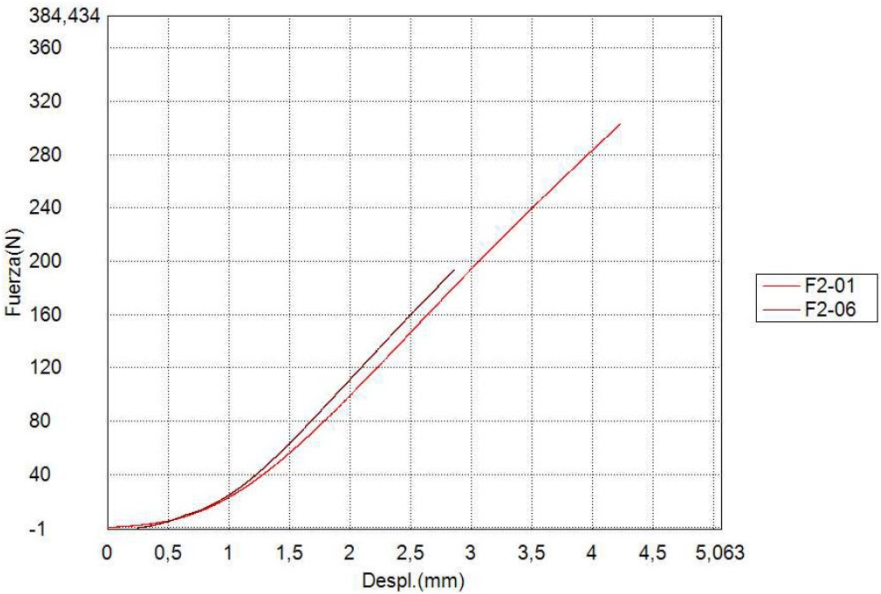


Figura 64. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

para retener aire y, por ende, para funcionar como aislante térmico efectivo. Por lo general los materiales menos densos son mejores aislantes térmicos.

Para aplicaciones prácticas, los resultados indican que la fibra 2, con su mayor uniformidad y menor rigidez, podría ser más adecuada para escenarios que requieren flexibilidad y conformidad a superficies irregulares. Sin embargo, la menor rigidez podría limitar su eficacia como aislante térmico en comparación con materiales más rígidos y densos. Es esencial considerar que, aunque la flexibilidad de la fibra 2 puede ser ventajosa en ciertas aplicaciones, su capacidad para proporcionar un aislamiento térmico eficaz debe evaluarse en función de los requisitos específicos de la aplicación, asegurando que se mantenga un equilibrio entre flexibilidad y propiedades aislantes.

Fibra 3 (1.19 – 2,38 mm)

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	F3.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Madera 0,6mm_min.xmas
Fecha de informe	13/06/2024	Fecha de ensayo	13/06/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0,6mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre	M.Elastico	Pend. Standard	Max. Fuerza	Max. Tension
Parametros	Fuerza 10 – 50 N	Fuerza 10 – 50 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
F3-01	1,27000	45,6230	123,177	0,09368
F3-03	–	–	41,7773	0,03130
F3-05	0,98844	40,0954	106,653	0,07030

Nombre	Max. Desplazamiento	Max. Deformacion	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	N	N/mm2
F3-01	2,50598	6,84695	–	–
F3-03	2,49699	7,03379	–	–
F3-05	2,96699	7,93313	–	–

Figura 65. Resultados ensayo de compresión Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

Los resultados del módulo de elasticidad para la fibra 3, que es de tamaño intermedio, muestran valores de 1.27000 N/mm² y 0.98844 N/mm² dentro del rango de fuerza aplicado de 10 a 50 N. Estos valores presentan una variabilidad moderada, lo que indica que la fibra 3 tiene un comportamiento menos uniforme bajo cargas aplicadas.

La menor rigidez y la mayor variabilidad observada en los valores del módulo de elasticidad de la fibra 3 sugieren que esta fibra es más flexible y menos consistente en su comportamiento mecánico. La flexibilidad puede ser beneficiosa en aplicaciones que requieren que el material se adapte a diferentes formas y superficies, aunque la variabilidad en los resultados

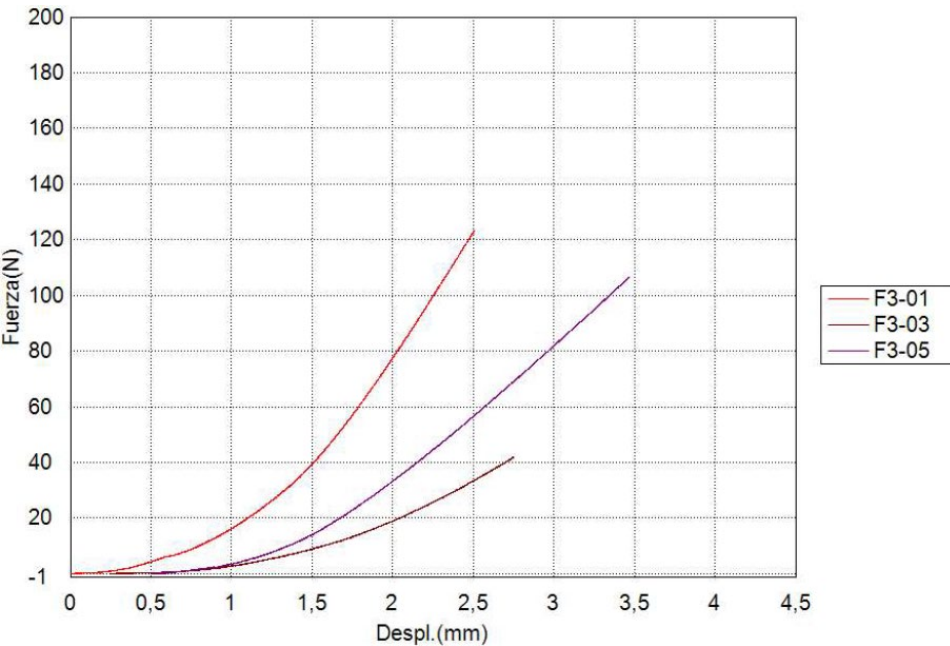


Figura 66. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

indica que la fibra 3 podría no proporcionar una uniformidad predecible en su rendimiento mecánico.

