UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR – LOJA
FACULTAD PARA LA CIUDAD, EL PAISAJE Y LA ARQUITECTURA
TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

DISEÑO DE UN PANEL DE YESO – TOTORA CON CUALIDADES TÉRMICAS PARA CIELO FALSO

Autor

Alfredo Geovany Hernández Collahuazo

Director

Arq. Fernando Moncayo Serrano, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2019

Yo, Alfredo Geovany Hernández Collahuazo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y que ha sido respaldado con la respectiva bibliografía.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que el presente trabajo sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Alfredo Geovany Hernández Collahuazo

Yo, Fernando Vinicio Moncayo Serrano, certifico que conozco al autor del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto en su originalidad, autenticidad, como en su contenido.

Arq. Fernando Vinicio Moncayo Serrano

Director de Tesis

A mi amada madre Cecilia quien buscó
siempre la forma de apoyarme y brindarme lo
necesario en cada momento y etapa de mi vida,
sin importar lo difícil o cansado que fuese.

A mis dos hermanos Fernando y Adrián,
que a pesar del cansancio y malhumor buscaban
la forma de distraerme y alentarme
en cada momento difícil.

A mis tíos y abuelitos maternos quienes se preocuparon
y me alentaron a continuar mi camino.

A esa amistad, que supo con sus palabras
guiar mi camino en días de tiniebla.
Gracias por su amor

Al Mgs. Arq. Fernando Moncayo
por brindarme los conocimientos necesarios,
para llevar a cabo la investigación
con éxito.

Alfredo G. Hernández C.

A mi madre, que es mi ángel incondicional
quien me apoyó en cada paso y tropiezo de
mi arduo camino académico.

A mis dos pequeños hermanos que ya comprenden
el difícil camino de un estudiante.

A mi familia materna por su apoyo y ánimos.

A esa amistad que siempre estuvo ahí y supo escucharme.

Y a la arquitectura, quien me brindo una nueva
perspectiva de conocer la vida.

Alfredo G. Hernández C.

Resumen

La preocupación de hoy en día para las viviendas, es el ¿cómo combatir con los repentinos cambios de temperatura que se están dando en las ciudades?, estos cambios tienden a generar conflictos en el desarrollo de las actividades que se producen en el interior de una vivienda, por ello, la arquitectura pretende a través de la creación de sistemas o materiales constructivos con características o cualidades específicas combatir las cuestiones climáticas arquitectónicas y de igual modo generar confort térmico en el interior de la vivienda. En los últimos años dentro de la construcción se ha dado importancia a los materiales de origen vegetal o de biomasa que, por sus características morfológicas son una alternativa potencial que permite solventar los conflictos térmicos-arquitectónicos, a la vez que por su naturaleza tienden a ser amigables con los procesos ambientales y ecológicos. Para combatir los cambios climáticos que afectan a las actividades que se desarrollan en el interior de una vivienda existen materiales con cualidades térmicas como es el caso del junco de totora, que es una planta acuática que por su forma y morfología le permite ser un potencial material como aislante térmico para los procesos constructivos de una vivienda. Los aislantes térmicos se generan como un sistema para lograr la eficiencia energética y el confort térmico en el interior de un espacio, por ello es de importancia conocer de qué forma la totora puede ayudar a solucionar las altas y bajas temperaturas repentinas que afectan a los espacios internos de las viviendas.

Palabras claves: Totora, panel de totora, panel vegetal, panel de biomasa, panel natural, yeso-totora

Abstract

Today's concern for homes is how to deal with the sudden changes in temperature that are taking place in cities? These changes tend to generate conflicts in the development of activities that occur within a housing, therefore, the architecture seeks through the creation of systems or construction materials with specific characteristics or qualities, which allow to combat climatic-architectural issues and also generate thermal comfort inside the home. In recent years in construction, importance has been given to materials of plant or biomass origin that, due to their morphological characteristics, are a potential alternative that allows to solve thermal-architectural conflicts, while at the same time they tend to be Friendly with environmental and ecological processes. To combat the climatic changes that affect the activities that take place inside a house there are materials with thermal qualities such as junk the totora, which is an aquatic plant that by its shape and morphology allows it to be a material potential as a thermal insulator for the construction processes of a house. Thermal insulators are generated as a system to achieve energy efficiency and thermal comfort inside a space, so it is important to know how the totora can help solve the sudden high and low temperatures that affect the spaces Inmates of homes.

Keywords: Totora, totora panel, plant panel, biomass panel, natural panel, totora plaster

DISEÑO DE UN PANEL DE YESO-TOTORA CON CUALIDADES TÉRMICAS PARA CIELO FALSO

Resumen v
Abstract vi
Índice de Tablas x
Índice de Figuras xii
Índice de gráficos xiv
Índice de Anexos xv
Introducción xvi
CAPITULO 1 1
1. PLAN DE INVESTIGACIÓN 1
1.1. Tema de investigación 2
1.2. Planteamiento de la problemática 2
1.3. Justificación 5
1.4. Hipótesis 7
1.5. Objetivos 7
1.6. Metodología 8
CAPITULO 2 9
2. MARCO TEÓRICO 9
2.1. La totora 10
2.2. Uso de la totora 12
2.3. Características agronómicas 16
2.4. Aislamiento térmico 19
2.5. Impacto medioambiental 24
2.6. Paneles y Placas 26
2.7. Cielo falso 31
CAPITULO 3 34
3. ESTADO DEL ARTE 34
3.1. Estudios de las cualidades y propiedades de la totora 35
3.2. Tipos de uniones de la totora 39
3.3. Materiales Complementarios con la Totora 39
3.4. Marco Normativo 42

CAPITULO 4 48
4. MATERIALES Y MÉTODOS 48
4.1. Materiales 49
4.2. Vegetales 49
4.3. Sintéticos 51
4.4. Minerales 51
4.5. Químicos 52
4.6. Herramientas 52
4.7. Método de Experimentación 56
4.8. Dosificación del yeso 57
4.9. Diseño de probetas Yeso – Totora 58
4.10. Diseño de probetas e instrumento según las normativas INEN y Normativa Chilena NCh para las pruebas térmicas, de flexión, de impacto y resistencia al fuego... 61
4.11. Método para pruebas térmicas 62
4.12. Método de resistencia a la flexión 67
4.13. Método de resistencia al impacto 67
4.14. Método de resistencia a la acción de llamas directas 68
CAPITULO 5 72
5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS 72
5.1. Descripción del método de experimentación 74
5.2. Ensayo a la rotura de las dosificaciones de yeso 76
5.3. Ensayo de adherencia de las probetas en granel 79
5.4. Ensayo de probetas Yeso-Totora 80
5.5. Ensayo térmico de las probetas Yeso – Totora 86
5.6. Ensayo de resistencia a la flexión 92
5.7. Ensayo de resistencia al impacto 95
5.8. Ensayo de resistencia a las llamas directas. 99
5.9. Análisis de costos e impacto ambiental respecto a otros materiales aislantes térmicos. 103
5.10. Crecimiento de la totora en la ciudad de Catamayo 106
5.11. Diseño del panel de yeso-totora 108
CAPITULO 6 110
6. ANALISIS DE RESULTADOS 110
6.1. Análisis de los resultados 111

6.2. Análisis de los resultados de la dosificación del yeso.....111
6.3. Análisis de los resultados de las probetas de yeso-totora.....112
6.4. Análisis de los resultados de la resistencia a la flexión y al impacto.....112
6.5. Análisis de los resultados a la resistencia de las llamas directas 113
6.6. Análisis térmico de las probetas yeso-totora.....114
6.7. Análisis de costo e impacto ambiental 116
Conclusiones 117
Recomendaciones.....119
Bibliografía 120
Anexos.....124

Índice de Tablas

Tabla 1: Morfología de la totora 11
Tabla 2: Características físicas de la totora 12
Tabla 3: Distancia Loja – comunidades totoreras 15
Tabla 4: Áreas de ocupación de suelo 18
Tabla 5: Matala (*Typha Latifolia*) 19
Tabla 6: Aislamiento térmicos de materiales 19
Tabla 7: Parámetros para determinar el impacto ambiental de los materiales 25
Tabla 8: Paneles de Gypsum 29
Tabla 9: Tipos de Cielo Falso 31
Tabla 10: Tipos de uniones en totora 39
Tabla 11: Productos ignifugantes de la madera 41
Tabla 12: Normativa térmica chilena 43
Tabla 13: Normativa a la Flexión INEN 44
Tabla 14: Normativa a la Flexión NCh 44
Tabla 16: Normativa de resistencia a las llamas directas 46
Tabla 16: Químicos de inmunización 52
Tabla 17: Materiales y costo del calorímetro 53
Tabla 18: Materiales para la prueba de fuego 55
Tabla 19: Dosificación de yeso 57
Tabla 20: Construcción de la Caja caliente 63
Tabla 21: Formulas para el software EES 65
Tabla 22: Mezclas químicas de inmunización 70
Tabla 23: Ensayo en las dosificaciones del yeso 77
Tabla 24: Pruebas en las probetas totora +yeso 81
Tabla 25: Comparación del peso en diferentes materiales 83
Tabla 26: Valores y resultados termicos 87
Tabla 27: Resultados de los ensayos a flexión 93
Tabla 28: Ensayo de resistencia al impacto 96
Tabla 29: Observaciones de los ensayos a la resistencia de llamas directas 100
Tabla 37: Ensayo de resistencia a las llamas directas 101
Tabla 31: Análisis de costo 103

Tabla 32: Análisis de emisión de CO2.....105
Tabla 33: Crecimiento de la totora en Catamayo.....107
Tabla 34: Análisis de los resultados de la dosificación de yeso 111

Índice de Figuras

Figura 1: Aprovechamiento de la totora....10
Figura 2: Planta Scirpus Califoricus....11
Figura 3: Totora como alimento....13
Figura 4: comunidad de los Uros....13
Figura 5: Diseño de viviendas en Pacaje....14
Figura 6: Ubicación de comunidades totoreras....15
Figura 7: Cosecha de totora....16
Figura 8: Extracción y preparación de la totora....16
Figura 9: Cultivo en la ciudad de Catamayo....18
Figura 10: Matala (*Typha Latifolia*)....19
Figura 11: Ley de Fourier....22
Figura 12: Coeficiente térmico....23
Figura 13: Paneles con virutas de madera o aserrín....27
Figura 14: Paneles aglomerados de partículas de cascara de maní....28
Figura 15: Paneles de estuco....30
Figura 16: Formulaciones de totora....35
Figura 17: Probeta de totora y maquina térmica....36
Figura 18: Tabique de yeso....37
Figura 19: Cola de carpintero....40
Figura 20: Matala....49
Figura 21: Matala....50
Figura 22: Calorímetro o caja caliente....53
Figura 23: Sistema de pruebas al fuego....55
Figura 24: Máquina automotriz para pruebas de flexión....56
Figura 25: Probetas de yeso con dosificaciones....58
Figura 26: Selección de la totora....59
Figura 27: Tejido en bulto de la totora....59
Figura 28: Pegado en paralelo de la totora....60
Figura 29: Poseso de realización de las probetas....61
Figura 30: Experimentación del Calorímetro....66
Figura 31: Prueba al impacto....68

Figura 32: Bocetos del sistema de pruebas al fuego 70
Figura 33: Mezcla de químicos de inmunización 71
Figura 34: Ensayos de dosificación del yeso 77
Figura 35: Ensayo amarrado en bulto de totora 79
Figura 36: Ensayo pegado en paralelo de totora 80
Figura 37: Ensayo probetas Yeso – Totora 80
Figura 38: Rotura de un panel 84
Figura 39: Adherencia del yeso a la totora 85
Figura 40: Ensayo térmico 86
Figura 41: Ensayo resistencia a la flexión 92
Figura 42: Diferencia entre un panel con cabuya y un panel sin cabuya 94
Figura 43: Ensayo de la resistencia al impacto 95
Figura 44: Ensayo de resistencia a las llamas directas 99
Figura 45: Análisis de resistencia a las llamas 113

Índice de gráficos

Gráfica 1: Dosificación del yeso 78
Gráfica 2: Relación en peso de diferentes materiales 83
Gráfica 3: Resistencia térmica Yeso-Totora 90
Gráfica 4: Resistencia térmica Yeso-Totora 91
Gráfica 5: Resistencia a la Flexión 93
Gráfica 6: Ensayo de la resistencia al impacto 98
Gráfica 7: Ensayo de resistencia a las llamas directas 102
Gráfica 8: Análisis de costo 104
Gráfica 9: Análisis de emisión de CO2 106
Gráfica 10: Análisis del coeficiente térmico 112
Gráfica 11: Análisis de resistencia a la flexión e impacto 112
Gráfica 12: Análisis de temperatura 114
Gráfica 13: Comparación del coeficiente térmico de los materiales 115
Gráfica 14: Comparación del coeficiente térmico con otros autores 115
Gráfica 15: Análisis de costo e impacto ambiental 116

Índice de Anexos

Anexos A: Tabla de valores de la dosificación yeso.....125
Anexos B: Graficas de las dosificaciones de yeso 127
Anexos C: Ilustración de la fabricación de probetas.....129
Anexos D: Programación del arduino para la interpretación de los datos térmicos 131
Anexos E: Cálculo del coeficiente térmica de cada probeta 132
Anexos F: Programación de fórmulas en el EES 138
Anexos G: Imágenes de los ensayos 139

Introducción

El cambio climático en nuestro planeta o en las ciudades cada día es más notorio, aumentando o disminuyendo las temperaturas de forma repentina, efecto que se debe a la contaminación ambiental que se está dando en los últimos años. Los cambios climáticos repercuten en el comportamiento de las actividades del ser humano dentro de la vivienda, por tal motivo, la arquitectura busca alternativas constructivas que permitan estabilizar la temperatura internas de una vivienda, generando un ambiente confortable de forma que no afecte a los procesos naturales del ecosistema y no atribuya a la contaminación ambiental.

En la ciudad de Catamayo las viviendas conformadas por cubiertas de zinc, asbesto y losa en los días de mayor temperatura 35.1ºC tienen problemas para combatir el calor generado en el interior de la vivienda, a la vez las características de los materiales de cubierta tienen un alto coeficiente térmico permitiendo una rápida transición de la radiación. Para combatir el calor se utilizan materiales aislantes de origen sintético, pero su utilización tiende a no ser amigable con los procesos naturales, por ello los materiales de origen vegetal o de biomasa por sus características morfológicas tienden a ser una alternativa potencial para ser un material aislante térmico como es el caso del junco de totora, que por su naturaleza son amigables con los procesos ambientales y ecológicos.

En los estudios existentes sobre el junco de totora se determinan su coeficiente térmico, por tanto, su importancia como un material aislante, pero se tiene en cuenta que solo existe información sobre su importancia térmica y no se promulga de qué forma pueden ser utilizados en los procesos constructivos de una vivienda. En la investigación que es de carácter exploratorio, se pretende a través de la metodología de experimentación basándose en las normativas nacionales de construcción NEC-11, INEN y normativas Internacionales ASTM y NCh para la construcción de paneles de yeso-cartón, fabricar paneles de yeso-totora para ser utilizados como cielo falso en las viviendas de la ciudad de Catamayo y de ese modo combatir con las altas temperaturas generadas en el mes de enero y que permita un ambiente confortable para el adecuado desarrollo de las actividades en el interior de una vivienda.

CAPITULO 1

1. PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tema de investigación

Diseño de un panel de yeso-totora con cualidades térmicas para cielo falso

1.2. Planteamiento de la problemática

- **Antecedentes**

La energía solar que recibe el Planeta Tierra al año es aproximadamente unos 17800 TW-año (Tera vatios) del cual el 50% es absorbida y convertida en energía calorífica, quedándose en la superficie terrestre (Consejo Nacional Eléctrica "Conelec", 2008). Al existir pérdida de la capa de ozono responsable de mantener los gases que reflejan el 30% de la energía recibida, la absorción de la energía en la superficie terrestre se incrementa. También el CO2 es responsable de aumentar la cantidad de calor absorbida por la superficie terrestre, efecto que empieza a reflejarse en nuestro planeta produciendo cambios climáticos inesperados y elevadas temperaturas repentinas. Como consecuencia de las temperaturas inestables, se reduce la calidad de los espacios y de las actividades que se realiza, efecto que se refleja en el comportamiento de los seres vivos, en el habitad (Guimaraes, 2008).

Ecuador, debido a su ubicación geográfica (longitud 0º S y latitud 77º W) recibe una gran cantidad de energía directa del sol a lo largo del año, por consiguiente, es uno de los países que está más expuesto al cambio climático y subidas de temperaturas. Por este motivo, algunas ciudades presentan problemas para combatir el exceso de calor, como es el caso de la ciudad de Catamayo que, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (Inamhi, 2016, p 4), afirma que "el incremento de temperatura en la ciudad es más notorio en el mes de enero, ya que va desde los 15,2 ºC a los 35,1 ºC".

La mayoría de las actividades que realizan las personas se desarrollan en el interior de las viviendas, por ello una de las circunstancias que impiden el mejor desenvolvimiento de dichas actividades es el recalentamiento del espacio interno, creando un efecto invernadero en su interior (Guimaraes, 2008). Al tener una inclinación de 4º respecto a los rayos solares que recibe el ecuador, se deduce que la absorción o transmisión del calor al interior de una vivienda se produce mayormente por el tumbado o cubierta (Conelec, 2008).

- **Problema**

El censo de población y vivienda (INEC, 2010) realizado en Catamayo proporciona información acerca de las diferentes tipologías de cubiertas existentes, del cuales 52 % es de teja, el 24 % de losa, el 15 % de asbesto (eternit y eurolit), el 8 % de zinc y el 1 % de palma, paja u otros materiales. El coeficiente térmico de la teja es de 0,29 W/mK, de losa es 2,50 W/mK, de asbesto es de 2,08 W/mK y del zinc es de 110 W/mK, según el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (IETCC, 2010). Conociendo el coeficiente térmico de las distintas cubiertas, se establece que las viviendas conformadas por losa, asbesto y zinc son del 47 %, siendo la de zinc la que tiene mayor dificultad para combatir los cambios de temperatura en los espacios internos, ya que según la normativa NEC-11 una cubierta donde las temperaturas son de 25 – 27 °C (Zona 6) debe tener un coeficiente térmico de 0,75 W/mK para permitir un ambiente confortable en el interior de la vivienda. La losa, al ser un material que absorbe el calor, lo refleja en las noches elevando la temperatura interna**.**

Con los últimos avances tecnológicos se han creado materiales constructivos con un bajo coeficiente de transmitancia térmica, para lograr una eficiencia energética en el interior de las viviendas. Existen algunos como la fibra de vidrio, lana de roca, poliestireno expandido, poliestireno extruido y espuma de poliuretano como aislante térmico y acústico (Aza, 2016). El corcho, la fibra de vidrio y lana de roca son materiales naturales, pero tienen un elevado costo energético por su obtención y producción, del mismo modo al componerse por pequeñas fibras que se propagan en el aire, pueden llegar a provocar problemas en la salud al ser inhaladas o al tener contacto con la piel o los ojos provocando irritaciones, conjuntivitis y problemas pulmonares para los trabajadores (Aza, 2016). El poliestireno expandido y poliestireno extruido son materiales sintéticos derivados del plástico o productos petroquímicos, por ello su fabricación tiende a producir problemas con el medio ambiente, al ser un material no biodegradable o al generar emisiones de gases como el CO2, los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno son responsables de la destrucción de la capa de ozono (Aza, 2016).

Por tales motivos, se intenta buscar alternativas de materiales de origen natural, que presenten las características de un material térmico sintético, como es el caso de los paneles de totora que, a través de estudios realizados, se verificó su potencial como un material de aislante térmico y acústico natural (Aza, 2016). Se tiene una amplia información acerca de las

cualidades y potencialidades de la totora, existen estudios que han utilizado sus fibras para mejorar bloques de hormigón, bloques de adobe (Quezada, 2015) e inclusive se han desarrollado tabiques de totora con yeso y hormigón (Palomino, Zegarra, 2015), lo que acontece es que estas investigaciones solo quedan en un archivo de datos para el previo conocimiento, y no se promulga su aplicación en las construcciones, ¿de qué forma? y ¿de qué manera?

1.3. Justificación

A través de la construcción, la arquitectura pretende resolver el problema de climatización en las viviendas, solventando la pérdida de calidad del espacio por efectos del calor y el frío, a la vez intenta contribuir a la sostenibilidad, por ello se proponen materiales "vegetales" que ayudan a este fin. Los materiales vegetales, al ser de rápida y fácil obtención, producen un mínimo de consumo energético y al usarlo en la construcción no causan contaminación alguna ya que son de carácter natural (Mercier et al, 2011). Por tal motivo, se destaca la utilización de la totora como un material potencial para combatir los factores térmicos; asimismo, se caracteriza por ser un material vegetal no maderero, de rápido desarrollo (cosecha dos veces al año) que crece en aguas dulces, desde el nivel del mar hasta los 4 500 msnm y su utilización en la construcción lleva a una reducción neta de CO_2 (Hidalgo, 2017), por tanto, es un material sostenible que no contribuye con la destrucción de la capa de ozono y el medio ambiente.

Aza Medina (2016, p. 85), afirma que **"**Por su estructura, la totora presenta un coeficiente térmico de 0,058 W/mk con un espesor de 15 mm, siendo similar a los materiales sintéticos como el poliestireno expandido (0,054 W/mk)". Al poseer la totora tales cualidades térmicas que igualan a los materiales de origen plástico (poliestireno expandido y extruido y la espuma de poliuretano), que hoy en día se utilizan en la construcción de viviendas y edificios con la finalidad combatir los cambios climáticos y conseguir una eficiencia energética, se convierte en un material potencial que pretende disminuir la proliferación de los materiales sintéticos.

Del mismo modo, a través del diseño de un prototipo de panel de totora para usarlo como cielo raso, Velasco et al (2011, p. 14), sostiene "La formación de un cielo raso aislante bajo la cubierta, de forma que reduciría las pérdidas y ganancias de energía indeseables en torno a un 80 % fomentando no solo la eficiencia energética de las nuevas construcciones, sino que permitiría la rehabilitación energética", de este modo se pretende solventar los problemas térmicos de las viviendas que están concebidas, propiciando el aislamiento y disminución del calor absorbido por la losa, la cubierta de zinc, la cubierta de nova losa o la cubierta de asbesto. En esta forma, a través de su utilización se conseguirá regularizar la temperatura interna de la vivienda en los días más cálidos de la ciudad de Catamayo, generando comodidad para el usuario.

Por ende, con los estudios y experimentaciones ya existentes se va a buscar la mejor alternativa para el diseño del prototipo de panel que permita su uso adecuado, rápido, eficiente

y de bajo costo como cielo falso, que se adaptará a las diferentes tipologías de cubiertas de la ciudad de Catamayo.

La importancia del proyecto es conseguir que los materiales de origen natural con cualidades constructivas adquieran su valor en la utilización de la construcción de viviendas, a la vez que Velasco et al (2011) afirma que se debe “revertir la situación actual de absoluta insostenibilidad energética de los sistemas constructivos convencionales ecuatorianos y latinoamericanos”.

1.4. Hipótesis

El uso de las cualidades térmicas de la totora permitirá fabricar paneles con yeso que se utilizará como cielo falso, mejorando las condiciones térmicas de una vivienda y logrando ser un potencial sustituto de los materiales térmicos convencionales de origen sintético, a la vez permitirá una producción de bajo costo.

1.5. Objetivos

- **Objetivo general**

Diseñar un panel para cielo falso, basado en la utilización de yeso y juncos de totora con características de aislamiento térmico para lograr un mejoramiento en las condiciones térmicas de las viviendas de la ciudad de Catamayo.

- **Objetivos específicos**
  - Analizar las características mecánicas, físicas y térmicas de la totora que informan los diferentes autores según el estudio que han desarrollado.
  - Identificar los materiales que permitan el diseño de un panel de yeso con totora que cumplan las normativas para cielo falso.
  - Establecer a través de la experimentación de laboratorio el comportamiento físico y térmico del panel de yeso-totora para determinar si cumplen con las normas y requerimientos nacionales e internacionales para paneles de cielo falso.
  - Determinar el prototipo de totora en su forma, para su adecuación como cielo falso.

1.6. Metodología

La investigación se basa en cuatro métodos, el estudio del caso (recolección de información), experimental (laboratorio), deductivo y analítico.

- **Recoleccion de informacion (Marco Teorico y Estado del Arte)**

Se indaga en el estudio de la Totora sobre los conceptos básicos, aspectos generales, características, las propiedades y sus relaciones con diferentes materiales desde el punto de vista arquitectónico y ambiental. Se establece el estado del arte, sobre las diferentes aplicaciones de la totora en la forma de paneles o placas para ser aplicado como cielo falso.

- **Experimental (Laboratorio)**

Se realiza un proceso de experimentación de la totora con los diferentes materiales y aditivos complementarios para determinar un prototipo de panel y se realiza las diferentes pruebas en laboratorio acerca de su comportamiento térmico, de resistencia al fuego, la resistencia a la flexión y resistencia al impacto según las Normas NEC, ASTM, INEN, NCh y MIDUVI para placas de yeso-cartón.

- **Deductivo**

Con la experimentación de laboratorio, se da un conjunto de afirmaciones esenciales para dar el valor o la importancia que se requiere a los paneles de totora como un material térmico natural.

- **Analítico**

Se analizan los resultados, se expone las conclusiones del desarrollo del trabajo de investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados. Se determina si el panel realizado cumple con los parámetros normativos y permite su utilización en los procesos constructivos como cielo falso.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La totora

- **Características**

Figura 1: Aprovechamiento de la totora

Fuente: SERNANP, (2015)
Elaborado por: SERNANP

Es una planta de la familia *Cyperaceae*, del género "*Schoenoplectus* o *Scirpus californicus*". La totora data desde la época prehispánica y existen testimonios de su uso que se remontan a los 8 000 años antes de Cristo, aunque su utilización se intensificó a partir del siglo IX por la etnia de los Uros, llevando a la totora con técnicas tradicionales constructivas a su máximo esplendor (Basu, Hidalgo-Cordero, & García-Navarro, 2018).

La totora se caracteriza por ser una planta acuática perenne (junco) que crece desde el nivel del mar hasta los 4 500 msnm de manera silvestre en ríos, riachuelos, pantanos y lagunas, adaptándose a las condiciones del medio climático. Su raíz es subterránea de 0,03 m a 0,07 m, el tallo tiene una sección triangular (tres puntas), en algunos casos, definido o en otros suavizado, y puede llegar a medir de 2,5 m a 3,5 m de altura, su grosor varía de los 0,03 m a los 0,05 m. Se caracteriza por su rápido crecimiento, permitiendo dos cosechas al año y su producción es de 20-56 toneladas/hectárea/año, es decir cinco veces mayor a la de coníferas (Basu et al., 2018).

- **Morfología**

Figura 2: Planta *Scirpus Californicus*

Fuente: Wikipedia, (2018)
Elaborado por: Wikipedia

La totora es un junco que por sus características morfológicas le permite ser una planta con cualidades constructivas:

Tabla 1: Morfología de la totora

Rizomas	Tallos subterráneos que crecen paralelamente con la superficie del suelo. Presentan a un lado raíces (parte inferior) y al otro lado pequeñas yemas que germinan en nuevas plantas.
Tallo	Es erguido, liso, flexible y liviano de sección triangular, carece de ramificación por lo tanto no posee nudos. Su estructura interna está conformada por aerénquimas o aeríferos que son cámaras de aire que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos, característica de las plantas acuáticas.
Hojas	Se forman desde el nivel de nacimiento del tallo y en forma de vaina que lo rodea.
Flores	Nacen en grupo formando una inflorescencia en umbela, se presentan durante todo el año y con mayor predominancia en épocas de lluvia.

Fuente: Aza. 2016
Elaborado por: el autor

La totora se caracteriza también, por poseer una alta fracción de sílice depositados en sus raíces, tallo y hojas. La sílice ayuda a la planta a resistir altas y bajas temperaturas, el ataque de hongos y depredadores de la planta y la radiación o la sequía, haciendo que la planta pueda durar más tiempo. (Ninaquispe-romero, Semanas, & Huelman, 2012)

- **Características Físicas**

De estudios realizados por el Arq. Juan Fernando Hidalgo para determinar las propiedades físicas de la Totora se extraen los siguientes datos:

Tabla 2: Características físicas de la totora

Densidad	Un grupo de totora atado con presión media, tiene un peso de 180kg/m3, sin alterar su volumen.
Absorción	Al estar saturado de agua (24 horas) aumenta en promedio cuatro veces su peso inicial
Velocidad de perdida de humedad	- 0.3% de pérdida de peso/minuto - 0.13% de secado/minuto
Tensión	La resistencia a la tensión de un tallo llego hasta los 38kg/cm2
Comprensión	- Un tallo resiste alrededor de 15kg/cm2 - Un conjunto de tallos resiste alrededor de 40kg/cm2

Fuente: Aprovechamiento de la totora como material constructivo. Tesis de Juan Fernando Hidalgo. 2007
Elaborado por: El autor

2.2. Uso de la Totora

En la actualidad se está dando importancia al uso de los residuos de biomasa para la construcción, por las características y propiedades constructivas que ofrecen. La totora es uno de los materiales potenciales, por ello, es de importancia tener conocimiento sobre los usos que se le está dando en la actualidad.

- **Purificación del agua**

Según los estudios de la portuguesa Cándida Shinn, la totora es como un riñón del lago que ayuda a descontaminar la carga orgánica del agua y permite la generación de una gran cantidad de nutrientes, como nitrato y fosfato, ayudando al desarrollo de las especies que se encuentren en el lago.

- **Alimentación**

Figura 3: Totora como alimento

Fuente: Collasuyo Travel
Elaborada por: Mery Cahui

La totora es escogida para la realización de productos artesanales y los tallos no adecuados al igual que los desperdicios se usa como forraje para el ganado.

Aza (2016) Afirma que "La base del tallo de la totora que se denomina "chullo" es una fuente de minerales y fibra, y además posee un alto contenido de yodo por lo que es consumida por los pobladores".

- **Comercio y artesanía**

La fibra de totora se utiliza comúnmente para realizar productos artesanales como canastas, sombreros, esteras, mueble, figuras de animales e inclusive papel artesanal. El comercio a partir de los productos llega a ser un medio de sustento para las familias que se dedican a la producción de la totora.

- **Los Uros**

Figura 4: comunidad de los Uros

Fuente: Los Uros, el pueblo Flotante del lago Titicac
Elaborada por: National Geographic

Es uno de los poblados indígenas más antiguos del continente americano que habitan las orillas del lago Titicaca a 7km del norte de la ciudad de Puno. La importancia del poblado es su forma de vida, como a través de técnicas tradicionales constructivas utilizan la totora para crear utensilios, balsas, viviendas e islas flotantes artificiales, aprovechando el mayor recurso del lugar. Hoy en día el pueblo es la máxima expresión a nivel mundial de la forma tan singular del uso y aprovechamiento de la totora, esto demuestra su capacidad creativa de adaptación en el medio. (Aza Medina, 2016).

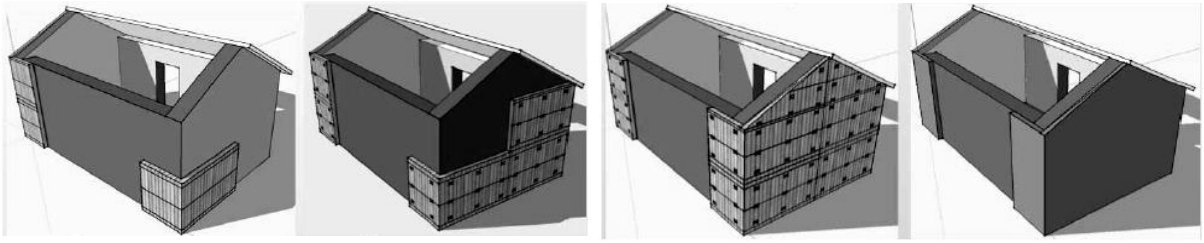
- **Viviendas**

La totora generalmente es un material que se lo utiliza para realizar artesanías, pero en la actualidad se le está dando importancia para su uso en la construcción de viviendas, y esto se observa en algunas comunidades del Puno.

Las viviendas de la comunidad de los Uros se construyen en su totalidad con totora, y se realizan a través de uniones de "K`esana" que son agrupaciones de juncos de totora que se unen con una cuerda por entrelazado, con un grosor aproximado de 0,05 m y el largo varía por su utilización como paredes, techos o alfombra. La estructura de la casa está hecha de vigas de eucalipto de unos 0,04 m x 0,05 m, a la que las k`esanas se clavan para formar las paredes y el techo. La cubierta, al estar conformada por capas de totora, cada seis meses se cambia la capa superior de la K'esana por su deterioro al estar expuesta a las condiciones atmosféricas y del mismo modo sucede con las paredes, pero cada año (Basu et al., 2018).

En cambio, en la comunidad de Pacaje al estar expuestas a bajas temperaturas (-4 ºC) por su altitud, a las viviendas existentes de adobe se les ha implementado un revestimiento de paneles de totora con barro, utilizando una malla que permitiera un adecuado ensamble entre el adobe y el panel de totora, de esta forma se consiguió un mayor aislamiento térmico existiendo una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la casa de 23,89 ºC, mejorando su temperatura interna (Ninaquispe-Romero et al., 2012).

