



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMEDICA

TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

**Diseño y construcción de un módulo con características de aislación
térmica con materiales de bajo costo.**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORA: Lalangui Miranda, Josselyn Valeria

DIRECTORA: Guaya Caraguay, Diana Elizabeth, Dra.

LOJA – ECUADOR
2019



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2019

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctora.

Diana Elizabeth Guaya Caraguay

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Diseño y construcción de un módulo con características de aislación térmica con materiales de bajo costo, realizado por Josselyn Valeria Lalangui Miranda, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, diciembre de 2019

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Lalangui Miranda Josselyn Valeria declaro ser la autora del presente trabajo de titulación: Diseño y construcción de un módulo con características de aislación térmica con materiales de bajo costo, de la Titulación Ingeniería Industrial, siendo la Dra. Diana Guaya Caraguay Directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estado Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.
Autor: Lalangui Miranda Josselyn Valeria
Cédula: 1150723665

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional

A mi abuelita que en paz descansa

A Norma, mi segunda madre

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a todos quienes hicieron posible la realización y culminación del presente trabajo. Al Coordinador de la Titulación, Mgtr. Juan Diego Febres, por su ayuda y compromiso, A la directora del trabajo Dra. Diana Guaya por su ayuda durante el proceso, a los miembros del tribunal, por brindarme su guía y conocimientos para mejorar los diferentes aspectos de la investigación. A todos los profesores por sus enseñanzas.

Agradezco a mis padres por enseñarme el valor de la perseverancia y que con trabajo duro se puede superar cualquier obstáculo, a mi hermano por apoyarme siempre. A mis tías y tíos por sus consejos. A mis amigos y compañeros.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
TABLA DE ILUSTRACIONES	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO 1	5
MARCO TEÓRICO	5
1.1 Materiales de Construcción	6
1.1.1 Materiales Pétreos	6
1.1.2 Materiales cerámicos	6
1.1.3 Materiales Aglomerantes	6
1.1.4 Tendencia actual de los materiales de construcción	9
1.1.6 Estimación del costo de producción de materiales de construcción	14
1.2 Materiales aislantes térmicos	14
1.2.1 Breve historia de los materiales aislantes térmicos	14
1.2.2 Materiales aislante térmicos disponibles para la construcción	15
1.2.3 Módulos con características de aislación térmica similares a la propuesta	17
.....	17
1.3 Normativa técnica para la fabricación de paneles de yeso	18
1.4 Control de calidad	18
CAPITULO 2	19
METODOLOGÍA	19
2.1 Selección de materiales	20
2.2 Diseño del módulo de aislación térmica y acústica	20
2.2.1 Formulación para la elaboración del panel	20
2.2.2 Procedimiento para la elaboración del panel	20
2.2.3 Optimización de relación yeso – agua	21
2.2.4 Variación del componente aislante	21
2.2.5 Variación del componente surfactante	22
2.2.6 Variación del componente de fraguado	23

2.2.7 Tiempo de Fraguado.....	24
2.2.8 Determinación peso y humedad.....	24
2.3 Pruebas de aislamiento acústico del panel.....	24
2.4 Pruebas de aislamiento térmico del panel	25
2.5 Pruebas de resistencia a la flexión del panel	26
2.6 Costo de Producción Unitario	27
2.7 Control de calidad	27
CAPITULO 3.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1 Materiales seleccionados	29
3.2 Diseño del módulo de aislación térmica y acústica.....	29
3.2.1 Formulación para la elaboración del panel.....	29
3.2.3 Procedimiento para la elaboración del panel.....	30
3.2.4 Optimización de la relación yeso – agua.....	31
3.2.5 Variación del componente aislante.....	31
3.2.6 Variación del componente surfactante.....	31
3.2.7 Variación del componente de fraguado.....	32
3.2.8 Tiempo de fraguado.....	32
3.2.9 Determinación de peso y humedad.....	33
3.3.1 Resultados de Pruebas Acústicas.....	35
3.3.2 Resultados de Pruebas Térmicas.....	38
3.3.3 Resultados de las pruebas de resistencia a la flexión del panel.....	39
3.4 Costo de Producción Unitario del Panel Propuesto	39
3.5 Control de Calidad del panel elaborado.....	41
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44
ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formulaciones variando la relación yeso - agua	21
Tabla 2: Formulaciones variando el componente aislante	21
Tabla 3: Formulaciones variando de componente surfactante sulfato de magnesio	22
Tabla 4: Formulaciones variando el componente surfactante jabón industrial Detrex ..	22
Tabla 5: Formulaciones variando el componente surfactante espuma de jabón	22
Tabla 6: Formulaciones variando el componente surfactante agua oxigenada.....	23
Tabla 7: Formulaciones variando el componente surfactante almidón de maíz.....	23
Tabla 8: Formulaciones variando el componente surfactante bicarbonato de sodio Industrial	23
Tabla 9: Formulaciones variando el componente de fraguado	24
Tabla 11: Paneles de 26,8 x 16,7 cm:	35
Tabla 12: Resultados de las pruebas acústicas.....	36
Tabla 13: Porcentaje de reducción de ruido entre el panel B1 y el panel de gypsum...	38
Tabla 14: Cuadro de temperaturas obtenidas en las pruebas de conductividad de calor	38
Tabla 15: Resistencia a la flexión del panel propuesto	39
Tabla 16: Costo Unitario del panel propuesto	40
Tabla 17: Ficha técnica del panel propuesto	41

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Pruebas acústicas: a) Vista exterior, b) Vista interior	25
Ilustración 2: Pruebas de conductividad térmica: a) Toma temperatura de la plancha, b) Toma temperatura panel B1, c) Toma temperatura panel de gypsum.....	26
Ilustración 3: Prueba de resistencia mecánica: a) Medida señalización y medida del panel, b) Pesado del panel, c) Ubicación del panel en la máquina	27
Ilustración 4: Esbozo del panel: a) Medidas 10 x 10 cm, b) Medidas 26,8 x 16,7 cm ...	29
Ilustración 5: Flujograma Proceso de elaboración del panel.....	30
Ilustración 6: Tiempo de fraguado.....	33
Ilustración 7: Peso de los paneles después del secado	34
Ilustración 8: Gráfica de humedad	35
Ilustración 9: Porosidad Obtenida paneles 26,8 x 16,7 cm: a) Porosidad media, b) Porosidad alta	36
Ilustración 10: Comportamiento acústico del panel de gypsum y panel B1	37

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en la construcción de un panel con características de aislación térmica y materiales de bajo costo. Conociendo que los materiales con propiedades de aislación térmica son importantes y desde su descubrimiento juegan un papel esencial en la industria de la construcción. Para llevar a cabo este proyecto se partió de la búsqueda de las características y propiedades de los materiales aislantes que se ofertan en el mercado, especialmente en este trabajo aquellos derivados del reciclaje. Se describe también el proceso empleado durante la formulación y las pruebas efectuadas para la elaboración de los paneles además del respectivo control de calidad según las normas técnicas de referencia. Como resultado se obtuvo un panel con características porosas necesarias para conseguir el aislamiento térmico deseado y poco denso que permita su corte sin presentar fisuras o superficies irregulares, con propiedades mecánicas comparables con el material de referencia empleado en este trabajo que es el gypsum. Así mismo se describe el costo unitario del panel constructivo de estas características y su comparación con los demás existentes en el mercado.

PALABRAS CLAVE: Construcción, Aislación térmica, Reciclaje, Paneles.

ABSTRACT

The present work focused in the construction of a panel with thermal insulation characteristics, and low cost materials. Knowing that the thermal insulators are important and since their discovery have an essential role in the construction industry. To carry out this project started from the investigation of the characteristics and properties of the insulating materials that are offer in the market, especially the derivatives of the recycling. It also describes the process to follow in the formulation and testing of the panels in addition to the quality control according to the technical reference standards. As a result, it was obtained a panel with porous characteristics needed to achieve the thermal insulation and little dense that allow to do courts without presenting fissures or irregular surfaces, with mechanical properties comparable to the reference material that this work is gypsum. Also, obtain the unit cost of the construction panel with these characteristics and its comparison with other requirements in the market was obtained.

KEYWORDS: Construction, Thermal Insulation, Recycling, Panel.

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual de la construcción apuesta por el empleo de materiales reutilizados y sostenibles. En el país no es frecuente el uso de materiales derivados del reciclaje y se debe en parte al atraso tecnológico que se afronta en el área además de la falta de conciencia por parte de empresas que elaboran materiales sintéticos y de quienes los emplean, también la generalización de quedarse en lo común, tradicional y conocido. El uso de nuevos materiales como herramientas principales para la sostenibilidad en la industria de la construcción es fundamental para la innovación, y el ofrecimiento de una forma diferente de mantener el confort térmico.(Rodríguez Cabrera, 2017)

El desarrollo de la presente investigación consistió en la obtención de un panel con características térmicas y acústicas, mismo que fue elaborado con materiales de bajo costo. El objetivo principal del trabajo es la formulación y elaboración de un panel, para el cual se realizaron diferentes pruebas hasta llegar a una composición óptima, una vez obtenido el módulo, se sometió a pruebas térmicas, acústicas y mecánicas. Es importante destacar el uso de materiales reciclables como es el Tereftalato de Polietileno (PET) y Poliestireno expandido (EPS), además del empleo de componentes presentes en la localidad como el yeso, siendo este último también de fácil asequibilidad y bajo costo. Se realizó también un manual de procesos para la elaboración del módulo, y se determinó el costo unitario del mismo.

El primer capítulo consta de conceptos básicos importantes, breve historia de los materiales de aislación térmica, productos similares en el mercado, y descripción de características de los componentes utilizados en la elaboración del panel.

Dentro del segundo capítulo se encuentran la metodología y métodos empleados para el análisis y optimización de diferentes parámetros útiles para obtener los resultados deseados.

EL tercer capítulo está conformado por los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas tanto térmicas, acústicas como pruebas mecánicas, además de la comparación frente al producto similar de referencia que es el gypsum.

Esta investigación contribuye al estudio para generar nuevos materiales contemplando los factores de la construcción sostenible que son el reciclaje, innovación y ecología. Además, se intenta presentar una alternativa de panel para la construcción fabricado en el País, frente al gypsum que es importado desde Europa, México, Colombia, Chile, entre otros.

Las facilidades encontradas para realizar el trabajo, fue la obtención de materia prima tanto del yeso como de los materiales secundarios y las herramientas necesarias dentro del laboratorio de materiales. Sin embargo, una desventaja fue no contar con maquinaria adecuada para triturar el PET y el EPS, proceso que se realizó de manera manual.

La metodología empieza con el diseño del módulo construido y la selección de materia prima. En la siguiente etapa se realiza la experimentación de estos materiales una vez mezclados, para de esta forma obtener un módulo constructivo con características de aislación térmica principalmente y además valorar si posee propiedades de aislación acústica.

CAPITULO 1
MARCO TEÓRICO

1.1 Materiales de Construcción

Los materiales de construcción son componentes de elementos constructivos o arquitectónicos para una edificación. Se emplean en gran cantidad por lo que provienen de materia prima abundante y de bajo costo. Estos materiales tienen características comunes, dependiendo de su uso, también deben satisfacer necesidades como dureza, resistencia mecánica entre otras. Para emplearlos adecuadamente se debe conocer sus propiedades, especificaciones y regulaciones. Los materiales de construcción se pueden clasificar en diversos grupos:

1.1.1 Materiales Pétreos.

Son aquellos que se extraen directamente de la naturaleza, se tiene dos tipos, el material que se extrae de las rocas y los granulares conocidos como arcillas, arenas, gravas. Estos materiales están constituidos por la asociación de minerales de una misma composición química y forma cristalina. (Crespo Escobar, 2013)

Propiedades de los materiales pétreos: densidad, durabilidad, resistencia mecánica, propiedades térmicas y eléctricas, impermeabilidad, entre otras.

Clasificación: rocas ígneas, rocas sedimentarias, rocas metamórficas.

1.1.2 Materiales cerámicos.

Se derivan de compuestos químicos o soluciones complejas ya que contienen elementos metálicos y no metálicos, fabricados mediante tratamientos a altas temperaturas. La aplicación o campo de uso de estos materiales varía desde la alfarería hasta dispositivos electrónicos. (Crespo Escobar, 2013)

Propiedades de materiales cerámicos: duros, alto punto de fusión, baja conductividad térmica y eléctrica, estabilidad química, resistentes a la compresión, tensión y flexión, además de ser materiales versátiles.

Clasificación: bloques cerámicos, revestimientos, azulejos, tejas, etc.

1.1.3 Materiales Aglomerantes.

1.1.3.1 Yesos

Resulta de la deshidratación parcial o total de algez o piedra de yeso, misma que se reduce a polvo y se amasa con agua. Es abundante en la naturaleza, en terrenos sedimentarios presentándose de forma cristalizada más conocida como anhidrita, siendo de tonalidad blanca en estado puro y de diferentes tonalidades al encontrarse entre sílice, arcillas u óxido de hierro. (Alconz Ingala, 2006)

El yeso también es un material ecológico, no contaminante y tiene usos en diferentes campos desde la medicina a la construcción. Una de las grandes ventajas y característica fundamental es su capacidad de aislamiento térmico, esto gracias a su

estructura porosa. Este material reúne una serie de particularidades que lo hacen sumamente cálido y técnicamente perfecto, su coeficiente de absorción térmica es muy bajo similar al corcho o madera, Además su bajo costo es una ventaja entre distintos materiales

Propiedades de yesos: densidad de 1.05 a 1.2 gr/c.c, ecológico, aislante térmico y acústico, resistente al fuego ya que actúa como barrera ante el fuego ya que es completamente indestructible y no emana gases tóxicos ya que contiene 20% de agua en su estructura que cuando se ve sometido a efectos de fuego se evapora y mientras el agua no está evaporada, su temperatura queda por debajo de los 140 °C. Así mismo el comportamiento de este material frente a la humedad es superior, gracias a que evita fenómenos de condensación superficial y se puede decir que su grado de permeabilidad a la humedad es alto ya que las paredes de yeso transpiran haciendo más frescas las habitaciones en verano y más cálidas en invierno. (YESAMSA, 2013)

Clasificación: se clasifican en semi-hidratados y anhidros.