En resumen, la fibra 3, con sus valores de 1.27000 N/mm² y 0.98844 N/mm², presenta una menor rigidez y una mayor variabilidad en comparación con otras fibras, lo que podría influir en su aplicación práctica en situaciones donde se requiere un comportamiento mecánico más consistente. Esta variabilidad sugiere la necesidad de un control más preciso en la fabricación y preparación de los prototipos para asegurar propiedades mecánicas más uniformes.

Fibra 4 (tallo entero)

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	F4.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Madera 0,6mm_min.xmas
Fecha de informe	14/06/2024	Fecha de ensayo	14/06/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0,6mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre	M.Elastico	Pend_Standard	Max_Fuerza	Max_Tension
Parametros	Fuerza 20 – 30 N	Fuerza 20 – 30 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
F4-03	0,59542	25,8750	41,7614	0,02373
F4-04	1,13465	41,3966	39,3836	0,02659
F4-06	0,51679	22,7322	39,4694	0,02243

Nombre	Max. Desplazamiento	Max_Deformacion	Max_Despl.	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	mm	%	mm	%
F4-03	2,61820	6,46469	2,61820	6,46469
F4-04	2,55390	6,29039	2,55390	6,29039
F4-06	2,35570	5,88925	2,35570	5,88925

Figura 67. Resultados ensayo de compresión Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

El módulo de elasticidad de la fibra 4 se encuentra en el rango de 0.59542 N/mm² a 1.13465 N/mm², indica que presentan una rigidez moderada dentro de su régimen elástico. La variabilidad en los valores del módulo de elasticidad sugiere diferencias en la estructura interna de las fibras, como la densidad y la alineación de las células dentro de los tallos de totora. Estas características son comunes en materiales naturales, donde la heterogeneidad es una propiedad inherente.

Estos valores reflejan que los prototipos pueden resistir deformaciones bajo cargas aplicadas dentro del límite elástico antes de experimentar deformaciones permanentes. La rigidez moderada del material lo hace

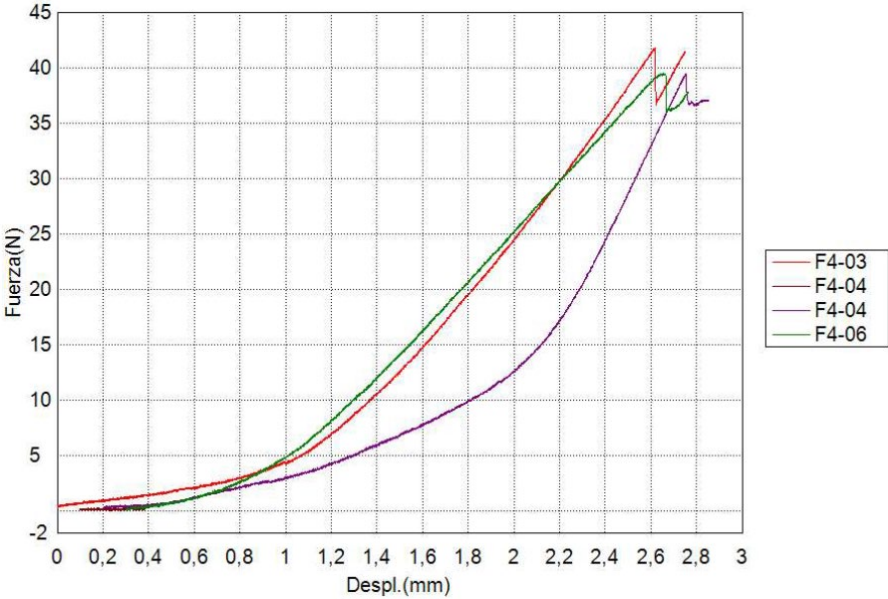


Figura 68. Gráfico de Fuerza-Desplazamiento Fibra 2. Fuente: Equipo Shimadzu Autograph AGS-X Series 300 kN (2024)

adecuado para aplicaciones donde se requiere una cierta flexibilidad y capacidad de absorción de energía antes de alcanzar su punto de ruptura.

Cabe mencionar que, aunque la mitad de los prototipos no alcanzaron la rotura en los ensayos de compresión, los valores del módulo de elasticidad proporcionaron información valiosa sobre las propiedades mecánicas de los prototipos de tableros aislantes térmicos de totora, ayudando a entender su comportamiento bajo carga, teniendo una mayor capacidad de deformación plástica sin llegar al fallo.

Tamaño de partícula (mm)	#	Resistencia a tracción (MPa)	Promedio Tamaño (MPa)	Promedio prototipos totora (MPa)
0,297-0,596	F1-01	0,226	0,241	0,128
	F1-03	0,213		
	F1-06	0,284		
0,596-1,19	F2-01	0,234	0,182	
	F2-06	0,130		
1,19-2,38	F3-01	0,094	0,065	
	F3-03	0,031		
	F3-05	0,070		
Tallo entero	F4-03	0,024	0,024	
	F4-04	0,027		
	F4-06	0,022		

Tabla 23. Resistencia a tracción resultantes del ensayo de compresión. Fuente: Elaboración propia (2024)

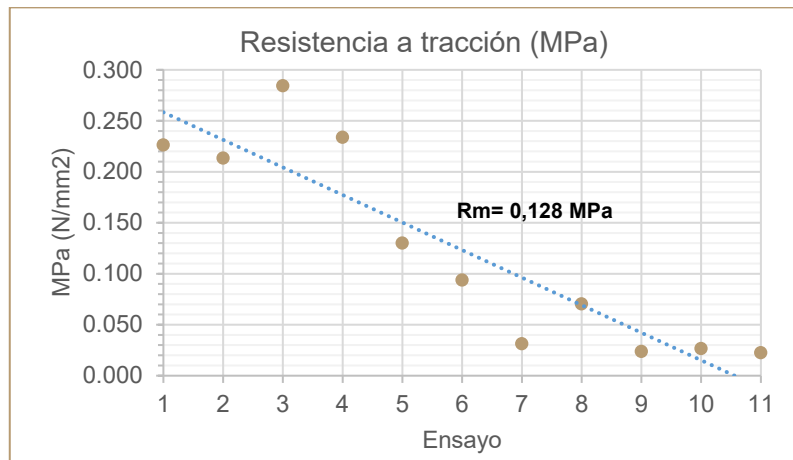


Figura 69. Gráfico de resultados de resistencia a tracción de los prototipos de fibra de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