Figura 5: Diseño de viviendas en Pacaje



Fuente: Viviendas de Pacaje en adobe y totora. (2012)
Elaborada por: Ninaquispe-romero

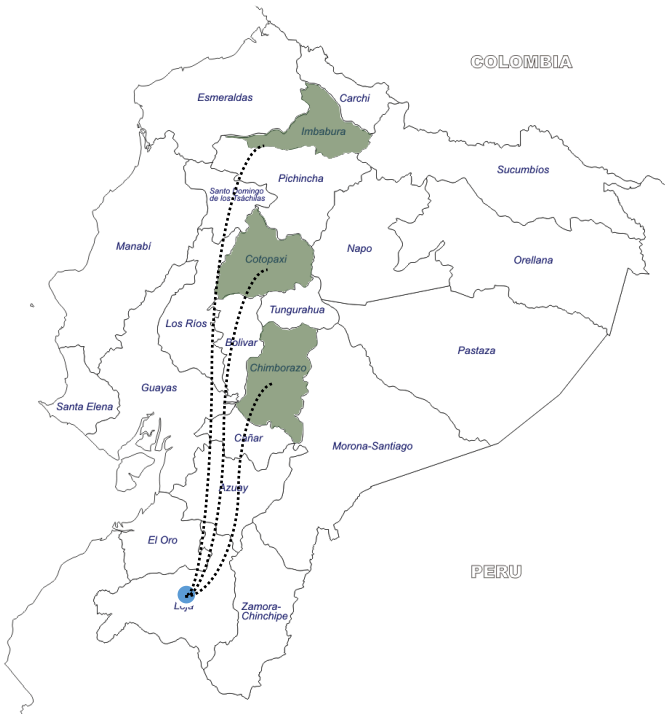
- **Ecuador**

El Ecuador es un país andino, que posee abundantes recursos naturales: minerales y vegetales que son un potencial producto para el uso en artesanías o como complemento de materiales o sistemas constructivos. En el caso de la totora, se lo utiliza mayormente para la producción de esteras, tapetes y productos artesanales, permitiendo mejorar la economía de varios pueblos y comunidades del norte y centro de Ecuador. (Macia & Balslev, 2000).

La totora, al ser de carácter artesanal, se torna una tradición su utilización para realizar objetos, muebles, figuras, ornamentación y utensilios. Por tanto, el pueblo quichua que se dedica a la producción de la totora fundó la empresa comunitaria más grande de Ecuador, denominada Totora Sisa, dedicada solo al trabajo artesanal de la totora. Se halla ubicada en la parroquia de San Rafael de la Laguna - Otavalo, donde prácticamente la materia prima crece en mayor cantidad.

Según los estudios realizados por Marcía y Balsley los sitios más importantes del Ecuador en el uso de la totora son siete (imagen 6) y se debe por sus grandes lagos o ríos.

Figura 6: Ubicación de comunidades totoreras



Fuente: Uso y mantenimiento de la totora en Ecuador. 2000
Elaborada por: Manuel J. Macía and Henrik Balslev

Sectores de totora nacional

- Imbabura: lago San Pablo, lago Yaguarcocha, Cusín
- Cotopaxi: Guaytacama, Tanicuchí
- Chimborazo: lago Colta, rio Guano

Tabla 3: Distancia Loja – comunidades totoreras

De	A	Distancia km
Loja	Imbabura	756,7
Loja	Cotopaxi	584
Loja	Chimborazo	453,8

Fuente: Google Maps
Elaborado por: El autor

2.3. Características agronómicas

- **Producción**

Figura 7: Cosecha de totora

Fuente: Las totoras purifican las lagunas. 2015
Elaborada por: José Luis Rosales

La totora al ser una planta acuática, para su producción se requiere de lugares donde el agua se encuentre de forma constante, aunque es una planta que se adapta a diferentes tipos de ambientes, su crecimiento y desarrollo varían respecto a la altura, a las condiciones climáticas y a la cantidad y temperatura del agua.

Se estima que el área de producción de totora en el Ecuador es de 442 hectáreas en las tres provincias (Imbabura, Cotopaxi y Chimborazo), el cual $1m^2$ contiene un promedio de 371 tallos. (Macia & Balslev, 2000).

- **Extracción y preparación**

Figura 8: Extracción y preparación de la totora

Fuente: Transformando la Totora. 2012
Elaborada por: Darwin Borja

- La cosecha se da cada 6, 7 u 8 meses dependiendo del lugar y el clima, y por lo general se da durante la estación seca, entre julio y octubre.
- Para proceder a cosechar se debe visualizar si el tallo es de color verde y si la inflorescencia ha madurado (brotó la flor), llegando a tener el máximo desarrollo.
- Para que la planta crezca de forma adecuada, la recolección se realiza a mano y se cortan los tallos a 15-20 cm desde la superficie del agua.
- Se esparce en el mismo lugar para que seque durante 2 semanas y dependiendo de las condiciones climáticas se secará parcialmente y su peso disminuirá para facilitar el transporte.
- Se deja secar la totora durante 1 mes aproximado, se tapa con un plástico para impedir su descoloración.
- Una vez seco, se hace un atado llamado por sus habitantes "chingas" y se traslada al lugar donde se lo utilizara para fabricar objetos, mobiliarios, etc.
- Se procede a cortar los tallos en secciones de varias longitudes, dependiendo de su uso previsto.
- Se clasifica la totora por su grosor y tamaño, y una vez separada se destina para el diseño de diferentes artesanías.

- **Propagación**

El cultivo comienza después de la cosecha, los rizomas de las plantas se arrancan y se parten, sin dejar que se sequen, se plantan en áreas permanentemente de agua a unos 5 cm de profundidad y a una distancia de 20-25 cm. La plantación permite una cosecha de 10-20 años y, para su óptimo desarrollo, las plantas deben estar inundadas durante todo el año (Macía & Balslev, 2000).

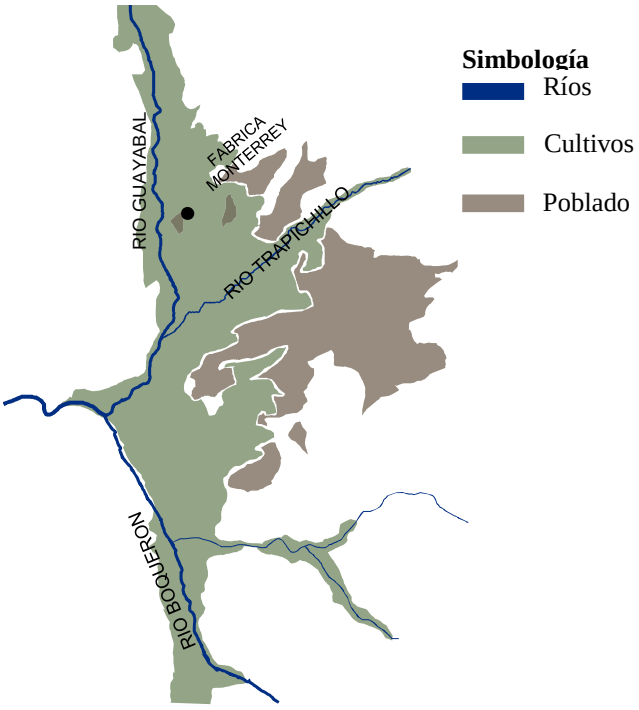
- **Cultivo en la ciudad de Catamayo**

La ciudad de Catamayo cuenta con uno de los mayores ríos de la provincia de Loja "El Boquerón" el cual durante todo el año tiene un constante caudal, también cuenta con ríos que confluyen el "Guayabal" y "Trapichillo" con un menor y variado caudal. Sus ríos propician que la ciudad sea un importante punto de cultivo, por ello existe una de las empresas más grandes de azúcar a nivel Nacional "Fabrica Monterrey" que demanda grandes cantidades de

agua para el crecimiento de su materia prima la caña de azúcar y para su regadío cuenta con canales con una constante caudal de agua. Por dichas razones la ciudad de Catamayo posee las condiciones óptimas para la producción y crecimiento adecuado de la totora, y por lo que se conoce el junco de totora es una planta acuática que se adapta a diferentes ambientes.

Es de importancia decir que en la ciudad de Catamayo crece una planta llamada Matala (Typha Latifolia) en las riberas de los canales de riego y es una planta de la familia de los Cyperaceae, con algunas características similares a la totora.

Figura 9: Cultivo en la ciudad de Catamayo



Fuente: Imagen Satelital. satellites.pro/mapa_de_Catamayo#-4.043385,-79.316483,11
Elaborado por: El autor

Tabla 4: Áreas de ocupación de suelo

Aproximación de ocupación de suelo en Catamayo		
	Área (km2)	Porcentaje
Cultivo	26.47	78 %
Poblado	7.65	22%

Fuente: Google Earth. 2018
Elaborado por: El autor

- **Matala (Typha Latifolia)**

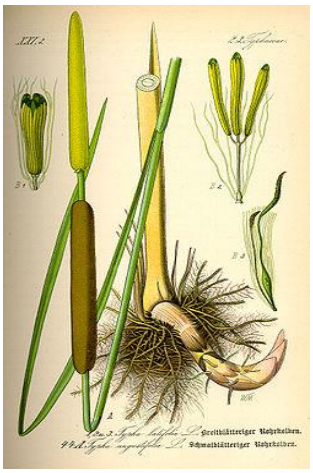
Es conocida vulgarmente como Matala, pertenece a la familia Typhaceae y es originaria de América del Sur, se caracteriza por ser una planta invasora y por su utilización para realizar esteras y artesanías, y en la ciudad de Catamayo se encuentra en los ríos, canales y represas.

Tabla 5: Matala (*Typha Latifolia*)

Características de similitud con la Totora
Es una planta acuática, crece a los márgenes de lagos, ríos, canales y charcas o represas
Es una planta perenne, presentan rizomas para su propagación y carece de ramificaciones
Puede llegar a medir 3m de altura, con un diámetro de 2 a 3cm
Es una planta de rápido crecimiento y desarrollo, y se adapta a diversos climas

Fuente: Estimativa da área foliar de Typha latifolia 2003
Elaborada por: Bianco, S., Pitelli, R. A., *& Pitelli,*

Figura 10: Matala (*Typha Latifolia*)



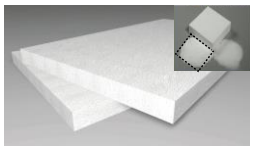
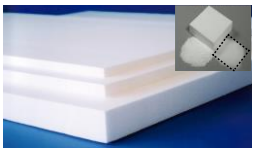
Fuente *Flora Typha Latifolia.2018*
Elaborada por: Wikipedia

2.4. Aislamiento térmico

A través del tiempo la arquitectura ha buscado en sus diseños y materiales constructivos satisfacer las necesidades de las personas de cada época en los aspectos perceptivos, las sensaciones y la habitabilidad de los espacios. Hoy en día se está dando importancia, el logro de la eficiencia energética y el confort térmico de los espacios dentro de las viviendas, por lo que se han desarrollado materiales constructivos con aislamiento térmico que algunos materiales por sus características físicas lo permiten.

Tabla 6: Aislamiento térmicos de materiales

MATERIAL			CARACTERISTICAS	Cond. Term. λ (W/ m·K)	Res. Térmica e= 0.05m R (m²·K /W)	Impacto Ambiental g CO_2/Kg
C	MINER	Lana mineral	Proviene de la roca volcánica. Es fundida a más de 1600 °C y luego es transformada en fibras los cuales son unidad a un ligamento orgánico formando un colchón de lana.	0.037	1,351	1,368

CONVENCIONALES	AL	Lana de vidrio	Es una estructura conformada por millones de filamentos de vidrio para formar una plancha aislante.	0.035	1,428	1,387
	PLASTICO	Poliestireno Expandido (EPS) 	Es un material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible,	0.046	1,086	3,355
		Poliestireno Extruido 	Es un material que resulta de la extrusión del poliestireno con la adición de un gas espumante, obtenido a partir del refinamiento del petróleo.	0.027	1,851	2,901
	QUIMICO	Espuma de poliuretano	Es un material de origen petroquímico con alta carga química y su fabricación es costosa en energía. Procede de un proceso químico entre el petróleo y el azúcar: el Isocianato y el Poliol.	0.023	2,173	3,498
NATUR	FIBRAS VEGETALE	Fibra de madera	Por su estructura de poros abiertos son capaces de absorber las ondas sonoras y mejorar considerablemente la amortiguación del ruido de impacto, su uso produce un mejoramiento térmico en el interior	0.037 - 0.050	1,351 - 1,000	0
		Fibra de Cáñamo	Es una fibra proveniente de una planta que se caracteriza por su fácil y rápido crecimiento, a partir de sus fibras se fabrican un excelente aislamiento térmico y acústico utilizado en la construcción	0.038	1,315	0

A L E S	S	Balas de paja	Es un producto natural y biodegradable, por lo que es ecológico, además es un excelente aislante térmico cumple la función de cerramiento e incluso puede ser portante.	0.045 - 0.065	1,111 – 0,769	0
	ARBOL	Corcho	Proviene directamente de la corteza de un árbol, tiene un excelente ciclo de vida, es respetuoso con el medio ambiente, es reciclable, reutilizable y biodegradable	0.040 - 0.150	1,250 - 0,333	0
	ANIMAL	Lana de oveja	Al ser un producto natural es renovable y puede ser reciclado. Es un material higroscópico que absorbe y libera la humedad, gracias a esto evita que se generen daños en paredes y techos	0.023	2,173	0

Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE- IETCC. 2010
Elaborado por: El autor

- **Física de la construcción de paneles térmicos**

La cobertura es la parte del edificio que está expuesta a las mayores variaciones térmicas: alcanzando durante el día elevadas temperaturas por su contacto directo a la radiación del sol y durante la noche es la parte que mayor calor pierde, por ello el aislamiento térmico se impone como una medida de solución. La importancia de los materiales que permitan el adecuado aislamiento se remite al estudio de sus características termo-físicas.

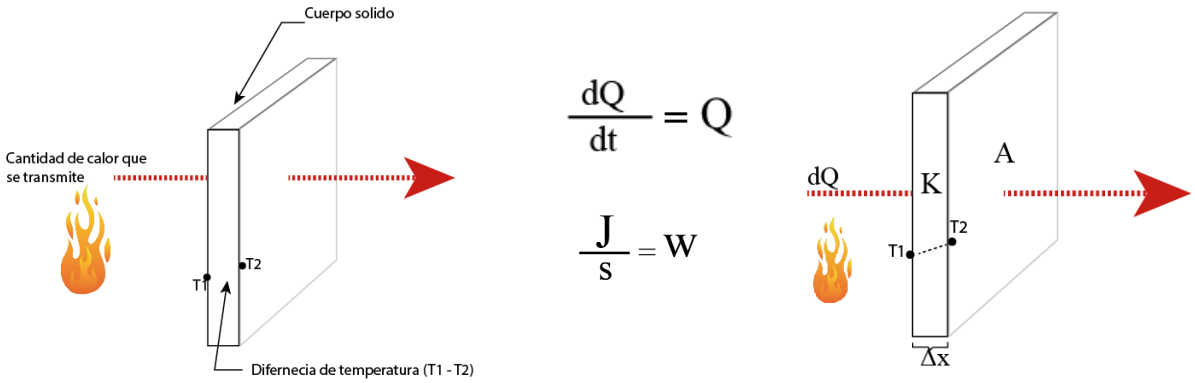
- **Conductividad térmica de paneles**

Los paneles térmicos son materiales desarrollados específicamente para cumplir la función de aislamiento, por el cual se desarrollan pruebas específicas de conductividad térmica cumpliendo el rango determinado según las normas de construcción ASTM, NEC, INEN y NCh.

La conductividad térmica es una propiedad física que describe la velocidad y cantidad de calor que se transfiere a través de un material por conducción, y depende de la estructura física, es decir, que la propiedad térmica se constituye por la pérdida de calor que existe al recorrer una determinada distancia la radiación, por la estructura del material que se opone. Esta teoría se explica según la ley de Fourier:

> Fourier explica que la ***cantidad de calor*** **dQ** (Julios) se transmite por la variación de ***tiempo*** **dt** (segundos) dando igual al ***flujo de calo***r Q (watt) que se transmite

Figura 11: Ley de Fourier

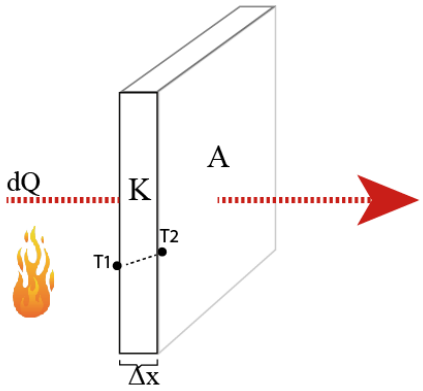


Fuente Transferencia de Calor. Fourier 1973
Elaborado por: El autor

Formula de Fourier: la variación de calor por tiempo que se trasmite por conducción depende de la constante del material (K), el área (A), el espesor del material (Δx) y el gradiente de temperatura o diferencia de temperatura (ΔT= T1-T2).

$$\frac{dQ}{dt} = KA\frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad \frac{dQ}{dt} = Q \qquad Q = KA\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Explicación:



$\downarrow Q = K \downarrow$ Menor flujo de calor, menor es la constante del material

$\downarrow Q = A \downarrow$ Menor flujo de calor, menor es el área del material

$\downarrow Q = \Delta T \downarrow$ Menor flujo de calor, menor la diferencia de temperatura

$\downarrow Q = \Delta x \uparrow$ Menor flujo de calor, mayor grosor del material

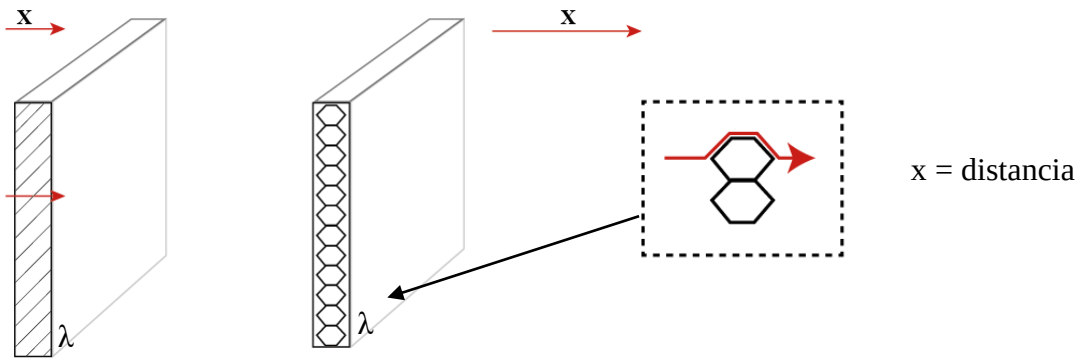
Fuente Transferencia de Calor. Fourier 1973
Elaborado por: El autor

- **Coeficiente de conductividad térmica**

La característica más importante de todo aislamiento térmico es su constante o coeficiente de conductividad (K o λ), parámetro que indica el calor cedido del exterior al interior por el material, estableciendo una diferencia de temperatura en grados (Quezada, 2015). Cada material ofrece un coeficiente de conductividad diferente y es por su conformación morfológica, y cuanto menor sea el coeficiente, menor será la transferencia del flujo de calor.

Se conoce que cuando mayor sea el grosor del material (Δx) menor será la transmitancia de calor y es por la distancia de recorrido que debe realizar el calor, del mismo modo algunos materiales con cualidades térmicas ofrecen la misma peculiaridad, pero en menor grosor.

Figura 12: Coeficiente térmico



Ladrillo Paneles térmicos

Elaborado por: El autor

El coeficiente térmico mide la cantidad de calor que se transfiere en un material en condiciones unitarias de espesor, superficie, tiempo y diferencia de temperatura entre las caras que intercambian calor. Su simbología es la letl,ra griega λ y su unidad en el Sistema Internacional es W/mK (Vatios/metro Kelvin). (Quezada, 2015).

Las formula que se utiliza para encontrar el coeficiente térmico de un panel se expresa según la ley de Fourier:

$$\lambda = \frac{Q}{A^* (\Delta T/\Delta x)}$$

$\downarrow Q = \lambda \downarrow$

- **λ:** Coeficiente de conductividad térmica del material (W/m·K)
- **Q:** Cantidad de calor o flujo de calor que se transmite, medida en Vatios
- **A:** Área de la sección del material, perpendicular al flujo de calor, medida en m2
- **ΔT:** Diferencia de temperatura (t1-t2)
- **Δx:** Espesor del material

La resistencia térmica es la propiedad de un material que se opone al paso del calor y para calcularlo se realiza la siguiente formula:

$$R = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

$\downarrow Q = R \uparrow$

- **R:** resistencia térmica ($m^2 \cdot K$ /W)
- **Δx:** espesor o longitud del material
- **λ:** conductividad térmica (W/m·K)

- **Software EES**

EES es acrónimo de Engineering Equation Solver, su significado en español Solucionador de Ecuaciones de Ingeniería. Es un potente programa que sirve para resolver ecuaciones. Su gran ventaja es la sencillez en su manejo, puesto que las ecuaciones se introducen en el programa casi como si, se escribiese a mano y con solo darle a un botón la resuelve. Además, contiene casi todas las propiedades termodinámicas y termo físicas para la mayoría de procesos de interés industrial. (Salcedo, 2012)

2.5. Impacto Medioambiental

Los aislamientos térmico naturales debido a su materia prima se convierten en una opción potencial en el uso de la construcción, al presentar una mejor respuesta hacia los procesos medioambientales. De hecho, los materiales deben responder a varios parámetros

fundamentales que son necesarios en los materiales constructivos ecológicos para no perjudicar al medio ambiente a corto y largo plazo. Uno de los materiales potenciales es la totora.

Tabla 7: Parámetros para determinar el impacto ambiental de los materiales

Parámetros	Totora
Potencial de suministros Es de importancia tener en consideración la abundancia de la materia prima, es decir, de un cierto modo la disponibilidad de la misma debe ser mayor a su consumo, aunque sea renovable.	Al ser una planta que se caracteriza por su rápido crecimiento y propagación, permitiendo su cosecha cada 6-8 mese dependiendo del lugar, es un material con un gran potencial de suministro si se lo compara con otros materiales renovables como el corcho que se da cada 8 o 10 años su cosecha.
Proximidad La distancia forma un punto crucial, por lo que, si un producto pretende ser sostenible, el transporte de su lugar de origen a la planta de procesamiento produce un consumo energético y económico aumentado su impacto ecológico.	Se conoce que la totora crece en algunas provincias del Ecuador (figura 6), pero no existe vestigios de su existencia en la provincia de Loja, por lo tanto, se debe transportar la materia prima. El transporte no contribuiría con el aspecto medioambiental por tener grandes distancias de recorrido (tabla 3). Por este motivo, la importancia de que la totora es una planta que se adapta a diferentes ambientes, mientras exista una constancia de agua.
Tiempo de degradación Una vez culminada la vida útil, se deben deshacer los residuos generados y existen varias opciones posibles: el reciclaje, la incineración, el enterramiento o una combinación de ellos y dependiendo del material se debe ver el modo adecuado.	Al ser un material vegetal su tiempo de degradación es corto entre 4 a 5 semanas dependiendo del lugar y las condiciones climáticas, y sirven como sustrato para la propia vegetación.

Transformación y la adición de aditivos	
Entre la materia prima y el producto, se encuentra el proceso de transformación que consumirá más o menos energía y materia. En la mayoría de los casos, los procesos tienen una relación directa con el balance de las emisiones de CO2, por los procedimientos utilizados y por el uso de aditivos para conferirles características ignifugas, insecticidas y fungicidas.	En la realización del panel de totora, la preparación de la materia prima es de forma natural (secado natural) y los aditivos que se utilizara como el "Acetato de polivinilo" aunque son productos obtenidos de procesos químicos, no son perjudiciales para la salud y son biodegradables al igual que el yeso. Su proceso se fabricación se realizará en estado seco con una prensa térmica que comprimirá y compactará la totora con los aditivos.

Fuente Los aislamientos térmicos naturales. 2011. http://www.t3e.info/pdf/Publications/2011_CIER_Cuba_Aislamientos.pdf
Elaborado por: El autor

2.6. Paneles y Placas

Los paneles y placas son materiales constructivos que se caracterizan por:

- Ser modular y estándar, que permite una construcción rápida y eficiente.
- Están conformadas por un conjunto de materiales con cualidades constructivas específicas que responde a los problemas físicos y ambientales de la vivienda.
- Son prefabricadas, esto significa que están sujetas a las normas constructivas que deben cumplir, para determinada función.
- Presentan un menor espesor y mayor ligereza.

- **Paneles vegetales**

Los paneles vegetales, hoy en día son una alternativa que permite una mayor utilización y optimización de los recursos renovables para potencializarlos en los procesos constructivos. Con su utilización se intentan disminuir la proliferación de materiales constructivos no

favorables para los procesos ambientales y por ellos existen algunos estudios que utilizan los residuos de biomasa con procesos técnicos para generar paneles de bajo impacto. Por dichas razones algunos estudios realizan paneles con carácter térmico, siguiendo un método para la fabricación del panel.

- **Paneles termo acústicos a base de residuos de madera realizado por Celano, Jacobo, y Pereira**

En esta investigación se desarrollan paneles a base de residuos madereros “virutas y aserrín” con diferentes aditivos como Cemento portland, el vinílico monocomponente “D3”, la resina de “UF urea formaldehído” y la resina “FF fenol-formaldehído”.

La metodología de experimentación se basó en la selección de los virutas y ciertos porcentajes de los aditivos, para realizar una compactación del panel con una prensa térmica a una temperatura 100 ºC.

Se destacó que las probetas en mezcla con resina de “urea formaldehido” en 50% de mezcla - 100% resina, presenta un mejor desmolde, buena manipulación con cierta elasticidad y una mejor trabajabilidad.

Figura 13: Paneles con virutas de madera o aserrín

Fuente: Paneles con virutas de maderar o aserrin. 2006
Elaborado por: Celano, Jacobo y Pereyra

- **Paneles de cáscaras de maní realizado por Granero, V., Gatani, M., Medina, J. C., Ruiz, A., Fiorelli, J., Kreiker, J., & Lerda, M. J.**

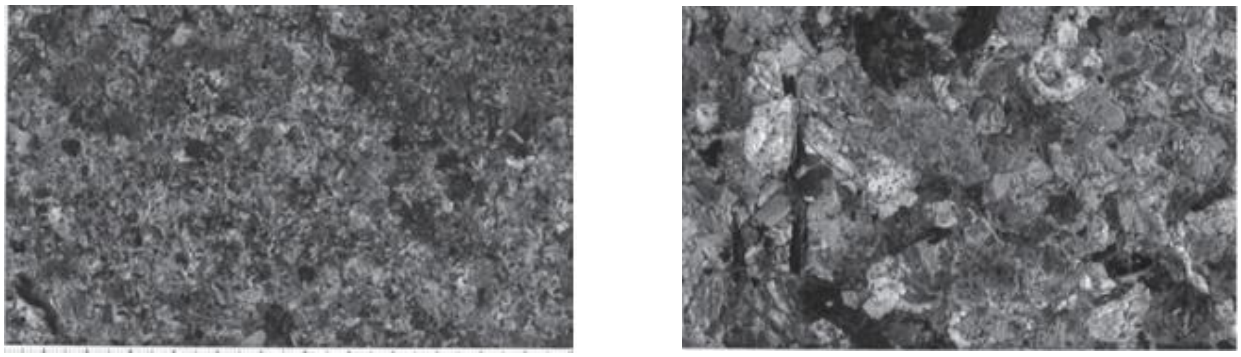
En la investigación se desarrollan paneles a base de cascara de maní en dos tamaños, trituradas o enteras con un aglomerante de resina urea-formaldehído (con sólidos de 65%).

- **Métodos**

Para realizar el panel se mezclan las cáscaras de maní con el adhesivo en un 10 % y agua corriente en un 3 % en relación a la cantidad de resina, en un tambor rotatorio durante 10 min, después se coloca la mezcla en el molde y se hace un pre-prensado a temperatura ambiente durante 1 min, luego se vuelve a prensar la mezcla, pero a una temperatura de 100 ºC durante 10 min, con una presión máxima de 21,5 kg/cm^2.

Los paneles presentan un atractivo aspecto superficial y una baja densidad. Los paneles con partículas finas presentan una mejor resistencia a la flexión, debido a su mejor encolado y prensado respecto a los paneles de partículas gruesa.

Figura 14: Paneles aglomerados de partículas de cascara de maní



Fuente: Articulo para conocer la influencia del tamaño del maní en la propiedad del panel. 2013
Elaborado por: Granero, Gatani, Medina, Ruiz, Fiorelli, Kreiker & Lerda.

- **Conclusiones**

Para la creación de los paneles en los dos casos de investigación, se sigue el mismo procedimiento: primero seleccionan las partículas y después el tipo de adhesivo en proporciones determinadas, del cual se destaca la resina ¨urea-formaldehído¨ por proporcionar una mejor cualidad de flexibilidad, resistencia y trabajabilidad al panel.

Para que el panel presente una mayor adherencia entre sus partículas, explica en la investigación que se debe ejercer una presión durante 10min en el proceso de su secado, una a temperatura ambiente y otra a una temperatura de 100ºC.

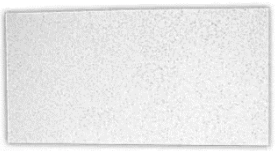
- **Paneles de Yeso – Cartón**

El proceso de fabricación de los paneles de yeso - cartón se realiza de forma industrializada. Para la fabricación de los paneles se utilizan una roca mineral llamado yeso, el cual primero se calcina a 150ºC y después se triturado la roca hasta dejarlo en un polvo fino para luego ser mezclado con agua que sostiene varios elementos químicos, minerales y jabón químico. Los aditivos químicos como el almidón le dan a la placa la estructura rígida requerida y permite una mejor adherencia con el cartón, y el jabón crea burbujas de aire para hacerla más ligera. Se combina el yeso con el agua y se genera una sustancia fluida llamada "lechada" que en algunos casos es mezclada con fibras de vidrio o de mineral para darle propiedades térmica y acústicas.

La lechada se coloca sobre dos planchas de cartón que conformaran las dos caras del panel, el almidón permitirá la adherencia de la lechada al cartón. Al mismo tiempo que se produce la laminación se pegan los bordes del cartón, una vez que haya fraguado se corta el panel a la medida que se requiera. (Rivero, 1997).

Tabla 8: Paneles de Gypsum

Tipo de panel	Características	Costo	Aislamiento térmico	Impacto Ambiental Kg CO_2/Kg
Plancha de Gypsum Vinil Foil Aluminio	Placa de Yeso, tiene una cara de Pvc en relieve en la cara frontal lámina lateral y aluminio en la parte posterior Medidas: 60 x 120 x 7,5mm	$ 3.10	0.25 W/mK	136
Plancha Fibrocel	Placa de fibrocemento, incombustible, resistente a la humedad, fácil instalación y mantenimiento Medidas: 120 x 60 x 4mm	$ 2.90	0.23 W/mK	136

Fibra Mineral Vantage 	Aspecto clásico de cielos rasos de fibra mineral con núcleo resistente al curvado, soporta los efectos combinados Medida USA: 2 x 4 x 5/8″	$ 4.90	0.11 W/mK	136
Placas de yeso KNAUFT ST	Plancha flexible para realizar artes y demás. Utilizada en el medio para la realización de obras especiales para clientes exigentes Medida: 2440 x 1220 x 4mm	$ 7.80	0.45 W/mK	136

Fuente: Paneles de Gypsum, 2018
Elaborado por: Empresa de Gypsum Sicon

- **Paneles de Estuco**

El proceso de fabricación de los paneles de estuco se realiza de forma manual. Para la fabricación de los paneles primero se debe armar un molde, el cual consiste en un vidrio templado y cuatro perfiles rectangulares de aluminio los cuales son cortadas de forma que arme una caja de 0.70cm x 0.70cm. Para la realización del estuco se realiza una mezcla de un litro y cuarto de agua con una libras y media de yeso blanco peruano con una dosificación de 1 – 2 (una de agua y dos de yeso), después se procede a esparcirlo sobre el molde homogéneamente por todos los bordes, seguido se le añade una maya de cabuya para que el yeso se adhiera y no se trise el panel una vez seco, una vez puesto la cabuya se le añade la misma cantidad de mezcla de yeso más media libra de cemento Portland para que ayude a endurar y después se procede a esparcirlo, seguidamente se le añade siete carrizos envueltos de cabuya para que el yeso se adhiera. Para que seque y poder manipular el panel se deja aproximadamente de 15 a 20 minutos, y para su utilización como panel se deja secar durante un día soleado. El costo del material de estuco es de US$ 1,50.

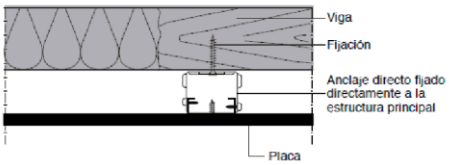
Figura 15: Paneles de estuco

Elaborado por: El autor

2.7. Cielo falso

Es un sistema de revestimiento superior de un espacio o recinto, generalmente horizontal, que cuenta con una estructura de soporte propia compuesto por placas y entramados de perfiles metálicos especialmente diseñado para cumplir con uno o más de los siguientes requerimientos: resistencia térmica, acústica, a la humedad, al fuego, entre otros. También su importancia es ocultar las instalaciones de la edificación y dar una mejor estética al espacio. (Cámara Chilena de Construcción. 2012)

Tabla 9: Tipos de Cielo Falso

Tipos	Características
Cielo raso	Cielo falso con superficie lisa, plana y continua sin juntas visibles, y sustentados por una estructura auto portante oculta y que forman sobre ellos un "plénum" o "cámara "de diferente dimensiones
Cielo directo 	Cielo falso dónde las placas se fijan directamente a la estructura de la edificación, mediante anclajes directos o piezas especiales
Cielo Modular	Cielo falso suspendido o directo, colgado mediante anclajes y fijaciones a una estructura resistente. Los módulos pueden ser de tamaños estándar y visibles.
Cielo Modular Registrable	Cielo modular cuyos módulos se apoyan sobre la estructura o entramado sin fijaciones y pueden desinstalarse libremente.
Cielo Modular no Registrable	Cielo modular cuyos módulos se fijan al entramado.