1.1.3.2 Cal.

La cal es una sustancia solido cáustica y blanda en estado puro, se obtiene calcinando caliza y otras formas de carbonato de calcio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio conocida comercialmente como cal muerta. Este material es usado para preparar cemento y argamasa, también para neutralizar suelos ácidos en la agricultura, entre otros. (Alconz Ingala, 2006)

Propiedades de la cal: estabilidad de volumen, retención de agua, plasticidad, fraguado rápido.

1.1.3.3 Cemento.

En este grupo se incluye cualquier material cementicio capaz de unir porciones de sustancias no adhesivas por sí mismo. En general cuando se habla de este material se refiere al cemento Portland tiene como materias primas básica como caliza, marga, pizarrón o grava. El cemento portland es una mezcla de piedra caliza con arcilla que al someterla a altas temperaturas dormán un material aglomerante.(Alconz Ingala, 2006)

1.1.3.4 Morteros.

Se hace referencia a mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua, sirven para unir las piedras y ladrillos en una construcción, El conglomerante se puede usar cal, yeso o cemento, a esta mezcla se la conoce como pasta y consiste en cantidades iguales de agua y aglomerante.(Alconz Ingala, 2006)

1.1.3.5 Hormigones.

Se construye en resultado de la mezcla de un aglomerante, arena, grava o piedra con agua, es decir, un mortero con grava o piedra molida. La ventaja de este producto es que se puede dosificar sus componentes hasta alcanzar una resistencia gracias a que se conoce sus propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, químicas. (Alconz Ingala, 2006)

1.1.3.6 Maderas.

La madera es un material renovable que ha utilizado desde la antigüedad, constituido por el conjunto de tejidos que forman el tronco de los árboles. Es un material ligero, resistente y maleable. Usado principalmente en la elaboración de puertas, pisos, marco de ventanas y otros aspectos importantes, dando un acabado fino y clásico. (Gutiérrez de López, 2003)

Propiedades de la madera: material maleable, resistente a esfuerzos, costos asequibles, durabilidad, aislante térmico-acústico, variedad en texturas y colores.

1.1.3.7 Materiales Sintéticos.

Estos materiales son el resultado de procesos químicos de transformación, como los productos obtenidos mediante destilación de hidrocarburos o polimerización. Estos son capaces de adquirir forma por calor, presión y al final obtener una buena resistencia mecánica.(Enciclopedia de Ejemplos, 2019.)

1.1.3.7.1 Tereftalato de polietileno (PET).

El PET por sus siglas en inglés, es un tipo de materia plástica derivada del petróleo, donde un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo crudo, 23% derivados de líquidos de gas natural y 13% aire. Su denominación técnica es Polietilén Tereftalato, siendo en sus inicios usado para fibras textiles y producción de films(Secretaría del Medio Ambiente, 2018.). Descubierta en 1941 por Whinfield y Dickson, científicos británicos que buscaban sustitutos para algodón. La presencia de este material en el mercado se fortalece en 1976 gracias a la fabricación de botellas para agua mineral y refrescos carbonatados que son sensibles al oxígeno.

Es una barrera para gases como CO₂, O₂ y humedad, es liviano e impermeable, resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, además posee buenas propiedades térmicas, y solo desprende sustancias químicas cuando se somete a temperaturas superiores de 230 °C.(Garcí & Salgado, 2007)

1.1.3.7.2 Poliestireno expandido.

Material plástico espumado utilizado mayormente en la industria de la construcción, como aislante térmico y acústico. Técnicamente se lo define como: "*materia*l plástico

celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible, presenta una estructura celular cerrada y llena de aire". (ANAPE, 2017). Además, es un material ligero, con buena resistencia a la humedad, resistente a fuerzas mecánicas y cuenta con excelente capacidad de aislamiento térmico, además de su versatilidad es 100% reciclable y genera un moderado impacto ambiental. (ANAPE, 2017)

1.1.4 Tendencia actual de los materiales de construcción.

En la actualidad la industria de la construcción al igual que otros sectores ha evolucionado de manera prominente, permitiendo tener una gama de productos innovadores. Las nuevas tendencias apuestan por productos sostenibles, estética, diseño, eficiencia energética, hogares inteligentes, todas ellas en busca de mejores resultados y sobretodo que vayan de la mano con el concepto medioambiental. (DETEA, 2018).

A continuación, algunos de los materiales que están revolucionando la industria de la construcción, con beneficios tanto a usuarios como para el medio ambiente.

1.1.4.1 Cool Brik (Ladrillo Fresco).

Elaborados a base de arcilla e hidrogel, diseñados para el uso en la construcción de paredes que enfrían pasivamente los interiores en ambientes calurosos. Cada ladrillo absorbe agua como esponja y a medida que el aire pasa a través de los ladrillos, el agua en sus poros se evapora, llevando el aire frío al ambiente interior reduciendo así la temperatura mediante el Principio de Enfriamiento por evaporación. ("COOL BRICK", 2015)

1.1.4.2 Madera laminada.

Unión de tablas o láminas a través de sus cantos, caras o extremos, con las fibras en una misma dirección, funciona como una unidad estructural. Esta forma de usar la madera aumenta la resistencia y durabilidad de la misma, permite reducir la huella de carbono de edificios, al atrapar el carbono de la atmosfera y reducir el coste de materiales de construcción.(De Cristóforo, 2014)

1.1.4.3 Bio-concreto.

Este material innovador, consiste en esporas vivas y capsulas de agua dentro del hormigón mezclado, únicamente se disuelve cuando el concreto se agrieta y el agua entra. El concreto es extremadamente alcalino donde las bacterias bacilo deben esperar años antes de actuar, estas no solo se activarán si no que producirán caliza para poder reparar el concreto.(Aracayo Curo, 2015)

1.1.4.4 Aerogel.

Es un material bastante rígido, elaborado en base de geles, en su mayoría de sílice, mediante un proceso conocido como secado supercrítico, se consigue extraer una porción de gel y sustituir por gases, gracias a esto el aerogel es un material menos denso y más leve ya que el 99,8% está compuesto por espacios llenos de aire. Es importante destacar su capacidad de aislamiento térmico ya que anula los tres métodos de conducción de calor.(Aracayo Curo, 2015)

1.1.5 Características requeridas en materiales de construcción modernas.

La industria de la construcción es una de los sectores en el cual se emplea una gran cantidad de materiales que desde su extracción hasta el final de su ciclo de vida provoca un gran impacto ambiental, actualmente la tecnología ha permitido una evolución continua de características y la fabricación de nuevos materiales que cumplan con requerimientos necesarios para ser sostenibles desde su, con un enfoque reciclable y eco-amigable.(Arquitectura Sostenible, 2017)

1.1.5.1 Livianidad.

En los últimos años la industria de la construcción ha evolucionado de manera significativa, apostando por el uso de productos livianos para la construcción como la hacen países como Estados Unidos, Japón, etc. La construcción liviana representa la misma durabilidad de una construcción habitual, brindando mayor seguridad. Se destaca por su fácil y rápido uso evitando de esta manera los costos de transporte, maquinaria y mano de obra para su ejecución ya que se reducen considerablemente los plazos de entrega de las edificaciones. (Merida, 2015)

1.1.5.1.1 Sistemas livianos en seco.

Se basa en estructuras de soporte metálicas, en los que se adosan placas de yeso o fibrocemento, ofreciendo confort tanto térmico como acústico, durabilidad, calidad, flexibilidad de diseño, elimina escombros siendo un sistema limpio.(Ibañez, 2017)

1.1.5.1.2 Steel Framing

Similar al sistema liviano en seco, su instalación se realiza mediante capas (placas – aislantes – placas), como aislante se utiliza fibra de vidrio o poliestireno expandido, brinda aislamiento térmico y acústico, resistencia mecánica especialmente frente a movimientos sísmicos, debido a que se reduce el peso de estructura. (Área Tres, 2017)

1.1.5.3 Resistencia mecánica.

La resistencia mecánica es la capacidad de un material para someterse a esfuerzos sin deformarse o romperse. (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015) Se determina mediante

pruebas destructivas en las cuales, una muestra es sometida a la acción de un tipo de fuerza hasta que se fracture, esta acción se la conoce como propiedades mecánicas. Estas propiedades permiten a un diseñador determinar al empleo adecuado que se le debe dar a un material y las diferentes pruebas a las que se debe someter como tensión, torsión, flexión, compresión, así como también permite asegurar y controlar la calidad del producto bajo ciertos estándares ya establecidos, mismos que los establecen organismos como ASTM (Sociedad Norteamericana para Pruebas y Materiales), ISO (Organización Internacional para la Estandarización), AENOR (Asociación Española de Normalización), entre otras. (Gómez Pineda, 2013)

1.1.5.4 Aislamiento térmico.

Aislamiento térmico es la propiedad que provee un conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes. Existen situaciones en las que es conveniente reducir el flujo de calor en cierta dirección. El caso más común es el aislamiento de edificaciones tanto comerciales, industriales como residenciales, en las que se busca minimizar las pérdidas de calor en invierno y permitir la disipación en verano. Siendo el aislamiento térmico la primera medida más económica y efectiva para el ahorro energético. (Jutglar i Banyeras, 1998)

Todo material de construcción son aislantes en determinada capacidad, en su trabajo (Velázquez Rodríguez, 2015), menciona que estos materiales se engloban en cuatro tipos:

- a. Fibrosos:** compuestos de filamentos con partículas pequeñas o de baja densidad. Se colocan como relleno en aberturas o cobertores en forma de tablas o mantas. Tienen una porosidad muy alta alrededor del 90%, y se usan en relación a la temperatura a la que el material vaya a ser expuesto.
- b. Celulares:** materiales que se conforman en celdas cerradas o abiertas, por lo general formando tableros rígidos o flexibles. Sus características más importantes son su baja densidad, baja capacidad de calentamiento, y aceptable resistencia a la compresión.
- c. Granulares:** pequeñas partículas de materiales inorgánicos aglomeradas en formas prefabricadas.
- d. Orgánicos:** se trata de materiales orgánicos aglomerados, entre los que destaca diversas formas y tamaños.

Para la selección de un aislante térmico idóneo, se debe tomar en cuenta características como la conductividad térmica del material, permeabilidad, propiedades mecánicas,

absorción, comportamiento químicos y entre ellos y no menos importante el beneficio económico que se obtendrá.(Jutglar i Banyeras, 1998)

1.1.5.5 Aislamiento acústico.

En la actualidad el aumento de la población ha conllevado a generar construcciones en horizontal o en las que bien existe adosamiento de casas que ya sea por la privacidad o el exceso de ruido obliga a que las construcciones sean aisladas, con materiales ligeros pero resistentes al paso de ondas acústicas. El aislamiento acústico es la capacidad de un material de construcción o elemento para reducir la transmisión de sonido a través del mismo. Se identifica dos tipos de aislamiento referentes a la transmisión de ruido aéreo y transmisión de ruido de impacto. Por eso es importante que un material adecuado cuente con propiedades de reflejar o absorber una parte importante de la energía de onda incidente. (Acústica, 2003)

La contaminación acústica altera el equilibrio natural de la vida y del medio que nos rodea, además de ser perturbador provoca daños a nivel psicológico y físico, y se relaciona directamente con la sostenibilidad ya que con un adecuado aislamiento acústico se puede reducir la emisión de CO₂. En la actualidad los materiales que el mercado ofrece se enfocan en la reducción de necesidades energéticas tanto para refrigeración como para calefacción con índices de hasta el 90 % de ahorro.(European Acústica, 2018)

1.1.5.6 Características medioambientales.

El concepto del cuidado del medio ambiente cada vez toma fuerza en todas las áreas, y una de estas en las que más se ha notado cambios es la industria de la construcción, donde ciertas características son importantes a la hora de crear nuevos productos, ya que las tendencias actuales van de la mano con la preservación del medio ambiente.(SIEM, 2015) Se considera importantes las siguientes características:

1.1.5.6.1 Reducción del impacto ambiental.

Los nuevos materiales deben ser de carácter ecológico, lo que implica que su obtención genere el mínimo impacto ambiental, tanto en su elaboración como en su vida útil. De preferencia los materiales a usar sean autóctonos de la región, así se aumenta la disponibilidad, autosuficiencia y se reduce necesidades de transporte.(Arquitectura Sostenible, 2017)

1.1.5.6.2 Residuos y reciclaje.

La tendencia actual busca adaptar la construcción a un enfoque eco-amigable, una de las características más importantes es que el nuevo material se pueda re-utilizar una

vez sea desechado, o a su vez el nuevo producto sea derivado del reciclaje colaborando con la reducción de residuos y, generando una economía circular.(Serrano, 2015)

1.1.5.6.3 Eficiencia energética.

Según el Ministerio del Ambiente “La eficiencia energética es el aprovechamiento óptimo de la energía, y ello no implica renunciar la calidad de vida, si no obtener los mismos bienes y servicios y realizar las mismas actividades sin desperdiciarla”.(Ministerio del Ambiente, 2015)

La eficiencia energética corresponde a la capacidad para usar menos energía para conseguir el mismo rendimiento al realizar una función. Es un conjunto de acciones que permiten emplear la energía de manera óptima, incrementando a la competitividad en empresas, mejorando la calidad de vida, reduciendo costos y limitando también la emisión de gases de efecto invernadero.(OLADE, 2014).