Los resultados de resistencia a tracción obtenidos del ensayo de compresión de los prototipos de fibra de totora muestran variaciones significativas según el tamaño de partícula y el tipo de fibra. Los prototipos con tamaño de partícula entre 0.297-0.596 mm (F1-01, F1-03 y F1-06) muestran resistencias a tracción de 0.226 MPa, 0.213 MPa y 0.284 MPa, respectivamente, con un promedio de 0.241 MPa, indicando una buena consistencia en la resistencia a tracción dentro de este rango de tamaño de partícula. Para el tamaño de partícula de 0.596-1.19 mm, los prototipos F2-01 y F2-06 presentan resistencias a tracción de 0.234 MPa y 0.130 MPa, respectivamente, con un promedio de 0.182 MPa, mostrando una disminución en comparación con el grupo anterior.

Por otro lado, los prototipos con tamaño de partícula entre 1.19-2.38 mm (F3-01, F3-03 y F3-05) tienen resistencias a tracción de 0.094 MPa, 0.031 MPa y 0.070 MPa, respectivamente, con un promedio de 0.065 MPa, evidenciando una disminución notable en la resistencia a tracción a medida que aumenta el tamaño de partícula. Finalmente, los prototipos de tallo entero (F4-03, F4-04 y F4-06) presentan resistencias a tracción de 0.024 MPa, 0.027 MPa y 0.022 MPa, respectivamente, con un promedio de 0.024 MPa, el más bajo entre todos los tamaños de partícula evaluados.

En general, se observa que la resistencia a tracción disminuye conforme aumenta el tamaño de la partícula de fibra. Los prototipos con las fibras más pequeñas (0.297-0.596 mm) tienen la mayor resistencia a tracción, mientras que los prototipos de tallo entero muestran la menor resistencia. El valor promedio general de resistencia a tracción para los prototipos de totora es de 0.128 MPa, como se muestra en el gráfico. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar adecuadamente el tamaño de fibra para optimizar la resistencia a tracción de los paneles aislantes térmicos.

4.4. Conductividad térmica

Los datos se registraron en una base de datos de Excel, que incluye las siguientes variables:

- V: Voltaje (V).
- I: Intensidad (A).
- dx: Distancia entre sensores (m).
- e: Espesor de la probeta (m).
- t2: Temperatura caliente (°C).
- t3: Temperatura caliente (°C).
- t6: Temperatura fría (°C).
- t7: Temperatura fría (°C).
- th: Temperatura promedio caliente (°C).
- tc: Temperatura promedio fría (°C).
- dTin: Delta de temperatura (°C).
- Q: Tasa de transferencia de calor (W).
- A: Área de la probeta (m²).
- k: Coeficiente de conductividad (W/mK).

Fibra 1 (0,297-0,596mm)

15 minutos			30 minutos		
F10401			F10401		
V	1,4	V	V	1,4	V
I	0,14	A	I	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	27,9	°C	t2	27	°C
t3	27	°C	t3	27	°C
t6	18,2	°C	t6	18,1	°C
t7	18,3	°C	t7	18,3	°C
th	26,55	°C	th	27	°C
tc	18,15	°C	tc	18	°C
dTin	8,4	°C	dTin	9	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,049514871	W/mK	k	0,04621388	W/mK
F10401			F10401		
V	1,4	V	V	1,4	V
I	0,14	A	I	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	27,9	°C	t2	27	°C
t3	27	°C	t3	27	°C
t6	18,2	°C	t6	18,1	°C
t7	18,3	°C	t7	18,3	°C
th	26,55	°C	th	27	°C
tc	18,15	°C	tc	18	°C
dTin	8,4	°C	dTin	9	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,049514871	W/mK	k	0,04621388	W/mK

Tabla 24. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 1. Fuente: Elaboración propia (2024)

Fibra 2 (0,595 - 1,19 mm)

15 minutos			30 minutos		
F20202			F20202		
V	1,4	V	V	1,4	V
l	0,14	A	l	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	21,1	°C	t2	20,8	°C
t3	21,1	°C	t3	20,8	°C
t6	15,9	°C	t6	16,2	°C
t7	16	°C	t7	16,4	°C
th	21,1	°C	th	20,8	°C
tc	15,85	°C	tc	16,1	°C
dTin	5,25	°C	dTin	4,7	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,079223794	W/mK	k	0,088494663	W/mK
F20203			F20203		
V	1,4	V	V	1,4	V
l	0,14	A	l	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	21,4	°C	t2	21,0	°C
t3	21,4	°C	t3	21,0	°C
t6	16	°C	t6	16,2	°C
t7	16,1	°C	t7	16,1	°C
th	21,4	°C	th	21	°C
tc	15,95	°C	tc	16,25	°C
dTin	5,45	°C	dTin	4,75	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,076316499	W/mK	k	0,087563141	W/mK

Tabla 25. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 2. Fuente:
Elaboración propia (2024)

Fibra 3 (1,19 – 2,38 mm)

15 minutos			30 minutos		
F30201			F30201		
V	1,4	V	V	1,4	V
l	0,14	A	l	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	24,1	°C	t2	23,7	°C
t3	24,1	°C	t3	23,7	°C
t6	18,2	°C	t6	18,2	°C
t7	18,4	°C	t7	18,4	°C
th	24,1	°C	th	23,7	°C
tc	18,1	°C	tc	18,1	°C
dTin	6	°C	dTin	5,6	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,06932082	W/mK	k	0,074272307	W/mK
F30202			F30202		
V	1,4	V	V	1,4	V
l	0,14	A	l	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	23,6	°C	t2	23,7	°C
t3	23,5	°C	t3	23,6	°C
t6	18,3	°C	t6	19,2	°C
t7	18,5	°C	t7	19,3	°C
th	23,45	°C	th	23,55	°C
tc	18,2	°C	tc	19,15	°C
dTin	5,25	°C	dTin	4,4	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,079223794	W/mK	k	0,09452839	W/mK