Fuente: Cielo falso: rasos, modulares y cielo raso
Elaborado por: El autor

- **Características que debe tener el cielo falso**

  - **Aislamiento térmico:**

El cielo falso pueden proveer aislamiento térmico y estabilidad energética, colaborando de esta forma con el acondicionamiento térmico de los recintos y con la economía (CDT, 2011).

  - **Resistencia a la flexión:**

Las placas que forman el cielo falso deben resistir a la fuerza de flexión ejercido por la gravedad, para que al paso del tiempo no presente deformación o pandeo en el material.

  - **Resistencia al impacto**

Los cielos falsos no se encuentran sometidos a fuerzas de compresión, por lo que su función no es de carga, pero en ciertos momentos no predichos puede surgir fayas en las instalaciones y generara su caigan y el cielo falso debe soportarlo el impacto y no tener severas fisuras.

  - **Registrabilidad:**

Los cielos falsos modulares registrables tienen la característica de poder ser removidos con facilidad, lo que es de gran utilidad para recintos que requieren acceso para inspección o mantención de ductos o equipos ubicados sobre el nivel de cielo falso (Cámara Chilena de Construcción, 2012).

  - **Resistencia al fuego:**

Una de las características y funciones de los cielos falsos puede ser su resistencia al fuego. De este modo, pueden servir de protección contra fuego para las estructuras, ductos e instalaciones, u otros elementos vulnerables al fuego.

  - **Acústica:**

La acústica puede causar que el confort de los usuarios de un recinto resulte agradable o desagradable. El diseño acústico de un espacio se basa principalmente en dos requerimientos: la absorción del ruido y el aislamiento del recinto.

- **Comportamiento al fuego:**

Al entrar en contacto con el fuego no solo la resistencia al fuego del cielo es importante, sino que también es el comportamiento de los materiales que lo componen. El comportamiento al fuego involucra efectos de combustibilidad tales como la cantidad de humo y partículas incandescentes que liberan los materiales al incinerarse.

- **Resistencia a la humedad:**

Dependiendo de su materialidad, los cielos falsos pueden ser resistentes a la humedad. Con estas características, algunos cielos pueden ser utilizados en recintos exteriores o lugares con alta humedad.

CAPITULO 3

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Estudios de las cualidades y propiedades de la totora

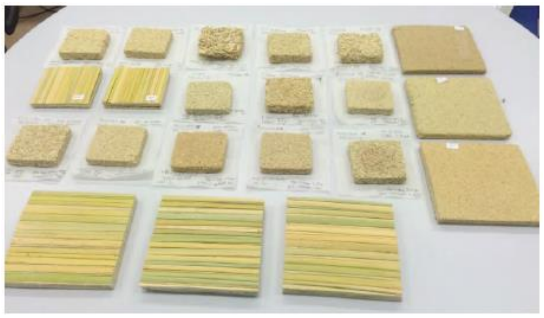
Para la investigación es fundamental tener conocimiento de todas las posibles investigaciones que se han realizado sobre la totora respecto al asilamiento térmica, por ello se ha seleccionado tres investigaciones que tienen un aporte fundamental sobre el comportamiento térmico, y se debe al tipo de materiales y método utilizado para realizar un panel térmico.

- **La totora como material de aislamiento térmico, propiedades y potencialidades (Arquitecta Leyda Aza Medina. 2016)**

La investigación que se realiza, recalca la importancia sobre el estudio de las propiedades de la totora como un material constructivo de aislamiento térmico. Siendo un recurso renovable y biodegradable podría ser una potencial ventaja para la construcción, tanto en términos de impacto ambiental como de costo.

Para el estudio de la totora como un material térmico, se realizó una experimentación con 25 formulaciones (pequeños paneles de totora en diferentes formas ya sean en virutas, granulados y cana entera) que se unieron con diferentes aglutinantes como la goma arábiga, alginato, cola de pez y cola de hueso, también se utilizó aditivos como el bórax para impedir el deterioro y ataques de plagas, y el alumbre de potasio como retardante de llamas.

Figura 16: Formulaciones de totora



Fuente: La totora, 2016
Elaborada por: Leyda Aza.

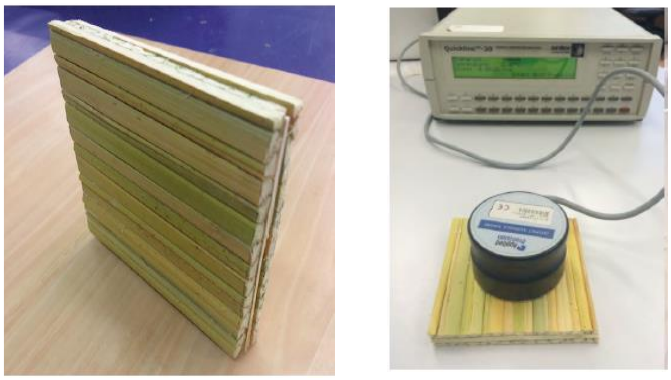
Para el análisis de las 25 muestras de totora se utiliza un equipo Thermal properties Analyzer, QuicklineTM-30 con el que se obtiene los siguientes datos (conductividad térmica, la resistencia térmica y difusividad térmica) se obtuvo un promedio térmico de 0.046 a 0.058 W/mk el cual está dentro del valor establecido según la Normativa NEC-11, convirtiéndolo en

un potencial material térmico natural. Las formulaciones de juncos de totora tienen un coeficiente térmico de 0.058 W/mk con un espesor de 15,8 mm.

Los aglutinantes no ofrecen mayor diferencia en su comportamiento térmico. Los paneles realizados con el junco enteros necesitan una menor cantidad de aglutinantes y su fabricación no es intensivo, pero se requiere de un procedimiento más meticuloso de la selección de la totora.

Es posible desarrollar paneles rígidos a partir de la unión de cañas con resinas orgánicas, capaces de resistir una fuerza máxima 331 N/mm^2. El comportamiento al fuego tuvo buenos resultados con el tratamiento con alumbre o ácido bórico, logrando evitar la inflamación de las probetas y en el caso de la probeta de cañas enteras las quemaduras fueron superficiales. De las formulaciones desarrolladas el de caña entera con el aglutinante de cola de hueso dio mejores resultados.

Figura 17: Probeta de totora y maquina térmica



Fuente: La totora, 2016
Elaborada por: Leyda Aza.

- **Tabiquería Ecológica, empleando totora con revestimiento de Yeso o Mortero, como técnicas de bioconstrucción en la ciudad de Puno (Eduardo Palomino Claudia Lizbet y Zegarra Lazo Luisa Elí. 2015)**

La investigación que se realiza, intenta solventar la problemática de la huella ecológica producida por los materiales convencionales que se usan actualmente en la construcción, de la misma forma da importancia sobre las altas y bajas temperaturas que se dan en la ciudad de Puno. Debido a dichas causas se realizó una investigación con la totora, yeso y cemento para

realizar tabiques ecológicos con propiedades térmicas que permitan utilizarlos en la construcción de viviendas.

La experimentación se realizó con los siguientes materiales: totora, madera, hilos tensores, yeso, cemento y arena. La madera se usó como molde para la realización de los tabiques, se incorporaba la K'esana que es un conjunto de totoras (1,8 m x 1,2 m) con un grosor de 5 cm y se sujetaba con hilos de algodón, después se proseguía a revestir con yeso o cemento realizando tabiques con tres grosores de revestimiento (0,5 – 1 – 1,5 cm) en los dos casos.

En la experimentación se realizó por cada uno de los tabiques inclusive la K'esana ensayos de las características físicas (densidad, porosidad y contenido de humedad) y ensayos de sus propiedades hacia el impacto duro, el impacto blando, el aislamiento acústico, térmico y un análisis de costo.

La K'esana respecto al comportamiento térmico obtuvo un resultado de 0,016 W/mK. De las tabiquerías de yesos se recomienda la de 1 cm de revestimiento por lo que presenta un comportamiento térmico de 0,013 W/mK, también al acústico, al fuego y al impacto. En cambio, de las tabiquerías de mortero se recomienda el uso de 1 cm de revestimiento por lo que presentan un comportamiento térmico de 0,007 W/mK y mejor comportamiento acústico, y para el fuego e impacto se recomiendan todas.

Figura 18: Tabique de yeso

Fuente: tesis Zegarra
Elaborada por: Zegarra, L. Luisa

- **Evaluación de paneles aislantes fabricados en fibras de totora (Velasco, L., Goyos, L., Delgado, R., Quezada, Y. 2014)**

La investigación evalúa la capacidad aislante de paneles elaborados de totora en diferentes formas. Informa que el aislante térmico basado en residuos de biomasa permite la mejorar de la eficiencia energética y como un material amigable con los procesos naturales del medio ambiente.

En la experimentación se utilizó la totora, el acetato de polivinilo (cola blanca industrial) como adhesivo y una prensa, se obtuvieron parámetros de modelamiento en diferentes tamaños de partículas (30 cm, 3 cm, 1 cm y 0,05 cm) consiguiendo paneles rígidos con un espesor de 40 mm. Se realizaron las pruebas térmicas dando como resultado de los paneles en granel (sin aditivo) un coeficiente térmico de 0,032 W/mK y con el aditivo se obtuvo un coeficiente de 0,021 W/mK en una temperatura de 12 ºC.

Se determinó en el proceso de investigación que las placas que presentan una mejor adherencia son en partículas de 1 y 0,5 cm y el aglutinante PVA presenta las mejores características técnicas, económicas y sostenibles entre otros aglomerantes. La totora es un potencial material térmico ya que se encuentra dentro del código de Edificación de España (máximo 0,06 W/mK).

- **Conclusiones**

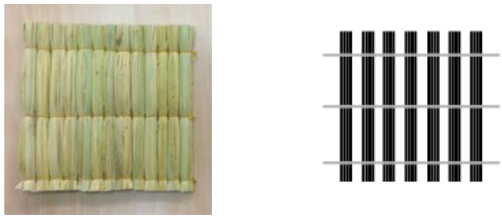
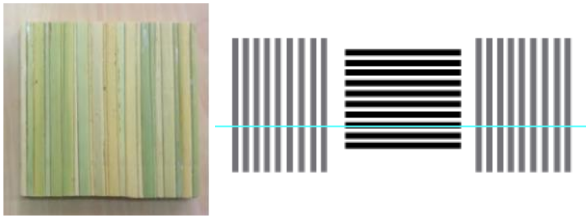
Con las investigaciones se determinó la utilización de la totora como un aislamiento térmico natural que se encuentra dentro de los parámetros de 0,1 a 0,01 W/mK establecidos por la normativa NEC-11. Del mismo modo se observó que las diferentes composiciones de los paneles, ya sea con diferentes aglutinantes o con algún revestimiento (yeso y mortero) tienen diferentes valores térmicos, destacando los de mejor resultado los tabiques de revestimiento de yeso con un 0,013 y 0,007 W/mK, del mismo modo, se determinaron buenos resultados a las pruebas mecánicas (flexión, comprensión y la resistencia al fuego).

Se llega a concluir en las investigaciones, que el acetato de polivinilo es el mejor adhesivo para generar una mayor adherencia en los paneles de totora en granel y los tabiques de yeso y hormigón para obtener una buena resistencia térmica y buenos resultados en las pruebas mecánicas.

3.2. Tipos de uniones de la totora

La unión o amarre permite que los juncos de totora se unan unos con otros para conformar un conjunto compacto. La totora posee gran variedad de uniones por lo que se tomó en cuenta aquellas que permita generar un panel con las medidas deseadas.

Tabla 10: Tipos de uniones en totora

Tipos	Características
Tejido amarrado en bulto 	Se realiza con un conjunto de juncos de totora con una misma dimensión, colocados de formas paralelas. Los conjuntos de totora se tejen con un hilo (cordel de algodón) unos contra otros apretándose entre sí consiguiendo estabilidad y dureza
Pegado en paralelo 	Los juncos se pegan con un adhesivo paralelamente uno con otra hasta formar una pared, al tener tres paredes, estas se pegan de forma perpendicular a los juncos de totora formando un sándwich, dándoles una mayor consistencia y resistencia a la flexión

Fuente: Farfán Valeria, Forma del tejido
Elaborado por: El autor

3.3. Materiales Complementarios con la Totora

- **Adhesivos o Aglutinantes**

El aglutinante o adhesivo es una sustancia que reúne las condiciones de adherir fragmentos de uno o más materiales para formar un conjunto compacto. (Quezada, 2015)

- **Acetato de Polivinilo (PVA)**

Es conocido también como cola blanca industrial o cola blanca de carpintero, se caracteriza por tener alto contenido de sólidos, rápido secado, no mancha y una excelente resistencia mecánica, además es un material de fácil obtención y biodegradable (Quezada, 2015).

Figura 19: Cola de carpintero

Fuente: El autor

- **Yeso**

El yeso es uno de los minerales más comunes y con una mayor utilización en la construcción, como un elemento básico para la realización de decoraciones en relieve.

El yeso es sulfato cálcico bihidratado ($SO_4H_2 + 2H_2O$). Cuando este material se calienta pierde las moléculas de agua con las que está cristalizado convirtiéndose en un material mucho más blando y blanco que se disgrega con facilidad. Al amasarse con agua forma una pasta de gran viscosidad, fácil de trabajar e incluso de moldear. Su durabilidad puede estar expuesta en situaciones donde la humedad sea permanente, siendo este su mayor problema.

Al ser un material natural se destaca por ser enormemente versátil, de tecnología sencilla, con buenas propiedades mecánicas, que permite la protección contra llamas, protección contra los insectos, y con un costo bajo, pudiendo ser utilizado como un material de reforzamiento y mejoramiento de otro material, es una alternativa bastante viable en el uso de la construcción. Es de importancia conocer que el yeso en su estado normal tiene una transmitancia térmica de 0,3 a 0,4 W/mK (Rivero Fernández, 1997).

- **Aditivos hidrosolubles**

Los aditivos son sustancias adicionales a la totora con la finalidad de mejorar sus características en dos aspectos: su comportamiento al fuego y frente a ataques de insectos y hongos. Con su utilización permitirá que la totora no se deteriore o debilite y logre una mayor resistencia al fuego.

- **Aditivos ignifugantes y de inmunización**

Existe varios químicos que permiten dar una propiedad ignifuga a un material, de los cuales se utilizaran los más activos y con un menor costo en su obtención, como el Ácido Bórico, Bórax, Fosfato de Amonio o Sales de fosfato, Amoniaco y Cloruro de Zinc

Tabla 11: Productos ignifugantes de la madera

Aditivos	Características
Ácido Bórico (III)	El ácido bórico o ácido trioxobórico es un compuesto químico, ligeramente ácido. Es usado como antiséptico, insecticida, retardante de la llama y precursor de otros compuestos químicos.
Bórax (BB 4H20Na2O17)	El término bórax se refiere a una amplia familia de sales derivadas del ácido bórico. En este caso se va a utilizar el borato de sodio. Es un cristal blanco que se disuelve fácilmente en el agua y no es perjudicial para el medio ambiente. Por sus propiedades repelentes se usa como pesticida, para evitar el ataque de insectos, eliminar malezas e inhibir el moho y como retardante de la llama.
Fosfato de Amonio (NH4)3PO4	Es una sustancia inorgánica que se produce al hacer reaccionar amoníaco (NH_3) con ácido fosfórico (H_3PO_4). El resultado es una sal soluble en agua muy importante para el sector agrícola y algunas investigaciones describen como un compuesto para retardante de llamas.

Fuente: Productos ignifugantes de la madera (2013).
Elaborado por: El autor

3.4. Marco Normativo

En la construcción se establecen algunas normas constructivas que permiten regular las actividades de seguridad y calidad de una edificación, especificando de forma clara cuáles son los parámetros que deben cumplir los materiales para que sean eficientes y factibles en una obra. Para ello, se utilizan normativas nacionales como las Normas Ecuatorianas de Construcción (NEC), las normas de Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) y normas internacionales como la Normas Chilenas de Construcción (NCh), las Normas de Construcción Internacional ASTM y los reglamentos de cumplimiento de construcción del Miduvi (OGUC). Las normas nos permitirán establecer los parámetros de cumplimiento adecuado para el panel en los aspectos térmicos, acústicos, de resistencia a la flexión, resistencia al fuego, comportamiento al fuego y resistencia a la humedad. Se referenciará mayormente las normativas que establecen los requisitos de cumplimiento para las planchas o placas de yeso-cartón para ser utilizado como cielos, tabiques, revestimiento de muros u otros.

Cabe destacar que, al ser una investigación exploratoria, las pruebas que se realizarán a profundidad serán: la resistencia térmica, la resistencia a la flexión, la resistencia al impacto y la resistencia al fuego, dejando las demás pruebas para una posible investigación.

- **Normativa de aislamiento térmico**

  - **Normativa ASTM C1774 – 13**

En esta normativa establece que los materiales que realicen la función de aislamiento térmico su coeficiente térmico debe estar entre un rango de 0.01 W/mK – 0.10 W/mK.

De esta normativa se establece la Norma NEC -11 y la chilena NCh respecto a la resistencia térmica

  - **Normativa NTE INEN-ISO 8990**

Esta normativa establece los métodos utilizados a nivel internacional para encontrar el coeficiente de transmisión de calor (transmitancia térmica), el coeficiente térmico (λ) y la resistencia térmica (R) de los materiales. Esta normativa es una traducción de la normativa ISO 8990:1994 e IDT.

- **Normativa de cumplimiento de artículo 4.1.10 de la O.G.U.C. (MIDUVI)**

En este reglamento se exige la solución constructiva de aislamiento térmico y resistencia térmica que se debe cumplir en la techumbre para las 7 zonas de Chile que cumple con unos promedios de temperatura, en el caso de Ecuador se clasifica en 6 zonas según las normas NEC que se caracterizan por los valores de temperatura. Para la ciudad de Catamayo se debe tener una resistencia térmica mínima de 1,50 W/mK por la elevada temperatura según el Inamhi

Tabla 12: Normativa térmica chilena

Zona	Techumbre	
	ʎ	**Rt**
	W/mK	M^2k/W
1 Cálido	0,84	1,19
2	0,60	1,67
3	0,47	2,13
4 Medio	0,38	2,63
5	0,33	3,03
6	0,28	3,57
7 Frío	0,25	4,00

Fuente: Normativa de cumplimiento MIDUVI
Elaborado por: El autor

- **Resistencia a la flexión en planchas y placas de yeso-cartón**

- **Norma Ecuatoriana NTE INEN-EN 520**

La norma técnica ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Europea EN 520: 2004+A1:2009 Gypsum Plasterboard. La carga de rotura a flexión de las placas de yeso laminado, según el método descrito bajo esta normativa no debe ser inferior a los valores indicados en la Tabla 13.

Tabla 13: Normativa a la Flexión INEN

	Carga de rotura en newton (n)		
	Espesor nominal mm	Sentido transversal	Sentido longitudinal
Común	9.5	160	400
	12.5	210	550
	15.0	250	650
Otros espesores	t	16.8 * t	43 * t

Fuente: Normativa ecuatoriana NTE INEN-En 520
Elaborado por: El autor

- **Normativa chilena NCh 146/1**

La norma se establece sobre la normativa internacional ISO 6308 1980 Gypsum Plasterboard. Clasifica a los paneles de cartón y yeso según su espesor con el tipo de fuerza (N) o carga transversal (flexión) que se debe ejercer sobre las probetas de prueba, que determinará su punto de rotura bajo una determinada fuerza.

Los valores de esfuerzo no deben ser menor al 10 % en el total de las probetas realizadas.

Tabla 14*:* Normativa a la Flexión NCh

Carga en Newton (N)		
ESPESOR mm	Apoyo de probeta respecto a borde longitudinal	
	Paralela Cara y dorso	Perpendicular Cara y dorso
8	110	280
10	140	370
12.5	180	500
15	220	650
25	380	900

Fuente: Normativa chilena NCh 146
Elaborado por: El autor

- **Resistencia al impacto**

  - **Normativa ISO 146/2:**

La norma se establece sobre la normativa internacional ISO 6308 1980 Gypsum Plasterboard. En ella se describe que una bola de acero de dimensiones normalizadas de 50 +- 1 mm de diámetro y 530 g +- 20 g, la huella del diámetro establecida sobre la probeta de ensayo no debe ser superior a 20 mm.

La normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520, presenta el mismo procedimiento.

- **Resistencia al fuego**

  - **Norma Ecuatoriana NTE INEN-EN 520**

La norma técnica ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Europea EN 520: 2004+A1:2009 Gypsum Plasterboard.

Considera que la placa de yeso-cartón como resistente al fuego (RF) si de tres probetas se rompen (separándose en dos o más trozos) en las condiciones señaladas en la normativa, en un tiempo inferior a 15 min se considera que la placa no pasa.

  - **Normativa Chilena NCh 146/2:**

La norma se establece sobre la normativa internacional ISO 6308 1980 Gypsum Plasterboard. Considera a la placa de yeso-cartón como resistente al fuego (RF) si de tres probetas ensayadas en las condiciones señaladas en la normativa, cuatro de ellas se rompen en un tiempo superior a 30 min o ninguna de ellas se rompen antes de los 20 min.

  - **Artículos 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 de la O.G.U.C (MIDUVI):**

En este reglamento se exige que el material debe cumplir a la resistencia al fuego en techumbres los siguientes parámetros de resistencia en minutos

Tabla 15: Normativa de resistencia a las llamas directas

Elementos horizontales		
Tipo	Elementos soportantes horizontales	Techumbre incluido cielo falso
a	F-120	F-60
b	F-90	F-60
c	F-60	F-30
d	F-30	F-15

Fuente: Normativas O.G.U.C
Elaborado por: El autor

- **Comportamiento al fuego**

  - **Normativa Chilena NCh 1914/1:**

La normativa determina el comportamiento del material, viendo su cambio y pérdida de masa a la exposición del fuego durante 20min, y describe algunas características que debe presentar para que su comportamiento sea el adecuado como:

- Se realizar cinco lecturas máximas de temperatura y estas no deben exceder en 50ºC a la temperatura inicial
- La media de las cinco lecturas máximas de temperatura y la temperatura inicial no deben exceder en 50 ºC
- La duración media calculada de las llamas sostenida no exceda de 20s
- La pérdida de masa media no debe exceder al 50% de la masa original.

- **Resistencia al vapor de agua**

  - **Normativa ASTM G21 – 15:**

En esta normativa estudia la aparición del hongo de moho, producido en condiciones favorables de temperatura de 2 - 38 v y una humedad relativa de 60 – 100 %.

De esta normativa se establece la Norma ASTM D3273 – 16, pero con un carácter más estricto ya que las condiciones a las que debe ser sometido el panel es de una temperatura de 32,5 ºC y una humedad relativa de 90 a 98 %.

- **NCh 2457 Of.2001, Materiales de construcción y aislación**

En esta normativa determinación la permeabilidad al vapor de agua (humedad), la resistencia al paso del vapor debe ser mayor a 10 MNs/g.

CAPITULO 4

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Los materiales que se van a utilizar para el proceso de investigación se clasifican dependiendo de su naturaleza, vegetales: juncos de totora, junco de matala, almidón e hilo de cabuya; sintéticos: acetato de polivinilo; minerales: yeso y cemento; químicos: ácido bórico, bórax, fosfato de amonio y jabón líquido; herramientas: arduino uno R3 genérico, termocupla tipo K, sensor DHT22, fuente de poder, variador de corriente, multímetro, pantalla LCD, cables de conexión, caja de poliestireno y mechero Meker.

4.2. Vegetales

- **Juncos de Totora**

Para la investigación se trabajará con dos montones o atados grandes de 500 a 600 juncos de totora, que fueron obtenidos por medio de compra-venta a la comunidad Totora Sisa que se encuentra en Otavalo en la laguna de San Rafael, a una distancia de 756,7 km de la ciudad de Loja, ya que en la provincia de Loja no existe comunidades que la produzcan. También se consiguieron dos rizomas de totora, para proceder a sembrar y conocer si la planta puede desarrollarse en climas cálidos, como la ciudad de Catamayo, con las condiciones aptas para una planta acuática.

Figura 20: Matala

Elaborado por: El autor

El precio de cada bulto fue de $ 10,00 ($ 20,00 los dos bultos). El costo total de transporte de Otavalo a la ciudad de Loja fue de $ 14,50.

Si los juncos aún se encuentran verdes, se debe proceder a secar al sol durante 1 mes aproximadamente antes de ser utilizarlos. En su estado seco, no es vulnerable al ataque de polillas, ni a microorganismo dañinos que destruyan la morfología del junco, ya que posee un alto contenido de sílice. (Ninaquispe-romero et al., 2012).

- **Juncos de Matala**

Se trabajará con un bulto de 50 juncos que fueron conseguidos en las riberas de los canales y ríos de la ciudad de Catamayo. Por lo general se selecciona la matala seca, si en el caso que no se encuentra, se escoge la matala verde de mayor tamaño y se la deja secar aproximadamente un mes.

Se tienen en cuenta que conseguir el junco de matala no tiene ningún costo, ya que crece de forma salvaje en los canales de riego y ríos de la ciudad de Catamayo.

Figura 21: Matala

Elaborado por: El autor

- **Almidón**

Se obtuvo 1 kilogramo de almidón de chuno, al precio de $ 1,26. El almidón, según el estudio del yeso-cartón de Rivero Fernández, le proporciona al yeso cualidades de endurecimiento dotando al panel con una mayor resistencia a la flexión y al impacto. Se lo consigue en abarrotes y supermercados.

- **Hilo y maya de cabuya**

Se obtuvo un rollo de hilo de cabuya de 20 m por ser resistente, natural y de fácil obtención; se lo consigue en tiendas de mercería al precio de $ 1,00 el rollo de 20 metros. Se lo utilizará para realizar el amarrado en bulto de los juncos de totora y matala, a la vez permitirá que exista

una mayor adherencia del yeso a la totora. La malla de cabuya se obtuvo donde se vende estuco y la cantidad es un montón por un costo de $ 0,50, se lo utilizará para la adherencia del yeso con la totora.

4.3. Sintéticos

- **Acetato de Polivinilo (cola de carpintero o industrial)**

Se adquirió un galón de blancola, por las características que presenta: alto contenido de sólidos, rápido secado, no mancha y tiene excelente resistencia mecánica para ser utilizado como pegante en los juncos. El precio de compra fue de $ 7,10 el galón de 3,78 litros, siendo el impacto ambiental de 0,018 g de dióxido de carbono por kilogramo. Se expende en empresas distribuidoras de madera, aunque también se lo puede obtener en tiendas de pintura y ferreterías.

4.4. Minerales

- **Yeso**

Se obtuvo un saco de 50 kg de yeso blanco peruano, por ser un material conglomerante con buena estabilidad volumétrica y adherencia, con características de fraguado rápido, modificable, con bajo peso y baja conductividad. Se lo obtiene en negocios de venta de yeserías, gypsum y cornisas de yeso, aunque se lo puede conseguir en tiendas de pintura y ferreterías al precio de $ 7,70 el saco de 50 kg, siendo el impacto ambiental de 0,002 g de dióxido de carbono por kilogramo.

- **Cemento**

Se adquirió 1 kg de cemento portland, por ser un material que ofrece propiedades de resistencia y dureza. Se lo obtiene en tiendas de ferretería o distribuidora de materiales de construcción al precio de $ 7,71 el saco de 50 kg, siendo el impacto ambiental de 0,758 g de dióxido de carbono por kilogramo.

4.5. Químicos

- **Aditivos**

Los productos químicos fueron conseguidos de tiendas de venta de químicos y minería, mercados, farmacéuticas o en tienda de productos agrícolas.

Tabla 16: Químicos de inmunización

Producto	Cantidad g
Ácido Bórico (III)	200
Bórax (BB 4H20Na2O17)	20
Fosfato de Amonio (NH4)3PO4	1000
Jabón liquido	250

Elaborado por: El autor

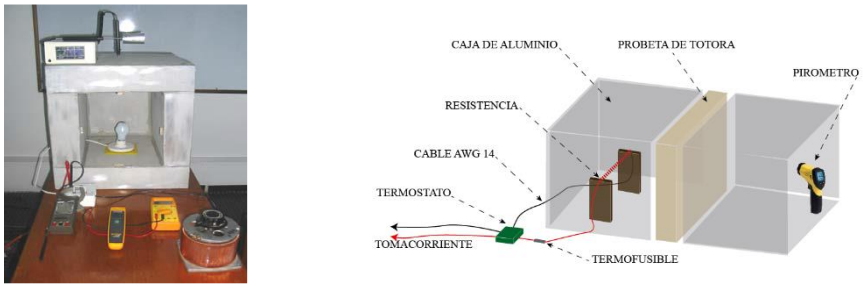
4.6. Herramientas

Las herramientas utilizadas para realizar las pruebas térmicas, resistencia al fuego, resistencia a la flexión y al impacto nos permitirán medir con precisión cada uno de los parámetros requeridos para determinar las características constructivas del panel.

- **Caja Caliente Térmica**

Para realizar las pruebas térmicas de los paneles de totora se construirá una caja empírica de medición térmica según la Norma NTE INEN-ISO 8990 y el artículo Método para la estimación experimental de la conductividad térmica de algunos materiales comunes en Colombia para aplicaciones HVAC/R., que cuenta con el procedimiento y con todos los instrumentos necesarios para medir los diferentes puntos, que permitirá determinar el coeficiente y resistencia térmica de la probeta en experimentación.

Figura 22: Calorímetro o caja caliente



Fuente: articulo Método para la estimación experimental de la conductividad térmica

Tabla 17: Materiales y costo del calorímetro

Materiales	Utilidad
Arduino uno R3 ATMEGA328PU genérico	Fue conseguida una placa electrónica o micro controlador, que funcionará como el cerebro del proyecto, que se encarga de leer los sensores térmicos y transformar la información en datos.
Termocupla Tipo K con tarjeta de adaptación	Fueron conseguidos dos sensores de temperatura al contacto con un material, permite leer la temperatura que se produce en un material y transmitir la información al arduino.
Sensor DHT22	Fueron conseguidos dos sensores de temperatura ambiental o de aire, permite leer la temperatura que se produce en un espacio y transmitir la información al arduino.
Variador de corriente	Fue conseguido un variador de corriente, que permitirá controlar la cantidad de corriente que se transmita por el circuito, para producir la cantidad de calor que se requiera.

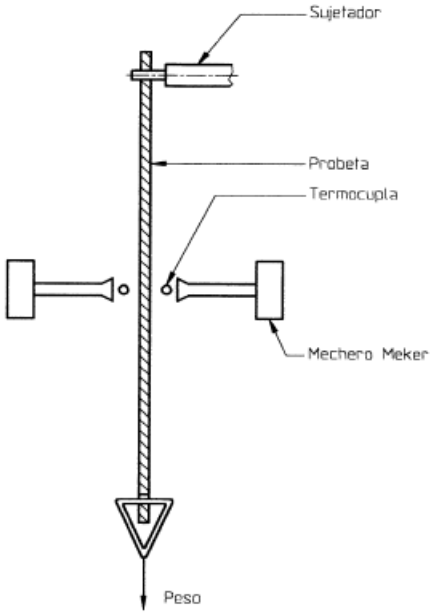
Multimetro	Fue conseguido un multímetro, que permitirá medir la cantidad de corriente e intensidad que se transmite por el circuito.
Pantalla LCD	Fue conseguido una pantalla LCD que refleja los datos leídos por el arduino en información legible, en este caso la temperatura en °C
Cables de conexión	Fueron conseguidos cables de conexión que permitirán dirigir los datos a través del circuito
Caja de poliestireno	Fue conseguido una caja de poliestireno que permitirá el aislamiento del calor del interior al exterior.

Fuente: Repuestos Electrónicos. MEGAELECTRONICS
Elaborado por: El autor

- **Sistema de resistencia al fuego**

Para realizar las pruebas de resistencia al fuego de los paneles de totora se construirá un sistema de medición del tiempo de ignición, que cuenta con todos los instrumentos necesarios para medir el comportamiento del panel ante el fuego.

Figura 23: Sistema de pruebas al fuego



Fuente: Norma Chilena NCh 146/2
Elaborado por: Norma Chilena

Tabla 18: Materiales para la prueba de fuego

Materiales	Utilidad
Mechero Meker	Se utilizará para producir llamas de forma controlada sobre el material expuesto.
Termocupla	Se utilizará para medir y controlar la cantidad de temperatura producido por el fuego
Sujetador	Se utilizará para sujetar la probeta en el aire y permitir la prueba del fuego sobre las dos caras de la probeta

Fuente: Norma Chilena NCh 146/2
Elaborado por: El autor

- **Maquina automática de compresión y flexión SHIMADZU 2000X**

El rango de las máquinas para pruebas de compresión y flexión es de capacidad de 2000 kN, han sido diseñadas para pruebas fiables y consistentes de compresión y flexión de probetas de concreto.