Una de las áreas donde poca importancia se le da a la eficiencia energética es en el hogar, ya que la climatización tanto en invierno y verano es un punto clave en el gasto energético que se realiza.(Asociación de Ciencias Ambientales, 2015). Para obtener un confort climático en la vivienda, muchas personas realizan inversiones en equipos especiales, resultando poco rentable, lo más determinante para un adecuado ahorro y confort es el aislamiento térmico de la edificación, dentro de estos materiales se encuentran en menor medida los sostenibles derivados de materiales reciclados y de escaso impacto ambiental.(EUROCASTALIA, 2018)

Es así que el diseño de productos se refiere a las actividades involucradas en la creación de un estilo, apariencia, selección e ingeniería de componentes y procesos, para un producto final. Su desarrollo se realiza con la determinación de ser vendido a sus clientes. Un producto puede ser cualquier artículo, desde un libro hasta un producto diseñado por computadora. Desarrollar nuevos productos requiere de tiempo y esfuerzo desde la investigación, análisis, creación de prototipos, pruebas, modificaciones hasta perfeccionar el producto acorde a las necesidades pre-establecidas. Se considera también un nuevo producto aquellos que han sido modificados tanto en su estructura como en su apariencia y aplicación. (Robert Q. Riley Enterprises, LLC., 2015)

Es por eso que el presente trabajo propone elaborar un panel con la finalidad de ser un producto innovador, y que pueda sustituir a las placas de yeso – cartón que ofrece el mercado, además de ser un producto amigable con el medio ambiente ya que se pretende incluir material reciclado con el tereftalato de polietileno y poliestireno expandido, conociendo que se ya se han realizado estudios con yeso con añadidos de materiales reciclados o fibras naturales tanto en morteros como en paneles y ladrillos.

1.1.6 Estimación del costo de producción de materiales de construcción.

Los costos de producción son todos aquellos gastos que se involucran en la realización de un producto. Para el análisis del costo de producción, es necesario tomar en cuenta los costos directos e indirectos que influyen en cada etapa de la elaboración. (Shawyer & Medina, 2005)

1.1.6.1 Costo unitario del panel propuesto.

El costo unitario es el gasto que se realiza para producir, almacenar y vender una unidad de un producto o servicio en particular. Incluye todos los costos fijos y variables asociados con la producción del bien o servicio. Brinda información de cuándo debe costar el producto además de poder observar la relación entre ingresos, costo y ganancias. (Sy Corvo, 2019)

En el Ecuador no existen antecedentes del costo de elaboración de un panel de yeso, debido a que este producto es importado de diferentes países. De manera que para la estimación del costo unitario del panel propuesto se tomará en cuenta la materia prima utilizada en su elaboración.

1.2 Materiales aislantes térmicos

1.2.1 Breve historia de los materiales aislantes térmicos.

Desde el inicio de nuestra especie, ha sido necesario defenderse del frío y protegerse del calor para la subsistencia, así empezaron a controlar el fuego, refugiarse en cuevas, curtir pieles de animales y, construir pequeñas construcciones nómadas. Con el pasar de los siglos las construcciones fueron cambiando por el rigor del clima y para hacerlas más confortables. Los egipcios aumentaron el grosor de sus paredes exteriores, los romanos inventaron el muro de tres hojas y la arquitectura medieval con los mismos cerramientos incorporando animales en las plantas bajas exponiéndose a enfermedades o infecciones. (Tejela Juez, San, & Iglesias, 2010)

Así la arquitectura tradicional con un cambio muy lento y adaptado a su región natural seguía apostando a muros de tierra, tapia o adobe, materiales con notable confort térmico. Con la revolución industrial y el dominio de la tecnología para que en siglo XX, apareciese la idea de aislamiento térmico, como tal. En 1898 se utilizó el muro exterior en dos hojas e ladrillo con capacidad aislante mayor al de la piedra, entre ellos se dejaba una pequeña cámara de aire para que circule.

Con el nacimiento del estilo internacional, que consistían en espacio, ventilación e iluminación para combatir la falta de higiene en la época. En Alemania (1914-1918) se presenció el primer uso de aislamiento térmico al usar fibra de vidrio, con este antecedente y confiando más en la capacidad aislante de una lámina en vez de grosores

exagerados de los muros mejorando el confort, la estética y un considerable ahorro, así comenzó la búsqueda por mantener la temperatura adecuada, empezando con espumas de plásticos que se introducían entre las hojas de ladrillo pero dado al notable atraso tecnológico, se notaron filtraciones de agua y humedades.

Con el aumento del precio de energía y con el riesgo que supone para la humanidad, en términos medioambientales, el exceso de gasto en combustibles fósiles, hoy en día la búsqueda y la investigación nos permiten lograr mayores cambios para la adaptación de entornos y ahorro energético es ahora donde el aislante térmico juega un papel importante en las edificaciones, por ello las tendencias de materiales actualmente parten de lo natural, renovable y reciclable, intentando dejar la menor cantidad de residuos y la emisión de gases por efectos de la contaminación.(Stepien & Barnó, 2014)

1.2.2 Materiales aislante térmicos disponibles para la construcción.

1.2.2.1 Poliestireno extruido.

Es un material termoplástico, formado por células cerradas, producido a partir de una mezcla fluida de poliestireno y un gas espumante, dióxido de carbono u otros gases. Es un aislante muy resistente y duradero, por su resistencia al agua, evita que se pudra con el paso del tiempo. La conductividad térmica del material oscila entre 0,033 W/m.K y 0,036 W/m.K. Es muy utilizado en cubiertas, suelos, muros encerrados y cámaras frigoríficas.(González, 2015)

1.2.2.2 Poliestireno expandido.

Es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, especialmente en áreas como aislamiento térmico y acústico, técnicamente se define como "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible, que presenta una estructura cerrada y rellena de aire.(ANAPE, 2017)

1.2.2.3 Lanas minerales.

Son productos aislantes contruidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro y mantiene de esta forma aire en estado inmóvil, esta estructura permiten obtener productos muy ligeros que ofrecen niveles elevados de protección contra el calor, ruido y fuego.(AFELMA, 2015)

1.2.2.4 Lana de roca.

Los paneles de lana de roca están compuestos en un 98% de roca de origen volcánico y un 2% de ligante orgánico. Se obtiene a partir de la fundición de roca a altas temperaturas. Este producto no retiene agua y ofrece una fuerte permeabilidad al vapor de agua, aporta un notable aislamiento acústico, existe la opción de lana de roca

proyectada que se aplica mediante una máquina neumática directamente sobre el soporte a proteger.(Flores, 2011)

1.2.2.5 Lana de vidrio.

Producto de origen natural, mineral e inorgánico. Los paneles de lana de vidrio se componen principalmente por sílice, carbonato de calcio y magnesio, que le confieren resistencia a la humedad. Estos productos no retienen agua, poseen estructuras de fibras cruzadas y gracias a la porosidad posee baja conductividad con capacidad de aislamiento térmico, acústico y seguridad frente al fuego.(Flores, 2011)

1.2.2.6 Poliuretano.

Su composición básica es petróleo y azúcar. Permite la formación de una espuma rígida ligera con un coeficiente de conductividad térmica aceptable. Es un material que se adhiere a cualquier superficie, amortigua vibraciones y no absorbe humedad, es uno de los productos más empleados para el aislamiento por su relación costo beneficio. Su desventaja es el alto grado de combustión que presenta.(Velázquez Rodríguez, 2015)

1.2.2.7 Paneles compuestos.

Se componen de capas metálicas, espuma de poliuretano y lana de roca, etc. Se caracterizan por su peso ligero y bajo costo de montaje, usados con frecuencia en techos, paredes para talleres, almacenes y bodegas, entre otras.(Flores, 2011)

1.2.2.8 Aislantes naturales.

(Red Verde, 2018) en su artículo menciona que los aislantes térmicos naturales son una opción importante al momento de emplearlos en una construcción ya que son materiales no tóxicos y su durabilidad es mayor a un aislante tradicional. Además, como aislantes naturales existe una serie de materiales que se han venido empleando con esta finalidad y se los describe a continuación:

El corcho: proviene de la corteza de los alcornoques, que son árboles que crecen en áreas de clima mediterráneo. Su estructura le confiere propiedades impermeables, de aislación térmica y acústica excelentes. La conductividad térmica que se ha reportado para este material corresponde a un valor de 0,041 W/m.K.(Sánchez, 2015)

Lana de oveja: sus propiedades higroscópicas le permiten absorber la humedad ambiente o desprenderla según la temperatura ambiente. Para su comercialización debe ser sometida a diferentes procesos. La conductividad térmica que se ha reportado para este material corresponde a un valor de 0,038 W/m.K. (Red Verde, 2018)

El cáñamo: es una fibra natural de siembra fácil y rápido crecimiento, la absorción de CO₂ durante su crecimiento le confiere características especiales sostenibles. Posee

propiedades de aislamiento térmico y acústicas. La conductividad térmica reportada de este material es de 0,041 W/m.K.(Daniel, 2016)

El lino: ofrece resistencia mecánica sin tratamientos adicionales. No es recomendable usarlo en ambientes húmedos. Posee una conductividad térmica de 0,047 W/m.K. (Inarquia, 2018)

La celulosa: estos productos se realizan con residuos de papel, el cual es molido y tratado con sales de bórax que le proporcionan ignífugas, insecticidas y anti -fúngicas. Una vez fabricado en forma de planchas o mantas, el material es ligero. La conductividad térmica de la celulosa es de 0,042 W/m.K. (Red Verde, 2018)

Fibra de madera: utilizan para su fabricación los residuos de madera, existen distintos tipos de paneles aislantes y se pueden combinar con otros materiales que aumentan su eficiencia, pero resultarían menos económicos. La conductividad térmica para este material es de 0,060 W/m.K.(Sánchez, 2015)

1.2.3 Módulos con características de aislación térmica similares a la propuesta.

1.2.3.1 Placas de Gypsum o Drywall.

Se conoce a este material como la modalidad de construcción en seco ya que no se usa agua en su instalación y sea más rápido. Existen diferentes tipos de Gypsum y varían en sus características según como sean fabricadas. Ofrece ventajas como su adaptación a diferentes climas actuando como aislante térmico y acústico, además impide la propagación del fuego en caso de incendio ya que es un material no combustible. Otra característica importante es su fácil instalación, transportación y reparación pues no requieren de procesos sofisticados. (Navarro, 2018)

1.2.3.2 ECOboard.

Son paneles ecológicos hechos a partir de agro-fibra, que son derivados de residuos agrícolas como la paja, cañas, etc., mismos que son molidos y mezclados con resinas, al final se comprimen a altas temperaturas para darles formas y resistencia. Sirve para la construcción de viviendas y fabricación de muebles, ya que puede sustituir paneles de MDF, OSB, y contrachapado. Además, es 100% biodegradable, resistente al fuego y a la humedad, siendo también repelente de insectos. Cabe la pena recalcar que cuenta con presencia en el mercado de Europa y México (Dazne, 2014)

Bajo conceptos similares, existen diferentes alternativas como Isonat, fabricado a partir de residuos de poda y limpieza de bosques, parques, etcétera. Existen también aislamientos térmicos a partir de ropa reciclada, pero son difíciles de encontrar en el mercado.(Arrevol, 2018)

1.3 Normativa técnica para la fabricación de paneles de yeso

En la industria el cumplimiento de las normas establecidas es fundamental desde la etapa del diseño hasta su uso real. Siendo así que (Shipp, 2015) reporta que según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), un producto de yeso para paredes y cielorrasos debe cumplir la norma C473, misma que establece Métodos de Prueba para Análisis Físicos de los Productos de Panel de Yeso. Para placas de yeso Ignífugas especiales deben someterse a la norma E119. También son sometidas a pruebas de durabilidad, resistencia y rendimiento a través de normas del Comité E06, que establece el Comportamiento de Edificios. Así también es importante de transmisión del sonido, se realiza con pruebas del Comité E33, Acústica Edilicia y Ambiental. (P.1)

Por tanto, en virtud de lo antes enunciado la normativa a emplear en el presente trabajo como referencial para la realización de pruebas de control de calidad por una parte son la:

Norma UNE EN 13279-2: 2006: “Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción”, misma que brinda métodos de ensayo y procedimientos para realizar pruebas de resistencia mecánica.

Así como para la valoración del Aislamiento Acústico se toma en cuenta especificaciones del Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Artículo 55. Ruidos y Vibraciones.