Tabla 26. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 3. Fuente:
Elaboración propia (2024)

Fibra 4 (tallo entero)

15 minutos			30 minutos			45 minutos			60 minutos		
F40501			F40501			F40501			F40501		
V	1,4	V	V	1,4	V	V	1,4	V	V	1,4	V
I	0,14	A	I	0,14	A	I	0,14	A	I	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m	dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m	e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	24,5	°C	t2	24,7	°C	t2	24,8	°C	t2	25	°C
t3	24,2	°C	t3	24,5	°C	t3	24,6	°C	t3	24,8	°C
t6	17,8	°C	t6	17,8	°C	t6	17,7	°C	t6	17,8	°C
t7	17,9	°C	t7	17,9	°C	t7	17,8	°C	t7	17,9	°C
th	24,05	°C	th	24,4	°C	th	24,5	°C	th	24,7	°C
tc	17,75	°C	tc	17,75	°C	tc	17,65	°C	tc	17,75	°C
dTin	6,3	°C	dTin	6,65	°C	dTin	6,85	°C	dTin	6,95	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W	Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,066019828	W/mK	k	0,0625451	W/mK	k	0,060718966	W/mK	k	0,059845312	W/mK
F40502			F40502			F40502			F40502		
V	1,4	V	V	1,4	V	V	1,4	V	V	1,4	V
I	0,14	A	I	0,14	A	I	0,14	A	I	0,14	A
dx	0,015	m	dx	0,015	m	dx	0,015	m	dx	0,015	m
e	0,0015	m	e	0,0015	m	e	0,0015	m	e	0,0015	m
t2	25,1	°C	t2	25	°C	t2	25,1	°C	t2	25	°C
t3	25	°C	t3	25	°C	t3	25	°C	t3	25	°C
t6	17,4	°C	t6	17,3	°C	t6	17,2	°C	t6	17,1	°C
t7	17,6	°C	t7	17,5	°C	t7	17,4	°C	t7	17,2	°C
th	24,95	°C	th	25	°C	th	24,95	°C	th	25	°C
tc	17,3	°C	tc	17,2	°C	tc	17,1	°C	tc	17,05	°C
dTin	7,65	°C	dTin	7,8	°C	dTin	7,85	°C	dTin	7,95	°C
Q	0,196	W	Q	0,196	W	Q	0,196	W	Q	0,196	W
A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2	A	0,000706858	m2
k	0,05436927	W/mK	k	0,053323707	W/mK	k	0,052984066	W/mK	k	0,0523176	W/mK

Tabla 27. Resultados ensayo de conductividad térmica Fibra 4. Fuente: Elaboración propia (2024)

Resumen de datos

Tamaño de partícula (mm)	Código	k (W/mK)	ΔT	Desviación Estándar	k prom. probeta	k prom. tamaño	k prom. totora
0,297-0,596	F10401	0,050	8,40	0,0106	0,0479	0,0570	0,0689
	F10401	0,046	9,00		0,0660		
	F10404	0,065	6,40				
	F10404	0,067	6,20				
0,595 - 1,19	F20202	0,079	5,25	0,0061	0,0839	0,0829	
	F20202	0,088	4,70		0,0819		
	F20203	0,076	5,45				
	F20203	0,088	4,75				
1,19 – 2,38	F30201	0,069	6,00	0,0109	0,0718	0,0793	
	F30201	0,074	5,60		0,0869		
	F30202	0,079	5,25				
	F30202	0,095	4,40				
Tallo entero	F40501	0,061	6,85	0,0044	0,0603	0,0565	
	F40501	0,060	6,95		0,0527		
	F40502	0,053	7,85				
	F40502	0,052	7,95				

Tabla 28. Resumen de coeficiente de conductividad térmica de prototipos de fibra de totora con resina polimérica. Fuente: Elaboración propia (2024)

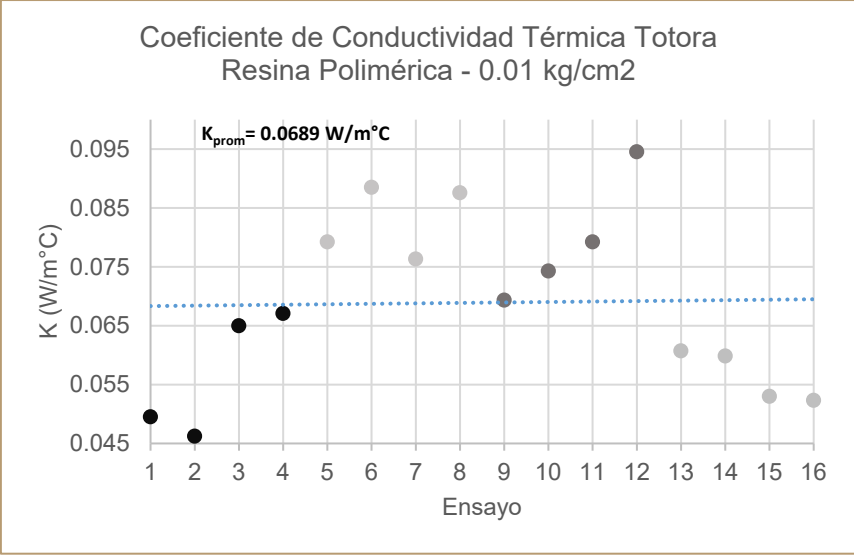


Tabla 29. Gráfico Desviación Estándar. Fuente: Elaboración propia (2024)