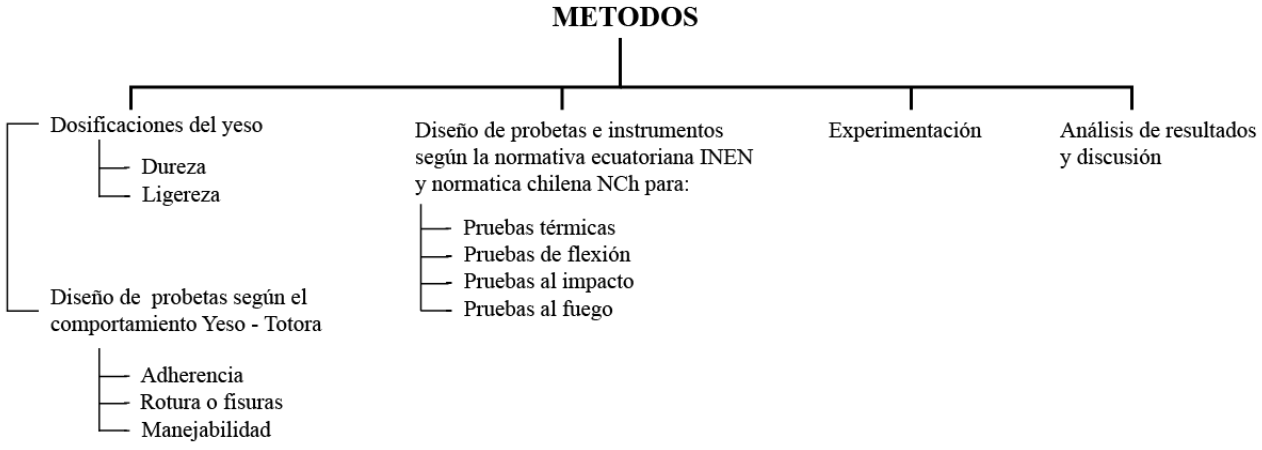
Las pruebas de flexión y compresión que se requiere para las probetas, es que cumpla los parámetros establecimos en las normativas ecuatorianas INEN y chilenas NCh.

Figura 24: Máquina automotriz para pruebas de flexión

Fuente: Laboratorio del Área Técnica de la UTPL
Elaborado por: El autor

4.7. Método de Experimentación

Una vez determinado los materiales necesarios para cada proceso de experimentación, se establece los métodos que se utilizaran según las normativas que rigen el comportamiento adecuado de los paneles de yeso-cartón, para su uso como cielo falso, tabiques o revestimiento de muros.



Elaborado por: El autor

4.8. Dosificación del yeso

Para el diseño de las probetas, es necesaria conocer una dosificación de yeso adecuado que permita mejorar las propiedades de resistencia y peso del panel de yeso-totora.

En el procedimiento se determinará una combinación de yeso con otros materiales como el cemento Portland, el almidón de chuno y el jabón líquido, con la intensión de conseguir una dosificación adecuada para mejorar la resistencia y ligereza en los paneles.

Se realizarán tres probetas en forma de cubo de 50 x 50 mm con cada formulación según la normativa UNE- EN 13279-2 y se le aplicará una fuerza de 5 kN aumentando su peso hasta su rotura o fisura.

La dosificación es determinada por la consulta bibliográfica de la fabricación artesanal de estuco en la ciudad de Loja (ver 1.6.3), donde el porcentaje de dosificación es 1–2 para agua-yeso y se determina la dosificación 1-3-5 para los materiales complementarios (cemento, almidón)-agua-yeso

Tabla 19: Dosificación de yeso

Formulación	Dosificación
Yeso + Agua	– Yeso = 1600g – Agua = 800g
Yeso + Agua + Cemento Portland	– Yeso = 1500g - Cemento = 300g – Agua = 900g
Yeso + Agua + Almidón Chuno	– Yeso = 1500g - Almidón = 300g – Agua = 900g
Yeso + Agua + Jabón liquido	– Yeso = 1500g - Jabón líquido= 50g – Agua = 900g
Yeso + Agua + Cemento Portland + Jabón liquido	– Yeso = 1500g - Cemento = 300g – Agua = 900g - Jabón líquido = 50g
Yeso + Agua + Almidón Chuno + Jabón liquido	– Yeso = 1500g - Cemento = 300g – Agua = 900g - Jabón líquido = 50g

Elaborado por: El autor

- **Procedimiento de realización de las probetas**

Una vez realizado las diferentes dosificaciones, se vierte la pasta sobre el molde de forma que este procedimiento no debe durar más de 10 minutos. Una vez que la pasta haya fraguado, se elimina el material sobrante con una regla metálica realizando un movimiento de sierra, una vez que la pasta haya adquirido la consistencia adecuada, se procede a desmoldar y a identificar el conjunto de probetas.

Se Acondiciona las probetas a una temperatura de 22°C +-5°C y humedad relativa de 65% +- 10% durante 12 horas.

Figura 25: Probetas de yeso con dosificaciones

Elaborado por: El autor

4.9. Diseño de probetas Yeso – Totora

Para el diseño de probetas en granel de materiales orgánicos de biomasa no se establecen normativas para determinar la adherencia y manejabilidad del panel, por el cual se tomará como referencia la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y normativa chilena NCh 146 para determinar el espesor del panel (30mm máximo) y el número de probetas (3) para el porcentaje de fiabilidad 3/3. La dimensión de las probetas se realizará de 300 x 300 mm, el cual permitirá observar los defectos de las diferentes formulaciones con la dosificación de yeso seleccionada y también se utilizarán las mismas para la prueba de resistencia térmica.

- **Probetas en granel de totora**

Para el desarrollo de probetas, primero se selecciona los juncos por su diámetro, por tanto, se procede a seleccionar los juncos con un diámetro de 10 a 11 mm

Figura 26: Selección de la totora

Elaborado por: El autor

Después se procede a realizar los paneles en granel el cual se utilizó dos métodos, el tejido amarrado en bulto y el pegado en paralelo. Para su diseño se cortaron juncos de 270 mm de largo por la cantidad indefinida de juncos para conseguir el ancho de 270mm.

- **Tejido amarrado en bulto (Ab):** se escoge un junco base y se lo amarra con un hilo de cabuya, realizando un nudo llamado ballestrinque, se tiene en cuenta dejar una cantidad de hilo en los dos extremos por igual, que permita amarrar con un nudo tipo corbata de gato a los demás juncos uno con otro hasta formar un grosor de 270 mm. Al final se vuelve a realizar el mismo nudo ballestrinque, pero con un nudo ciego para que se mantenga firme la probeta y no se desamarre.

Figura 27: Tejido en bulto de la totora

Elaborado por: El autor

- **Pegado en paralelo (Pe):** se escoge aproximadamente entre 25 a 30 juncos para conformar un panel de 270mm de grosor y se los coloca uno con otro por la parte más

larga del junco, después se le añade el acetato de polivinilo un 10% prensándolo entre ellos un tiempo de 15 a 30 min hasta que quede totalmente seca y firme.

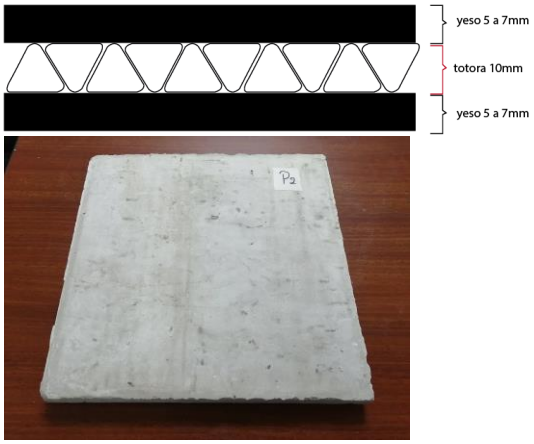
Figura 28: Pegado en paralelo de la totora

Elaborado por: El autor

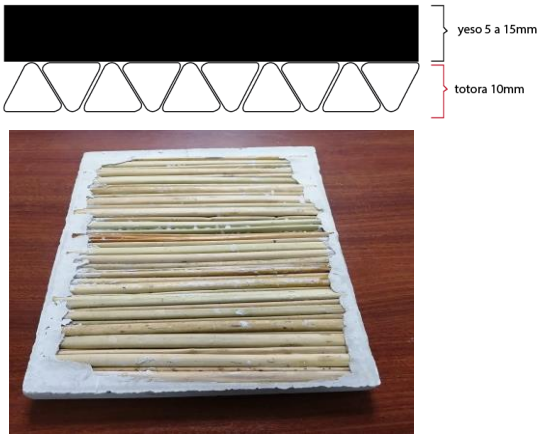
- **Probetas de totora en granel + yeso**

Para el diseño de las probetas se realizaron dos formulaciones, el cual se representa un gráfico para especificar la composición del panel

TIPO 1



TIPO 2



Elaborado por: El autor

Para el porcentaje de fiabilidad en la experimentación se realizan tres probetas de amarrado en bulto con cada tipo y tres probetas de pegado en paralelo con cada tipo, en total se realizan 12 probetas.

Para el proceso de fabricación del panel se utiliza un molde con las medidas determinadas 300 x 300 mm, según las normativas y el calorímetro. Los paneles en granel se sitúan según

los bocetos, después se procede a echar la dosificación seleccionada de forma que se generan los paneles que tardan en fraguar entre 10 a 15 min, listos para ser desmoldados.

Figura 29: Poseso de realización de las probetas

Elaborado por: El autor

A cada formulación se lo deja secar a temperatura ambiente de 3 a 4 días, para poder realizar las mediciones correspondientes y conocer las características de cada probeta.

De las tres probetas realizadas por cada formulación se saca un promedio en el grosor y peso. Para determinar la adherencia, manejabilidad y fisura a través de la observación y manipulación se realiza una valoración del 1 a 5 (siendo 1 mal comportamiento y 5 mejor comportamiento) concluyendo en las tres mejores formulaciones para proceder a realizar las pruebas térmicas, de flexión, de impacto y fuego.

4.10. Diseño de probetas e instrumento según las normativas INEN y Normativa Chilena NCh para las pruebas térmicas, de flexión, de impacto y resistencia al fuego.

Para el proceso de pruebas se seleccionan las probetas según el tipo y con mejores resultados de la Tabla 28, se tienen en cuenta que las dimensiones dadas no son las utilizadas para las diferentes pruebas, por lo que, cada prueba tiene un método diferente que determina las

dimensiones y cantidades de probetas que se necesitan en la experimentación para determinar su fiabilidad o certeza. Para las pruebas térmicas se toma en cuenta la normativa INEN y el artículo Método para la estimación experimental de la conductividad térmica. Para las pruebas de flexión, impacto y resistencia al fuego se toma en cuenta la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/1 y 146/2, ya que especifican los valores de calidad que deben cumplir los paneles de yeso-cartón para ser usados y comercializados como cielo falso.

4.11. Método para pruebas térmicas

Para la realización de las pruebas se conocen dos procesos, que los describe la normativa NTE INEN-ISO 8990 con sus dos métodos (caja caliente guardada y caja caliente calibrada) o el Método para la estimación experimental de la conductividad térmica de algunos materiales comunes en Colombia para aplicaciones HVAC/R, desarrollada por Fonseca Díaz y Tibaquirá de la Universidad Tecnológica de Pereira.

La normativa INEN presenta un método de experimentación y construcción de la caja caliente, que conlleva a utilizar instrumentos que se deben calibrar con precisión y que su obtención es costosa, por lo tanto, no permite una experimentación de carácter exploratoria. El método para la estimación experimental de la conductividad térmica es un artículo que desarrolla un proceso de fácil ejecución para estimar la conductividad térmica de diferentes materiales y el modelo matemático implementado a partir del balance térmico, que se resuelve mediante el software EES, también presenta adicionalmente el análisis de incertidumbre para determinar el grado de confianza que presentan los resultados. La importancia de este método es que permite realizar una caja caliente o calorímetro de forma sencilla y usa herramientas de fácil alcance para la construcción y el cálculo de la resistencia térmica de los materiales, por ello se utilizará este método para realizar las pruebas de resistencia térmica de las probetas.

- **Método para la estimación experimental de la conductividad térmica de algunos materiales comunes en Colombia para aplicaciones HVAC/R.**

Para el proceso de experimentación de las probetas de totora se aplicará todo el procedimiento que ofrece el artículo, desde la creación de la caja caliente o calorímetro, hasta el proceso de

cálculo que se aplica en el software EES para determinar el balance térmico de la probeta, según las variables determinadas en el calorímetro por cada panel.

Para la estimación del porcentaje de fiabilidad se toman tres pruebas por cada probeta, que tendrán las medidas según las dimensiones de la sexta cara de la caja caliente 300 mm x 300 mm.

- **Construcción de la caja caliente o calorímetro.**

Para la construcción del calorímetro se utilizan todas las herramientas de la Tabla 24, de forma que permitirá la domotización de la misma para la obtención de los valores requeridos de forma precisa por cada panel.

Tabla 20: Construcción de la Caja caliente

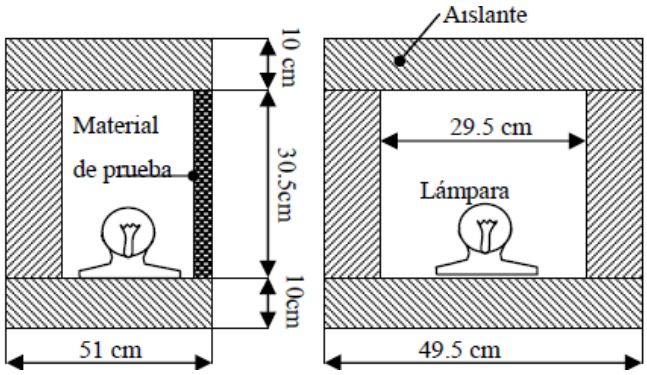
Materiales	Procedimiento
– 5 paneles de poliuretano expandido de 10 cm de espesor blindado con una capa de pintura aislante.	– Se pegan con silicona líquida y se sellan los bordes para reducir el efecto del ambiente exterior sobre las pruebas
	
– Lámpara o foco con una resistencia de 60W	– Se instala como fuente calorífica, conectada a un circuito eléctrico de alimentación
– Voltímetro de exactitud +/- 1.2% – Variador de corriente	– Mide la intensidad consumida por la lámpara o resistencia y el variador de corriente permite regular la intensidad de corriente transmitida para el foco

Ilustración 1: Vista lateral y frontal de la caja caliente o calorímetro

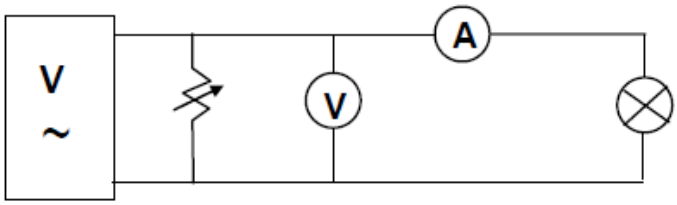


Ilustración 2: Esquema eléctrico de alimentación de la caja caliente

– Sensor dht22 – Termocupla tipo K	– El sensor mide la temperatura del aire exterior e interior de la caja caliente, al igual que la termocupla mide la temperatura interna y externa de la cara de la probeta
– Arduino uno R3 – Pantalla LCD	– El arduino es el sistema operativo o cerebro, el cual procesa la información obtenida de los sensores y la interpreta a través de su programación en Arduino. La pantalla LCD plasma la información interpretada por el arduino. La programación del arduino para la interpretación de los datos ver el Anexo D.
– Calibrador de medidas con una exactitud de +/- 0.5mm	– Mide el área superficial y el espesor de la probeta

Fuente: Articulo del método para la estimación experimental de la conductividad térmica
Elaborada por: El autor

- **Fórmulas de cálculo del balance térmico para el software EES**

Tabla 21: Formulas para el software EES

Formulas	
– P=V*I – P=A1*U1*(Tai-Tae)+A2*U1*(Tai-Tae)+A3*U1*(Tai-Tae)+A4*U1*(Tai-Tae) +A5*U1*(Tai-Tae)+Qm – Qm= km*Am*((Tmi-Tme)/Lm) – Qm=hcri*Am*(Tai-Tmi) – Qm=hcre*Am*(Tme-Tae) – U1=1/((1/hcri)+(Lais/Kais)+(1/hcre))	– P: potencia eléctrica (W) – V: voltaje – I: intensidad de corriente – A1 al A5: área de las paredes de poliestireno de la caja – D1: temperatura interna del aire – D2: temperatura externa del aire – T1: temperatura interna de la cara de la probeta – T2: temperatura externa de la cara de la probeta – U1: coeficiente global de transferencia de calor – Q1 al Q2: transferencia de calor transmitida por las paredes de poliestireno de la caja – Qm: transferencia de calor de la probeta – Km: coeficiente térmico de la probeta – Am: área de la probeta – Lais: espesor de la probeta – hcri: coeficiente combinado de flujo de calor por convección y radiación interior – hcre: coeficiente combinado de flujo de calor por convección y radiación exterior – Lais: ancho de las paredes de poliestireno
Constantes	
– Kais=0.02 – A1, A2, A3, A4, A5 – Lais= 0.10	
Variables	
– D1 – D2 – T1 – T2 – Lm – Am – V – I	

Fuente: Articulo del método para la estimación experimental de la conductividad térmica
Elaborado por: El autor

- **Procedimiento**

Una vez fabricado el calorímetro con todos los implementos necesarios para producir calor y medir los valores requeridos como la temperatura del aire interna y externa, la temperatura de los paneles internos y externos, la intensidad y voltaje eléctrico, se procede a medir el grosor de la probeta y el área con un calibrador, después se procede a colocar una termocupla sobre la cara interna de la probeta de forma que ingrese correctamente, seguidamente se sellan los extremos con una cinta aislante para prevenir el margen de errores. Una vez ya listo, se procede a calentar el calorímetro con una intensidad de 60 W a 65 W, se espera durante 10 min para que se estabilice la temperatura y se procede a medir las variables (temperatura del aire interno y externo, temperatura de la probeta interna y externa, y el voltaje e intensidad) tres veces durante un periodo de 5 min, después los resultados se promedian. Los resultados obtenidos se trasladan en el software EES en el punto de variables (ver Anexo F) y se obtiene el coeficiente de conductividad térmica y el flujo de calor transmitido por la probeta.

Figura 30: Experimentación del Calorímetro

Fuente: método para la estimación experimental de la conductividad térmica
Elaborado por: el autor

4.12. Método de resistencia a la flexión

Para este proceso de experimentación se procede a seguir el método de experimentación de la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2. Of2000, que se describe:

- **Preparación de la probeta o muestra**

Se realizarán dos probetas de cada formulación de 300mm +-5mm x 400mm +-5mm.

Acondicionar las probetas a una temperatura de 22°C +-5°C y humedad relativa de 65% +-10% durante 12 horas.

- **Máquina de ensayo**

Maquina universal para efectuar compresión, en el intervalo de 100N y 1000N. Debe realizar una presión de 2%, capaz de aplicar la carga necesaria a una velocidad de (250 +- 125) N/min.

- **Procedimiento**

Colocar la probeta preparada en forma centrada, sobre dos apoyos cilíndricos (radio 3mm y 15mm) fijos y paralelos distanciados a 350mm +- 1mm entre sus ejes y aplicar la carga. Ambos apoyos deben estar al nivel, tener un largo similar a la muestra.

Se aplica la carga con un incremento uniforme de 250 N/min +- 20% hasta que se produzca la rotura. La fuerza se aplica de acuerdo el espesor de la probeta (tabla 17 y 18).

El tiempo transcurrido entre la aplicación de la carga y el momento en que se produce la rotura debe ser superior a 20 segundos.

4.13. Método de resistencia al impacto

Para este proceso de experimentación se procede a seguir el método de experimentación de la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2. Of2000 el cual describe el mismo procedimiento.

- **Preparación de la probeta**

Realizar este ensayo sobre la probeta de cada formulación de 300mm +- 5mm x 400mm +- 5mm. Acondicionar las probetas a una temperatura de 22°C +-5°C durante 12 horas.

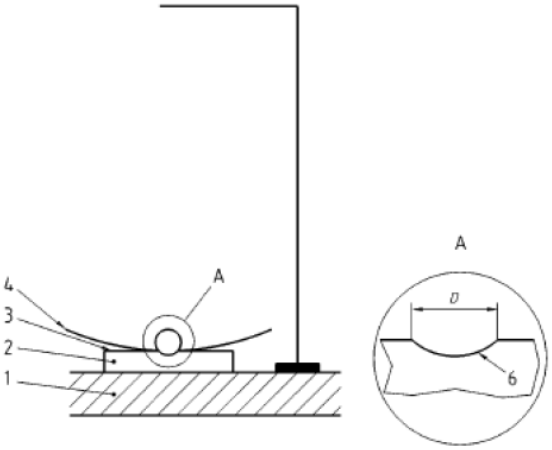
- **Máquina de ensayo**

Utilizar una bola de acero normalizada de 50mm +-1mm de diámetro y 510g +- 10g de masa.

- **Procedimiento**

Efectuar dos medidas en cada probeta, dejando caer la bola en caída libre, desde una altura de 500 mm ± 10 mm, considerando desde el punto inferior de la bola, sobre la probeta colocada en una superficie horizontal, lisa y rígida. Medir el diámetro de la huella dejada por la bola con un instrumento con resolución de 1 mm. El diámetro de la huella no debe ser superior a 20 mm en las probetas ensayadas.

Figura 31: Prueba al impacto



Fuente: Normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520
Elaborado por: Normativa ecuatoriana

4.14. Método de resistencia a la acción de llamas directas

Para este proceso de experimentación se procede a seguir el método de experimentación de la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2. Of2000. Este método se basa en la resistencia de las probetas a la acción directa al fuego, el cual describe:

- **Preparación de la probeta**

Realizar tres probetas por cada formulación, de 50 mm ± 1 mm x 300 mm ± 1 mm, con el lado de 300 mm paralelo al borde longitudinal. Perforar dos orificios, de 2 mm a 3 mm de diámetro, como se indica en la Figura 25. Secar la probeta a una temperatura de 40 °C.

- **Máquina de ensayo**

Dos mecheros Meker con una boquilla de diámetro (19 ± 1) mm y el del orificio de salida del gas de (0,75 ± 0,05) mm. Termocupla de aluminio-cromo (tipo K).

- **Procedimiento**

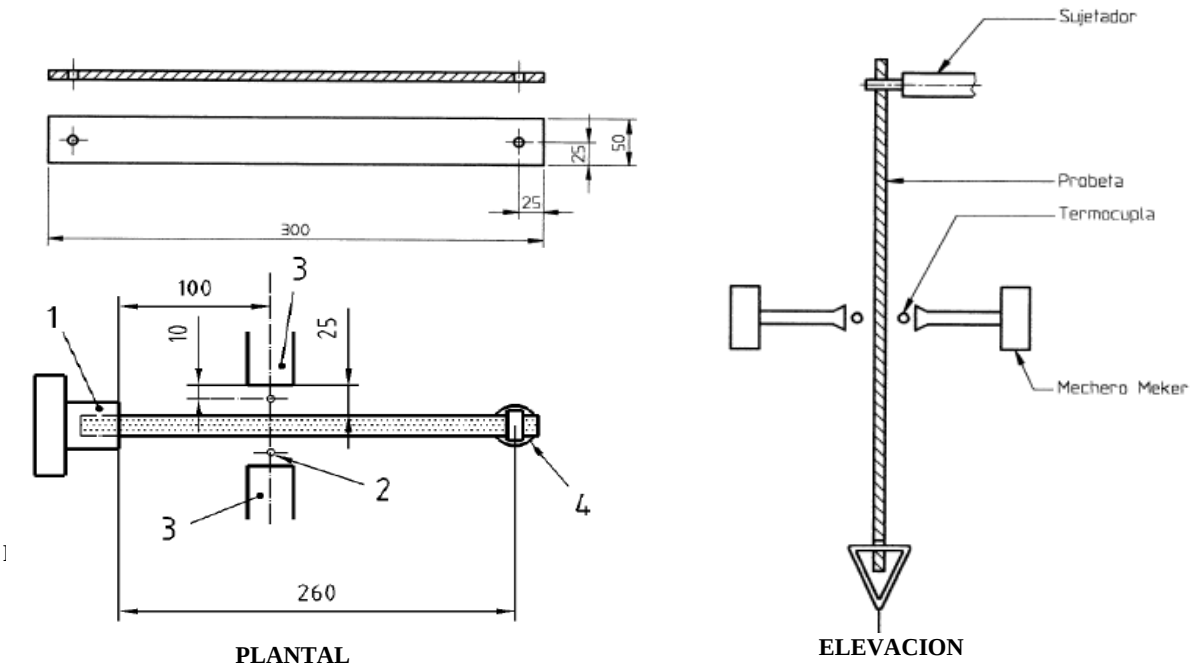
Realizar el ensayo con dos mecheros Meker, los cuales se alimentan con gas propano comercial, se coloca a una distancia de 60 mm ± 1 mm entre sus extremos de salida del gas según la Figura 25.

Determinar la temperatura por medio de termocupla de aluminio-cromo (tipo K), la que se debe colocar a 15 mm ± 1 mm del extremo de salida del gas de cada mechero. Los dos orificios realizados a la probeta son para sujetarla y se encuentre estable para la prueba.

Al encender los mecheros se comienza a tomar la medida del tiempo con un cronometro. Ajustar la salida del gas, de modo que después de 3 min de ensayo, la temperatura media en la termocupla esté en el intervalo de 1000 °C ± 40 °C.

Anotar el tiempo transcurrido en minutos, hasta que la probeta se separa en trozos. Si al cabo de 15 min en las tres probetas no presentan ningún aspecto de rotura, la probeta es considera válida, caso contrario si alguna de las tres no cumple, se considera que la formulación no pasa.

Figura 32: Bocetos del sistema de pruebas al fuego



Fuente: Normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520
Elaborado por: Normativa ecuatoriana

- **Proceso de preparación de químico ignifugantes e inmunización**

Al caracterizarse la totora por ser un junco con una buena resistencia al ataque de plagas, bacterias y microorganismo patógenos, aun así, es de importancia protegerlo, de la misma manera pasa con la resistencia al fuego, ya que tiende a ser un material de rápida combustión. Por ello se realizan algunas mezclas químicas que le dan propiedades ignifugantes e inmunización a la totora, o por lo menos ayudan a retardar los procesos de combustión.

Tabla 22: Mezclas químicas de inmunización

Mezclas	
– Agua – Bórax – Ácido bórico – Fosfato de Amonio	Para 200 partes de agua, 1de bórax, 1 de ácido bórico, 0.5 de Fosfato de Amonio. Después se debe rociar tipo espray a la probeta, y de este modo las probetas van absorbiendo el líquido.

Fuente: Hidalgo, 2007
Elaborado por: El autor

- **Proceso:**

Una vez realizado la mezcla química, con la ayuda de un espray se rocía a la probeta de totora en granel tres veces cada cinco minutos. Después, se deja secar un día para que la probeta pueda absorber la sustancia química.

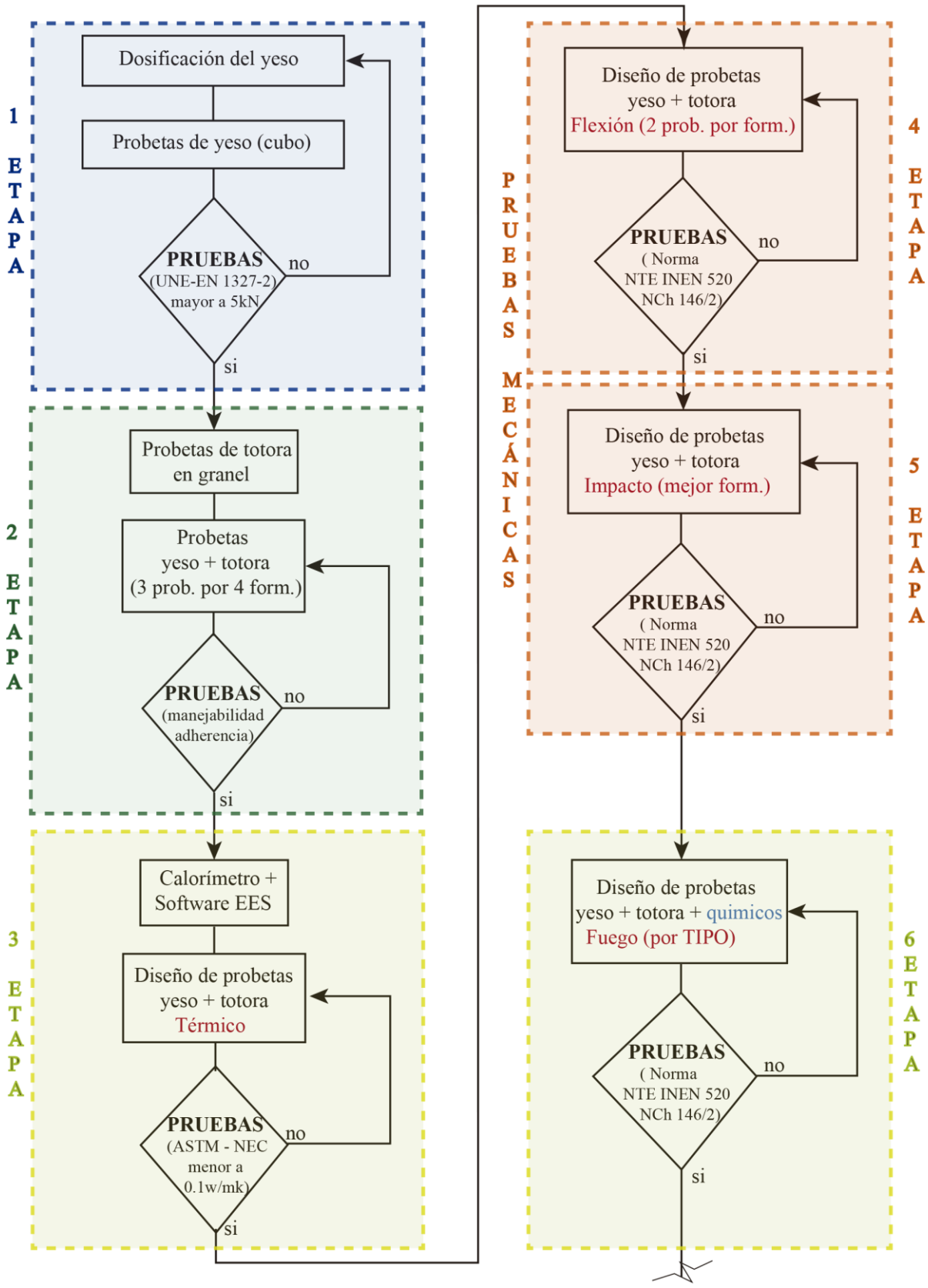
Figura 33: Mezcla de químicos de inmunización

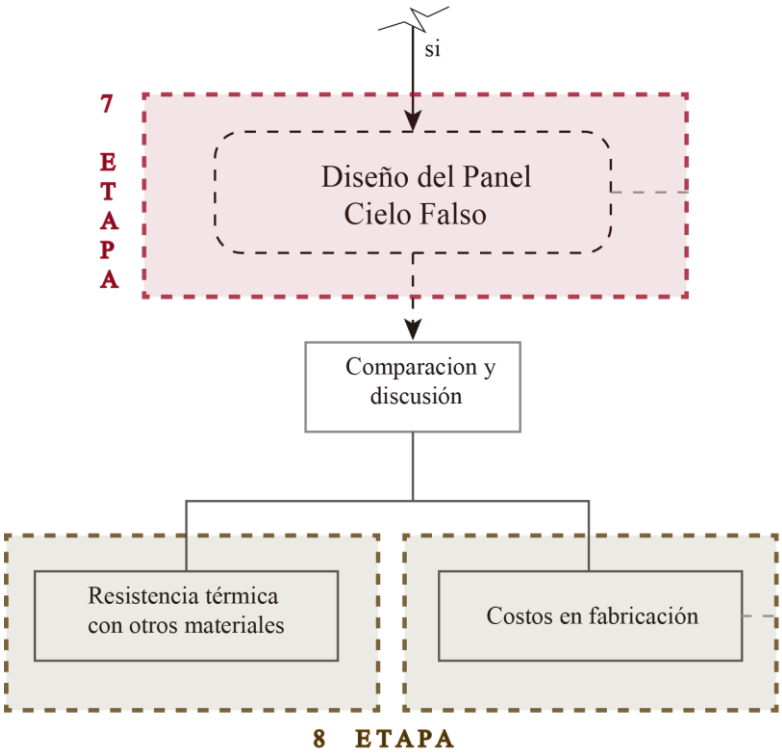
Elaborado por: El autor

CAPITULO 5

5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Método de Experimentación





Elaborado por: El autor

5.1. Descripción del método de experimentación

El proceso de experimentación es de carácter exploratorio, por ello se realizaron siete etapas, las cuales arrojan resultados que permitirán establecer adecuadamente la forma de fabricación de los planes de yeso-totora que cumplan con la norma de construcción tanto nacional como internacional que se establece para el cumplimiento de paneles de yeso-cartón, del mismo modo, establece la factibilidad del panel para ser usado como un material constructivo térmico para cielo falso.

- **Primera etapa**

Se realizan las dosificaciones del yeso de la Tabla 26, las que procede hacer en seis formulaciones o dosificaciones diferentes, y de cada formulación se procederá hacer tres probetas. Para cada probeta se realizarán pruebas de rotura según la normativa UNE- EN 13279-2, para determinar la mejor dosificación respecto a su resistencia, ligereza y elasticidad para ser usada en la siguiente etapa.

- **Segunda etapa**

Se determinan la probeta de totora en granel según los dos tipos de uniones (Figuras 27 y 28), después se realizan cuatro formulaciones de totora más el yeso seleccionado en la primera

etapa, y de cada formulación se procederá a hacer tres probetas, por tanto, se harán 12 probetas. De cada probeta se evaluará el grosor, peso, adherencia y la manejabilidad, y las mismas probetas se darán uso para realizar la siguiente etapa.