1.4 Control de calidad

Cuando se habla de calidad se entiende como el cumplimiento de la totalidad de características u objetivos que se han planteado previamente para producir producto o servicio. Teniendo en cuenta que el control de calidad no solo está presente en el producto final sino también en cada uno de los procesos productivos que tienen lugar en la fabricación del producto (Salazar López, 2016). Hoy en día este procedimiento es muy importante a nivel de competencia, ciertas empresas cuentan con personal especialista en el campo, maquinarias y software de excelente nivel para evaluar su producción.(Raffino, 2015)

CAPITULO 2
METODOLOGÍA

2.1 Selección de materiales

La selección de materiales como materia prima para la elaboración del panel se realiza contemplando criterios como:

- a. Bajo costo: se busca que el precio no sea elevado.
- b. Fácil asequibilidad: disponibilidad del material dentro de la localidad.
- c. Reciclable: ciertos materiales deben ser derivados del reciclaje.
- d. Tamaño y color: acorde a necesidades.

2.2 Diseño del módulo de aislación térmica y acústica

Para la elaboración del panel de aislación térmica se contempló diseñar un prototipo de laboratorio con dimensiones que sean:

- a. Manejables: deben ser de fácil dominio para el operario
- b. Representativas: debe distinguirse características en las diferentes pruebas a realizar.
- c. Evitar desperdicios: es decir evitar desaprovechar la materia prima en el proceso.

2.2.1 Formulación para la elaboración del panel.

Para la formulación se basó en formulaciones previas realizadas con yeso dentro del laboratorio de materiales, considerando como punto de partida una relación de 50% de yeso con un 50% de agua. Con el volumen de molde se obtuvo la cantidad de mezcla necesaria para el producto final, para esto se tomó en cuenta las Ecuaciones 1 y 2:

Fórmula para calcular el volumen:

$$\text{Ecuación N° 1: } V = L \times W \times H$$

Dónde: L es longitud, W es el ancho y H es altura.

Para determinar la cantidad de mezcla:

Densidad del yeso: 2.32 gr/cm³

Densidad de agua: 1 gr/cm³

$$\text{Ecuación N° 2: } (\text{Peso de yeso} \times \text{densidad del yeso}) + (\text{Peso } H_2O \times \text{densidad de } H_2O)$$

2.2.2 Procedimiento para la elaboración del panel.

Una vez obtenida la materia prima, se procede a su selección, lavado, y triturado, etc., de PET y EPS. El manual de la descripción de cada proceso se encuentra en el ANEXO 2.

Inicialmente se buscó optimizar: a) la relación yeso-agua, b) relación del componente aislante, de los módulos, así como determinar el mejor agente surfactante en distintos porcentajes de disolución y c) variación del componente de fraguado.

2.2.3 Optimización de relación yeso – agua.

Para la optimización de la relación yeso – agua, se realizaron diversas formulaciones para los prototipos según se describe en la Tabla 1. Todo ello con la finalidad de llegar a una mezcla que permita un control y moldeo adecuado de la pasta antes del fraguado, recalcando que se resolvió utilizar agua destilada para la elaboración de los módulos debido a las condiciones en que llegaba el agua potable.

Tabla 1: Formulaciones variando la relación yeso - agua

Formulación	YESO (%)	AGUA (%)
1	50.00	50.00
2	51.20	47.59
3	53.01	45.18
4	60.00	40.00
5	57.00	43.00

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

2.2.4 Variación del componente aislante.

El material aislante también se varió en diversos porcentajes conforme a la descripción de la Tabla 2, con la finalidad de que exista una buena distribución de los componentes sin que existan sobrantes o desperdicios de la mezcla y/o materiales aislantes.

Tabla 2: Formulaciones variando el componente aislante

Formulación	PET (%)	EPS (%)
5	0.50	0.50
6	1.00	1.00
7	0.59	0.41
8	1.00	0.30
9	2.00	0.25
10	1.20	0.25
11	1.00	0.25

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

Con la mejor optimización de formulación que se obtenga de estos dos puntos se procede a realizar la variación con los diferentes componentes surfactantes y de fraguado.

2.2.5 Variación del componente surfactante.

La finalidad de utilizar agentes surfactantes deriva de la necesidad de generar porosidad en la parte interna del panel para obtener mayor capacidad de aislamiento acústico y una baja conductividad térmica, empleando como agentes surfactantes: a) sulfato de magnesio ($MgSO_4$), b) jabón industrial Detrex, c) espuma de jabón, d) agua oxigenada, e) almidón de maíz, y f) bicarbonato de sodio industrial.

Se empleó sulfato de magnesio, tabla 13, por sus características surfactantes y secantes, ya que en la industria se utiliza para la fabricación de jabón o detergentes, y se conoce que proporciona porosidad en módulos de este tipo.

Tabla 3: Formulaciones variando de componente surfactante sulfato de magnesio

Formulación	MgSO₄ (%)
11	0.5
12	1.0
13	1.0
14	1.0
15	0.5
16	0.5
17	0.6

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

Se utilizó también jabón industrial detrex, Tabla 4, debido a su acción burbujeante, permitiendo al yeso generar pequeños espacios en su interior.

Tabla 4: Formulaciones variando el componente surfactante jabón industrial Detrex

Formulación	JABÓN INDUSTRIAL DETREX (%)
19	0.3
20	0.5

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

La espuma de jabón se propone emplearlo en porcentajes según la Tabla 5, para lograr una mayor eficiencia en cuanto a la obtención de burbujas en el módulo.

Tabla 5: Formulaciones variando el componente surfactante espuma de jabón

Formulación	ESPUMA DE JABÓN (%)
21	0.3
22	0.8

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

Se propuso emplear agua oxigenada, Tabla 6, conociendo de su utilidad para preparar materiales de consistencia porosa, y que sean de aplicaciones tanto aislantes o para conseguir mayor ligereza.

Tabla 6: Formulaciones variando el componente surfactante agua oxigenada

Formulación	AGUA OXIGENADA (%)
23	3.0

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

Se empleó almidón de maíz, Tabla 7, con antecedentes de que actualmente el almidón de maíz es utilizado para el aligerar hormigón así como en placas, morteros y tableros de yeso, otorgando baja conductividad térmica y acústica, además es muy empleado para instalaciones de drywall ayudando al aglutinado de materia prima y brindándole resistencia.(Ferrández-García, Ferrández-García, Ferrández-Villena, Andreu-Rodríguez, & García-Ortuño, 2016)

Tabla 7: Formulaciones variando el componente surfactante almidón de maíz

Formulación	ALMIDÓN DE MAÍZ
24	0.5

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

El bicarbonato de sodio es un material empleado para el endurecimiento de esculturas de yeso, además por sus características ignífugas y acción surfactante frente al yeso, se empleó para intentar potenciar las capacidades de aislamiento térmico y acústico del panel.

Tabla 8: Formulaciones variando el componente surfactante bicarbonato de sodio Industrial

Formulación	BICARBONATO DE SODIO INDUSTRIAL (%)
25	0.3
26	0.5
27	1.0
28	0.5

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

2.2.6 Variación del componente de fraguado.

Con el antecedente de su uso en la industria de producción de planchas de gypsum, se empleó sulfato de potasio (K_2SO_4) como agente de fraguado, en porcentajes

presentados en la Tabla 9, con la finalidad de acelerar y optimizar el tiempo de elaboración del panel, aumentando también la capacidad de aislamiento térmico y acústico.

Tabla 9: Formulaciones variando el componente de fraguado

Nro. de Formulación	Sulfato de Potasio (%)
15	0.3
16	0.5
18	1.0

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

2.2.7 Tiempo de Fraguado.

El tiempo de fraguado se realizó mediante el método del cuchillo indicado en el apartado 4.4.1 de la norma (UNE-EN 13279-2, 2006). Esta fue realizada dentro del procedimiento de la elaboración del módulo o panel, una vez que la pasta es vaciada en los moldes, con el filo del cuchillo se produce la hendidura cada 30 segundos, se toma el tiempo, en minutos - segundos, en que se tarda en fraguar la pasta. En la Tabla Nro. 13, se muestran resultados obtenidos.

2.2.8 Determinación peso y humedad.

Para la determinación de la humedad, se resolvió realizar por el método de gravimetría, donde se tomó el peso de los paneles antes y después de ser sometidos al proceso de secado, mismo que se realizó a través de una estufa a 60°C por un tiempo estimado de 1 hora 20 minutos en las piezas pequeñas de 10 x 10 cm; y a una temperatura de 50°C, en 4 horas 30 minutos para las piezas de 26,8 x 16,7 cm.

2.3 Pruebas de aislamiento acústico del panel

Para las pruebas acústicas del panel propuesto, se basa en el **Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Artículo 55. Ruidos y Vibraciones**, donde se establece una exposición máxima de 85 dB en una jornada laboral de 8 horas. (Decreto Ejecutivo 2393, 1986) Estas pruebas fueron realizadas con la ayuda de una caja de MDF con 3 mm de espesor, con la finalidad de simular una habitación, además de un sonómetro integrador ST-107 (S) Clase 1, como se muestra en la Ilustración 1. Se empleó una emisión de sonido de 432 Hz a través de un parlante, con las diferentes barreras en el centro, como se observa en la ilustración 2, para los valores se toma en cuenta los resultados de los picos más estables que se presentan en las 2 horas de prueba.

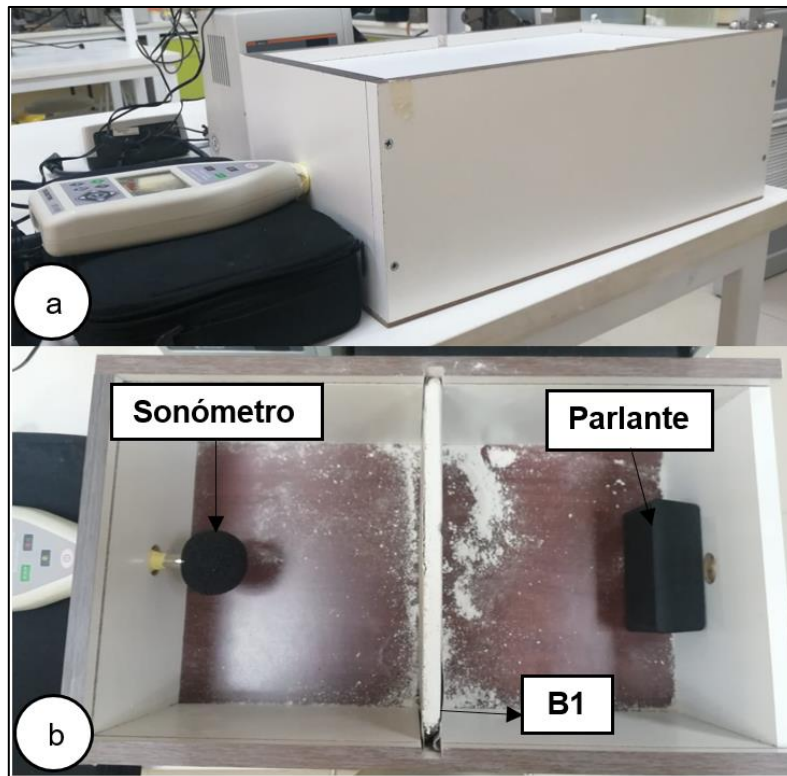


Ilustración 1: Pruebas acústicas: a) Vista exterior, b) Vista interior
 Fuente: La Autora
 Elaboración: La Autora

2.4 Pruebas de aislamiento térmico del panel

En las pruebas de aislamiento térmico, se pretende obtener el índice de conductividad térmica, empleando las fórmulas que según (Rodríguez, 2014) son aplicables a este caso. Donde (Q) flujo de calor, es la potencia de la plancha que se utilizó en las pruebas, (A), es el área del panel a prueba, $T_{hotface}$ y $T_{coldface}$, son temperaturas tomadas antes y después de la ubicación del panel a prueba. Con los datos obtenidos se remplazan datos en las siguientes ecuaciones.

Ecuaciones:

Ecuación N°3: $\Delta T_{int} = T_{hotface} - T_{coldface}$

Ecuación N°4: $K = ^\circ C + 273,15$

Ecuación N°5: $K_{int} = \frac{\Delta X_{int} * Q}{\Delta X_{int} * A_{int}}$

Para estas pruebas se empleó una plancha caliente, a esta se le toma la temperatura inicial con termómetros, y de igual manera se toma temperatura a los paneles, como se muestra en la ilustración 2. Además, las pruebas se realizan en un rango de tiempo de 3 minutos de exposición a la fuente que transmite el calor.



Ilustración 2: Pruebas de conductividad térmica: a) Toma temperatura de la plancha, b) Toma temperatura panel B1, c) Toma temperatura panel de gypsum.

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

Se emplea un total de cuatro termómetros, mismos que marcan diferentes datos, para obtener un dato real y exacto, se resolvió necesario tomar los cuatro valores diferentes y obtener un valor promedio que garantice la exactitud de las pruebas realizadas.

2.5 Pruebas de resistencia a la flexión del panel

Para determinar la resistencia a la flexión, se realizaron pruebas empleando el procedimiento de la norma UNE EN 13279-2: 2006, apartado 4.5.4, donde menciona que debe aplicarse una carga hasta que se fisure o se rompa la pieza, misma que está colocada sobre dos rodillos de apoyo. Además, la expresión de los resultados se realiza por la ecuación número 6, donde P_F , es la resistencia a la flexión (N/mm^2), y P es la carga media de rotura (N).