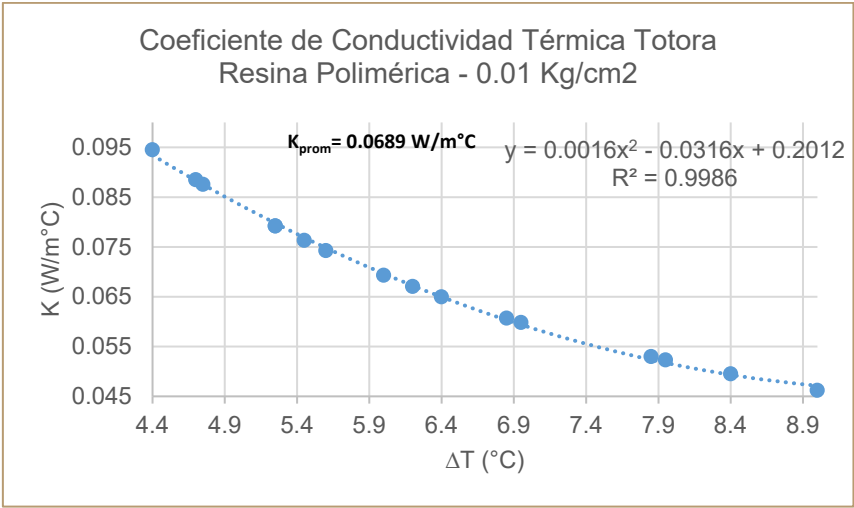


Tabla 30. Gráfico grafico de conductividad térmica con respecto al delta de temperatura. Fuente: Elaboración propia (2024)

Fibra 1 (0,297-0,596mm)

Los valores de k varían de 0.046 a 0.065 W/(mK). El promedio de conductividad térmica para este rango de tamaño es 0.0570 W/(mK). La desviación estándar es baja (0.0106), indicando una consistencia relativa en los valores medidos.

Fibra 2 (0,595 - 1,19 mm)

Los valores de k están en el rango de 0.065 a 0.086 W/(mK). El promedio de conductividad térmica es 0.0829 W/(mK), mostrando un aumento en comparación con las partículas más pequeñas. La desviación estándar es nuevamente baja (0.0061), sugiriendo buena consistencia.

Fibra 3 (1,19 – 2,38 mm)

Los valores de k varían de 0.065 a 0.089 W/(mK). El promedio de conductividad térmica es 0.0793 W/(mK). La desviación estándar es ligeramente mayor (0.0109), pero sigue siendo aceptable.

Fibra 4 (tallo entero)

Los valores de k van de 0.052 a 0.075 W/(mK). El promedio de conductividad térmica es 0.0565 W/(mK), el más bajo de todos los tamaños de partículas. La desviación estándar es 0.0074, indicando consistencia en los valores obtenidos.

Las partículas más pequeñas (0.297-0.596mm) y el tallo entero tienen conductividades térmicas más bajas, lo que indica que la estructura más densa y menos porosa de estas formas puede reducir la transferencia de calor. Mientras que, las partículas de tamaño intermedio (0,595 - 1,19 mm y 1.19 – 2.38 mm) presentan valores más altos de k , posiblemente debido a una mayor porosidad o heterogeneidad en la estructura.

El valor promedio general de 0.0689 W/(mK) reafirma que la totora es un material con buenas propiedades de aislamiento térmico, útil en aplicaciones de construcción y diseño ecológico donde la eficiencia térmica es crucial.

Estos resultados destacan la totora como un material prometedor para aplicaciones de aislamiento térmico, con propiedades que varían ligeramente según el tamaño de partícula, pero manteniendo una baja conductividad térmica en general.

4.5. Síntesis de resultados y comparativa con aislantes térmicos convencionales

Para facilitar la síntesis de resultados y la comparativa con aislantes convencionales, la Tabla 30 resume los valores obtenidos en cada ensayo para cada tamaño de fibra.

Ensayo	F1	F2	F3	F4
% de absorción de humedad	5,8%	5,6%	5,9%	6,8%
Densidad (g/cm3)	0,24	0,23	0,23	0,14
Densidad (kg/m3)	240	230	230	140
Módulo de elasticidad (N/mm2)	3,37	1,597	1,764	0,749
Conductividad (W/mK)	0,057	0,083	0,079	0,057

Tabla 31. Resumen de resultados de ensayos. Fuente: Elaboración propia (2024)

Los valores obtenidos se compararon con una tabla presentada en un artículo que resume las características de rendimiento de materiales aislantes comúnmente utilizados en paredes exteriores de edificios.

Building insulation materials	Raw materials	Thermal conductivity ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Specific heat capacity ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Fire class	Water vapor diffusion resistance factor	Sound absorption coefficient
EPS	Fossil fuels	0.029–0.041	1.25	18–50	E	20–100	0.22–0.65
XPS	Fossil fuels	0.032–0.037	1.45–1.7	32–40	E	80–170	0.2–0.65
PU	Fossil fuels	0.022–0.035	1.3–1.45	30–160	D–F	50–100	0.67 or 0.8
PIR	Fossil fuels	0.018–0.028	1.4–1.5	30–45	B	55–150	
Phenolic foam	Fossil fuels	0.018–0.024	1.3–1.4	40–160	B–C	35	0.3–0.5
Fibreglass	Glass	0.030–0.050	0.8–1.0	10–100	A1	1.0–1.3	0.45–0.8
Rock wool	Rock	0.033–0.040	0.8–1.0	40–200	A1–A2	1.0–1.3	0.29–0.9
Expanded perlite	Perlite	0.040–0.060	0.2	32–176	A1	3.5	0.2–0.75
Aerogel	Various chemical components	0.013–0.021	1.0	70–150	A1/C	2.0–5.5	0.54–0.78

Tabla 32. Características de rendimiento de materiales aislantes de edificios comunes utilizados en paredes exteriores. Fuente: (Zhao et al., 2022)

Otros valores de conductividad térmica de aislantes térmicos de fibras naturales son los siguientes (Aza-Medina, 2016):

- Fibra de madera: 0,037 - 0,050 W/(mK).
- Fibra de cáñamo: 0,038 W/(mK).
- Balas de paja: 0,045 - 0,065 W/(mK).
- Aislantes de corcho: 0,040 - 0.150 W/(mK)

Realizando una comparativa, los valores de densidad de los prototipos de aislantes térmicos con fibra de totora oscilan entre 140 y 240 kg/m^3 , lo cual se encuentra dentro del rango típico de los aislantes convencionales, que va de 10 a 200 kg/m^3 .

Por otro lado, los valores de conductividad térmica de los prototipos están entre 0,057 y 0,083 W/mK, lo que también se compara favorablemente con los valores típicos de conductividad térmica de los aislantes convencionales y los aislantes con fibras naturales.