- **Tercera etapa**

Las probetas de la segunda etapa, se utilizan para realizar el ensayo térmico en un calorímetro determinado por el articulo *Método para la estimación experimental de la conductividad térmica*, donde se toma las variables cuatro veces cada 5 minutos de cada probeta y se realiza un promedio de los valores obtenidos. Una vez finalizado los ensayos se selecciona las tres formulaciones que presentan los mejores resultados de coeficiente térmica establecidos por la normativa ASTM y NEC para paneles térmicos y se los utilizara para el ensayo de la siguiente etapa.

- **Cuarta etapa**

En esta etapa se realizan dos probetas por cada tipo, con el tipo de unión de la totora que mejores resultados térmicos se hayan obtenido en la tercera etapa. Las pruebas de flexión se realizarán según la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2, que describen el tamaño de la probeta a experimentar, la máquina para la experimentación y el proceso de experimentación. Se determinan las probetas que cumplan con la normativa y que obtengan los mejores resultados según el grosor que presentan.

- **Quinta etapa**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tercera etapa, las tres mejores probetas se utilizan para las pruebas de resistencia al impacto, según la normativa ecuatoriana INEN 520 y la normativa chilena NCh 146/2, que describen la máquina para la experimentación y el proceso de experimentación. Se determinan las probetas con los resultados y que cumplan con la normativa.

- **Sexta Etapa**

Se realizan cuatro formulaciones, dos de tipo 1 y dos de tipo 2, de la que cada tipo la totora tendrá un tratamiento químico que ayudarán a que retarde su ignición. Las cuatro formulaciones tendrán tres probetas, las que se someterán a pruebas de resistencia al fuego según la normativa ecuatoriana INEN 520 y chilena NCh 146/2, por tanto, las probetas se

diseñarán según la normativa que describe el tamaño, el número de probetas, la máquina para la experimentación y el proceso de experimentación. Se determinan las probetas con mejores resultados a la resistencia al fuego.

- **Séptima Etapa**

Se discuten los resultados obtenidos de los ensayos y se toman como modelo los mejores resultados para el diseño de un panel de 700 x 700 mm para cielo modular, referenciado por el proceso de realización del estuco en la ciudad de Loja.

- **Octava Etapa**

Se realiza una comparación de los resultados del panel seleccionado en el aspecto térmico, costo e impacto ambiental, respecto a otros materiales considerados como materiales térmicos por el Código Técnico de la Edificación.

5.2. Ensayo a la rotura de las dosificaciones de yeso

El objetivo de este ensayo es determinar la dosificación adecuada del yeso con mejor resistencia a la rotura, elasticidad y ligereza, siendo uno de los puntos importantes para el diseño del panel. Se toma como referencia la normativa UNE- EN 13279-2 que establece el método de experimentación del yeso.

Los datos obtenidos de este ensayo son el peso, el volumen, la resistencia a la rotura y la elasticidad de tres probetas por cada familia o formulación. Se obtiene un promedio de cada formulación, que servirá para estimar el resultado de cada dosificación.

- **Desarrollo:**

Se determina el peso en gramos con una balanza digital con precisión 0,0001 g, el volumen de cada probeta que se obtiene al medir con un calibrador el largo, ancho y alto.

Se coloca cada probeta sobre la máquina de compresión ZHIMADZU 2000X y se le aplica una fuera de 5 kN progresivamente hasta que la probeta presente fisuras.

Figura 34: Ensayos de dosificación del yeso

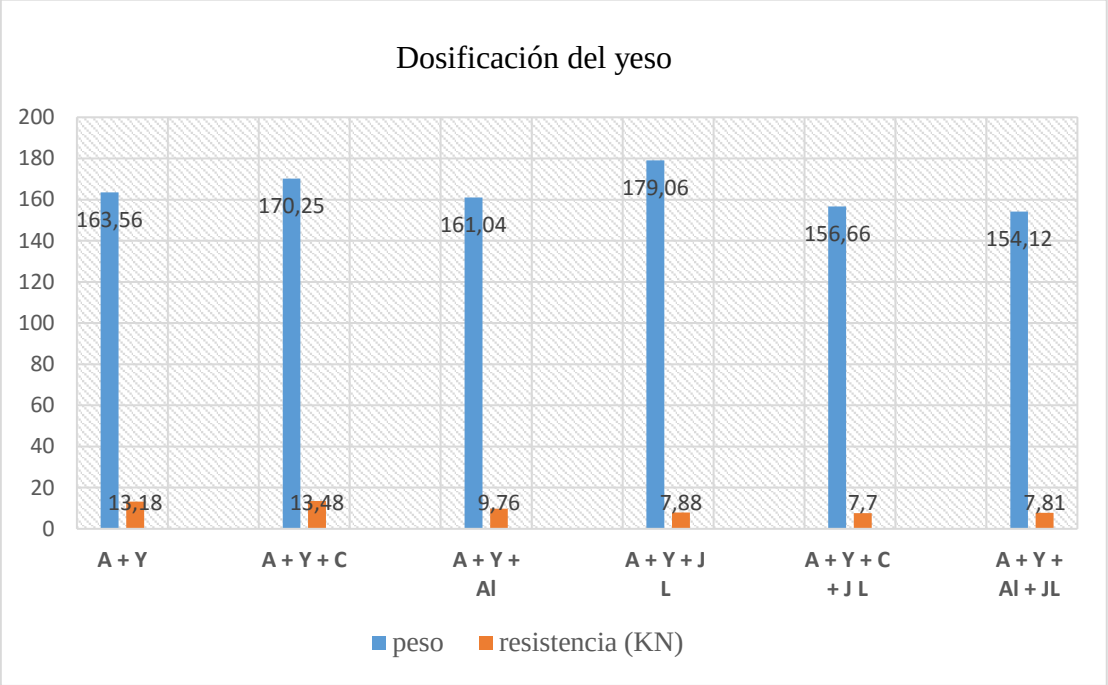
Elaboración: El autor

Tabla 23: Ensayo en las dosificaciones del yeso

Prueba de compresión en cubos (50 x 50 mm)			
Formulación	Peso	Volumen (cm^3)	Res. a la fuerza en kN
F1: Agua (800 g) + Yeso (1600g) ----- A + Y			
Promedio	163.56	136.30	13.18
F2: Agua (900g) + Yeso (1500g) + Cemento Portland (300g) ----- A + Y + C			
Promedio	170.25	136.48	13.48
F3: Agua (900g) + Yeso (1500g) + Almidón (300g) ----- A + Y + Al			
Promedio	161.04	139.99	9.76
F4: Agua (400g) + Yeso(1500g) + Jabón líquido (100g) ----- A + Y + JL			
Promedio	179.06	138.71	7.88
F5: Agua (600g) + Yeso (1500g) + Cemento Portland (200g) + Jabón líquido (50g) ----A + Y + C + JL			
Promedio	156.66	131.68	7.7
F6: Agua (600g) + Yeso (1500g) + Almidón (200g) + Jabón líquido (50g) ----- A + Y + Al + JL			
Promedio	154.12	138.28	7.81

Elaboración: El autor

Gráfica 1: Dosificación del yeso



Elaboración: El autor

- **Descripción de resultados:**

Los resultados de todas las probetas se encuentran por arriba de la resistencia establecida por la normativa UNE- EN 13279-2, también se puede observar en la gráfica del Anexo A su buen comportamiento a la elasticidad al tener un desplazamiento horizontal antes de su rotura.

Después de analizar los resultados obtenidos se concluye que de todas las formulaciones realizadas la que mejor resultado de resistencia a la rotura y elasticidad es la dosificación 1-3-5 de cemento-agua–yeso (A+Y+C) con un promedio de 13,48 kN y por su desplazamiento horizontal que determina el mejor comportamiento elástico de todos los ensayos que se observa en los gráficos del Anexo B. Por tanto, se concluye que la mejor dosificación a utilizar para el panel es agua–yeso–cemento.

5.3. Ensayo de adherencia de las probetas en granel

El objetivo de este ensayo es determinar a través de la observación y manipulación (fuerza física) que las probetas por amarrado en bulto y pegado en paralelo que se fabrican de forma artesanal son factibles respecto a su realización, sujeción y adherencia.

- **Proceso de amarrado en bulto**

El proceso de amarrado en bulto es rápido, realizable y mantiene a los juncos de totora unidas para su manipulación sin correr el riesgo que se desarme, sin embargo, se genera espacios entre los juncos que puede afectar en el coeficiente térmica de las probetas.

Figura 35: Ensayo amarrado en bulto de totora

Elaborado por: El autor

- **Proceso de pegado en paralelo**

En el proceso de pegado se debe tener cuidado en su manipulación ya que los juncos tienden a despegarse porque el tallo presenta una corteza lisa e impermeable, característica de una planta acuática, y no permite una buena adherencia, por tanto, tiende a descascarse. Para solucionar este complejo, se lija la parte del tallo produciendo una superficie más rugosa y de este modo se produce una mayor adherencia y al ejercer fuerza como se observa en la Figura 36 los juncos tienden a romperse. El proceso es un poco tedioso si no se cuenta con experiencia.

Figura 36: Ensayo pegado en paralelo de totora

Elaborado por: El autor

5.4. Ensayo de probetas Yeso-Totora

El objetivo de este ensayo es determinar a través de la observación y manipulación (fuerza física) la adherencia del yeso con la totora, la manejabilidad que presenta cada una de las probetas y también el grosor, el peso en granel y el peso en granel-yeso determinado en gramos (g) de cada uno de ellos (ver Anexo C).

Figura 37: Ensayo probetas Yeso – Totora

Elaborado por: El autor

- **Desarrollo:**

Para este proceso se realiza el estudio de cuatro formulaciones, dos de Tipo 1 y dos de Tipo 2 de los cuales cada uno tendrá tres probetas con amarrado en bulto y tres probetas con pegado en paralelo, por tanto, se estudiarán 12 probetas. A través de la observación y manipulación se determinará su adherencia y manejabilidad.

Tabla 24: Pruebas en las probetas totora +yeso

Ficha de valores de los paneles totora – yeso

PROBETA TIPO 1 (T1)

Amarrado en bulto	Conformación yeso + totora + yeso	Grosor	Peso Panel (g)	Peso Totora (g)	Adheren. 1 2 3 4 5	Maneja. 1 2 3 4 5	Observaciones
P1		24 mm	1284.3	64.2		X	No presenta fisuras y se observa muy compacto
P2		25.5 mm	1547.3	63.9		X	No presenta fisuras, se observa muy compacto, pero presenta desprendimientos en las esquinas
P3		26.5 mm	1578.3	62.0		X	Presenta una pequeña fisura a un lateral, pero se observa muy compacto.
Pegado en paralelo	**Conformación yeso + totora + yeso**						
P1		23.5 mm	1531.1	74.2		X	Presenta dos grietas una en la esquina y otra en el centro.
P2		25.5 mm	1329.2	80.3		X	No presenta fisuras y se observa muy compacto
P3		24 mm	1442.7	87.2		X	Presenta una pequeña fisura a un lateral, pero se observa muy compacto.

PROBETA TIPO 2 (T2)

Amarrado en bulto	Conformación yeso + totora	Grosor	Peso Panel (g)	Peso Totora (g)	Adheren. 1 2 3 4 5	Maneja. 1 2 3 4 5	Observaciones Presentan todas las probetas un diseño estético atractivo
P1		20 mm	1068.4	63.1	X	X	Presenta dos fisuras que va de lado a lado partiendo el panel
P2		22 mm	995.5	64.1	X	X	Se observa fisuras por toda la cara del panel
P3		23 mm	1108.4	61.8	X	X	Se observa un bloque compacto y no presenta fisuras
Pegado en paralelo	**Conformación yeso + totora**						
P1		22 mm	1202.5	71.0	X	X	Se observa un bloque compacto y no presenta fisuras
P2		22.5 mm	1172.9	82.4	X	X	Se observa una brecha lateral que parte el panel
P3		23 mm	1012.6	84.2	X	X	Se observa un bloque compacto y una fisura lateral

Elaborado por: El autor

Se realiza una comparación del peso de las probetas yeso-totora con el peso de otros materiales usados para cielo falso, el cual se cortan con las mismas dimensiones de las probetas, para determinar su ligereza.

Estuco

Gypsum

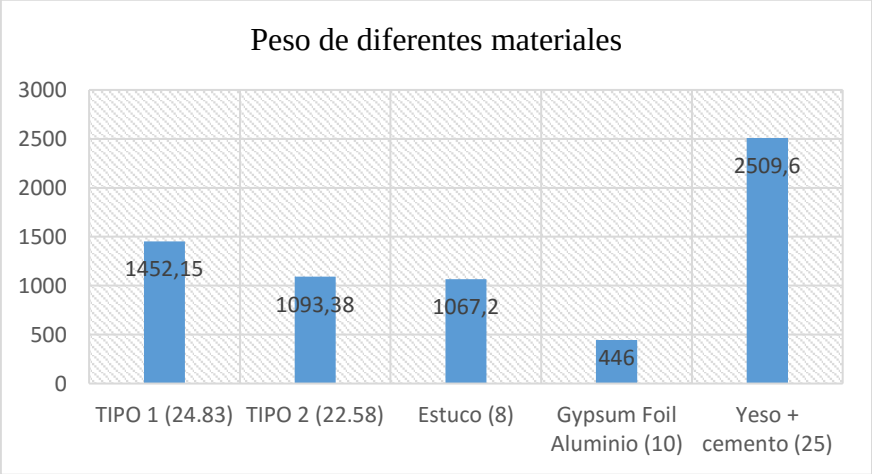
Yeso+cemento

Tabla 25: Comparación del peso en diferentes materiales

Paneles (290 x 300mm)	Grosor (mm) *Promedio*	Peso (g) *Promedio*
TIPO 1 Totora-yeso	24.83	1452.15
TIPO 2 Totora-yeso	22.5	1093.38
Paneles (290 x 300mm)	Grosor	Peso (g)
Estuco	8	1067.2
Gypsum Foil Aluminio	10	446
Yeso + cemento	25	2509.6

Elaborado por: El autor

Gráfica 2: Relación en peso de diferentes materiales



Elaboración: El autor

- **Adherencia del panel en granel de totora con el yeso**

Es muy importante determinar la adherencia del yeso en la totora, siendo unos de los materiales principales que compone el panel, por ello se procede a romper una de los paneles.

Figura 38: Rotura de un panel

Elaborado por: El autor

Se puede observar que el yeso se desprende de la totora como si fuera un cascaron sin dejar restos, más que solo migajas en las uniones de los juncos. Al topar la totora da la sensación de que posea una capa aceitosa, aunque no se conoce muy bien si es un aceite natural que procede de la misma o que su corteza lisa e impermeable produce la sensación.

Para que el panel sea eficiente es de importancia que el yeso tenga una buena adherencia a la totora y para ello se realizó la siguiente experimentación:

- Se propuso tres formulaciones con tres probetas de 40x50mm cada uno, el cual a los 5 días se procederá a romper con el esfuerzo físico a cada uno de ellos:

  - yeso + totora lijada (Y+L)
  - yeso + totora + acetato de polivinilo (Y+AP)
  - yeso + totora + malla de cabuya (Y+MC)

Figura 39: Adherencia del yeso a la totora

Y+L Y+AP Y+MC

Elaboración: El autor

Descripción de resultados:

- Luego de analizar los resultados se concluye que de todas las probetas la de Tipo 2 pegado en paralelo tiene el mejor comportamiento a la adherencia y manejabilidad, a la vez que presenta un menor peso y espesor, que le permite ser más ligera al panel.

- De los promedios en peso de los Tipos de panel y el peso de otros materiales, como se observa en la Tabla 32, se determina que los paneles Tipo 2 de 1093,38 gramos con el doble de grosor, tiene una similitud con el Estuco de 1067,2 gramos, cuestión que le da su importancia de ser un panel ligero. Si el gypsum tuviera el mismo grosor, tendría un peso similar.

- Se observa en el ensayo de adherencia en la Figura 39 que la formulación yeso + totora + malla de cabuya (Y+MC) tiene una mayor adherencia, ya que al intentar separarla presenta una gran resistencia física y en una de las probetas el yeso se fracturó, quedando restos de yeso en la malla de cabuya. También la formulación yeso + totora + capa de acetato de

polivinilo (Y+AP) presenta una gran resistencia a la separación, quedando restos de yeso en el panel.

5.5. Ensayo térmico de las probetas Yeso – Totora

Es el punto más importante de la investigación, el objetivo de este ensayo es determinar el coeficiente de conductividad térmica del panel, el cual se toma como referencia la normativa ASTM C1774 – 13, la normativa de construcción ecuatoriana NEC-11 y las ordenanzas del Miduvi, que establece el rango de cumplimiento (0,01 W/mK – 0.10 W/mK) de un material con característica térmicas.

Los datos obtenidos de este ensayo son el área, el espesor, el voltaje, la intensidad, la temperatura del aire interna y externa y la temperatura de la cara del panel interna y externa. Se realizan tres mediciones por cada 5 min de cada probeta como se observa en el Anexo E y se obtiene un promedio, el cual servirá para estimar los datos obtenidos.

- **Desarrollo:**

El panel se clasifica por el TIPO1 o TIPO2 y la forma de pegado (Pe) o amarrado (Am) de la totora. Se determina la temperatura en °C, la temperatura externa del panel (T1), la temperatura interna del panel (T2), la temperatura externa del aire (D1), la temperatura interna del aire (D2), también la intensidad y el voltaje que permitirá encontrar la cantidad de calor suministrada a la caja y el espesor del panel

Figura 40: Ensayo térmico

Elaborado por: El autor

Los datos obtenidos se ingresan en el software EES y se realiza el respectivo cálculo, el cual se obtendrá el coeficiente de conductividad térmica (Km) del panel. Por consiguiente, se realiza la tabla 26 donde se determina el promedio de los resultados obtenidos por cada panel (Anexo E), tomando 3 datos cada cinco minutos, al cabo de 10 min cuando la temperatura se estabiliza.

Tabla de valores térmicas por probeta de totora-yeso

Tabla 26: Valores y resultados termicos

Probeta	Tiempo Cada (5min)	Área Am (m)	Espesor Lm (m)	Volt. (V)	Inte. (A)	D1 (ºC)	D2 (ºC)	T1 (ºC)	T2 (ºC)	Coeficiente Térmica ʎ (W/mk) 0.01 - 0.1	Resistencia Térmica (W/m2k)
Probetas tipo 1 (T1)											
Amarrado en bulto (P1-Am)	Promedio	0.0729	0.024	62	0.28	91.1	27.5	66.73	29.4	0.0362	0.662
Amarrado en bulto (P2-Am)	Promedio	0.084	0.025	62	0.28	83.93	26.7	55.5	28.5	0.0599	0.417
Amarrado en bulto (P3-Am)	Promedio	0.0783	0.026	62	0.28	81.6	27.76	55.63	29.4	0.076	0.355
Promedio						85.54	27.32	59.28	29.1	0.0573	0.478
Pegado en paralelo (P1-Pe)	Promedio	0.081	0.023	62	0.28	88	26.4	59.33	29	0.0448	0.513
Pegado en paralelo (P2-Pe)	Promedio	0.084	0.025	62	0.28	95.8	28.16	72.23	32.13	0.0287	0.871
Pegado en paralelo (P3-Pe)	Promedio	0.081	0.024	62	0.28	87.5	27.23	69.3	28.23	0.0312	0.769

Promedio						90.43	27.26	66.95	29.78	0.0349	0.717
Probetas tipo 2 (T2)											
Amarrado en bulto (P1-Am)	Promedio	0.081	0.02	62	0.28	85.03	26.23	56.96	29.2	0.0461	0.433
Amarrado en bulto (P2- Am)	Promedio	0.087	0.022	62	0.28	84.23	25.73	58.33	27.4	0.0422	0.521
Amarrado en bulto (P3- Am)	Promedio	0.081	0.023	62	0.28	83.8	26.53	54.63	28.9	0.0600	0.383
Promedio						84.35	26.16	56.64	28.5	0.0494	0.4456
Pegado en paralelo (P1-Pe)	Promedio	0.0841	0.022	62	0.28	83.53	25.76	58.33	28.13	0.049	0.489
Pegado en paralelo (P2- Pe)	Promedio	0.084	0.022	62	0.28	86.63	26.6	64.86	29.56	0.0335	0.626
Pegado en paralelo (P3- Pe)	Promedio	0.081	0.023	62	0.28	86.36	25.53	55.73	28.13	0.05581	0.447
Promedio						85.50	25.96	59.64	28.60	0.0461	0.520
PROMEDIO GENERAL						86.45	26.67	60.62	28.99	0.0469	0.5405

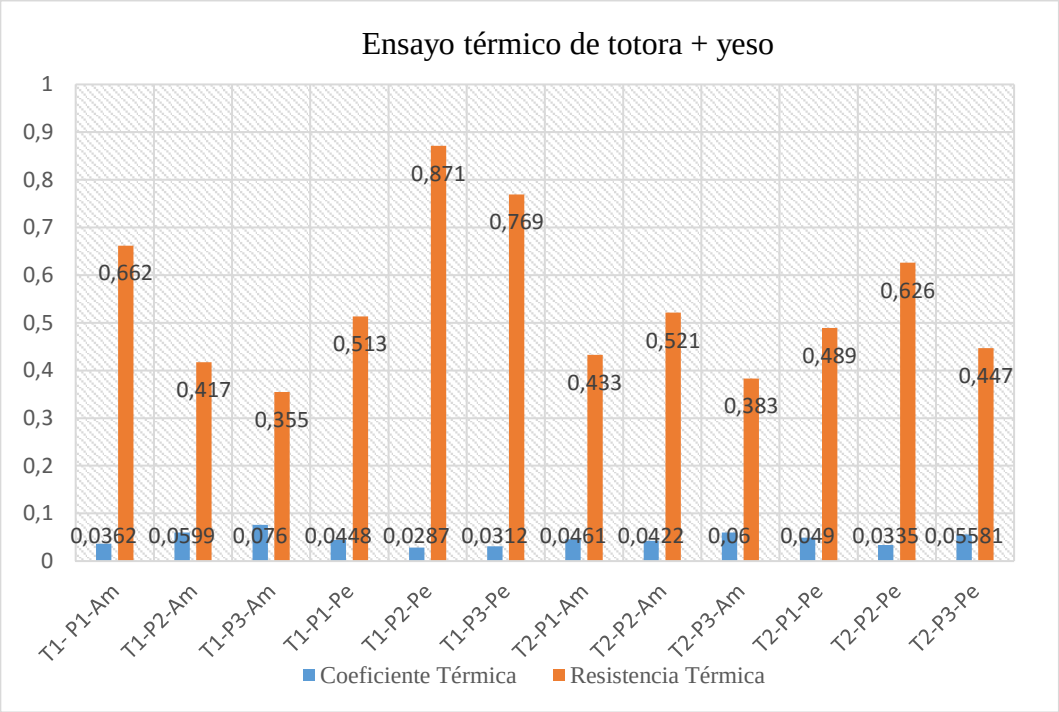
Tabla de valor térmicas probeta de matala-yeso

Matala											
Pegado en paralelo	Promedio	0.09	0.023	62	0.28	86.63	25.96	55.46	28.03	0.0564	0.407

Probeta	Tiempo Cada (5min)	Área Am (m)	Espesor Lm (m)	Volt. (V)	Inte. (A)	D1 (ºC)	D2 (ºC)	T1 (ºC)	T2 (ºC)	Coeficiente Térmica ʎ (W/mk) 0.01 - 0.1	Resistencia Térmica (W/m2k)
Tabla de valor térmicas de totora en granel											
Totora en granel											
	Promedio	0.09	0.010	62	0.28	93.76	31.73	68.86	33.2	0.0158	0.506
Tabla de valor térmicas de panel yeso + cemento											
Yeso + cemento											
	Promedio	0.087	0.024	62	0.28	93.6	45.3	62.76	47.2	0.097	0.247
Tabla de valor térmicas de gypsum vinil foil aluminio											
Gypsum vinil foil aluminio											
	Promedio	0.087	0.01	62	0.28	92.2	55.23	68.2	57.8	0.105	0.095
Tabla de valor térmica de estuco											
Estuco											
	Promedio	0.087	0.008	62	0.28	91.06	51.96	61.7	53.46	0.12	0.0833

Elaborado por: El autor

Gráfica 3: Resistencia térmica Yeso-Totora



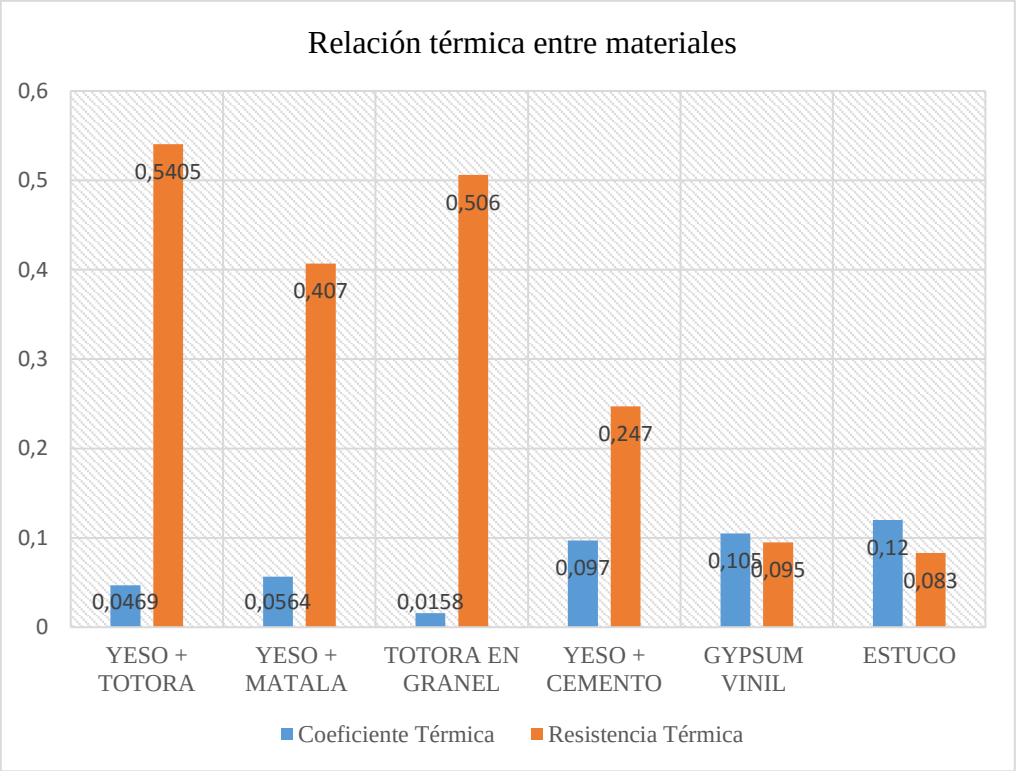
Elaboración: El autor

- **Descripción de Resultados:**

Luego de analizar los resultados obtenidos de la resistencia térmica de todos los paneles de yeso + totora se concluye que los paneles cumplen con el parámetro normativo establecido por las normativas ASTM C1774-13, la normativa ecuatoriana de construcción NEC-11 y las ordenanzas del Miduvi, categorizándolo como un material constructivo con buenas cualidades térmicas.

Durante todo el proceso se observa que los paneles con mejores resultados son el T1-P1-Pe, T1-P2-Pe y T1-P3-Pe, que tienen el menor coeficiente térmico con un promedio de 0,0349 W/mK, aunque también se destaca el coeficiente térmico de un panel T2-P3-Pe.

Gráfica 4: Resistencia térmica Yeso-Totora



Elaboración: El autor

- **Descripción de Resultados:**

Se realizó una comparación de resistencia y coeficiente térmico de los materiales utilizados para cielo falso en la ciudad de Catamayo, de la que se determina que la totora en granel y el panel yeso + totora tienen los mejores resultados respecto a los demás materiales con un 0,0158 W/mK y 0,0469 W/mK. Se tiene en cuenta que la resistencia térmica es proporcional al espesor del panel, por ello la totora en granel al tener el mejor coeficiente térmico posee una menor resistencia que el panel yeso + totora.

5.6. Ensayo de resistencia a la flexión

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la flexión según el espesor de los paneles, para ello se ensayarán dos probetas de Tipo 1, dos probetas de Tipo 2 y dos probetas de Tipo 2 con malla de cabuya. Para el ensayo se toma como referencia la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2. Of2000. Los datos obtenidos de este ensayo son el peso, el espesor y la resistencia a la flexión en Newton de cada probeta.

- **Desarrollo:**

Se determina el peso en gramos con una balanza digital con precisión 0.0001g y el espesor que se obtiene al medir con un calibrador el ancho en cuatro puntos el cual se promedia.

Se coloca cada probeta sobre la máquina de compresión ZHIMADZU 2000X con dos puntos de apoyo y otro punto en el centro que ejercerá una fuera de 250 N/min progresivamente hasta que la probeta presentante fisuras.

Figura 41: Ensayo resistencia a la flexión

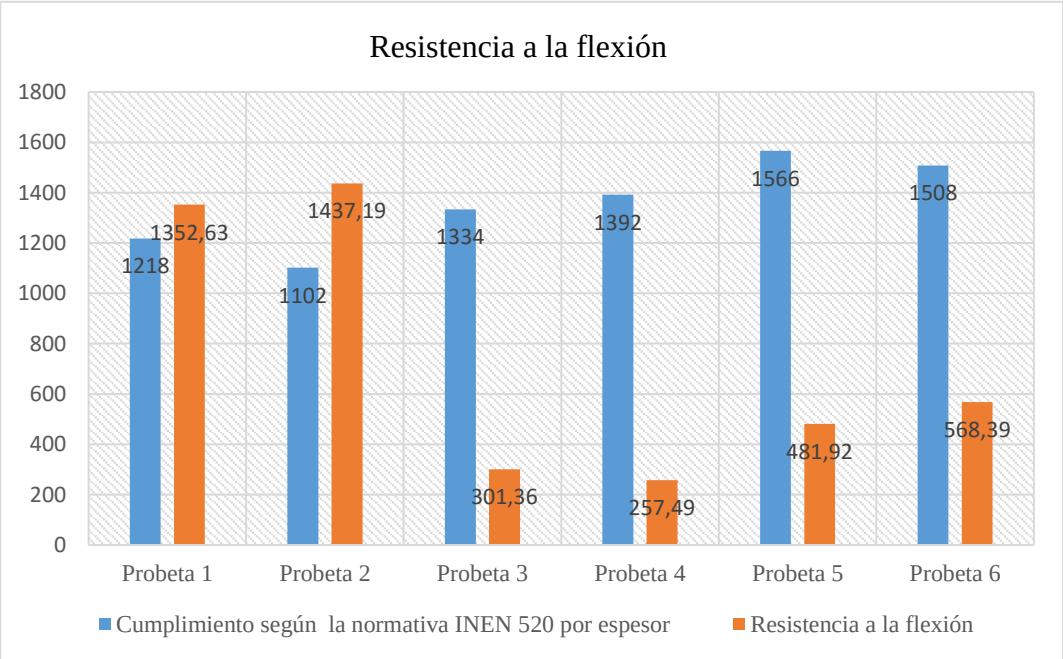
Elaborado por: El autor

Tabla 27: Resultados de los ensayos a flexión

Ensayos a la flexión				
Formulación	Peso (g)	Espesor (mm)	Cumplimiento según la normativa INEN 520 por espesor	Resistencia a la flexión (N)
Yeso + Totora + cabuya				
Probeta 1	1832	21	1218	1352.63
Probeta 2	1969	19	1102	1437.19
Promedio				1394.91
Yeso + Totora				
Probeta 3	2356	23	1334	301.36
Probeta 4	2432	24	1392	257.49
Promedio				279.425
Yeso + totora + Yeso				
Probeta 5	2513	27	1566	481.92
Probeta 6	2476	26	1508	568.39
Promedio				525.155

Elaborado por: El autor

Gráfica 5: Resistencia a la Flexión



Elaboración: El autor

Figura 42: Diferencia entre un panel con cabuya y un panel sin cabuya

Sin cabuya

Con cabuya

Elaboración: El autor

- **Descripción de Resultados:**

Luego de analizar los resultados obtenidos del ensayo a la flexión de los paneles se concluye que cuatro de las seis probetas no cumplen con la normativa INEN 520 y la normativa chilena NCh146/2, esto se debe a que el yeso no se adhiere bien a la totora y por ende el esfuerzo actúa solo sobre la estructura de yeso, lo cual provoca su rápido fisuramiento. En cambio, la probeta 1 y la probeta 2 tienen una alta resistencia a la flexión, ya que al usar una malla de cabuya permite que el yeso se adhiera a la totora, formando así una sola estructura como se observa en la Figura 42.

5.7. Ensayo de resistencia al impacto

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia al impacto de los paneles con los mejores resultados térmicos y el mejor resultado a la flexión, el cual se tomará como referencia la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2. Of2000. Los datos obtenidos del ensayo son el peso, el espesor y el diámetro de la huella producida por el impacto de una bola normalizada.