Ecuación N°6: $P_F = 0,00234 \times P$

La placa que va a ser sometida a pruebas de flexión, debe previamente ser señalada 25 mm a los lados trazando una línea a cada lado, además de una en el centro de la pieza, estas líneas servirán de guía al momento de ser ubicada en la máquina. De igual manera antes de las pruebas la placa debe ser medida y pesada como se muestran en la Ilustración 3.

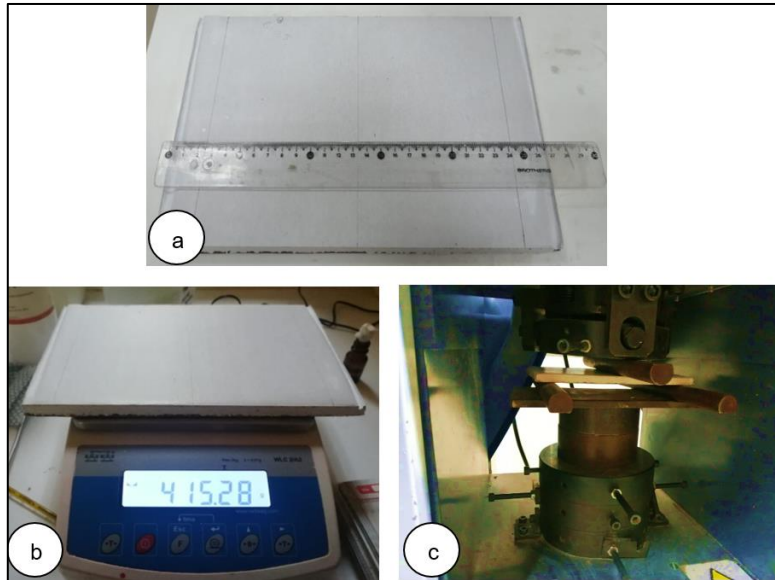


Ilustración 3: Prueba de resistencia mecánica: a) Medida señalización y medida del panel, b) Pesado del panel, c) Ubicación del panel en la máquina

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

Una vez señaladas, las placas se ubican en los rodillos de apoyo de la máquina SHIMADZU, como se muestra en la ilustración c, y se aplica carga hasta generar una fisura en el panel.

2.6 Costo de Producción Unitario

Para el costo de producción del panel propuesto, se toma en cuenta que el mismo fue elaborado a escala laboratorio, donde se incluye el material empleado como vasos de precipitación, varillas, y balanza.

2.7 Control de calidad

En cuanto al control de calidad realizado en el trabajo, se resume en una ficha técnica que se diseñará para el efecto, esta ficha contará con los requerimientos de la materia prima, además de las propiedades y características del módulo elaborado.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Materiales seleccionados

a. *Yeso*: el material base empleado para los módulos a laborar es el yeso blanco resistente de malla fina, con 98,8% de pureza, de fácil asequibilidad, bajo costo y abundante presencia en la localidad.

b. *Tereftalato de polietileno (PET)*: se obtuvo a través del reciclaje de botellas de distinto tamaño, siendo un material de bajo costo de fácil adquisición. Este material fue lavado y secado previo a un proceso de triturado, del que se obtiene pequeños pedazos de 2 mm a 5 mm.

c. *Poliestireno expandido (EPS)*: este material también es obtenido mediante reciclaje, en forma de planchas o empaques de electrodomésticos siendo también de bajo costo. Este material se empleó tanto en forma de perla como triturado con una granulometría de 1 mm a 2 mm.

3.2 Diseño del módulo de aislación térmica y acústica

El diseño se realizó mediante un bosquejo en AutoCAD, como se observa en la ilustración 4, consistió en el dibujo y modelado del panel con las medidas planteadas para formulaciones iniciales de a) 10 x 10 cm para las primeras formulaciones y optimización de la relación yeso-agua, variación material aislante, surfactante, y agente de fraguado, entre otras y b) 26,8 x 16,7 cm para pruebas de aislamiento térmico acústico y resistencia mecánica, ajustándose así a los distintos requerimientos técnicos de las normas de referencia. Además, con una cubierta de cartón cartulina en la parte superior y papel kraft en la parte inferior, se aplica las coberturas requeridas con la finalidad de proteger la parte interna del panel, otorgarle resistencia mecánica y buena apariencia.

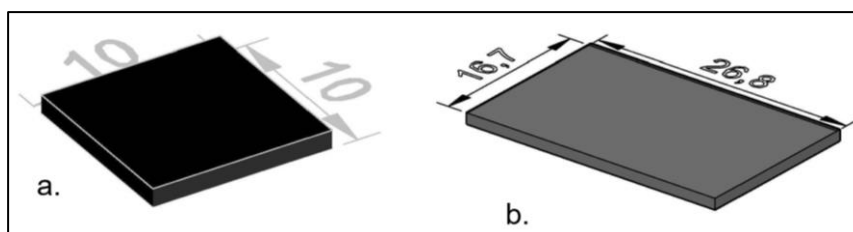


Ilustración 4: Esbozo del panel: a) Medidas 10 x 10 cm, b) Medidas 26,8 x 16,7 cm
Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

3.2.1 Formulación para la elaboración del panel.

Se obtuvo un total de 166 gr de mezcla por cada molde, primero se elaboró un prototipo empleando y 5% adicional en peso como rango de seguridad, suponiendo que parte de la mezcla se quede en el recipiente antes de ser vaciado al molde. Adicionalmente se estableció un 1% de PET y EPS, valores que varían en los diferentes módulos hasta

obtener una óptima combinación. De la misma manera se realizó el cálculo para los moldes de 26,8 cm x 16,7 cm, en la que se obtuvo 742,95 gr de mezcla necesaria, con similares consideraciones que se empleó para el molde pequeño.

3.2.3 Procedimiento para la elaboración del panel.

Al no poder simular el proceso productivo de un panel de gypsum se utilizó la técnica de moldeo. Se inicia con la selección y adquisición de la materia prima. El PET es lavado y secado para luego ser triturado, mientras que el EPS, una vez adquirido es directamente triturado. Cuando se ha reducido la granulometría de ambos componentes, estos pasan al proceso de pesado junto con el yeso, agua y bicarbonato de sodio. Cuando se ha pesado toda la materia prima, se mezcla para ser vaciado en los moldes y terminar con el secado, como se muestra en el flujograma de la ilustración 5. En el Anexo 2, se presenta el manual de procedimientos donde se especifica de manera detallada cada proceso.

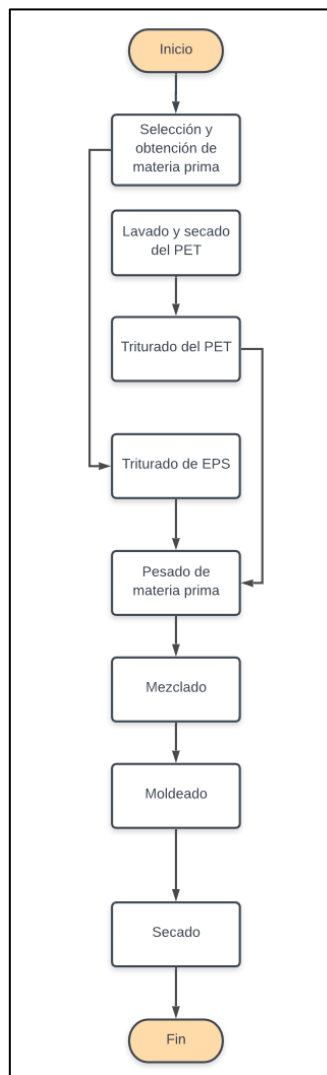


Ilustración 5: Flujograma Proceso de elaboración del panel
Fuente: La Autora Elaboración: La Autora

3.2.4 Optimización de la relación yeso – agua.

En la optimización de la relación yeso – agua, se determinó una proporción yeso en un 57% y un 43% de agua, de esta manera la pasta formada después del mezclado permitió un mejor control de vaciado en el molde y una adecuada distribución de los componentes. Sin embargo, de forma simultánea a la adición de algunos componentes, la cantidad de agua en un 43% resultó excesiva, por lo que se determinó conveniente disminuir este porcentaje, quedando como 57% yeso – 40% agua como la mejor proporción y así evitar desperdicio de la pasta y disminuir el tiempo de fraguado, el cual cuenta igualmente con la adición del 0,5 % de bicarbonato.

3.2.5 Variación del componente aislante.

En las pruebas realizadas con variaciones de PET y EPS, se determinó que el 0.5% de EPS resultó excesivo, observando que la acumulación del mismo era desproporcionada en relación con su similar el PET. Finalmente fue posible determinar que con la relación 1% de PET y 0.25% de EPS, fue viable realizar un módulo con componentes distribuidos conforme a las necesidades, sin excedentes ni sobrantes.

3.3.6 Variación del componente surfactante.

El empleo de sulfato de magnesio ($MgSO_4$) como agente surfactante en la elaboración de los módulos, no fue satisfactorio, ya que al partirlas manualmente se comprobó que la parte interna de la pieza era sólida y por ende no tenía porosidad que pueda garantizar un adecuado aislamiento térmico y acústico. Debido a estos primeros resultados se optó por no probar otros porcentajes de este componente y más bien buscar otros alternativos de mayor asequibilidad y menor costo.

En inicio el jabón industrial DETREX, se probó en conjunto con la adición de sulfato de magnesio, se realizó esta combinación con la finalidad de no retardar el tiempo de fraguado, para estas pruebas también se redujo el agua en la relación establecida de 57:43 a 57:40, obteniendo una pieza con porosidad casi nula, con este resultado se descartó probar este componente en diferentes proporciones.

Al emplear espuma de jabón, se trabajó también con la relación 57:40 (yeso – agua), los resultados mejoraron, obteniendo mayor porosidad en la parte interna de la pieza. La porosidad obtenida con este componente fue comparable con la porosidad que el gypsum presenta, esto permitió considerar este componente para elaborar módulos de dimensiones de 26,8 cm x 16,7 cm x 13 mm y así comprobar sus características térmicas y acústicas.

Las placas empleando una relación yeso 57% y agua 40%, compensando con agua oxigenada el 3% no permitieron obtener resultados satisfactorios ya que la pieza

presentó un exceso de agua debido a una notable lentitud del fraguado dado que tardó 1 hora 45 segundos. Luego del secado se observó que la pieza se asemejaba a una esponja y con una textura demasiado débil, por lo que se abstuvo de realizar más pruebas con este componente.

El almidón de maíz dio como resultado una pieza que presentaba abultamiento, poca porosidad y textura poco sólida, ya que la tocarla se desintegraba fácilmente, lo cual fue razón para descartar su empleo en diferentes proporciones.

En las pruebas finales al añadir bicarbonato de sodio, sus propiedades efervescentes al contacto con una solución de yeso y agua dio como resultado una pieza con notable porosidad, este componente también permitió un adecuado control y manejo de la pasta antes del fraguado sin necesidad de añadir otro componente tanto surfactante como de fraguado, ya que el este desempeñó ambas funciones. Una vez terminado el proceso de elaboración se logró el objetivo de obtener un módulo con porosidad y dureza semejante a la del gypsum. Los resultados obtenidos con este componente fueron razones suficientes que se consideraron para la elaboración de paneles con dimensiones de 26,8 cm x 16,7 cm x 13 mm.

3.2.7 Variación del componente de fraguado.

Para lograr un óptimo resultado de variación del componente de fraguado, el sulfato de potasio (K_2SO_4), en las distintas pruebas realizadas otorgó un tiempo de fraguado menor lo cual no permitió el manejo correcto de la pasta al pasarla al molde ocasionando desperdicio y un endurecimiento de la misma antes de agregar los componentes aislantes, dando como resultado un módulo con espacios externos e internos visibles. De esta manera se resolvió que para el fin perseguido no se utiliza el agente de fraguado, ya que como se mencionó anteriormente al emplear la relación yeso – agua (57:40), y la adición de bicarbonato de sodio al 0,5%, permitió un manejo y control deseado en la pasta formada, con esto se logró añadir y distribuir correctamente los componentes aislantes.

3.2.8 Tiempo de fraguado.

En la ilustración 6 se muestran los resultados del tiempo de fraguado, en la que se puede observar el tiempo de cada una de las pruebas realizadas, las marcas naranjas y azules representan los módulos elaborados con la adición de los diferentes agentes tanto surfactantes como de fraguado, mismas que tienen un tiempo promedio de 24 minutos 67 segundos debido a una mayor cantidad de agua contenida en la formulación. Mientras que el menor tiempo se obtuvo en pruebas realizadas con jabón Detrex a 0.3% - 0.5%, (marca de color gris) y espuma de jabón a 0.3% - 0,8%, (marca de color amarillo),

en las formulaciones que se realizaron, las piezas con adición de jabón Detrex contaron con un promedio de tiempo de fraguado de 3 minutos 27 segundos, sin embargo, obtuvieron una menor porosidad que se asemeje al gypsum. Los módulos con adición de espuma de jabón presentaron un promedio de 4 minutos 38 segundos en el fraguado. En cuanto a las piezas elaboradas con adición de bicarbonato de sodio a 0,5%, (marcas color verde), presentaron un tiempo de fraguado promedio de 6 minutos 21 segundos, se conoce que el tiempo de fraguado de placas de yeso oscilan entre 3 a 6 minutos, con este antecedente, los resultados obtenidos son comparables con el tiempo de fraguado de una placa comercial. Estos resultados se pudieron observar tanto en las piezas realiza a escala 10 x 10 cm, como en las de 26,8 x 16,7 cm.