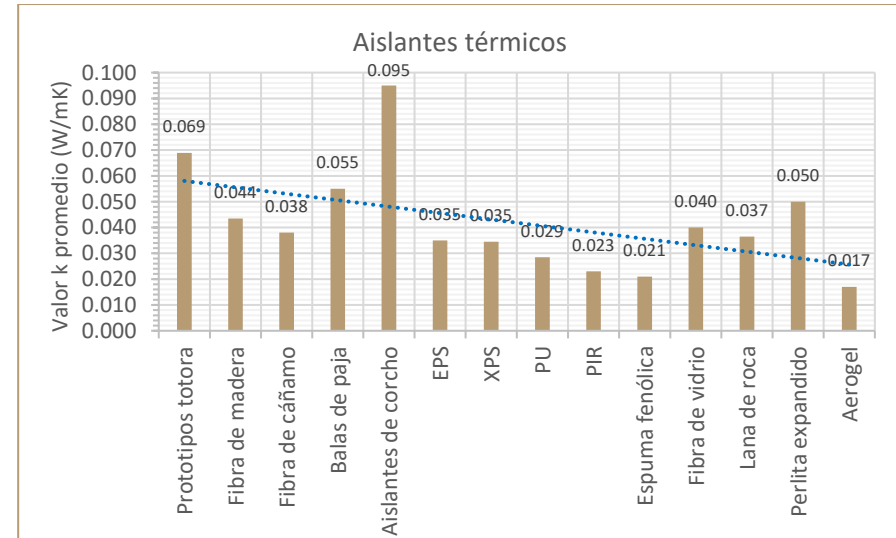


Figura 70. Gráfico comparativo de valores de conductividad térmica de aislantes convencionales y de los prototipos de totora. Fuente: Elaboración propia (2024)

Estos hallazgos subrayan la viabilidad de los prototipos de tableros aislantes térmicos con fibra de totora, cuyos valores de densidad y conductividad térmica los sitúan en un rango competitivo respecto a los aislantes convencionales utilizados en paredes exteriores de edificios. Estos resultados respaldan la consideración de la fibra de totora como una opción prometedora para aplicaciones de aislamiento térmico, ofreciendo una alternativa eficiente y sostenible en la construcción de edificaciones modernas.

4.6. Propuesta de aplicación constructiva

Se propone un sistema constructivo que integra paneles aislantes térmicos de fibra de totora, con el objetivo de servir como base para futuras investigaciones y ampliar el alcance del estudio. Esta propuesta busca destacar el potencial de estos paneles en aplicaciones prácticas y fomentar el desarrollo de soluciones innovadoras en la construcción sostenible.

Sistema Wood framing

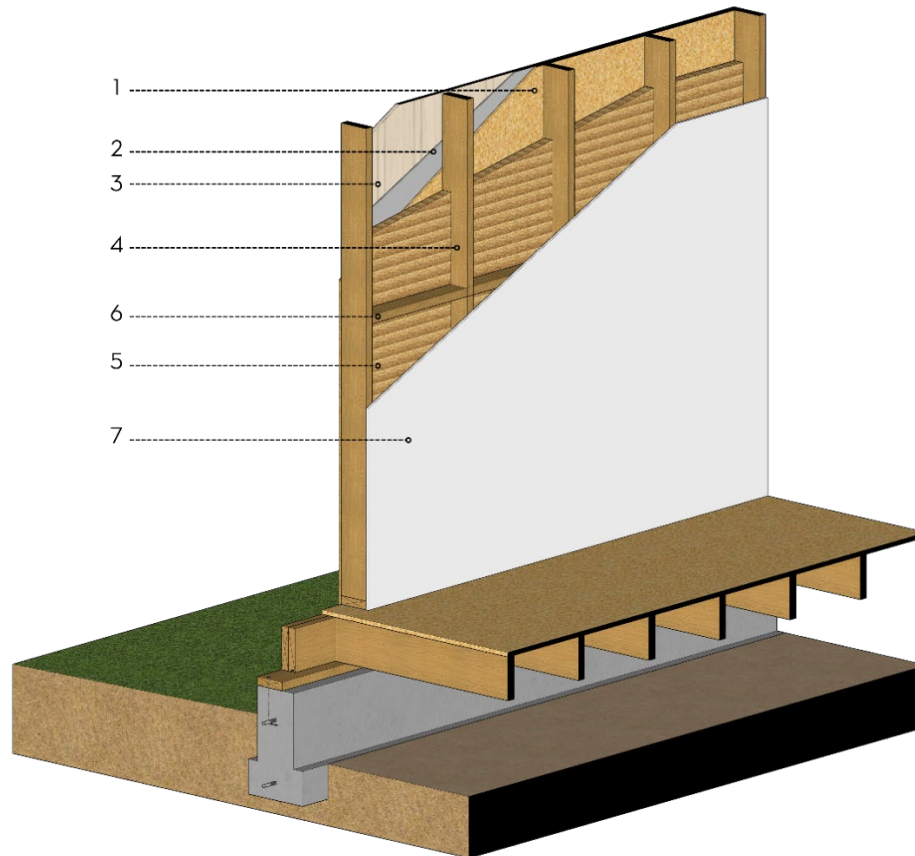


Figura 71. Sistema constructivo Wood framing. Fuente: Elaboración propia (2024)

Descripción:

1. Placa OSB (Oriented Strand Board): Parte exterior de la estructura. Proporciona rigidez estructural, resistencia a la torsión y un plano de apoyo para el revestimiento exterior.

2. Membrana plástica de impermeabilización: Entre el panel OSB y la placa de fibrocemento exterior se debe colocar una membrana plástica de impermeabilización.
3. Placa de fibrocemento de acabado exterior con pintura elastomérica para exteriores: Dada la absorción de humedad del tablero es importante garantizar una correcta impermeabilización de las superficies exteriores.
4. Montante Vertical de Madera (cada 60 cm): Usualmente de 2x4 pulgadas (5x10 cm) o 2x6 pulgadas (5x15 cm). Proporciona soporte estructural y un marco para instalar otros elementos como aislamiento y placas de yeso.
5. Aislamiento térmico de fibra de totora: Panel de aislamiento térmico fabricado con fibra de totora, dimensionado en 60x120x5cm, instalado entre los montantes para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico. El panel debe ser cortado a medida para que entre ejerciendo una ligera presión entre los montantes. El panel se puede perforar fácilmente para el paso de instalaciones.
6. Solera horizontal de Madera: Usualmente colocado en la parte superior e inferior de la estructura, puede haber horizontales intermedios para mayor rigidez y soporte. Proporciona soporte adicional y estabilidad a la estructura, también actúa como un soporte para la placa de yeso y el aislamiento.
7. Placa de Yeso (Interior): Parte interior de la estructura, sobre los montantes verticales y horizontales. Proporciona una superficie interior acabada, contribuye al aislamiento acústico y puede ser pintada o decorada según las necesidades estéticas.