- **Desarrollo:**

El ensayo se realiza a las mimas probetas con los mejores resultados térmicos siendo T1-P2-Pe, T1-P3-Pe y T2-P3-Pe y a la probeta con los mejores resultados a la resistencia a la flexión

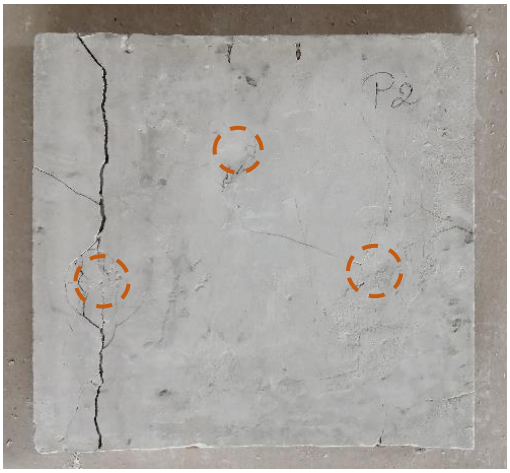
Se sitúa la bola normalizada sobre la probeta a una altura de 500mm y se la deja caer con la fuerza de la gravedad sobre tres puntos diferentes de la probeta y se mide el diámetro de la huella producidas por el impacto. Pasa la prueba si el diámetro de la huella sea igual o inferior a 20mm según la normativa INEN 520.

Figura 43: Ensayo de la resistencia al impacto

Elaborado por: El autor

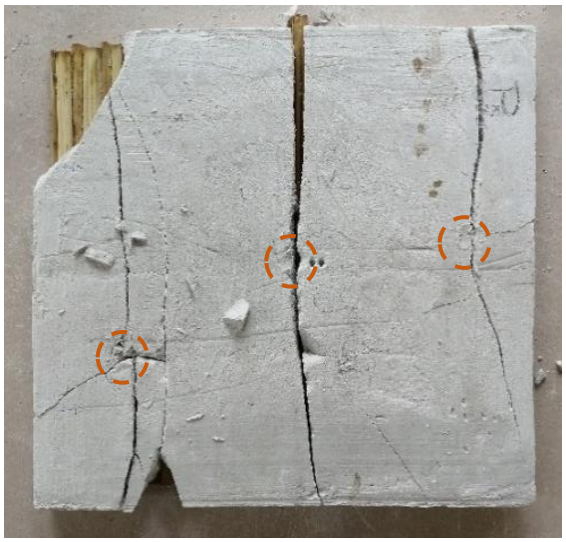
Tabla 28: Ensayo de resistencia al impacto

Probeta 1 *T1-P2-Pe*	Peso (g)	Espesor (mm)	Diámetro del impacto (mm)	Observaciones
Lanzamiento 1	1547.3	25	27	Al primer impacto la probeta presento pequeñas fisuras y en el tercer impacto se partió
Lanzamiento 2			24	
Lanzamiento 3			28	
Promedio			26.33	



Probeta 2 *T1-P3-Pe*				
Lanzamiento 1	1329.2	24	25	En los tres impactos realizados, se observa al alrededor de cada huella pequeñas fisuras
Lanzamiento 2			21	
Lanzamiento 3			26	
Promedio			24	

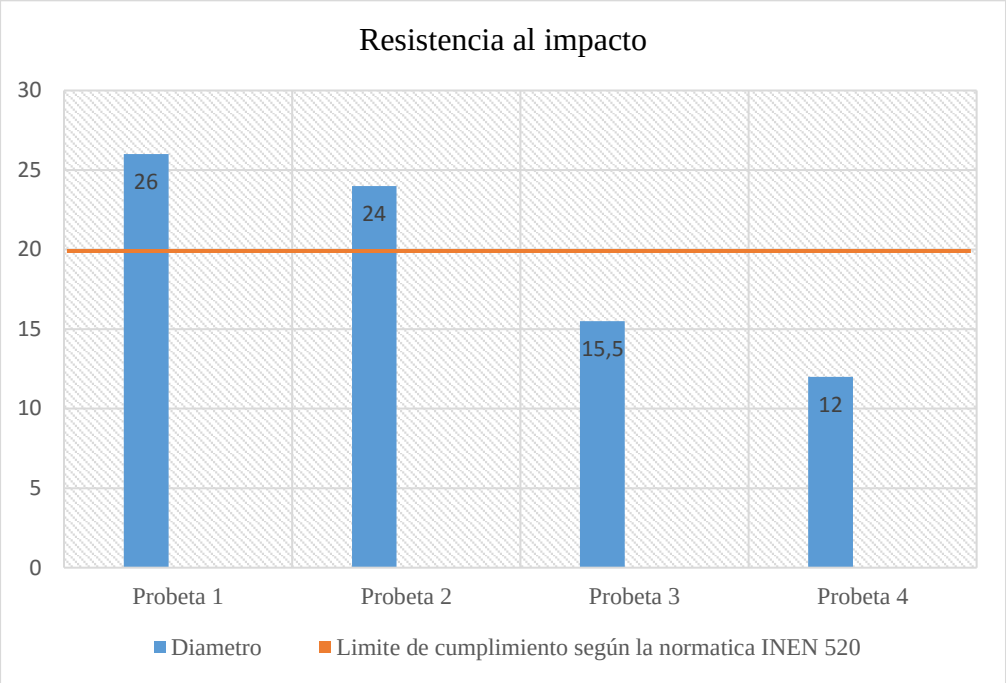
Probeta 3 *T2-P3-Pe*				
Lanzamiento 1	1172.9	21	14	En los tres impactos se rompe al panel y se direcciona la rotura de acuerdo a la unión de los juncos de totora
Lanzamiento 2			15	
Lanzamiento 3			18	
Promedio			15.66	



Probeta 4				
Lanzamiento 1	1832	21	12	No presentan ni fisuran, ni roturas. El panel se caracteriza por tener una maya de cabuya
Lanzamiento 2			13	
Lanzamiento 3			11	
Promedio			12	

Elaborado por: El autor

Gráfica 6: Ensayo de la resistencia al impacto



Elaboración: El autor

- **Descripción de resultados:**

Luego de analizar los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión de los paneles se concluye que dos de las cuatro probetas no cumplen con la normativa INEN 520, las mismas que también presentan fisuras alrededor de la huella producidas por el impacto. La probeta 3 cumple con la normativa, pero en los tres impactos presenta grandes grietas, lo cual no cumple con el ensayo. En el caso de la probeta 4 cumple con el ensayo y no presenta ningún tipo de grietas.

5.8. Ensayo de resistencia a las llamas directas.

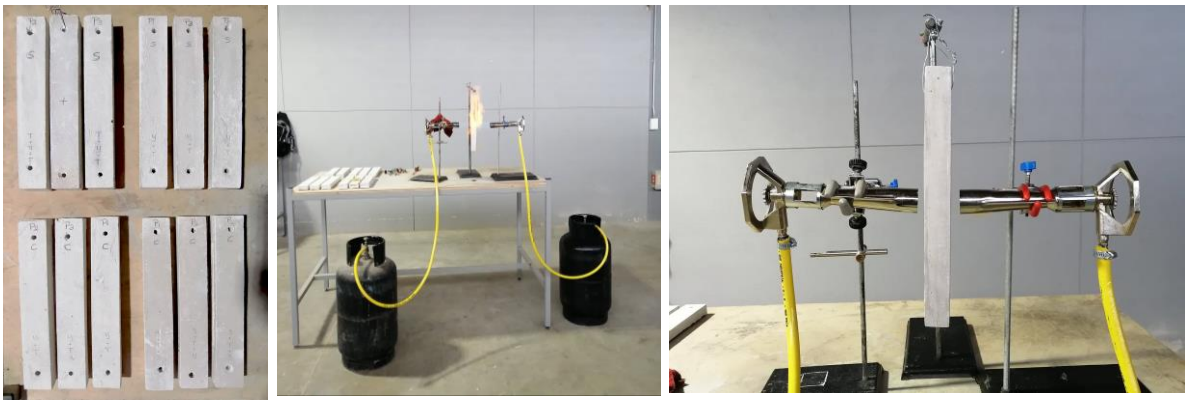
El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a las llamas directas de tres probetas de cada formulación Tipo 1 y Tipo 2, también se realizan tres probetas con la totora tratada químicamente de cada Tipo para su mayor resistencia, en total son 12 probetas de ensayo. Para los ensayos se tomará como referencia la normativa ecuatoriana NTE INEN-EN 520 y la normativa chilena NCh 146/2. Of2000. Los datos obtenidos del ensayo son el espesor y el tiempo máximo en minutos de la resistencia a la llama directa de cada probeta hasta que se separe, se fraccione o colapse.

- **Desarrollo:**

El ensayo se realiza con probetas de 300 x 50 mm, que se sitúan en el centro de dos mecheros Meker homologado CE 370, apuntando la flama al centro de la probeta.

Se toma el tiempo, en cuanto la flama entra en contacto con la cara de la probeta y se observa el comportamiento de la probeta en cada ensayo. Es de importancia que las tres probetas superen el límite de tiempo establecido por la normativa INEN 520, siendo de 15 minutos.

Figura 44: Ensayo de resistencia a las llamas directas

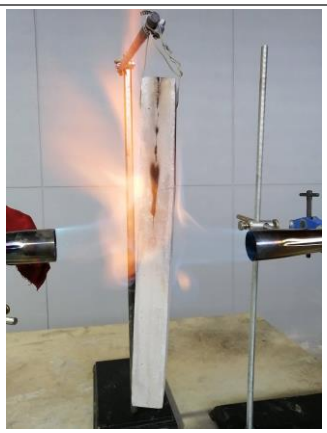


Elaborado por: El autor

Tabla 29: Observaciones de los ensayos a la resistencia de llamas directas

PROBETAS TIPO 1

5min


10min

15min

16min

Todas las probetas del TIPO1, inclusive las de tratamiento químico en el proceso de ensayo se observa que al cabo de 5 minutos presentar una mancha negra en la parte central de forma vertical justo donde se encuentra la totora, indicando que se está quemando y seguidamente en la misma dirección se empieza a fisurar. De 8 a 10 minutos se empieza a observar grandes fisuras horizontales en diferentes alturas, producido por la combustión interna de la totora. Este proceso provoca el abombamiento y rotura de la probeta, por tanto, se produce una explosión interna que provoca el desprendimiento de la probeta.

PROBETAS TIPO 2 – sin tratamiento

5 min

10min

20min

20min

PROBETAS TIPO 2 – con tratamiento

5 min

10min

20min

20min

En la probeta de TIPO2, se observa que los juncos se queman rápidamente y las llamas influyen directamente sobre el yeso. Lo interesante de estos ensayos es que las probetas a los 10 minutos no presentan ningún tipo de fisuras, solo empieza a coger un color gris tornándose a oscuro. Todas las probetas de este tipo se les tomo un tiempo máximo de 20minutos, superando la normativa establecida, ya que no presentan signos de rotura. Se observa unas leves fisuras, pero al manipularlo se fractura ya que el fuego disminuye la resistencia del yeso. Respecto a los paneles con tratamiento, la totora conserva casi en su totalidad su forma y empieza su ignición a los 30 a 35 segundos, mientras que el de sin tratamiento su ignición empieza a los 5 a 10 segundos y se deforma a partir de los 5min.

Elaborado por: El autor

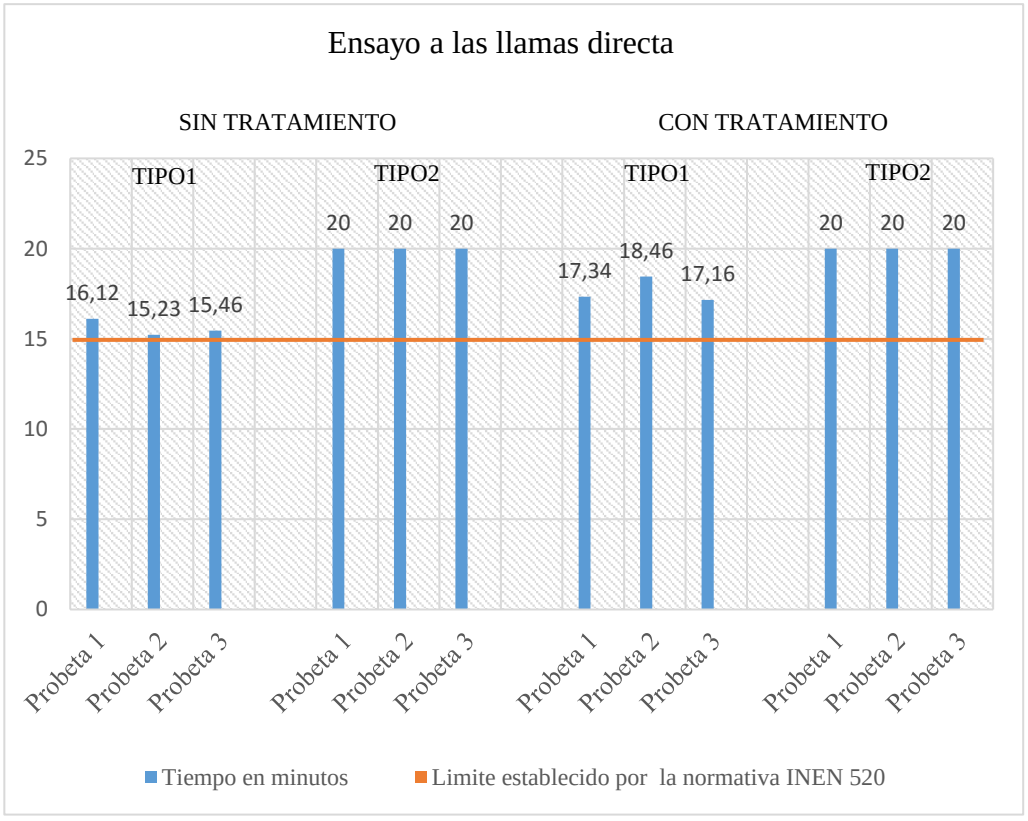
Tabla 30: Ensayo de resistencia a las llamas directas

	Espesor (mm)	Tiempo (min.)
Formulación 1 – TIPO1- sin tratamiento		
Probeta 1	26	16min 12seg
Probeta 2	25	15min 23seg
Probeta 3	26	15min 46seg
Formulación 2 – TIPO1- con tratamiento		
Probeta 1	25	17min 34seg

Probeta 2	25	18min 46seg
Probeta 3	25	17min 16seg
Formulación 3 – TIPO2 - sin tratamiento		
Probeta 1	24	Mayor a 20min
Probeta 2	25	Mayor a 20min
Probeta 3	25	Mayor a 20min
Formulación 4 – TIPO2- con tratamiento		
Probeta 1	25	Mayor a 20min
Probeta 2	25	Mayor a 20min
Probeta 3	24	Mayor a 20min

Elaborado por: El autor

Gráfica 7: Ensayo de resistencia a las llamas directas



Elaboración: El autor

Para el costo de la fabricación del panel, se tomó en cuenta el costo de la obtención de los materiales para el proceso de fabricación y el área en metros cuadrados que cubre cada material. Para la mano de obra se tomó en cuenta el costo que establece la Contraloría General del Estado por hora para un albañil.

5.9. Análisis de costos e impacto ambiental respecto a otros materiales aislantes térmicos.

- **Costo**

Para el análisis de costo se realizó una consulta del costo de los materiales por metro cuadrado en las distribuidoras de materiales de construcción, en tiendas de distribución de gypsum y en el CYPE Ingenieros que es un software de consulta de precios de materiales para arquitectura, ingeniería y construcción del Ecuador.

Tabla 31: Análisis de costo

Materiales	Área (m2)	Precio ($)	Aislamiento e= 3cm	Área (m2)	Precio	Precio total ($)
Gypsum (yeso - cartón)	1	4.3	Lana de vidrio	1	2.35	6.65
			Lana de roca	1	5.87	10.17
			Poliestireno expandido	1	2.66	6.96
			Poliestireno extruido	1	6.55	10.85
			Espuma de poliuretano	1	3.09	7.39
Estuco	1	3.06	Lana de vidrio	1	2.35	5.41
			Lana de roca	1	5.87	8.93
			Poliestireno expandido	1	2.66	5.72
			Poliestireno extruido	1	6.55	9.61
			Espuma de poliuretano	1	3.09	6.15

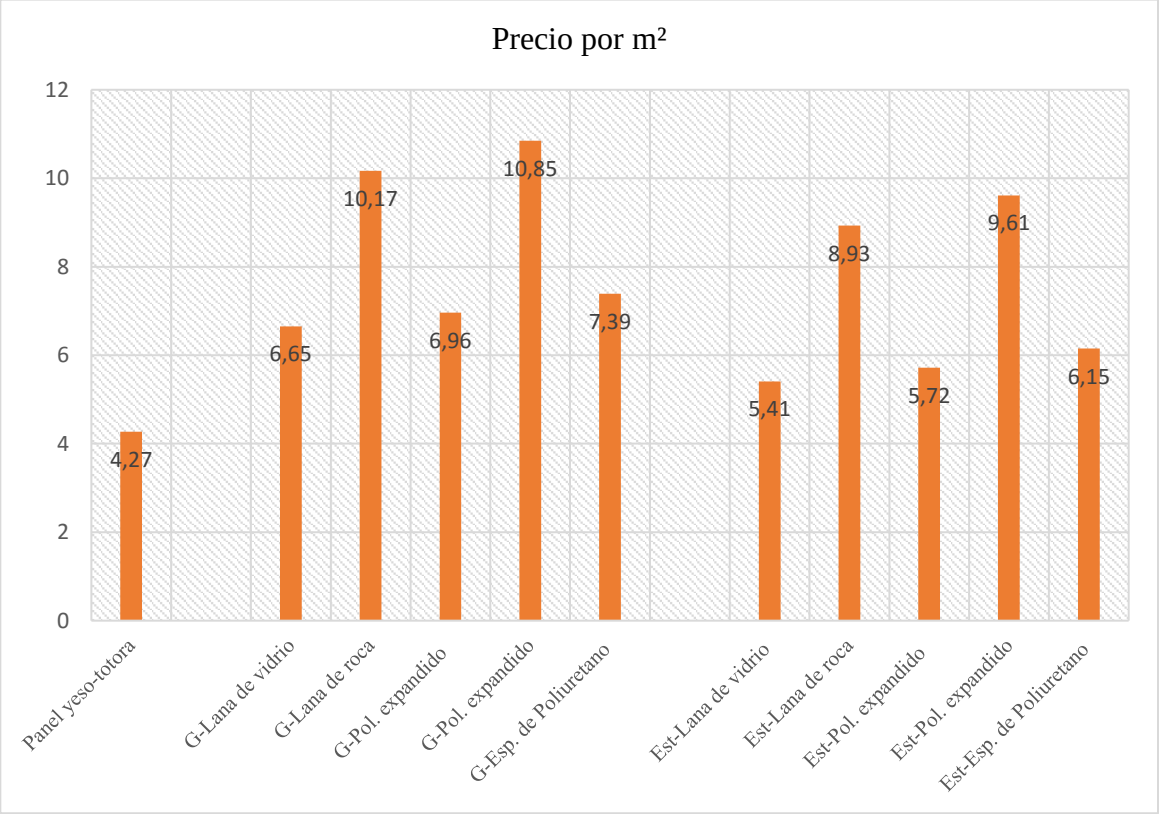
Elaborado por: El autor

Para el costo de la fabricación del panel se tomó en cuenta el costo de la obtención de los materiales para el proceso de fabricación y el área en metros cuadrados que cubre cada material. Para la mano de obra se tomó en cuenta el costo que establece la Contraloría General del Estado por hora para un albañil.

Materiales	Cantidad	Precio ($)	Área cubre (m²)	Área (m²)	Precio ($)
Totora	600 juncos	10	12	1	0.833
Acetato de polivinilo	6galones	7.1	45	1	0.15
Yeso peruano	50 kg	7.7	4	1	1.925
Cemento portland	50 kg	7.1	15	1	0.47
Cabuya	Un monto	0.5	3	1	0.166
Mano de obra para el panel en granel de totora	10 min	3.62 la hora			0.603
Mano de obra para el panel yeso-totora	2 min	3.62 la hora			0.12
PRECIO TOTAL					4.27

Elaboración: El autor

Gráfica 8: Análisis de costo



Elaboración: El autor

- **Impacto Ambiental emisión de CO2**

Se determina el impacto ambiental de los materiales por la cantidad de emisión en Kilogramos de CO_2 por 1 kilogramos de producción de cada material. Para determinar este proceso se tomó los valores del estudio "Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción" de Guerrero, A. F., Marrero, M., & Martín, J. M.

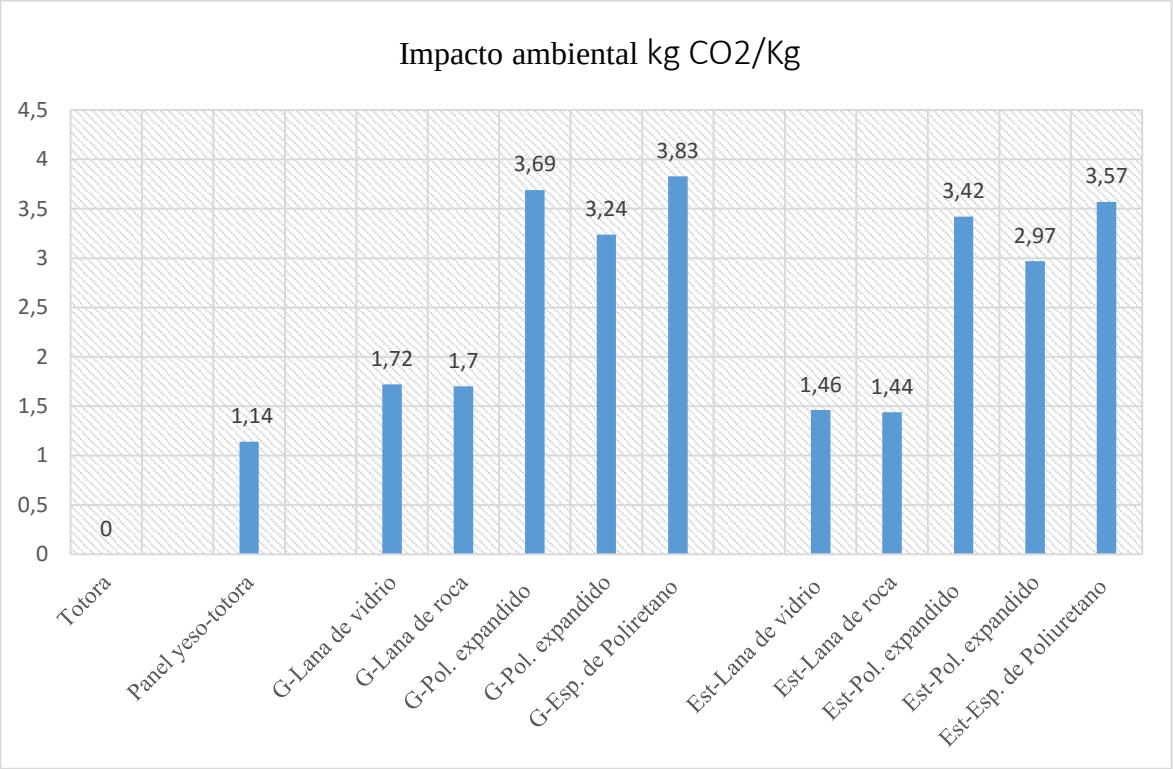
Tabla 32: Análisis de emisión de CO2

Material	Imp. ambien. kg co_2/kg	Materiales aislantes	Imp. ambien. kg co_2/kg	Total kg co_2/kg
Gypsum (yeso -cartón)	0,335	Lana de vidrio	1,387	1.72
		Lana de roca	1,368	1.70
		Poliestireno expandido	3,355	3.69
		Poliestireno extruido	2,901	3.24
		Espuma de poliuretano	3,498	3.83
Estuco	0.069	Lana de vidrio	1,387	1.46
		Lana de roca	1,368	1.44
		Poliestireno expandido	3,355	3.42
		Poliestireno extruido	2,901	2.97
		Espuma de poliuretano	3,498	3.57

Material panel de yeso-totora	Impacto ambiental kg co_2/kg
Totora	0
Acetato de polivinilo	0,382
Yeso peruano	0,002
Cemento portland	0,758
Cabuya	0
Total	1,142

Elaborado por: El autor

Gráfica 9: Análisis de emisión de CO2



Elaboración: El autor

5.10. Crecimiento de la totora en la ciudad de Catamayo

La totora es un junco que se caracteriza por ser una planta acuática y que se adapta a diferentes ambientes. Actualmente se conoce que la totora crece en lagos, donde las temperaturas son bajas, como es el caso de los sembríos de totora en la laguna de San Pablo, provincia de Imbabura, con temperaturas de 14 ºC.

Para determinar la eficiencia del junco de totora, se considera importante si el junco puede nacer y desarrollarse en climas cálidos, como es el caso de la ciudad de Catamayo, donde la temperatura promedio es de 23 ºC alcanzando temperaturas altas de 35,1 ºC. Para ello, se hizo el seguimiento a dos rizomas que se plantaron, traídos de la laguna de San Pablo.

Tabla 33: Crecimiento de la totora en Catamayo

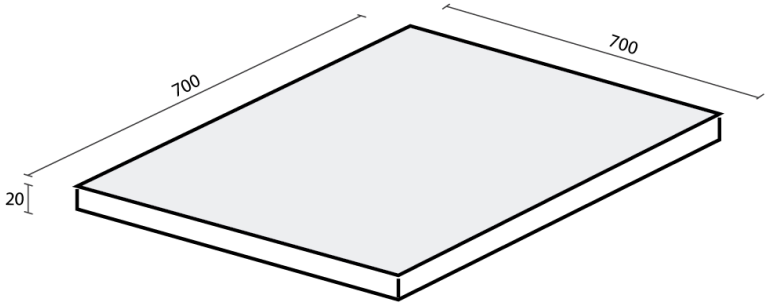
Tiempo: 2 meses		
Rizoma 1	Rizoma 2	Observaciones
		La totora se adaptó y brotaron entre tres a cinco juncos por cada rizoma, con una altura máxima de 1.4 metros. Los juncos cortados de los rizomas se secan y nacen nuevos juncos
Tiempo: 3 meses		
Rizoma 1	Rizoma 2	Observaciones
		Nacieron alrededor de cinco juncos más, siendo entre 10 a 12 juncos por cada rizoma, con una altura máxima de 1.9 metros. Se observa que los juncos empiezan a ensancharse, siendo el mayor de 11cm.
Tiempo: 4 meses		
Rizoma 1	Rizoma 2	Observaciones
		Nacieron alrededor de cinco juncos más, siendo entre 15 a 17 juncos por cada rizoma, con una altura máxima de 2.1 metros. Se observa que el crecimiento de los juncos es menor, y su ensanche ha aumentado a 18 cm de diámetro.

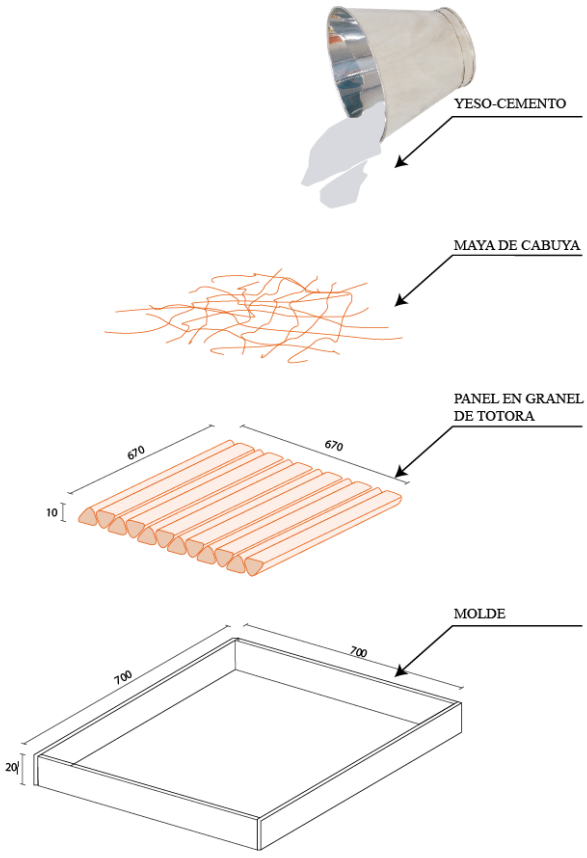
Elaborado por: El autor

5.11. Diseño del panel de yeso-totora

Con el análisis de los resultados, se determina el adecuado diseño del panel de yeso-totora para ser usado como cielo falso, para el cual se establece los siguientes parámetros:

- Las medidas del panel serán las mismas que el estuco, por lo que la experimentación es de carácter artesanal, por tanto, se establecerá las dimensiones de 700 x 700mm.
- Se determina un espesor de 20mm, ya que su diseño será de TIPO2 (yeso-totora), por su alta resistencia a las llamas directas, porque disminuye la cantidad de yeso-cemento y aumentado su ligereza.





Elaboración: El autor

- Los paneles de totora tendrán una dimensión de 670x670mm lijadas y pegadas en paralelo con acetato de polivinilo, a la misma se le añade una maya de cabuya y una capa de yeso-cemento siendo la dosificación 1-3-5.

La maya de cabuya permitirá una mayor adherencia entre el panel en granel de totora y el yeso.

Se deja secar el panel bajo sol a temperatura ambiente entre 5 20.a 6 días

- **Procedimiento del diseño del panel de totora**

1 Se lija la totora

2 Se pega con acetato de polivinilo

4 Se genera un panel de totora de 670x670mm

5 Se pega la maya de cabuya

6 Se coloca la mezcla yeso-cemento sobre un molde de vidrio y laterales de aluminio

7 Se coloca el panel de totora por el lado donde se encuentra la cabuya sobre el yeso

8 Se golpea levemente para que se adhiera con el yeso y se deja secar de 5 a 10 min para desmoldar

9

CAPITULO 6

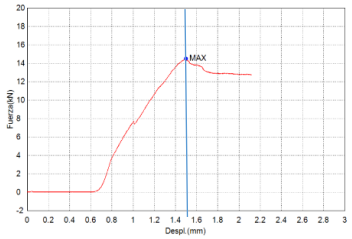
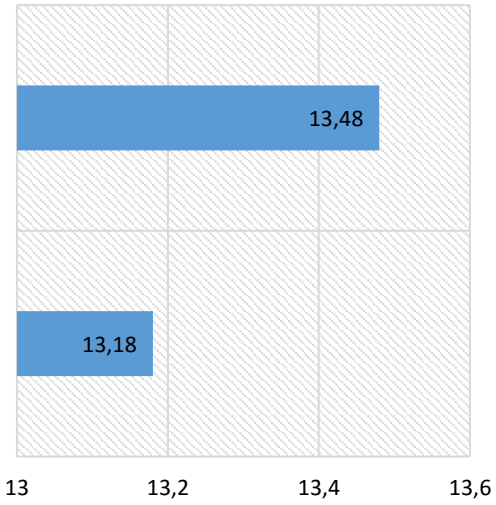
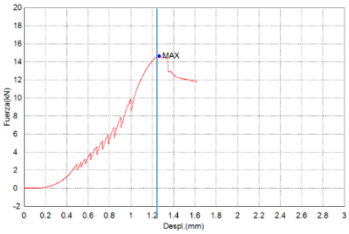
6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. Análisis de los resultados

El análisis se realizará respecto al cumplimiento normativo tanto nacional como internacional (ver Capítulo 2 numeral 2.4) de los ensayos mecánicos y térmicos establecidos para el diseño del panel de yeso-totora, con el objetivo de comprobar la hipótesis y resolver la problemática planteada. Finalmente, se optó por utilizar la dosificación de yeso-cemento, la totora pegado en paralelo, la malla de cabuya y la forma Tipo 2, ya que fueron las probetas que mejores resultados obtuvieron. A continuación, se presenta el análisis de la fase experimental que se obtuvo en los ensayos realizados.

6.2. Análisis de los resultados de la dosificación del yeso

Tabla 34: Análisis de los resultados de la dosificación de yeso

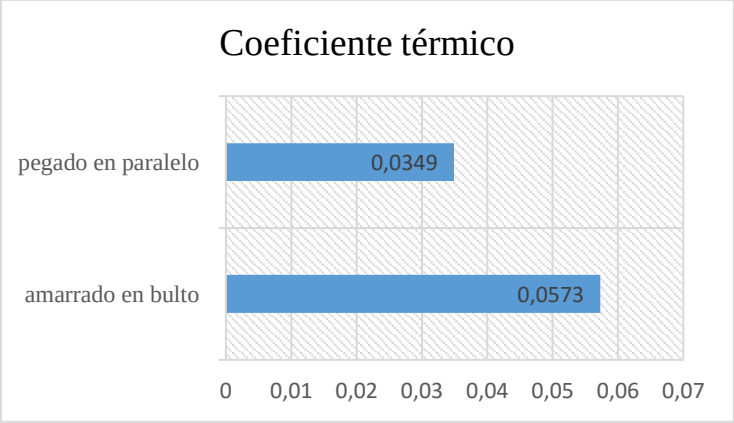
	Elasticidad	Resistencia kN
Yeso-Cemento		
Yeso		

Elaborado por: El autor

La dosificación (1-3-5) de yeso-cemento obtuvo los mejores resultados respecto al ensayo de rotura como se puede observar en la comparación con la dosificación de solo yeso de la tabla 41. Su buena resistencia se debe porque las propiedades del cemento mejoran las propiedades del yeso en dos aspectos: resistencia y elasticidad en un 4%, por lo contrario, en el peso tiende a aumentar en un 0.047g/cm3. Dicho esto, por los dos aspectos como la resistencia y la elasticidad es seleccionado para la fabricación del panel de yeso-totora.