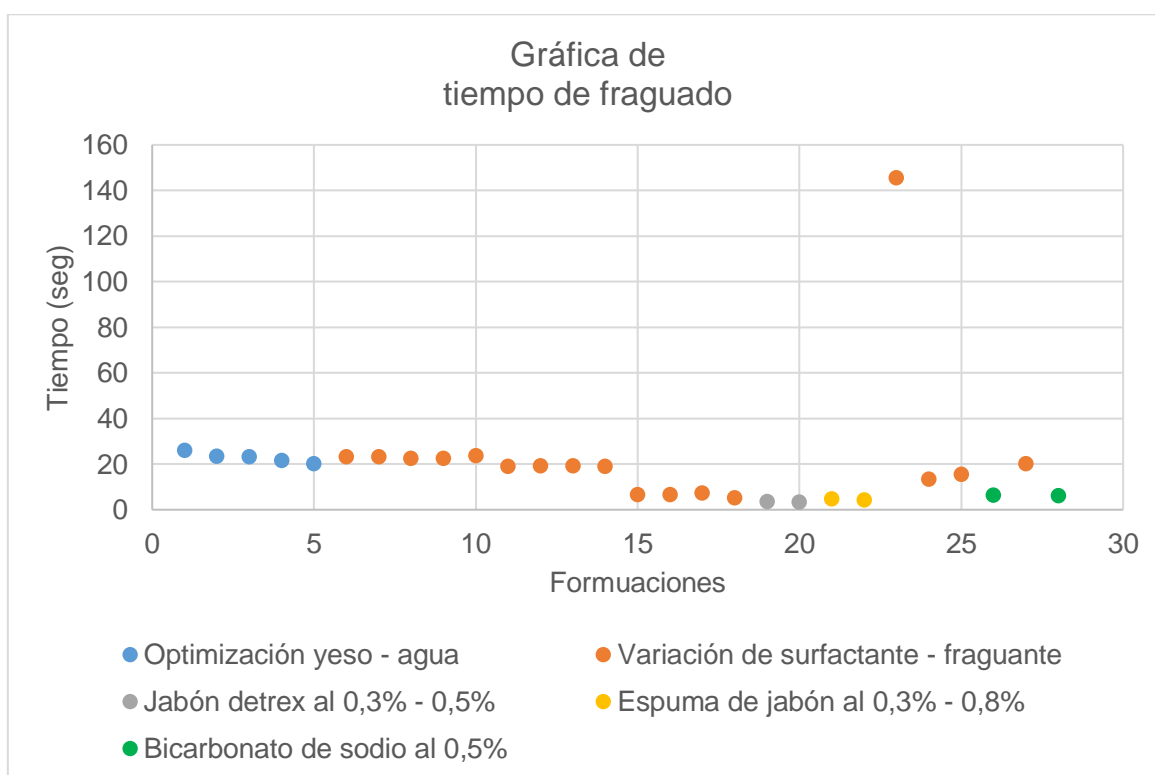


Ilustración 6: Tiempo de fraguado

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

3.2.9 Determinación de peso y humedad.

En la ilustración 7, se presenta el peso obtenido en cada uno de los módulos a escala 10 x 10 cm después de haber sido sometidos a un proceso de secado. La línea naranja representa el peso del gypsum en la misma escala, con un valor de 71,40 gramos, las marcas de color verde corresponden a las formulaciones con adición de bicarbonato de sodio, mismas que obtuvieron un peso de 72,9 gr.

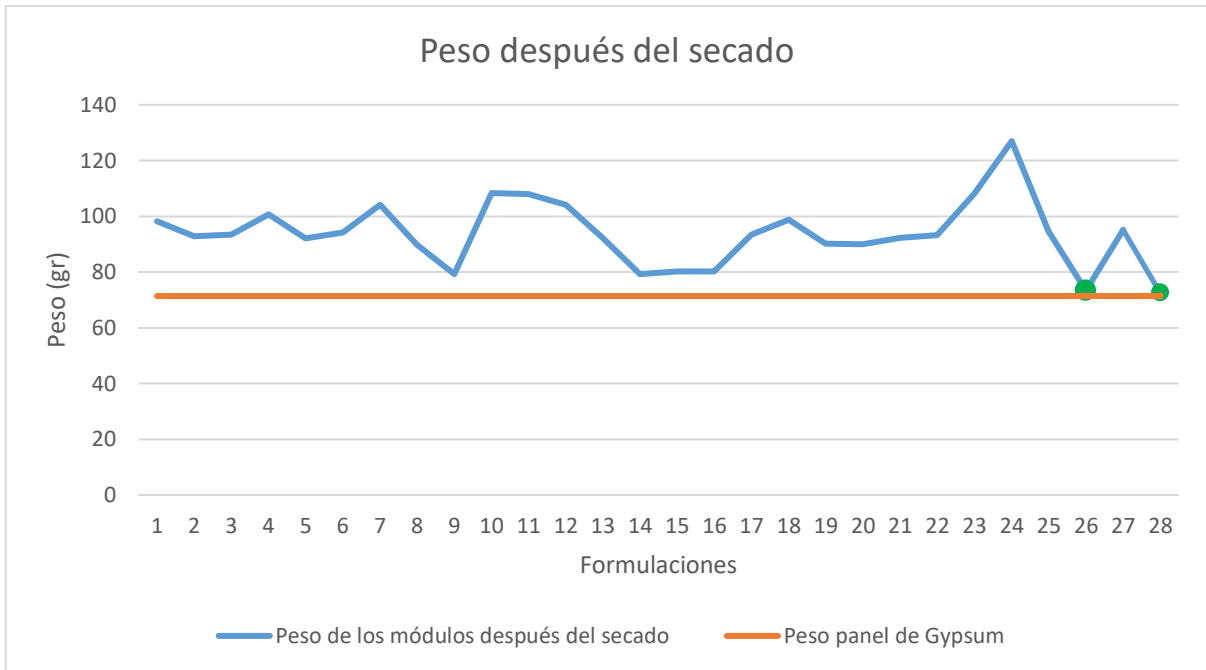


Ilustración 7: Peso de los paneles después del secado

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

El porcentaje de humedad del panel se observa en la ilustración 8, la humedad representa la cantidad de agua perdida durante el proceso de secado, las marcas naranjas y azules representan la humedad de las diferentes placas elaboradas, sin embargo, aquellas pruebas que presentan un porcentaje de humedad igual a la de los módulos seleccionados no cumplieron con características necesarias como porosidad y tiempo de fraguado, por lo cual fueron descartadas. Las placas con jabón detrex, (Marca color gris), obtuvieron una humedad promedio de 35,22%, aquellas con adición de espuma de jabón, (marca color amarillo), contaron con promedio de humedad de 40,54%, mientras que las placas con bicarbonato de sodio (marca color verde), perdieron mayor cantidad de agua obteniendo una humedad de 56,01%,

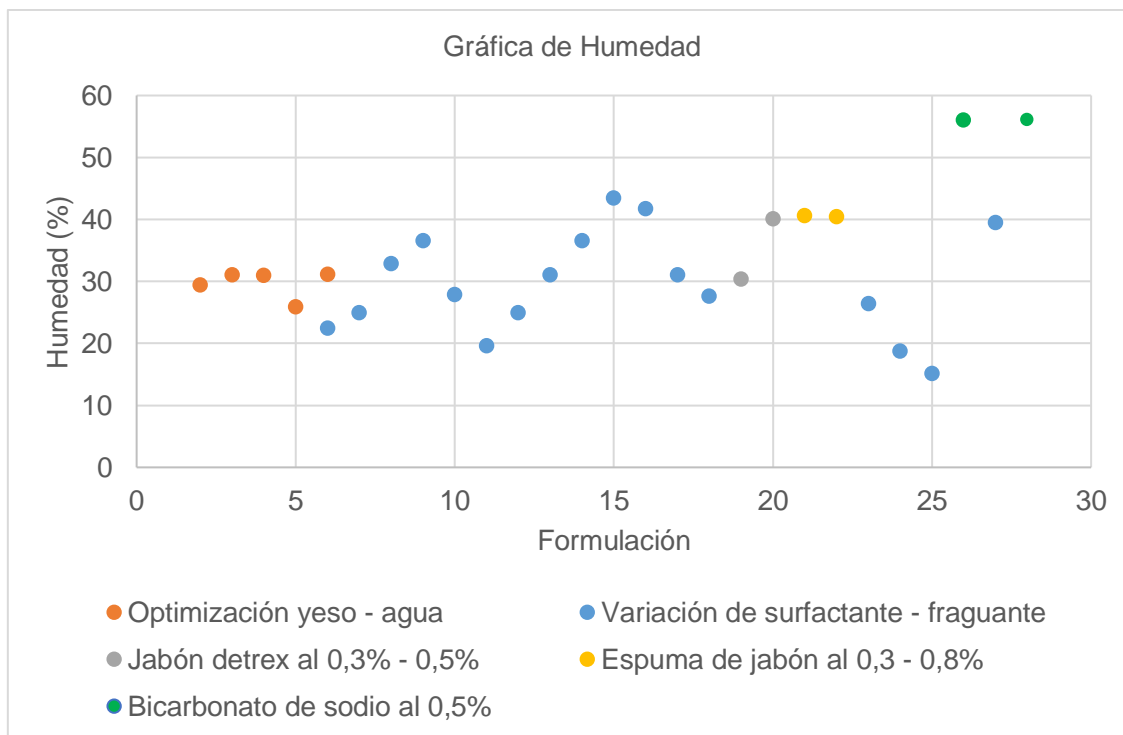


Ilustración 8: Gráfica de humedad

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

3.3.1 Resultados de Pruebas Acústicas.

Como se mencionó en el apartado 3.2, para las pruebas acústicas, térmicas y mecánicas se elaboraron paneles con medidas de 26,8 cm x 16,7 cm, con la finalidad de ajustarse a parámetros establecidos. Para la elaboración de paneles de dimensiones 26,8 cm x 16,7 cm; se consideraron las formulaciones número **21** y **22** que corresponden al componente de espuma de jabón al 0.3% y 0.8% (**A1** y **A2**) respectivamente, así mismo la formulación número **28** correspondiente al componente bicarbonato de sodio al 0.5% (**B1**).

En la Tabla 10, se muestran los resultados obtenidos de las piezas elaboradas, observando que el tiempo de fraguado en las piezas **A1** y **A2** es menor que las piezas **B1**, sin embargo, la diferencia radica en la porosidad obtenida, ilustración 9, característica necesaria para la finalidad del estudio, además a nivel económico, para elaborar las placas A1, se necesita de un espumador de jabón lo que incrementa el costo unitario del producto, siendo esta una razón más para descartar su elaboración.

Es así que a partir de la formulación **B1**, siendo esta la mejor opción, se procederá a realizar las pruebas acústicas, térmicas y mecánicas.

Tabla 10: Paneles de 26,8 x 16,7 cm:

Paneles de 26.8 x 16.7 cm								
Formulaciones	Yeso (%)	Agua (%)	EPS (%)	PET (%)	Espuma de Jabón (%)	Bicarbonato de Sodio (%)	Tiempo de fraguado (min)	Humedad (%)
A1	57	40	1	0,3	0,3		4,49	33,02
	57	40	1	0,3				
	57	40	1	0,3				
A2	57	40	1	0,3	0,8		6,06	31,02
	57	40	1	0,3				
	57	40	1	0,3				
B1	57	40	1	0,3		0,5	9,41	35,63
	57	40	1	0,3				
	57	40	1	0,3				

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

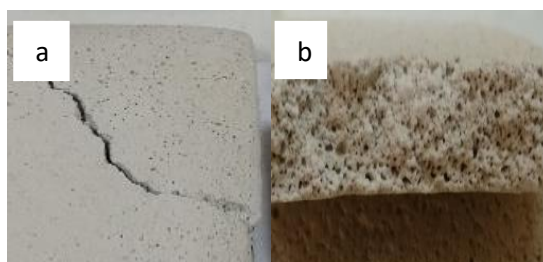


Ilustración 9: Porosidad Obtenida paneles 26,8 x 16,7 cm: a) Porosidad media, b) Porosidad alta

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

La Tabla 11, muestra los decibelios obtenidos al no tener ningún tipo de barrera, con barrera de gypsum y con barrera del panel **B1**, con una emisión de sonido del 432 Hz, así mismo muestra los decibelios permitidos en 8 horas de jornada laboral según el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Artículo 55. Ruidos y Vibraciones.

Tabla 11: Resultados de las pruebas acústicas

Nivel de sonido	Comportamiento acústico de la caja sin barrera	Comportamiento acústico con barrera de gypsum	Comportamiento Acústico con barrera B1	Valor (dB) máximos permitidos
Hz	Valores (dB)	Valores (dB)	Valores (dB)	
432	134,7	90,6	73,4	85
	120,8	93,7	70,2	
	125,8	89,5	77,1	
	126,4	91,4	74,6	
	117,1	94,8	73,8	
	122,3	89,5	69,9	
	123,6	85,9	72,7	
	127,9	93,2	74,3	
Media	124,7 ± 5	91 ± 3	73,6 ± 2	

Fuente: La Autora Elaboración: La Autora

En la ilustración 10 se presenta la gráfica del comportamiento acústico cuando la barrera es **B1**, misma que está por debajo del nivel permitido que es de 85 dB, demostrando que efectivamente posee capacidades de aislamiento acústico. Se realizó también estas pruebas acústicas cuando el nivel de sonido sigue siendo 432 Hz y la caja tiene una barrera de gypsum, de esta manera se puede comparar los valores obtenidos de dicha prueba frente a la formulación **B1**. Así mismo, se pueden observar los resultados, observando que los decibelios percibidos por el sonómetro cuando la barrera es el panel de gypsum (línea ploma), excede el nivel permitido de 85 dB (línea azul), siendo la formulación **B1** la mejor barrera frente al sonido ya que su nivel (línea amarilla), se dibuja por debajo del nivel permitido.