Sistema Steel framing

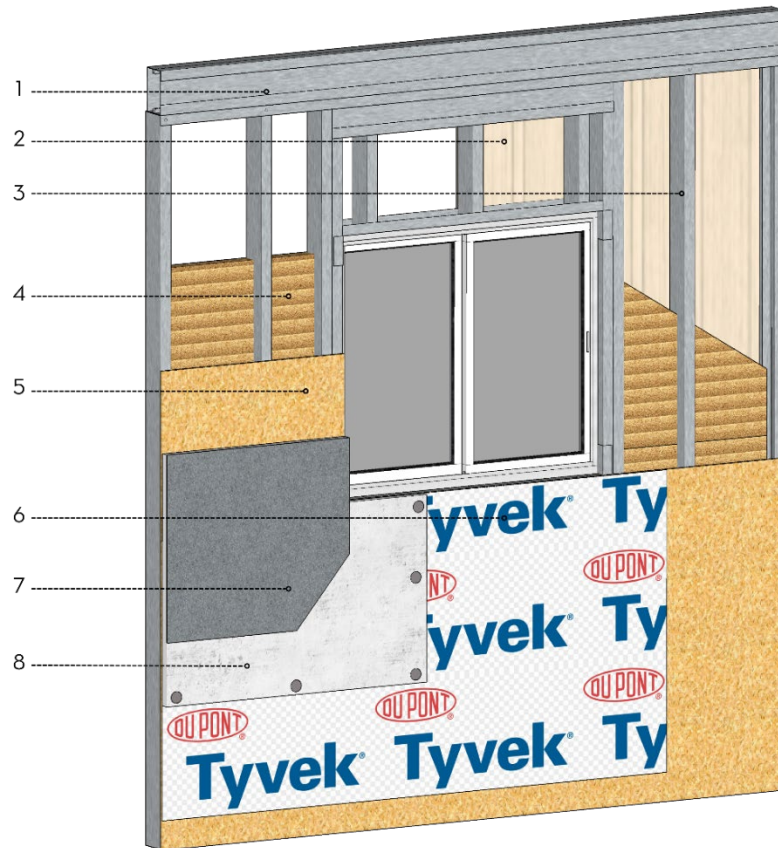


Figura 72. Sistema constructivo Steel framing. Fuente: Elaboración propia (2024)

Descripción:

1. Track o PGU: Perfil de acero galvanizado diseñado como riel base para la estructura de pared, proporcionando soporte y alineación para el sistema de construcción en steel framing.

2. Placa de yeso: Placa de yeso estándar utilizada como revestimiento interior para la pared, ofreciendo superficie lisa y adecuada para acabados posteriores.
3. Stud o PGC: Perfil de acero galvanizado utilizado como montante vertical en la estructura de pared, conectado al track para formar el esqueleto principal del sistema de steel framing.
4. Aislamiento térmico de fibra de totora: Panel de aislamiento térmico fabricado con fibra de totora, dimensionado en 60x120x5cm, instalado entre los montantes para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico. El panel debe ser cortado a medida para que entre ejerciendo una ligera presión entre los montantes. El panel se puede perforar fácilmente para el paso de instalaciones.
5. Placa OSB (Oriented Strand Board): utilizada como material de revestimiento exterior, proporcionando resistencia estructural y soporte para acabados exteriores.
6. Barrera de agua y aire: Capa protectora que actúa como barrera contra la entrada de agua y aire en la estructura, crucial para mantener la durabilidad y la eficiencia energética del sistema. Esta capa forma una parte crucial del sistema para poder mantener el aislante térmico seco debido a su alta absorción de humedad.
7. Acabado pintura: Capa final de pintura aplicada sobre la superficie exterior.
8. Placa de fibrocemento de acabado exterior con pintura elastomérica para exteriores: Dada la absorción de humedad del tablero es importante garantizar una correcta impermeabilización de las superficies exteriores.

Conclusiones y recomendaciones

La investigación llevada a cabo ha sido fundamental para abordar la pregunta central de si es posible evaluar las propiedades de prototipos con el fin de obtener paneles aislantes térmicos a partir de plantas como la totora. A lo largo de este estudio, se ha demostrado que la totora posee características que la hacen un material prometedor para la construcción sostenible, destacando su potencial como aislante térmico. Los hallazgos más relevantes de esta investigación han revelado que los prototipos de tableros aislantes térmicos fabricados con fibra de totora cumplen con estándares técnicos y mecánicos, además de ser una alternativa sostenible y ecológica en el campo de la construcción.

Uno de los aspectos destacados de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio es la eficacia de la totora como material aislante, lo cual contribuye significativamente a la innovación en la construcción sostenible y al aprovechamiento de recursos naturales renovables.

Durante el proceso de construcción de prototipos, se enfrentaron diversas dificultades que pusieron a prueba la metodología y la capacidad de adaptación del equipo de investigación. La necesidad de un tratamiento previo de corte, secado, triturado y tamizado de la totora implicó un desafío logístico y técnico que requirió un enfoque meticuloso y detallado. Además, la selección del tipo de pegamento y la presión de prensado adecuados para la fabricación de los prototipos también representaron obstáculos que fueron superados con dedicación y esfuerzo por parte del equipo investigador. El tamizado sirvió para poder analizar la influencia de los tamaños de partículas en el comportamiento térmicos de los prototipos.