6.3. Análisis de los resultados de las probetas de yeso-totora

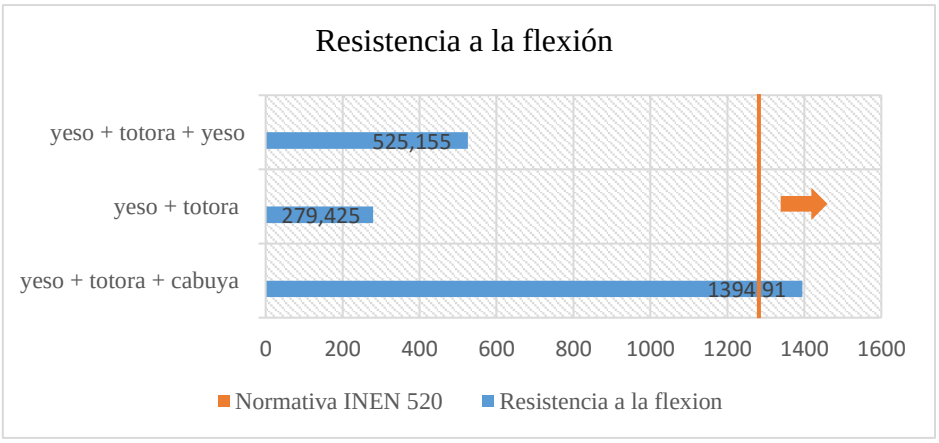
Gráfica 10: Análisis del coeficiente térmico

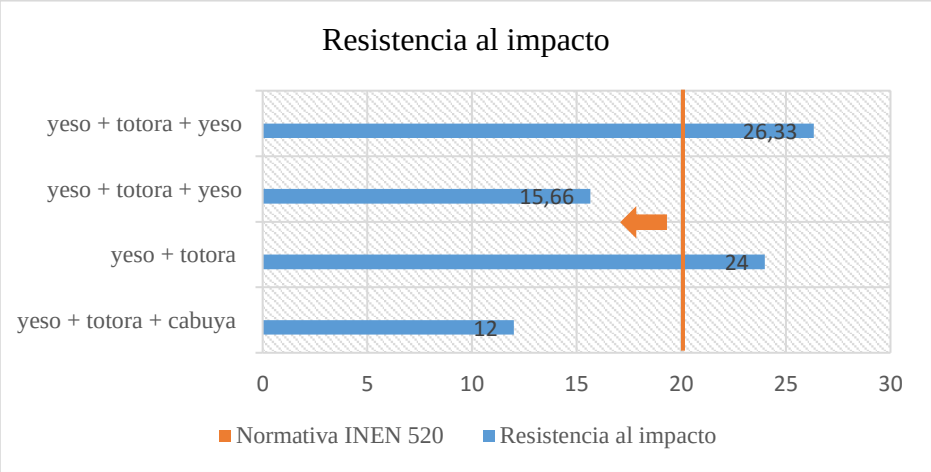


Las probetas de totora pegado en paralelo con acetato de polivinilo y la totora lijada superficialmente es la mejor alternativa a utilizar para la realización del panel, ya que los juncos presentan una mayor adherencia y se encuentran más unidas entre ellas a diferencia del panel amarrado en bulto como se puede observar en la figura 39. Las separaciones de los juncos tienden a formar puentes térmicos, es decir, afectan a su coeficiente térmico suceso que se refleja en la gráfica 10, aunque en menor medida.

6.4. Análisis de los resultados de la resistencia a la flexión y al impacto

Gráfica 11: Análisis de resistencia a la flexión e impacto





La utilización de una malla de cabuya para la adherencia del yeso con la totora se determina como la mejor alternativa, ya que presenta una mayor resistencia a la separación y el yeso tiende a fragmentarse como se puede observar en la Figuras 39 y 42. De la misma manera, las probetas con malla de cabuya son las únicas que cumplen con los ensayos de flexión y de resistencia al impacto establecidos por la normativa INEN 520, como se observa en los Gráficos 5, 6 y 11, se debe a que la cabuya ayuda a que el yeso tenga una buena adherencia con la totora, de forma que cuando actúan algunas fuerzas (flexión o impacto) el panel se comporta como un solo cuerpo, es decir, las fuerzas afectan también a la estructura de la totora aumentando su resistencia tanto al impacto como a la flexión.

6.5. Análisis de los resultados a la resistencia de las llamas directas

Figura 45: Análisis de resistencia a las llamas

TIPO 1 TIPO 2

15 min 20 min

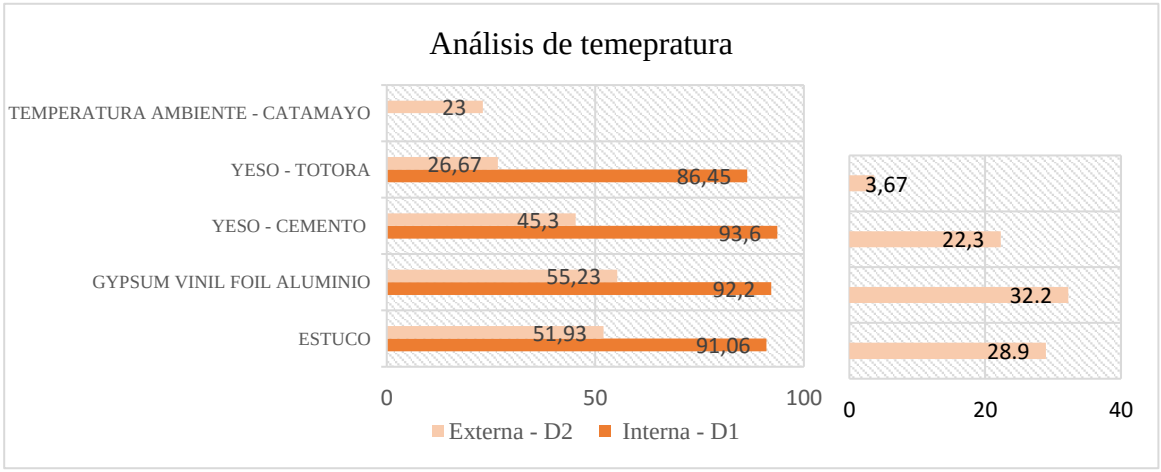
En las pruebas de resistencia a las llamas directas todas cumplen con el tiempo de 15 min establecido bajo la normativa INEN 520, pero el diseño de un panel de TIPO 2 (yeso-totora) se determina como la mejor alternativa, ya que la combustión de la totora no afecta a la estructura del yeso, como sucede en el caso de las probetas de TIPO 1 (yeso-totora-yeso) que se puede observar en la Figura 45. Se tiene en cuenta que ninguna de las probetas de Tipo 2 llega a romperse.

6.6. Análisis térmico de las probetas yeso-totora

Todas las probetas cumplen con el coeficiente de 0,01 a 0,1 W/mK establecido bajo la normativa ASTM C1774-13, la normativa ecuatoriana de construcción NEC-11 y las ordenanzas del Miduvi, categorizándolo como un material constructivo con buenas cualidades térmicas

- **Análisis de la temperatura del aire interna y externa D1-D2**

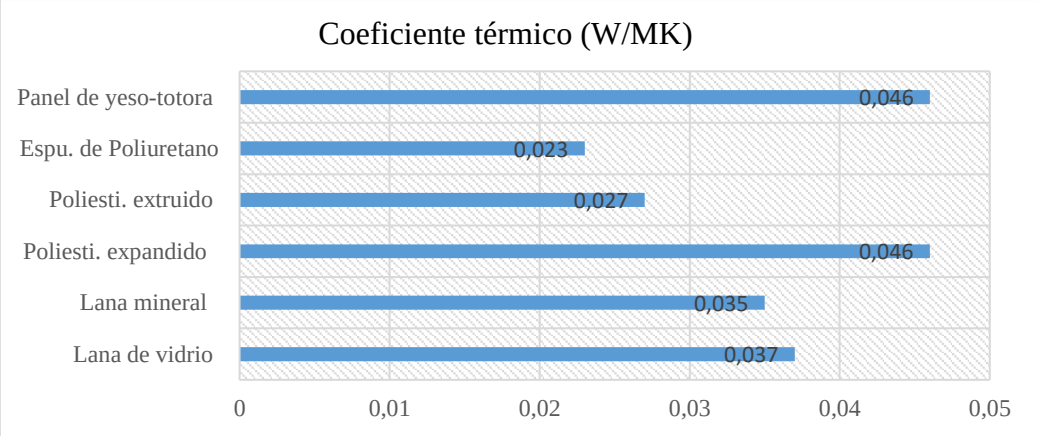
Gráfica 12: Análisis de temperatura



En los ensayos térmicos realizados por el calorímetro se calcula la temperatura del aire interno y externo para encontrar el coeficiente térmico de cada material. Se puede observar en el Grafica 12 la diferencia de temperatura que existe entre el interior y exterior de la caja térmica en cada ensayo, por tanto, se determina que en el ensayo de yeso-totora existe una diferencia de temperatura de 59,78 °C mayor que los demás materiales, al igual que tienen una subida de 3,27 °C de la temperatura ambiente, mientras los demás materiales superan los 20 °C, por tanto, se determina que los paneles de yeso-totora permiten una baja transmitancia de calor.

- **Coeficiente térmico de materiales como aislante térmico**

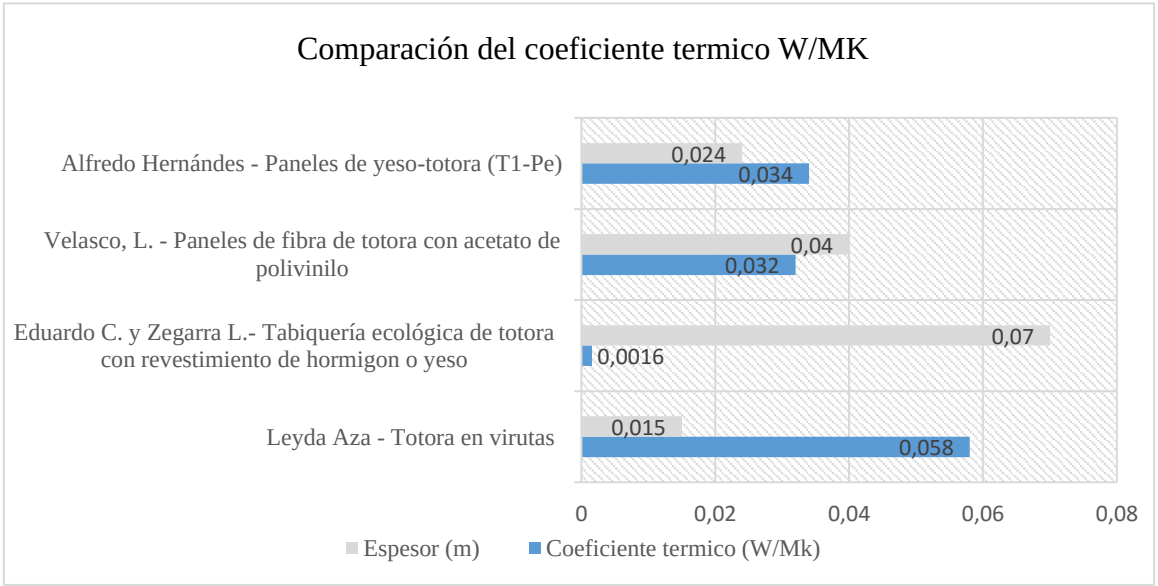
Gráfica 13: Análisis del coeficiente térmico de los materiales



El coeficiente térmico del panel de yeso-totora se encuentra entre los materiales considerados aislantes térmicos por el Catalogo de Elementos Constructivos del CTE – 2010, por tanto, se puede considerar al panel como un material de aislamiento térmico constructivo. Pero también, se observa que su coeficiente térmico es mayor a la mayoría de los materiales.

- **Comparación del coeficiente térmico con otros autores**

Gráfica 14: Análisis del coeficiente térmico con otros autores

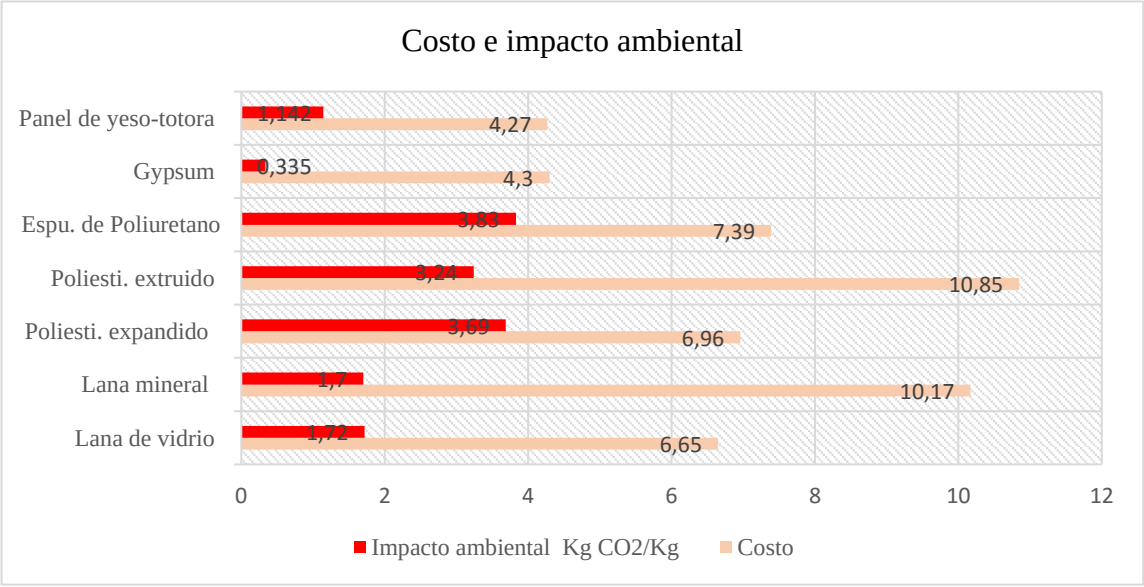


En el estudio del arte se determinaron algunos autores que estudian la totora en sus diferentes formas, ya sea en fibra, virutas o juncos con revestimiento, para determinar su coeficiente térmico.

Con respecto al análisis de los resultados de los diferentes autores se observa que cuanto mayor es el espesor del panel de totora menor es el coeficiente térmico, también se puede observar que el panel yeso-totora Tipo 1 pegado en paralelo tiene casi el mismo coeficiente térmico de los paneles de fibra con la mitad de espesor, lo que le da la importancia de ser un panel con mayor ligereza y buen coeficiente térmico, punto a favor para el panel destinado ser usado como cielo falso.

6.7. Análisis de costo e impacto ambiental

Gráfica 15: Análisis de costo e impacto ambiental



El panel de yeso-totora produce un menor impacto en el medio ambiente con una emisión de 1,142 kg-CO_2/kg menor a los demás materiales, y se debe por la utilización de materiales complementarios para su fabricación (cemento, acetato de polivinilo y yeso). El costo se analiza por su fabricación y se observa también que es menor a los demás materiales, con una diferencia de $ 2,35 del material más económico y tiene una similitud de costo con el gypsum, que no posee ningún tipo de propiedades térmicas.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación, se obtiene las siguientes conclusiones:

- La totora es un material de biomasa con un rápido desarrollo que crece regularmente en climas fríos, pero su capacidad de adaptarse a diferentes ambientes mientras tenga una constante fluidez de agua le permite crecer y reproducirse en climas cálidos, como en el valle de Catamayo.

- El panel térmico de yeso-totora es una alternativa factible para la creación de elementos arquitectónicos que sirva para el recubrimiento de tumbados, permitiendo la eficiencia energética dentro de las viviendas que se ubican en lugares con elevadas o bajas temperaturas. De la misma forma, la totora tiende a ser amigable con el ecosistema, es decir, genera un menor impacto ambiental por su potencial de suministros, por ser biodegradable, por su adaptación a diferentes ambientes y porque es un junco que ayuda a la limpieza de las aguas.

- El uso del yeso-cemento para el diseño del panel con totora es la mejor alternativa, ya que el yeso es un mineral de fácil obtención y manipulación que junto con el cemento en menor proporción (1:5) y el agua (1:2) mejoran sus propiedades en elasticidad y resistencia con 0,30 kN más que el yeso solo, permitiendo generar un panel rígido, manejable y ligero para ser usado para un panel de cielo falso.

- La utilización de una malla de cabuya ayuda a que exista un mayor agarre entre el junco que es liso y el yeso-cemento, del mismo modo, si el panel no cuenta con una malla no cumple con los ensayos mecánicos establecidos por la normativa INEN 520, y se debe a que el panel se comporta como un solo cuerpo, por tanto, la cabuya puede ser utilizada como un material de unión entre mezclas, ya que ayuda a que exista un mayor agarre y adherencia.

- Para formar un panel en granel de totora, es de importancia lijar los juncos superficialmente para que exista un mayor agarre con el acetato de polivinilo.

- El coeficiente térmico de los paneles se remite al ancho de las probetas de totora y al tipo de unión de los juncos (pegado en paralelo), quienes obtuvieron un coeficiente térmico de 0,0349 W/mK menor que los amarrados en paralelo con 0,0573 W/mK, también influye el recubrimiento de yeso-cemento en los dos lados del panel.

- Todos los ensayos, ya sea térmicos (0,0469W/mK), resistencia a la flexión (con malla de cabuya), resistencia al impacto (con malla de cabuya) y resistencia al fuego, muestran el potencial del panel yeso-totora para ser usado como aislante térmico en cielo falso para las viviendas de la ciudad de Catamayo, debido a que se encuentra dentro del rangos establecidos por la norma NEC-11 (0,1 a 0,01W/mK). Del mismo modo, el panel Tipo 2 fabricado con yeso, cemento, cabuya y totora pegado en paralelo es la alternativa más eficiente para el diseño del panel, ya que cumple con las normativas establecidas para la fabricación de paneles de yeso-cartón.

- La investigación proporciona los conocimientos necesarios para la realización de un panel artesanal de yeso-totora, con la intención de que se pueda utilizar para la construcción de viviendas comunitarias.

- Finalmente, el presente estudio ha permitido realizar una primera aproximación, en la utilización de la totora con el yeso-cemento con el fin de realizar la evaluación (ensayos bajo las normativas) que permita el diseño de un material constructivo para ser usado como cielo falso, además, se puede aportar con el impacto económico, ambiental y social en la construcción de viviendas de bajo impacto, siempre y cuando se encuentre la materia prima en el sitio. También, permite promulgar la importancia de los materiales de biomasa con cualidades constructivas para disminuir la proliferación de materiales sintéticos para la construcción.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones van dirigidas a investigadores que tengan el interés de profundizar e indagar en el estudio de la Totora (*Schoenoplectus californicus*) para ser usada como un material constructivo en diferentes propuestas:

- En el proceso de experimentación térmica se realizó una prueba con el junco de matala que pertenece a la familia *Typhaceae* y yeso, el cual se determinó un coeficiente térmico de 0,0564 W/mK, siendo un potencial junco térmico, es recomendable que se realicen los respectivos estudios respecto a este junco.

- La morfología de la totora varía de acuerdo al lugar donde se cultiva, por tanto, es de importancia realizar una investigación de cuáles son los factores que influyen en su desarrollo, ya sea la altura sobre el nivel del mar, la temperatura, el agua o el terreno.

- Estudiar la industrialización de la totora, para la posible realización de materiales constructivos direccionados al diseño de viviendas de bajo impacto.

- La totora al ser un junco con cualidades altamente térmicas, sería de importancia realizar investigaciones para determinar los diferentes usos que se le puede dar, tanto en el campo constructivo como en el artesanal.

- Realizar las pruebas de laboratorio de acuerdo a las normas técnicas y procesos vigentes, con el objetivo que se tengan criterios más óptimos y resultados más eficientes.

- Realizar ensayos de impermeabilidad de la dosificación de yeso-cemento y del panel yeso-totora.

- Estudiar las propiedades de resistencia al fuego del yeso-cemento con respecto a las propiedades del yeso.

Bibliografía

Aza Medina, L. C. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades.* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Bajwa, DS, Sitz, ED, Bajwa, SG, y Barnick, AR (2015). *Evaluación de totora (Typha spp.) Para la fabricación de paneles compuestos*. Cultivos y productos industriales, 75 , 195-199.

Basu, J. P., Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). *Opinar sobre los usos tradicionales y potenciales de Totora (Schoenoplectus californicus) como material de construcción*

Bianco, S., Pitelli, R. A., & Pitelli, A. M. C. M. (2003). *Estimativa da área foliar de Typha latifolia usando dimensões lineares do limbo foliar*. Planta Daninha, 257-261.

Celano, J. A., Jacobo, G. J., & Pereyra, O. (2006). *Desarrollo de paneles termoacústicos a base de residuos de madera para el mercado de la construcción.* Cátedra: Tecnología de la madera. facultad deficiencias forestales, Universidad Nacional de Misiones. Cátedra: Estructuras II. facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas.

CEPAL. (2010). *Huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile.

Consejo Nacional Eléctrica (Conelec) (2008). *Atlas Solar Del Ecuador*. Corporación de Investigación Energética. http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/Atlas Solar.pdf

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) – Cámara Chilena de la Construcción. (2011). *Cielos Falsos: Rasos y Modulares*. Recomendaciones Técnicas

Díaz, N. F., & Tibaquirá, J. E. (2008). *Método para la estimación experimental de la*

conductividad térmica de algunos materiales comunes en Colombia para aplicaciones HVAC/R. Scientia et Technica, 2(39). Obtenido de: http://revistas.utp.edu.co/index.php /revistaciencia/article/view/3185/1877

Farfán Cárdenas Valeria (2015). *Experimentación de la fibra de totora para uso en indumentaria*. Diseñadora Textil

Granero, V., Gatani, M., Medina, J. C., Ruiz, A., Fiorelli, J., Kreiker, J., & Lerda, M. J. (2013). *Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados.* Quebracho (Santiago del Estero), 21(2), 67-80.

Guerrero, A. F., Marrero, M., & Martín, J. M. (2016). *Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción*. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija, España. Hábitat Sustentable, 6(1), 6-17.

Guimaraes, M. M. (2008). *Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo*. Energía, Master Oficial Arquitectura, and Medio Ambiente.

Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2017, October). *Review on the Traditional Uses and Potential of Totora (Schoenoplectus Californicus) as Construction Material*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 245, No. 2, p. 022068). IOP Publishing.

IETCC, C. Alicia (2010). *Catálogo de Elementos Constructivos Del CTE [Catalogue of Construction elements of the Spanish Building Technical Code]*. Obtenido en: http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/Catalogo%20Elementos%20Constructivos%20v05.0_ MAYO08.pdf

Inamhi (2016). *República del Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía*. Obtenido De Boletín Climático Semanal del Ecuador: http://www.serviciometeorologico. gob.ec/meteorología/boletines/bol_men.pdf

INEN 8990. (2014) *Instituto Ecuatoriana de Normalización. ISO – 8990.* Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario. métodos de la caja caliente

guardada y calibrada

INEN 520. (2018) I*nstituto Ecuatoriana de Normalización. ISO/TC 74– Placas de yeso laminado*. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2010). *Censo de población y vivienda*. Tabulados Censales. Total, de viviendas particulares con personas presentes por tipo de material del techo o cubierta, según provincia, cantón y parroquia de empadronamiento. Obtenido en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/

Macía, M. J., & Balslev, H. (2000). *Use and management of totora (Schoenoplectus californicus, Cyperaceae) in Ecuad*or. Economic Botany, 54(1), 82-89.

Miduvi. (2011). *Norma Ecuatoriana de Construcción NEC* – 11. Quito.

Mercier, D., Dutil, Y., Rousse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., & Castonguay, M. (2011). *Los aislamientos térmicos naturales: Construcción ecológica y eficiencia energética*. Ponencia presentada en el Coloquio Universitario Franco-Québécois, Saguenay

NCh. (2000) *Normativa Técnicas Chilenas. Planchas o placas de yeso-cartón - Parte 2: Método de ensayo*. Obtenida de: http://www.cruzydavila.cl/ina/archvs/NCh00146-2-2000.pdf

NEC-11. (2011) *Norma Ecuatoriana de la Construcción.* Capítulo 13, Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.

Ninaquispe-Romero, L., Semanas, S., & Huelman, P. (2012). *Totora : A Material de aislamiento Sostenible Para las partes andina de Perú.*

Palomino, E., Lizbet, C., & Zegarra Lazo, L. E. (2015). *Tabiquería Ecológica, Empleando Totora con Revestimiento de yeso o Mortero, Como Técnica de Bioconstrucción en la Ciudad de Puno.*

Quezada Pesántez, Y. M. (2015). *Análisis, desarrollo y evaluación de aislantes térmicos naturales utilizando Totora (Schoenoplectus californicus) en bloques de adobe y placas rígidas* (Master's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Energías Renovables.)

Rivero Fernández, L. (1997). *Fabricación de productos de base yeso y sus aplicaciones industriales*. Obtenido de: http://digital.csic.es/bitstream/10261/50308/1/bsecv-29-05-2012.pdf

Salcedo, T. (2012, Diciembre). *Introducción Básica a EES*. Escribd. Obtenido de: https://es.scribd.com/doc/78066232/Introduccion-Basica-a-EES.

Solá, X. G. (2012). Calidad del aire interior. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) Mercier, D., Dutil, Y., Rousse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., & Castonguay, M. (2011). *Los aislamientos térmicos naturales: Construcción ecológica y eficiencia energética*. Ponencia presentada en el Coloquio Universitario Franco-Québécois, Saguenay.

Urbán, B. P. (2013). *Construcción de estructuras de madera*. Retrieved from https://www.mdconsult.\ Internacional.edu.ec:2095

Velasco, L., Goyos, L., Nicolas, F., & Naranjo, C. (2014). *Investigación y desarrollo de aislantes térmicos naturales basados en residuos de biomasa para su aplicación en la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones en américa latina*. Ingeniería Y Sociedad UC, 10, 08-21.

ANEXOS

Anexo A: Tabla de valores de la dosificación yeso

Prueba de compresión en cubos (50 x 50 mm)			
Formulación	Peso	Volumen (cm²)	Resistencia a la fuerza en KN
F1: Agua (800 g) + Yeso (1600g) ----- A + Y			
Probeta 1	163.74	138.72	11.68
Probeta 2	165.37	132.5	5.06
Probeta 3	163.38	137.7	14.68
Promedio	163.56	136.30	13.18
Observaciones			
Fabricación: Al mezclarse se forma una lechada que permite una fácil manipulación. Se fragua de 5 a 10 minutos, tiene un fácil y adecuado desmolde y no presenta desprendimiento. **Experimentación:** La rotura de la segunda probeta se produjo con una fuerza inferior a las demás, por lo que se la toma como falla y se realiza el promedio de las otras dos. Según la gráfica del Anexo 1, la dosificación posee una buena elasticidad, pero presenta caigas repentinas de fuerza por lo que significa que es porosa.			
F2: Agua (900g) + Yeso (1500g) + Cemento Portland (300g) ----- A + Y + C			
Probeta 1	167.95	135.16	14.5
Probeta 2	170.66	137.8	13.15
Probeta 3	172.56	136.5	12.81
Promedio	170.25	136.48	13.48
Fabricación: Se forma una lechada que permite una fácil manipulación, pero tiene un fraguado rápido de 2 a 4 minutos, permite un fácil y adecuado desmolde y no presenta desprendimiento. **Experimentación:** Presenta el mejor comportamiento a la rotura y según la gráfica del anexo 1 la dosificación tiene el mejor comportamiento a la elasticidad.			
F3: Agua (900g) + Yeso (1500g) + Almidón (300g) ----- A + Y + Al			
Probeta 1	160.67	139.17	10.08
Probeta 2	160.22	137.8	9.93

Probeta 3	161.41	143	9.28
Promedio	161.04	139.99	9.76

Observaciones

Fabricación: La lechada es un poco más liquida que las anteriores. Se fragua de 5 a 10 minutos, el cual permite un fácil y adecuado desmolde y no presenta desprendimiento.

Experimentación: Presenta una rotura inferior a la de yeso y yeso-cemento, y su comportamiento elástico es inferior a los dos.

F4: Agua (400g) + Yeso(1500g) + Jabón líquido (100g) ----- A + Y + JL

Probeta 1	178.65	137.9	8.63
Probeta 2	179.14	143.1	7.74
Probeta 3	179.47	135.15	7.29
Promedio	179.06	138.71	7.88

Observaciones

Fabricación: Se observa que la lechada se vuelve más liquida, el jabón vuelve más fluido al yeso, por ello se agregó una menor cantidad de agua. Tarda entre 30 a 40 minutos en fraguar y presenta pequeños desprendimientos al desmoldarlo.

Experimentación: Tiene un comportamiento a la resistencia, ligereza y elasticidad por debajo a lo esperado.

F5: Agua (600g) + Yeso (1500g) + Cemento Portland (200g) + Jabón líquido (50g) ----A + Y + C + JL

Probeta 1	157.6	132.6	7.96
Probeta 2	153.73	129.94	7.76
Probeta 3	155.73	132.5	7.38
Promedio	156.66	131.68	7.7

Observaciones

Fabricación: Se observa que la lechada se vuelve más denso que el anterior (F4), pero es un poco más fluido que las mezclas sin jabón líquido. Tarda entre 15 a 20 minutos en fraguar, permite un fácil y adecuado desmolde y no presenta desprendimiento

Experimentación: Tiene un comportamiento a la resistencia y ligereza por debajo a lo esperado, pero su comportamiento a la elasticidad en bueno.

F6: Agua (600g) + Yeso (1500g) + Almidón (200g) + Jabón líquido (50g) ----- A + Y + Al + JL			
Probeta 1	153.5	135.2	8.04
Probeta 2	156.28	141.85	8
Probeta 3	154.74	137.8	7.41
Promedio	154.12	138.28	7.81

Observaciones

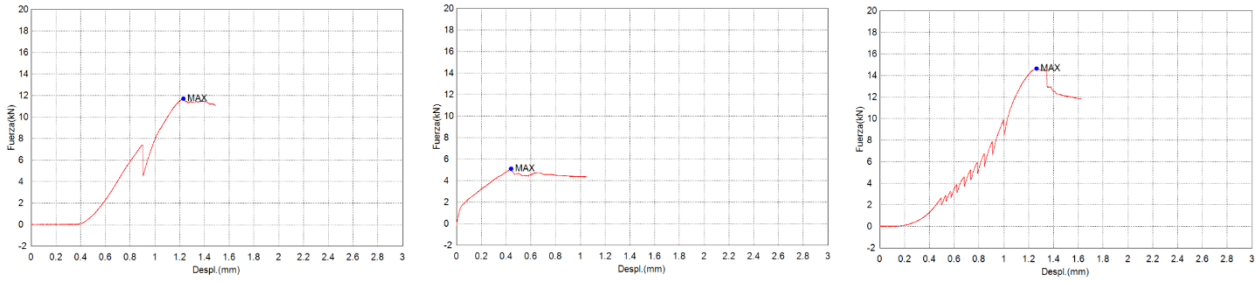
Fabricación: Se observa que la lechada se vuelve más denso con las mismas características de F5. Tarda entre 15 a 20 minutos en fraguar, permite un fácil y adecuado desmolde y no presenta desprendimiento

Experimentación: Tiene un comportamiento a la resistencia, ligereza y elasticidad por debajo a lo esperado.