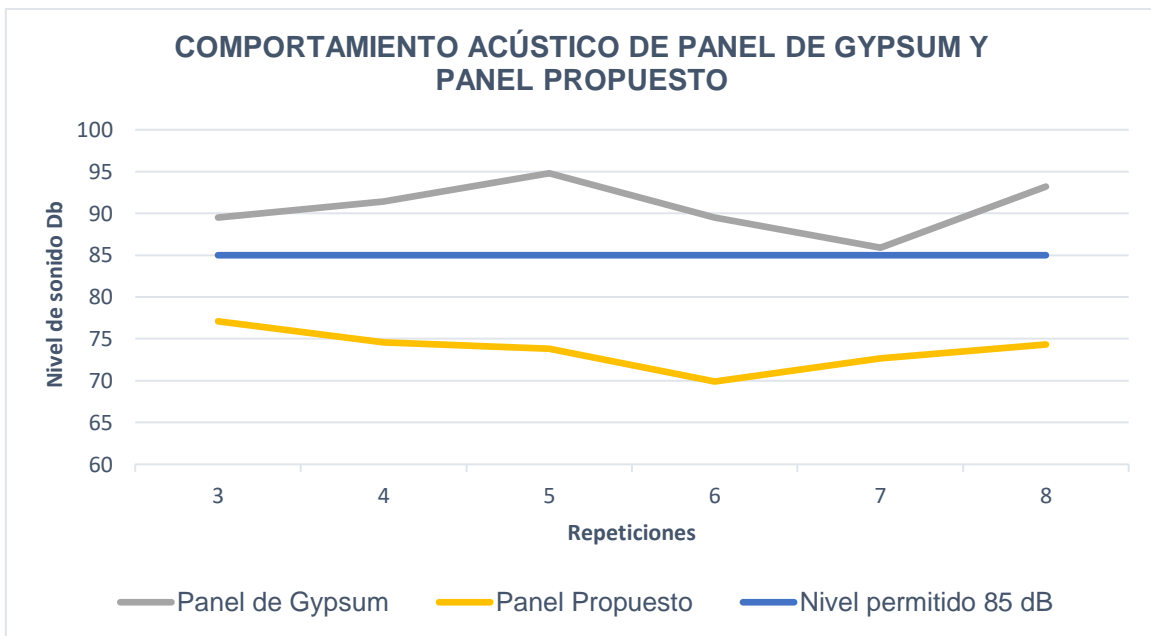


Ilustración 10: Comportamiento acústico del panel de gypsum y panel B1

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la Tabla 12 se muestran la reducción de ruido entre el panel de gypsum y la formulación **B1**. Cuando la barrera es el panel **B1**, se obtiene una reducción del 40 %, mientras que el panel de gypsum permite una reducción del 26%, resultando que el panel **B1** posee una diferencia del 14% frente al panel comercial en lo que aislamiento térmico se refiere.

Tabla 12: Porcentaje de reducción de ruido entre el panel **B1** y el panel de gypsum

Reducción del ruido entre Panel B1 y Panel de gypsum		
Media del comportamiento acústico en caja sin barrera	Media del comportamiento acústico en caja con barrera del panel B1	Reducción (%)
123,6	73,60	40
Media del comportamiento acústico en caja sin barrera	Mediana del comportamiento acústico en caja con barrera de gypsum	
123,6	91,00	26

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

3.3.2 Resultados de Pruebas Térmicas.

Las pruebas de conductividad térmica que se realizó tanto para el panel **B1** y el panel de gypsum dan como resultado el promedio de temperaturas detallado en la Tabla 13.

Tabla 13: Cuadro de temperaturas obtenidas en las pruebas de conductividad de calor

CUADRO DE TEMPERATURAS			
Punto de medida	Temperatura de la plancha caliente (°C)	Temperatura Gypsum (°C)	Temperatura Panel Propuesto (°C)
1	110.9	41.7	38.3
2	99.70	39.8	39.0
3	96.70	40.2	36.6
4	105.7	38.9	36.0
Promedio	102.7 ± 6	40.0 ± 1	37.5 ± 1
Conductividad térmica (W/m.K)		2.78	2.67

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

Una vez obtenidos estos promedios se realizaron los respectivos cálculos (Anexo 7) con las ecuaciones correspondientes (Apartado 2.4). Se obtuvieron los datos de la conductividad térmica del panel **B1**, que es de 2,67 W/m.K, mientras que para el panel de referencia empleado en este trabajo, el gypsum, se obtuvo una conductividad térmica de 2,78 W/m.K. De esta manera se observa que el panel **B1** frente a un panel de gypsum posee una conductividad térmica insignificamente menor de 4%, determinando que efectivamente el panel **B1** es un material con características de aislación térmica. Con respecto a los aislantes naturales más utilizados en la fabricación de paneles y morteros para la construcción como es el corcho, cáñamo, celulosa y fibra de madera, mismos que reportan conductividad térmica de 0,045 W/m.K; 0,041 W/m.K; 0,040 W/m.K; 0,060 W/m.K, respectivamente, se puede apreciar que el panel **B1**, posee una conductividad térmica mayor a un aislante de origen natural.

3.3.3 Resultados de las pruebas de resistencia a la flexión del panel.

En la Tabla 14, se observan los resultados obtenidos para las pruebas de flexión, con medidas del panel en mm y la carga en Newton, con las cargas aplicadas a paneles de la formulación **B1** se realiza un promedio para poder aplicar la ecuación 6 (Apartado 2.5), obteniendo como resultado de la resistencia de 0,170 N/mm², así mismo se realizó también la misma prueba a paneles de gypsum con las mismas dimensiones, obteniendo como resultado una resistencia de 0,158 N/mm², donde se observa que la diferencia de resistencia a la flexión existente es de 7% entre el panel **B1** y uno de gypsum.

Tabla 14: Resistencia a la flexión del panel propuesto

Resistencia a la flexión panel B1 y panel de gypsum								
Tipo de panel		Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga (N)	Desviación estándar	Promedio	Resistencia a la flexión (N/mm ²)
B1	a	268	167	13	70,25	4	72,80	0,170
	b	268	167	13	75,34			
Gypsum	a	268	167	13	67,57	0	67,41	0,158
	b	268	167	13	67,25			

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

Estos resultados permiten determinar y comprar el panel **B1** frente a un panel comercial, siendo el panel propuesto en este trabajo el que posee mayor resistencia a la flexión. Se puede comparar también con el composite de fibra de pino que propone Reinozo Salinas (2018) en su trabajo (Reinozo Salinas, 2018), donde especifica que la resistencia a la flexión de estos varían de 0,054 N/mm²; 0,082 N/mm² y 0,105 N/mm², según el contenido de fibra al 70%, 80% y 90% respectivamente, siendo así que respecto a este material el panel **B1** posee una diferencia de resistencia a la flexión de 68%, 51% y 38% según corresponde.

3.4 Costo de Producción Unitario del Panel Propuesto

Para calcular el costo de elaboración de un panel a escala laboratorio, se toma en cuenta la materia prima directa como es el yeso, agua, PET, EPS, bicarbonato de sodio, papel kraft, cartón cartulina y la materia prima indirecta, en la que constan equipos como la balanza, vasos de precipitación, varilla, espátula, moldes y papel encerado, como se muestra en el Anexo 9.

En la Tabla 15, se muestra el costo unitario del panel de medidas de 26,8 x 16,7 cm, es de 0,79 centavos de dólar, tomando en cuenta la materia prima directa, y la materia prima indirecta.

Tabla 15: Costo Unitario del panel propuesto

Costo unitario del panel propuesto de medidas de 26,8 x 16,7 cm				
Descripción		Cantidad de material empleado	Unidad de medida	Valor (USD)
MATERIA PRIMA	Yeso	423,48	gr	0,230
	PET	7,43	gr	0,002
	EPS	1,85	gr	0,008
	Bicarbonato de sodio	3,71	gr	0,150
	Agua potable	297,18	gr	0,0005
	Papel Kraft	26, 8 x 16,7	cm	0,025
	Cartón Cartulina	26, 8 x 16,7	cm	0,025
	Energía empleada para el secado	10,32	Kwh	0,205
MATERIA PRIMA INDIRECTA	Moldes	1	unidad	0,060
	Papel encerado	30	cm	0,080
	Equipo y utensilios	4	unidades	0,005
TOTAL (USD)				0,79

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

Así mismo la estimación del costo unitario del panel propuesto, si este fuera elaborado en dimensiones estándar de 1,22 x 2,44 m, en este caso el precio sería de 35,26 USD, frente al panel comercial que tiene un valor de 9,00 USD. Para realizar estos cálculos se determinó la cantidad de materia prima necesaria para fabricar un panel con medidas estándar (Anexo 9), multiplicando la cantidad de cada materia prima a utilizar con el respectivo valor. Así mismo se establece que se necesitan aproximadamente 63 paneles de 26,8 x 16,7 cm para elaborar un panel con medidas comerciales.

Sin embargo, se debe considerar que el módulo propuesto pretende ser una alternativa a procesos constructivos en donde se utilicen materiales aislantes como es el proceso tipo sánduche o steel framing, en el que se emplea dos placas de gypsum y diferentes materiales aislantes como el corcho, planchas de poliuretano o láminas de lana de vidrio, mismos que tienen un valor aproximado de 60 USD, 74 USD, 50 USD respectivamente.

Al emplear la propuesta, se tendría un ahorro significativo ya que, por las características aislantes del mismo, ya no sería necesario añadir otro tipo de aislante.

3.5 Control de Calidad del panel elaborado

El control de calidad para la elaboración del panel, se realizó desde la adquisición de materia prima, buscando características específicas en cuanto al yeso y obteniendo de igual manera el PET y EPS, que cumplan con características como el tamaño, color, daños físicos, y limpieza. Para asegurar la calidad del panel obtenido, en la siguiente tabla se presenta una ficha técnica del mismo, en el cual constan características tanto físicas como técnicas del panel.

Tabla 16: Ficha técnica del panel propuesto

FICHA TÉCNICA		
Panel laminado, elaborado a base de yeso, agua, con adiciones de materiales reciclados como PET y EPS.		
REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA		
MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	GRANULOMETRÍA
Yeso	Malla fina	325 us
Tereftalato de polietileno (PET)	Transparente	2 mm – 5mm
Poliestireno expandido (EPS)	Blanco	1 mm – 2mm
CARACTERÍSTICAS		
Descripción	Valores	Unidades
LONGITUD	26,80	cm
ANCHO	16,70	cm
ESPESOR	13,00	mm
PESO	415,28	gr/cm ²
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
Descripción	Valores	Unidades
Aislante Acústico	40,45	%
Conductividad térmica	2,670	W/mK
Resistencia a la Flexión	0,170	N/mm ²
Humedad	35,63	%
Porosidad		

Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

CONCLUSIONES

- Se determinó factible el uso de materiales reciclables como el tereftalato de polietileno PET y el poliestireno expandido EPS en la construcción de un módulo con características de aislación térmica. Además, con las formulaciones realizadas se encontró conveniente la adición de bicarbonato de sodio con la finalidad de obtener porosidad requerida en el módulo, tomando en cuenta también que los materiales empleados en la construcción del panel son asequibles y de bajo costo.
- Las pruebas de conductividad térmica realizadas, permitieron determinar que efectivamente el panel propuesto (formulación B1) posee una conductividad térmica de 2,67 W/m.K, es decir el panel propuesto en este trabajo es capaz de aislar 4% más de calor que un panel comercial de gypsum, mismo que obtuvo una conductividad térmica de 2,78 W/m.K.
- En cuanto a la capacidad de aislamiento acústico la propuesta no permitió exceder los 85 decibels permitidos según el Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Reportando un aislamiento acústico de 40% y que además ofrece un 14% más de aislación acústica en comparación al panel de gypsum actualmente existente en el mercado.
- Al realizar pruebas de resistencia a flexión, conforme a la norma UNE EN 13279 – 2:2006, se concluye que el panel propuesto tiene una resistencia de 0,170 N/mm², frente al panel de gypsum con un valor de 0,158 N/mm², determinando la superioridad del panel propuesto en cuanto a resistencia a la flexión se refiere en un 7% frente al panel comercial de referencia.
- Se concluye por tanto que el panel propuesto efectivamente ofrece mejores características además de la aislación de tipo térmico y acústico, así como también mayor resistencia a la flexión que el panel de gypsum actualmente dominante en el mercado.
- En cuanto al costo de producción se obtuvo de 0,79 centavos de dólar, mismo que se deriva del costo que se asumiría al añadir los componentes aislantes que son el PET y el EPS junto con el bicarbonato de sodio, componentes que le permiten brindar las características de aislación térmica y acústica requeridas en el mercado para aplicaciones puntuales, siendo su costo a escala de una plancha estándar de gypsum de un valor de 35,26 USD.