En cuanto a la conductividad térmica, se observó que los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora presentaron valores dentro de rangos aceptables para su aplicación como material aislante en la construcción. Estos resultados indican que la totora es capaz de proporcionar un buen nivel de aislamiento térmico, lo cual es fundamental

para reducir la transferencia de calor y mejorar la eficiencia energética de los edificios. La conductividad térmica es un parámetro crucial a considerar en la evaluación de materiales aislantes, y los valores obtenidos en este estudio respaldan la idoneidad de la totora en este aspecto.

En relación con la compresión, los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora mostraron una resistencia notable a las fuerzas aplicadas, sin presentar rupturas significativas durante las pruebas realizadas en laboratorio. Estos resultados sugieren que la totora posee una buena capacidad de soportar cargas mecánicas, lo cual es esencial para garantizar la integridad estructural de los paneles a lo largo de su vida útil. La resistencia a la compresión es un factor determinante en la evaluación de la durabilidad y la estabilidad de los materiales de construcción, y los valores obtenidos en este estudio respaldan la idoneidad de la totora en este aspecto.

En cuanto a la absorción de humedad, se observó que los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora presentaron una capacidad moderada para resistir la humedad ambiental. Si bien se registró cierta absorción de humedad en las muestras durante los ensayos, esta no afectó significativamente las propiedades aislantes de la totora. La capacidad de resistir la absorción de humedad es crucial para garantizar la durabilidad y eficacia de los materiales aislantes en entornos con variaciones climáticas, y los resultados obtenidos en este estudio indican que la totora puede desempeñar satisfactoriamente en este aspecto.

En lo que respecta a la densidad, se encontró que los prototipos de tableros aislantes térmicos de fibra de totora presentaron valores adecuados para su aplicación en la construcción. La densidad es un parámetro importante a considerar en la evaluación de materiales de construcción, ya que influye en aspectos como la resistencia, la durabilidad y la facilidad de manipulación. Los valores de densidad obtenidos en este estudio indican que la totora puede ofrecer una buena relación entre resistencia y peso, lo cual es beneficioso para su uso en aplicaciones constructivas.

Los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados en esta investigación confirman la idoneidad de la totora como material aislante térmico en la construcción sostenible. Los resultados en conductividad térmica, resistencia a la compresión, absorción de humedad y densidad respaldan la eficacia y viabilidad de la totora como alternativa sostenible y eficiente en términos energéticos. Estos hallazgos abren nuevas posibilidades para la integración de la totora en soluciones constructivas que promuevan la sostenibilidad ambiental y la innovación en el sector de la construcción.

Para futuras investigaciones en este campo, se proyecta la realización de estudios más detallados sobre las propiedades físicas y mecánicas de los prototipos de tableros aislantes térmicos con fibra de totora, con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre su comportamiento en diferentes condiciones ambientales y de uso. Asimismo, se sugiere explorar nuevas técnicas de fabricación y tratamiento de la totora para mejorar aún más sus propiedades como material aislante. Estas proyecciones permitirán seguir avanzando en la implementación de la totora como una alternativa sostenible y eficiente en la industria de la construcción, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras y eco amigables.

Referencias

- Aza-Medina, L. C. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88419>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*.
- García-Herrero, L., Lavrić, S., Guerrieri, V., Toscano, A., Milani, M., Cirelli, G. L., & Vittuari, M. (2022). Cost-benefit of green infrastructures for water management: A sustainability assessment of full-scale constructed wetlands in Northern and Southern Italy. *Ecological Engineering*, 185, 106797. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2022.106797>
- Hidalgo Castro, E. P., García Navarro, J. M., & Hidalgo Cordero, J. F. (2018). *Estudio del comportamiento físico-mecánico de rollos de totora amarrados: influencia de la tensión de amarre, diámetro y longitud*. 6, 53-84. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35779>
- Hidalgo Cordero, A. P., & Ullauri Donoso, N. de J. (2015). *Turismo Sostenible: Una propuesta para el desarrollo local de la Comunidad de Paccha*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4381>
- Hidalgo-Cordero, & Aza-Medina. (2023). Analysis of the thermal performance of elements made with totora using different production processes. *Journal of Building Engineering*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105777>
- Hidalgo-Cordero, & García-Navarro, J. (2017). Review on the Traditional Uses and Potential of Totora (*Schoenoplectus Californicus*) as Construction Material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245, 022068. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/2/022068>

- Hidalgo-Cordero, J. F. (2007). *Aprovechamiento de la Totora como material de construcción (Tesis de pre-grado)*. https://www.researchgate.net/publication/315519520_Totora_Materia_I_de_Construccion
- Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material. *Industrial Crops and Products*, 112, 467-480. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>
- International Organization for Standardization. (2004). *ISO- N314-22157 to standardize compression tests parallel in the guadua angustifolia Kunth*.
- Mallison, C. T., & Thompson, B. Z. (2010). Planting Strategies to Establish Giant Bulrush. *Journal of Aquatic Plant Management*, 48, 111-115. <http://www.apms.org/wp/wp-content/uploads/2012/10/vol48p111.pdf>
- Martinelli, F. R. B., Pariz, M. G., de Andrade, R., Ferreira, S. R., Marques, F. A., Monteiro, S. N., & de Azevedo, A. R. G. (2024). Influence of drying temperature on coconut-fibers. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56596-z>
- NEC. (2015). *NEC-SE-MD. Estructuras de Madera*. MIDUVI.
- Prefectura de Imbabura. (2015, noviembre 25). *Premio Internacional para proyecto otavaleño diseñado en totora*. <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/component/k2/item/825-premio-internacional-para-proyecto-otavaleno-disenado-en-totora>
- Troughton Michael J. (2009). Adhesive Bonding. *Handbook of Plastics Joining*, 145-173. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1581-4.50019-6>
- United Nations. (2020). *Agua limpia y saneamiento*. 34-35. <https://doi.org/10.18356/64118CB4-ES>

Universidad Politécnica Salesiana. (s. f.). *CONDUCCION EN PAREDES COMPUESTAS EN ESTADO ESTABLE*.

Zambrano, M. (2018). *Totora: Análisis de su comportamiento como material de la construcción para futuras aplicaciones*.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1750>

Zhao, J. R., Zheng, R., Tang, J., Sun, H. J., & Wang, J. (2022). A mini-review on building insulation materials from perspective of plastic pollution: Current issues and natural fibres as a possible solution. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129449.
<https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2022.129449>