Anexo B: Graficas de las dosificaciones de yeso

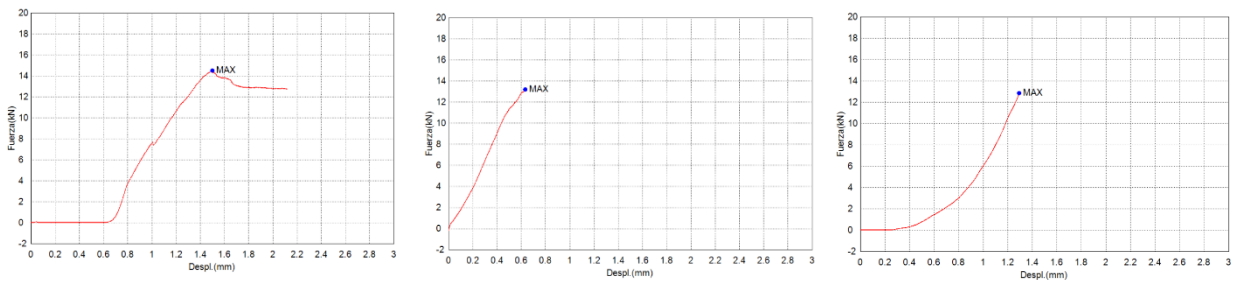
Agua – yeso

Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3



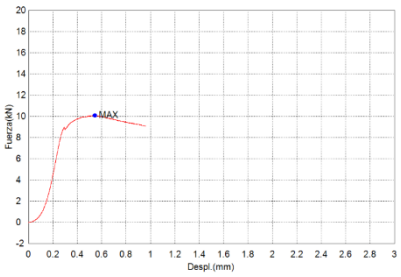
Agua – yeso – cemento

Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3

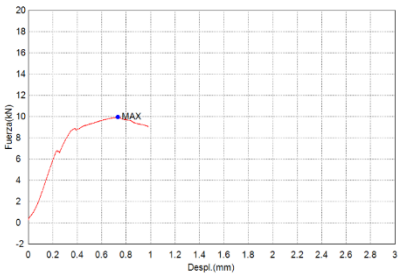


Agua – yeso – almidón

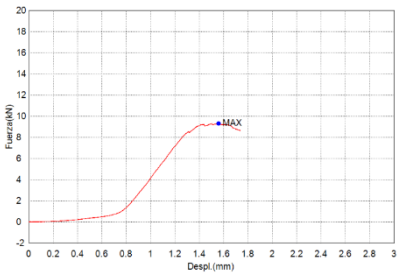
Prueba 1



Prueba 2

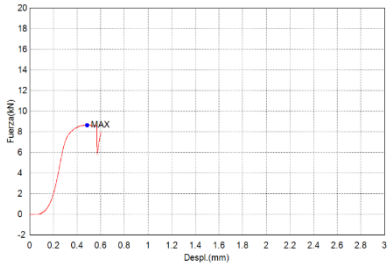


Prueba 3

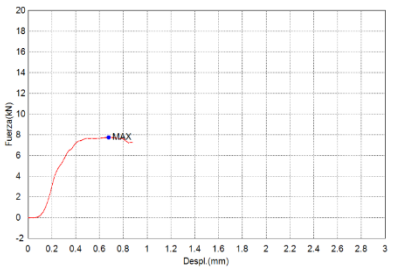


Agua – yeso – jabón liquido

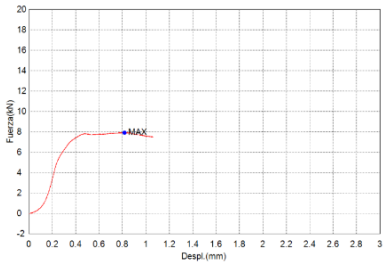
Prueba 1



Prueba 2

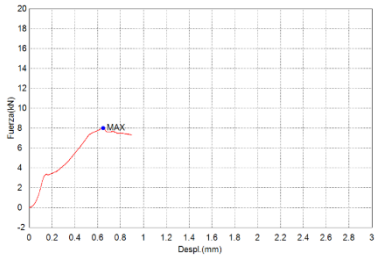


Prueba 3

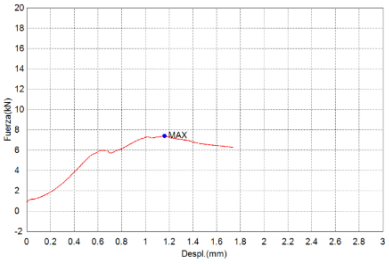


Agua – yeso – cemento - jabón liquido

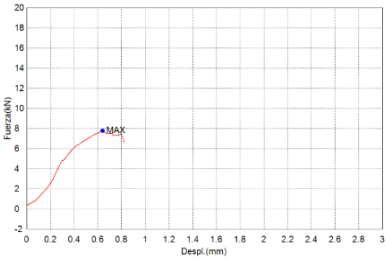
Prueba 1



Prueba 2

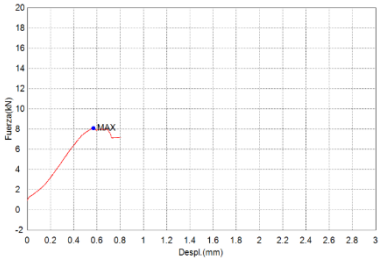


Prueba 3

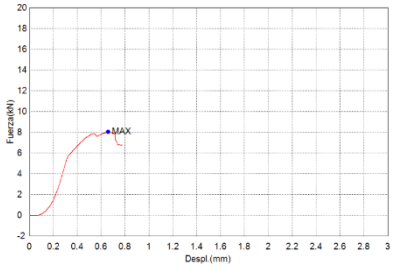


Agua – yeso – almidón - jabón liquido

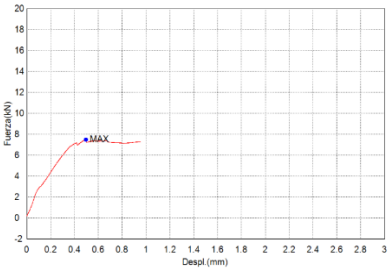
Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Anexo C: Ilustración de la fabricación de probetas

Pegado en paralelo (yeso + totora + yeso)

Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3

Pegado en paralelo (totora + yeso)

Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3

Amarrado en bulto (yeso + totora + yeso)

Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3

Amarrado en bulto (yeso + totora)

Prueba 1 Prueba 2 Prueba 3

Anexo D: Programación del arduino para la interpretación de los datos térmicos

PROGRAMACION EN ARDUINO

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // use Arduino pins
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.createChar(0, degree);
  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(500);
  dht.begin();
  dht2.begin();
}

void loop() {
  // basic readout test, just print the current temp
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("T1:");
  lcd.print(thermocouple.readCelsius());
  // go to line #1
  lcd.setCursor(7, 0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print("T2:");
  lcd.print(thermocouple2.readCelsius());
  lcd.setCursor(15, 0);
  lcd.print(" ");

  //lcd.print(thermocouple.readCelsius());
  Serial.print("Termocupla1: ");
  Serial.print(thermocouple.readCelsius());
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Termocupla2: ");
  Serial.print(thermocouple2.readCelsius());
  Serial.print(" %\t");
  lcd.setCursor(0, 1);
  float t = dht.readTemperature();
  lcd.print("D1:");
  lcd.print(t);

  lcd.setCursor(7, 1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(8, 1);
  delay(100);
  float t2 = dht2.readTemperature();
  lcd.print("D2:");
  lcd.print(t2);
  lcd.setCursor(15, 1);
  lcd.print(" ");

  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperatura DHT: ");
  Serial.print(t);
  Serial.print(" *C ");

  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperatura DHT2: ");
  Serial.print(t2);
  Serial.println(" *C ");
  delay(2000);
}
```

Anexo E: Cálculo del coeficiente térmica de cada probeta

Probeta	Tiempo (5min)	Área (Am)	Espesor (Lm)	Volt. (V)	Inte. (A)	T1 (ºC)	T2 (ºC)	D1 (ºC)	D2 (ºC)	Coef. Térmica ʎ (W/mk) 0.01 - 0.1	Resistencia Térmica (W/m2k)
PROBETAS TIPO 1											
Amarrado en bulto P1	1					87.5	27.4	61.5	29		
	2					91.7	27.6	67.5	29.5		
	3					94.1	27.5	71.2	29.7		
	Promedio	0.0729	0.024	62	0.28	91.1	27.5	66.73	29.4	0.0362	0.662
Amarrado en bulto P2	1					80.8	26.6	51	28		
	2					84.2	26.8	55.5	28.5		
	3					86.8	26.7	60	29		
	Promedio	0.084	0.025	62	0.28	83.93	26.7	55.5	28.5	0.0599	0.417
Amarrado en bulto P3	1					75.8	27.6	46.2	29		
	2					80.8	27.7	56.7	29.2		
	3					88.2	28	64	30		
	Promedio	0.0783	0.027	62	0.28	81.6	27.76	55.63	29.4	0.076	0.355

Pegado en paralelo P1	1					85.4	26.4	57	29		
	2					87.9	26.4	59	29		
	3					90.7	26.4	62	29		
	Promedio	0.081	0.023	62	0.28	88	26.4	59.33	29	0.0448	0.513
Pegado en paralelo P2	1					93.7	28.2	69.2	31.7		
	2					96.2	28.2	73	32.2		
	3					97.5	28.1	74.5	32.5		
	Promedio	0.084	0.025	62	0.28	95.8	28.16	72.23	32.13	0.0287	0.871
Pegado en paralelo P3	1					86	27.2	67	26.5		
	2					87.4	27.3	69.2	29		
	3					89.1	27.2	71.7	29.2		
	Promedio	0.081	0.024	62	0.28	87.5	27.23	69.3	28.23	0.0312	0.769

PROBETAS TIPO 2

Amarrado en bulto P1	1					80.7	26.3	52.7	28.7		
	2					86.1	26.2	57.7	29.7		
	3					88.3	26.2	60.5	29.2		

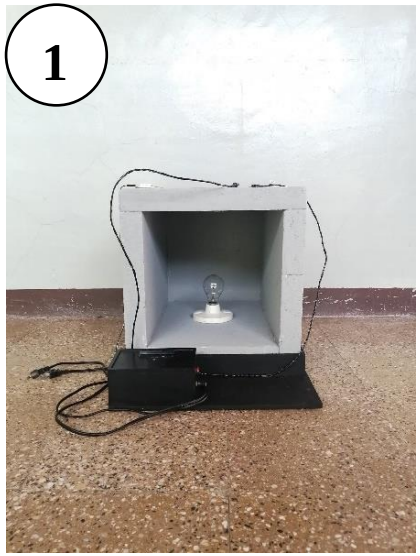
	Promedio	0.081	0.02	62	0.28	85.03	26.23	56.96	29.2	0.0461	0.433
Amarrado en bulto P2	1					81.6	25.8	52.6	26.7		
	2					84.1	25.7	59.2	27.5		
	3					87	25.7	63.2	28		
	Promedio	0.087	0.022	62	0.28	84.23	25.73	58.33	27.4	0.0422	0.521
Amarrado en bulto P3	1					81.1	26.6	51.2	28.7		
	2					84	26.5	55	29		
	3					86.3	26.5	57.7	29		
	Promedio	0.081	0.023	62	0.28	83.8	26.53	54.63	28.9	0.0600	0.383
Pegado en paralelo P1	1					80.5	25.7	55	28		
	2					83.4	25.7	58	27.7		
	3					86.7	25.9	62	28.7		
	Promedio	0.0841	0.024	62	0.28	83.53	25.76	58.33	28.13	0.049	0.489
Pegado en paralelo P2	1					82.8	26.4	60.7	29.5		
	2					87	26.6	65.2	29.2		
	3					90.1	26.8	68.7	30		
	Promedio	0.084	0.021	62	0.28	86.63	26.6	64.86	29.56	0.0335	0.626

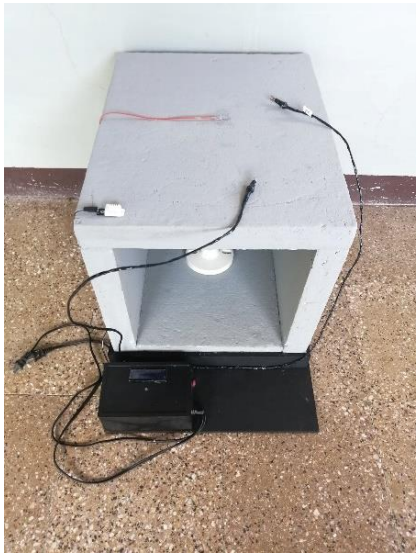
Pegado en paralelo P3	1					84.7	25.5	52.7	27.7		
	2					86.8	25.5	56.5	28		
	3					87.6	25.6	58	28.7		
	Promedio	0.081	0.025	62	0.28	86.36	25.53	55.73	28.13	0.05581	0.447

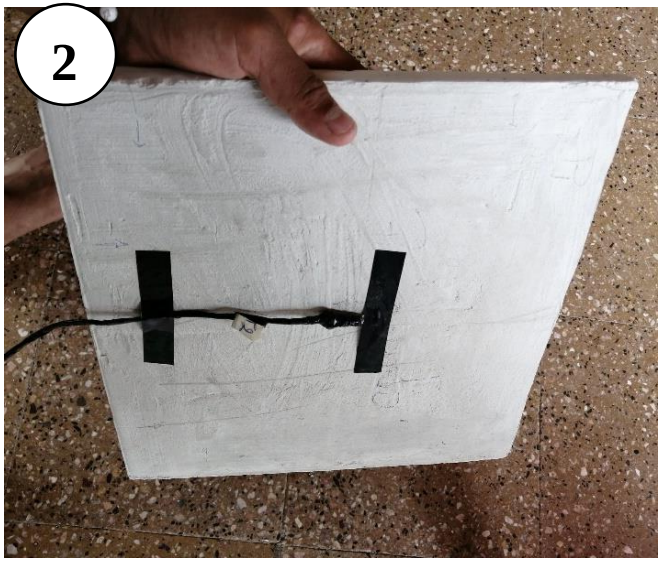
PROBETA DE MATALA

Amarrado en bulto P1	1					83.9	25.8	51.7	27.2		
	2					87.2	26	56	28.2		
	3					88.8	26.1	58.7	28.7		
	Promedio	0.09	0.023	62	0.28	86.63	25.96	55.46	28.03	0.0564	0.407

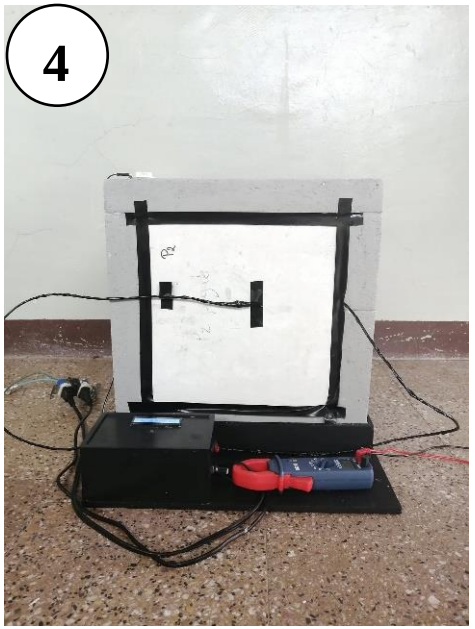
Probeta	Tiempo (5min)	Área (Am)	Espesor (Lm)	Volt. (V)	Inte. (A)	T1 (ºC)	T2 (ºC)	D1 (ºC)	D2 (ºC)	C. Térmica ʎ (W/mk) 0.01 - 0.1	Resistencia Térmica (W/m2k)
TOTORA EN GRANEL	1					92.8	31.5	67.7	32.7		
	2					93.2	32.7	69.2	33.2		
	3					95.3	31	69.7	33.7		
	Promedio	0.087	0.009	62	0.28	93.7	31.73	68.86	33.2	0.0158	0.506
PANEL DE YESO-CEMENTO	1					92.7	46.1	61.3	45.9		
	2					93.4	44.5	63.2	47.3		
	3					94.8	45.3	63.8	48.4		
	Promedio	0.087	0.008	62	0.28	93.6	45.3	62.76	47.2	0.097	0.247
GYPSUM VINIL FOIL ALUMINIO	1					92.6	55.7	65.7	57		
	2					92.7	56.8	68.7	58.1		
	3					91.3	53.2	70.2	58.3		
	Promedio	0.087	0.01	62	0.28	92.2	55.23	68.2	57.8	0.105	0.095238095
PANEL DE ESTUCO	1					89.8	52	61.2	52		
	2					90.5	53.2	61.7	53.2		
	3					92.9	50.7	62.2	52.2		
	Promedio	0.087	0.008	62	0.28	91.0	51.96	61.7	52.46	0.12	0.0833


1

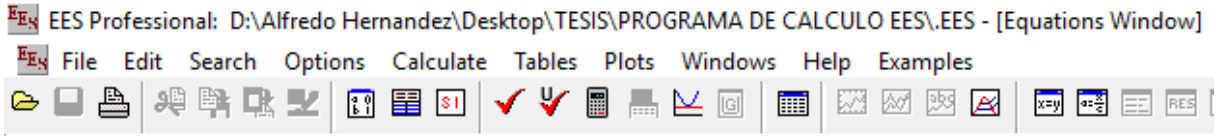



2

3


4

Anexo F: Programación de fórmulas en el EES

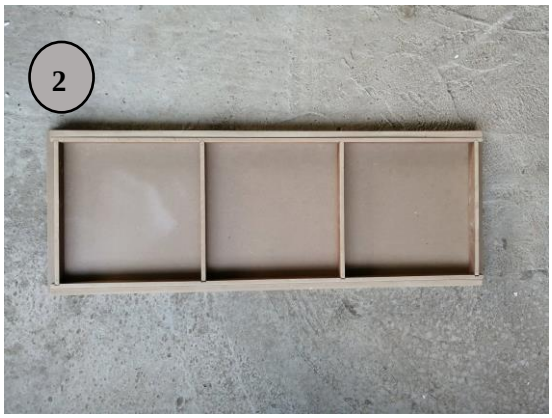



```
"expresion de las ecuaciones"
P=V*I
P= A1*U1*(Tai-Tae)+A2*U1*(Tai-Tae)+A3*U1*(Tai-Tae)+A4*U1*(Tai-Tae)+A5*U1*(Tai-Tae)+Qm
Qm= km*Am*((Tmi-Tme)/Lm)
Qm=hcri*Am*(Tai-Tmi)
Qm=hcre*Am*(Tme-Tae)
U1=1/((1/hcri)+(Lais/Kais)+(1/hcre))

"constantes"
Kais=0.02
Lais=0.05
A1=0.132
A2=0.132
A3=0.132
A4=0.132
A5=0.090


"Mediciones"

"temperatura superficie interior probeta"
Tmi=55.46
"temperatura superficie exterior probeta"
Tme=28.03
"temperatura ambiente interior"
Tai=86.63
"temperatura ambiente exterior"
Tae=25.96
"espesor de la probeta"
Lm=0.025
"area de la probeta"
Am=0.081
"voltaje de corriente"
V=62
"Intensidad de corriente"
I=0.28
```

Anexo G: Imágenes de los ensayos

- Resistencia a la rotura de las dosificaciones de yeso

- Formulación de las probetas de yeso-totora


2

3

4

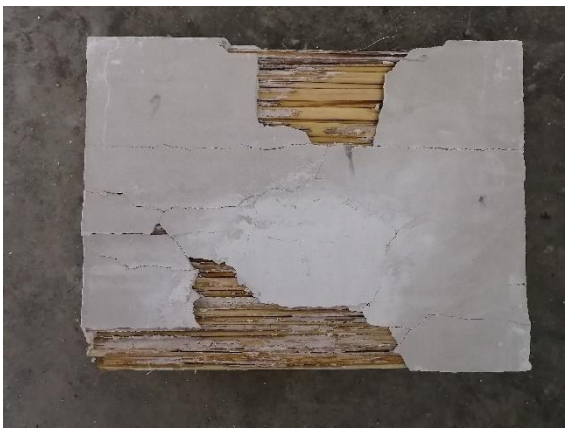
P2

6
2.513 kg

7

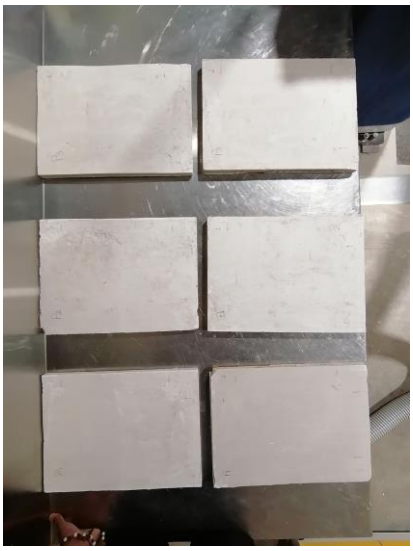
- Adherencia del yeso con la totora

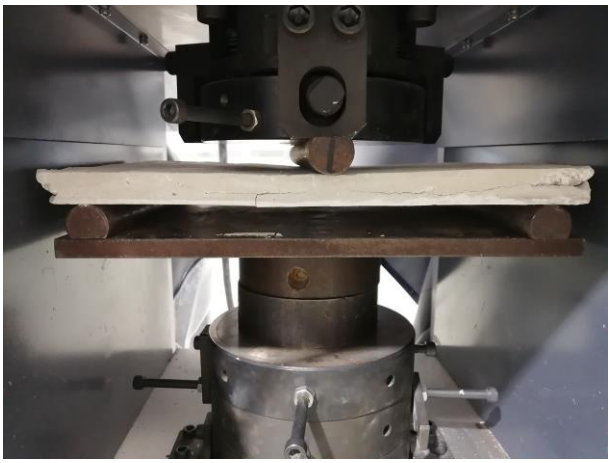
  - **Sin cabuya**

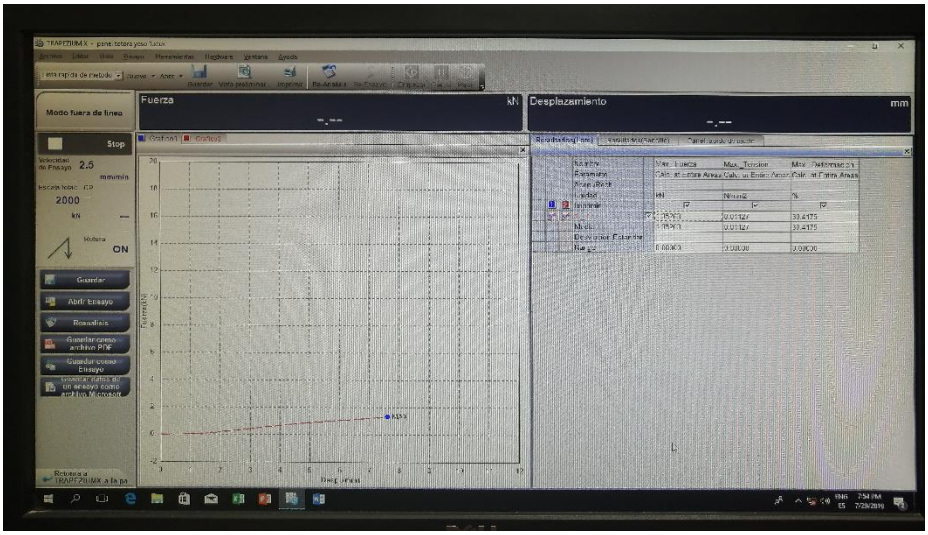


  - **Con cabuya**

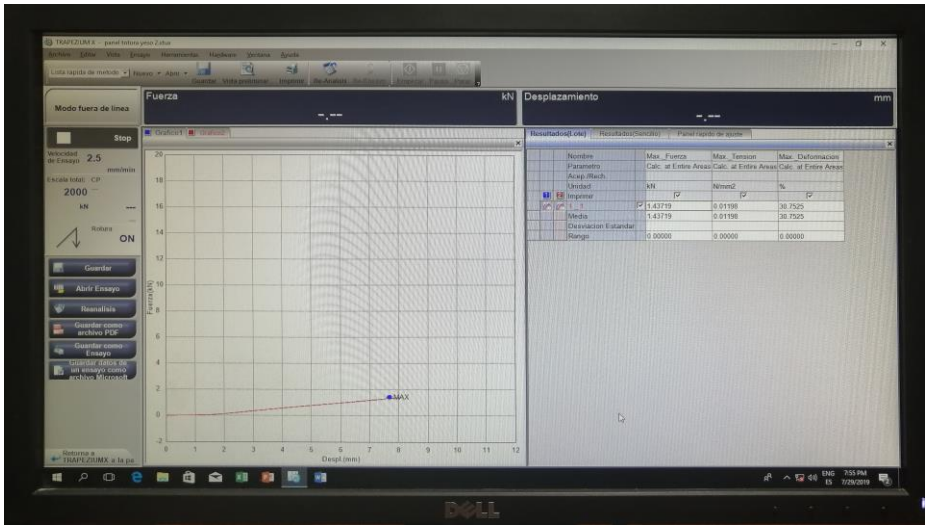
- Resistencia a la flexión



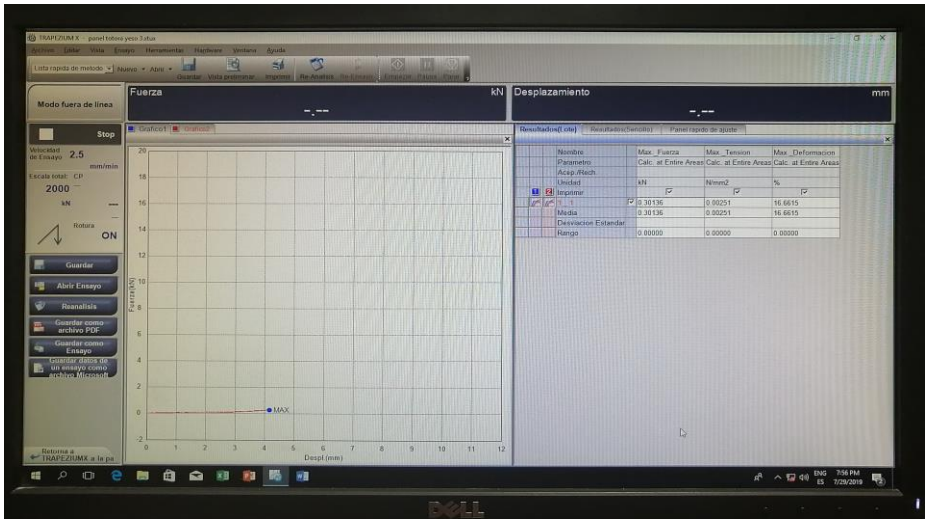


Yeso + Totora + Cabuya ------ Probeta 1


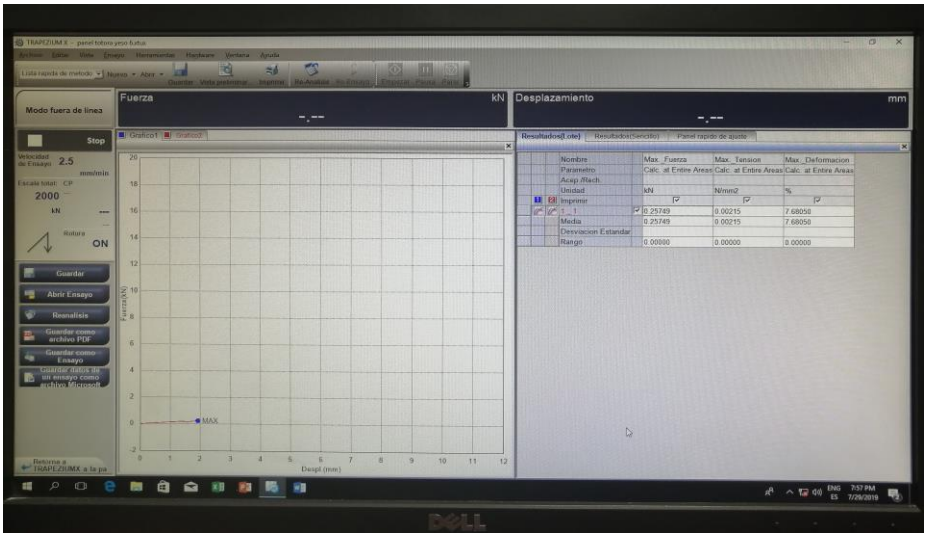
Yeso + Totora + Cabuya ------ Probeta 2

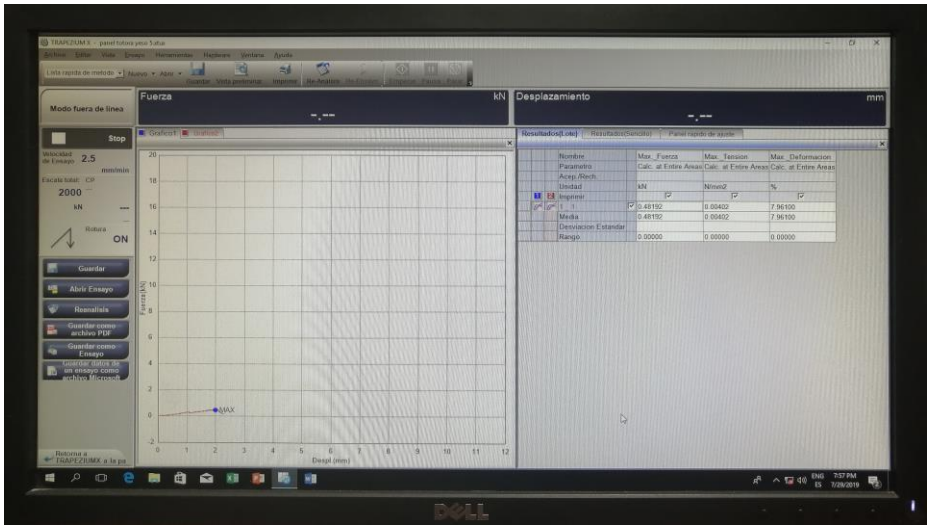
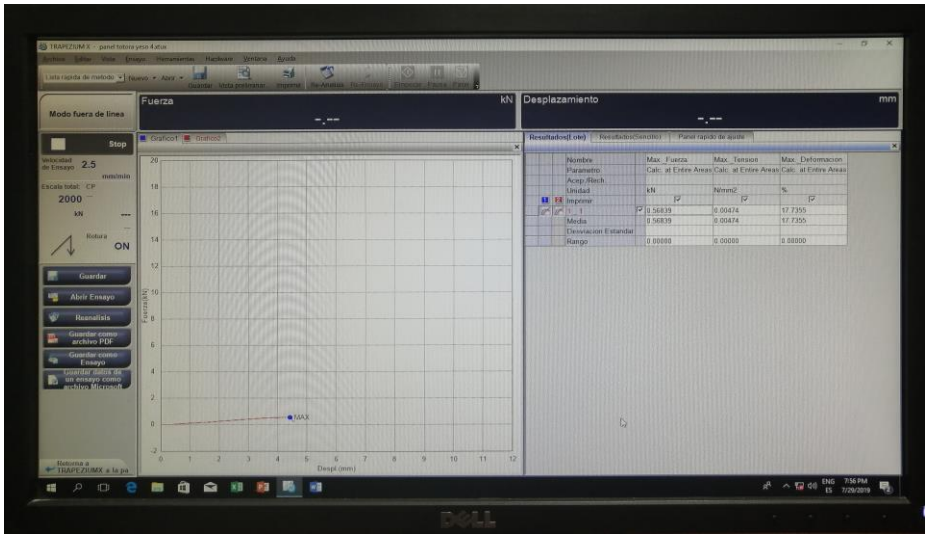


Yeso + Totora ------ Probeta 3

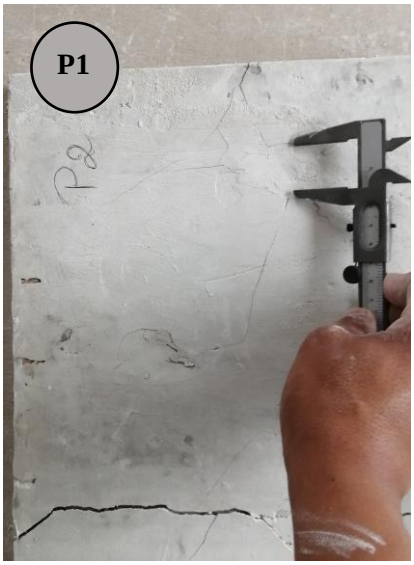


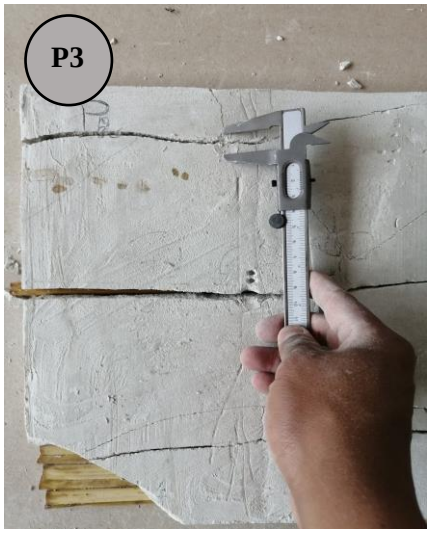
Yeso + Totora ------ Probeta 4

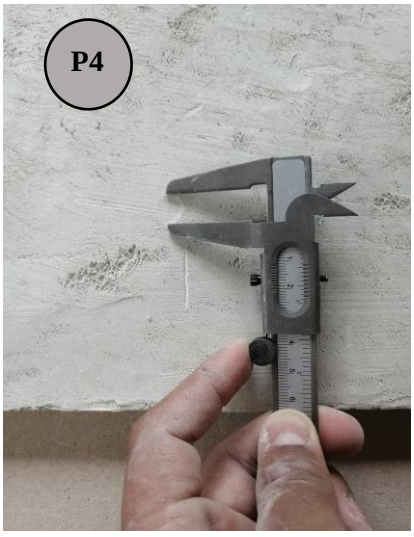


Yeso + Totora + Yeso ------ Probeta 5

Yeso + Totora + Yeso ------ Probeta 2


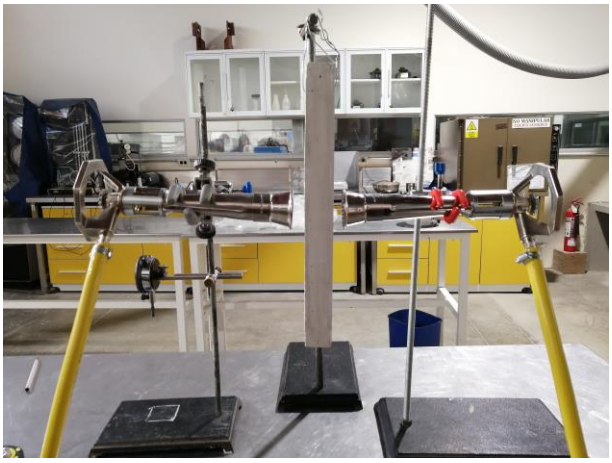
- Resistencia al impacto

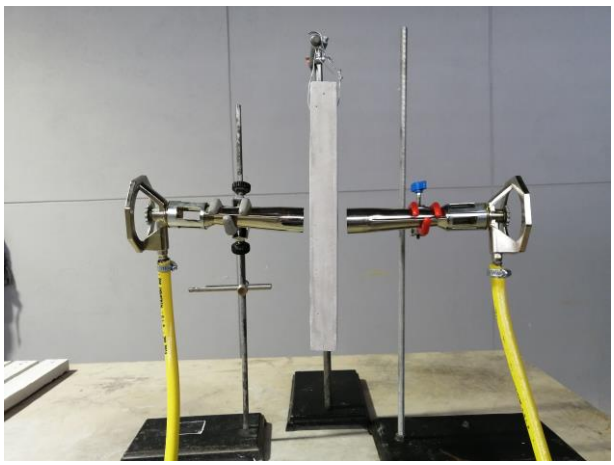






- Resistencia a las llamas directas





- Crecimiento y nacimiento de la totora