RECOMENDACIONES

- Verificar adecuadamente la materia prima, en caso de no contar con características establecidas, se debe evitar su uso en la elaboración del panel, debido a que puede alterar la estructura tanto interna como superficial del mismo.
- Las cantidades de material a utilizar en la elaboración del panel, deben ser pesadas correctamente en las dosificaciones optimizadas con el fin de no tener desperdicios o faltantes al momento de vaciar al molde, en este mismo proceso se debe calibrar la balanza para evitar contratiempos.
- No exceder ni minimizar el tiempo de secado, si se excede, el panel presenta un color amarillento. Si se minimiza, se presentan roturas por la presencia de humedad. Es importante dejar secar el panel por espacio de una hora a temperatura ambiente, antes de ser sometido al proceso de secado en estufa.
- Para las pruebas acústicas, es necesario revisar la caja y si existe algún defecto en la misma que pueda alterar los valores. Se debe realizar la prueba varias veces obteniendo así mejores resultados, así mismo verificar la calibración y la estabilidad del sonómetro al momento de realizar las pruebas más aun cuando se presentan los picos significantes.
- En las pruebas de conductividad térmica, se debe realizar un promedio de temperatura, ya que se utilizan cuatro termómetros y cada uno de ellos marca diferentes datos, esto con la finalidad de obtener resultados adecuados, de igual manera el tiempo de exposición, en plancha caliente, del panel tanto el propuesto como el de gypsum, debe ser en el mismo rango de tiempo y la plancha debe establecerse a una misma temperatura.
- Es importante también realizar pruebas con diferente material para cobertura con la finalidad de que el panel tenga igual o mayor resistencia a la flexión.
- Se recomienda para futuras investigaciones, estudiar estos componentes en otros elementos constructivos como morteros, ladrillos, entre otros, con la finalidad de crear alternativas sostenibles amigables con el medio ambiente, reciclables, económicas y así poder potenciar la matriz productiva de la ciudad de Loja.

BIBLIOGRAFÍA

- Acústica. (2003). Aislamiento acústico. Retrieved in June 23, 2019, de <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html>
- AFELMA. (2015). *GUÍA DE LAS LANAS MINERALES AISLANTES*. Retrieved from <https://www.fachadasate.com/wp-content/uploads/2015/10/Gu--a-de-las-lanas-minerales-aislanes.pdf>
- Alconz Ingala, W. P. (2006). MATERIALES DE APOO DIDACTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (GUIA DE LAS PRACTICAS DE CAMPO Y NORMAS DE CALIDAD).
- Ambiente, M. del. (2015). Ecuador promueve la Eficiencia Energética a nivel nacional | Ministerio del Ambiente. Retrieved March 26, 2019, from <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-promueve-la-eficiencia-energetica-a-nivel-nacional/>
- Ambiente, S. del M. (2018). ¿Qué es el Polietileno - Tereftalato? Retrieved March 27, 2019, from http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato
- ANAPE. (2017). El EPS en el Medioambiente. Retrieved from http://www.anape.es/pdf/El_EPS_en_el_Medioambiente.pdf?publicacion=El_Poliestireno_Expandido_y_el_Medioambiente
- Aracayo Curo, S. Y. (2015). ULTIMA TENDENCIA DE MATERIALES EN LA CONSTRUCCION.
- Área Tres. (2017). Ventajas y desventajas de la construcción en seco, una tendencia que crece en Mendoza - Revista Área Tres. Retrieved August 16, 2019, from <http://revistaareatres.com.ar/ventajas-desventajas-la-construccion-seco-una-tendencia-crece-mendoza/>
- Arquitectura Sostenible. (2017). Elegir materiales de construcción sostenibles: 5 claves a tener en cuenta | Arquitectura Sostenible. Retrieved June 23, 2019, from <https://arquitectura-sostenible.es/elegir-materiales-construccion-sostenibles-5-claves-cuenta/>
- Arrevol. (2018). Arrevol Arquitectos: 7 materiales reciclados para la construcción de tu vivienda. Retrieved July 14, 2019, from <https://www.arrevol.com/blog/7-materiales-productos-reciclados-para-la-construccion-de-tu-vivienda>
- Asociación de Ciencias Ambientales. (2015). Eficiencia energética de la vivienda. Retrieved March 26, 2019, from <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/conoce-la-energia-de-tu-vivienda/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-de-la-vivienda>
- Cano, M. P. (2017). *AISLANTES TÉRMICOS. CRITERIOS DE SELECCIÓN POR REQUISITOS ENERGÉTICOS*. Retrieved from http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2015). *Resistencia de Materiales*. Barcelona, España: CIMNE.

- Crespo Escobar, S. (2013). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Ecu.
- Daniel. (2016). *Materiales de Construcción Renovables e Inovadores*. Retrieved November 5, 2019, from <http://cosntruccion.blogspot.com/>
- Dazne, A. (2014). ECOboard: Tableros hechos con material agrícola reciclado. Retrieved July 9, 2019, from <https://blog.is-arquitectura.es/2014/08/19/paneles-ecologicos-hechos-con-agrofibra/>
- De Cristóforo, N. (2014). *MADERA LAMINADA*. La Plata, Argentina.
- DECRETO EJECUTIVO 2393. (1986). Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. *IESS*, 94.
- DETEA S.A. (2018). Últimas tendencias en construcción 2018 - DETEA. Retrieved May 26, 2019, from <http://www.detea.es/ultimas-tendencias-en-construccion-2018/>
- Eficiencia Energética - OLADE. (2014). Retrieved February 20, 2019, from <http://www.olade.org/eficiencia-energetica/>
- Enciclopedia de Ejemplos. (2019). *Materiales de Construcción*. Retrieved May 26, 2019, from <https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-materiales-de-construccion/>
- EUROCASTALIA. (2018). Los elementos de una casa que ahorra. Retrieved March 26, 2019, from <http://www.lacasaqueahorra.org/la-vivienda-eficiente/los-elementos-de-una-casa-que-ahorra>
- European Acústica. (2018). Acústica y sostenibilidad. Retrieved June 23, 2019, from <https://www.europeanacustica.com/aislamiento-acustico/acustica-y-sostenibilidad>
- Ferrández-García, C. E., Ferrández-García, M. T., Ferrández-Villena, M., Andreu-Rodríguez, J., & García-Ortuño, T. (2016). *Estudio de los usos del almidón en la construcción*.
- Flores, A. (2011). Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones (actualizado). Retrieved February 21, 2019, from <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>
- Garcí, M., & Salgado, F. (2007). *Reciclado de PET Alternativas de comercialización Metodología aplicada al Diseño Industrial Cátedra Galán*. Retrieved from <http://www.arpet.org/docs/Reciclado-de-PET-Alternativas-de-comercializacion-UBA.pdf>
- Gómez Pineda, C. (2013). La importancia de las pruebas mecánicas estándares de materiales. Retrieved September 19, 2019, from <http://blog.udlap.mx/blog/2013/07/estandaresdemateriales/>
- González, P. (2015). Poliestireno Extruido, (4), 6–8. Retrieved from https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/12-10-04_Jornada_sobre_Materiales_Aislantes_y_Eficiencia_Energética_en_los_Edificios/Poliestireno-extruido-AIPEX-fenercom-2012
- Grande Vela, M. (2014). ¿Cómo perjudica a la salud la falta de aislamiento en nuestra casa? · Vivienda Saludable. Retrieved November 14, 2018, from <https://www.viviendasaludable.es/confort-bienestar/aislamiento-termico/como-perjudica-a-la-salud-la-falta-de-aislamiento-en-nuestra-casa>
- Gutiérrez de López Libia. (2003). *CAPÍTULO 5 LA MADERA INTRODUCCIÓN*.

- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia. Retrieved from http://bdigital.unal.edu.co/6167/20/9589322824_Parte6.pdf
- Ibañez, J. (2017). CONSTRUCCIONES LIVIANAS UNA NUEVA TENDENCIA • Construcciones Gomo. Retrieved August 16, 2019, from <http://www.construccionesgomo.com/construcciones-livianas-una-nueva-tendencia/>
- Inarquia. (2018). Aislantes térmicos ecológicos, beneficios y tipos | Inarquia. Retrieved November 5, 2019, from https://inarquia.es/index.php?option=com_k2&view=item&id=2102:aislante-termico-ecologico&Itemid=699&utm_source=newsletter_447&utm_medium=email&utm_campaign=financiacion-rehabilitacion-y-autoconsumo-aislantes-ecologicos-casas-hechas-con-contenedores
- Jutglar i Banyeras, L. (1998). *Aislamiento térmico*. CEAC.
- Merida, S. (2015). Materiales de construcción livianos - La nueva tendencia. Retrieved August 16, 2019, from <https://www.gogetit.com.pa/blog/materiales-de-construccion-livianos/>
- Navarro, J. (2018). Qué es Drywall (Durlock Placas de Yeso) » Definición y Concepto. Retrieved May 27, 2019, from <https://www.definicionabc.com/general/drywall.php>
- Placo. (2018). Soluciones constructivas en yeso, 126. Retrieved from https://www.placo.es/system/files/download_files/systems/man_yesos_es.pdf
- Raffino, M. (2015). Control de Calidad: Concepto, Importancia y Métodos. Retrieved February 20, 2019, from <https://concepto.de/control-de-calidad/>
- Red Verde. (2018). Aislantes térmicos ecológicos, beneficios y tipos. Retrieved November 14, 2018, from <http://www.redverde.es/2018/01/aislantes-termicos-ecologicos-beneficios-y-tipos/>
- Reinozo Salinas, N. I. (2018). *Desarrollo de un composite de matriz polimérica con refuerzos de fibra de madera de pino*.
- Rodríguez Cabrera, J. (2017). *Elaboración de Morteros con Adición de Polímeros (PET)*. Universidad Católica de Cuenca . Retrieved from [http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/8069/1/CABRERA R. JOSÉ S..pdf](http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/8069/1/CABRERA_R._JOSÉ_S..pdf)
- Rodríguez, J. (2014). *Introducción a la Termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería*. México: Universidad Tecnológica Nacional. Retrieved from [http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso Mabe Termo/Introducción a la Termodinamica.pdf](http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso_Mabe_Termo/Introducción_a_la_Termodinamica.pdf)
- Salazar López, B. (2016). Gestión y Control de Calidad - Ingeniería Industrial. Retrieved February 20, 2019, from <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestión-y-control-de-calidad/>
- San Fratello, Virginia; Rael, R. (2015). COOL BRICK. Retrieved May 26, 2019, from <http://www.emergingobjects.com/2015/03/07/cool-brick/>
- Sánchez, J. F. (2015). Aislantes ecológicos de origen vegetal. Retrieved November 5,

- 2019, from <https://madridarquitectura.com/38-los-aislantes-ecologicos-ii-de-origen-vegetal/>
- Serrano, P. (2015). Bioconstrucción: materiales saludables y sostenibles. Retrieved July 8, 2019, from <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medio-ambiente/bioconstruccion-materiales-saludables-y-sostenibles/>
- Shawyer, M., & Medina, A. (2005). El uso de hielo en las pequeñas embarcaciones de pesca. Roma: FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/y5013s/y5013s00.htm#Contents>
- Shipp, P. (2015). ASTM International - Una Parte Esencial. Retrieved October 4, 2019, from https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPMA15/businesscase_spma15.html
- SIEM. (2015). Características construcción sostenible y materiales. Retrieved July 8, 2019, from <https://www.siemservicios.com/caracteristicas-de-la-construccion-sostenible-y-principales-materiales/>
- Stepien, A., & Barnó, L. (2014). Breve historia del aislamiento térmico. Retrieved February 21, 2019, from <http://aislamientosostenibilidad.es/del-homo-habilis-al-homo-sapiens-breve-historia-del-aislamiento-termico/>
- Sy Corvo, H. (2019). Costo unitario: en qué consiste, cómo se calcula y ejemplos. Retrieved May 17, 2019, from <https://www.lifeder.com/costo-unitario/>
- Tejela Juez, J., San, T., & Iglesias, M. (2010). *Impermeabilización y aislamiento Técnicas de aislamiento térmico y acústico Tercera edición*. Retrieved from www.fundacionlaboral.org
- UNE-EN 13279-2. (2006). *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción*. Retrieved from http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/construccion/Materiales/webmat/Asignatura/bibliografia/UNE-EN_13279-2_2006.pdf
- Velázquez Rodríguez, M. (2015). *MATERIALES AISLANTES SOSTENIBLES*. Retrieved from http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/4159/TFGUEX_2015_Velazquez_Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- YESAMSA. (2013). El Yeso | Yesamsa. Retrieved July 10, 2019, from <http://www.yesamsa.es/el-yeso/>

ANEXOS

Anexo 1: Cálculo del volumen y cantidad de mezcla necesaria

Volumen:

Ecuación N° 1: $V = L \times W \times H$

$$V = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$$

$$V = 100 \text{ cm}^3$$

Para determinar la cantidad de mezcla:

Densidad del yeso: 2.32 gr/cm^3

Densidad de agua: 1 gr/cm^3

Ecuación N° 2: $(\text{Peso de yeso} \times \text{densidad del yeso}) + (\text{Peso } H_2O \times \text{densidad de } H_2O)$

$$(0.5 \times 2.32) + (0.5 \times 1) = 1.66 \text{ gr/cm}^3$$

$$1.66 \text{ gr/cm}^3 \times 100 \text{ cm}^3 = 166 \text{ gr}$$


Para Moldes de 26,8 x 16,7

Volumen = 447,56

Mezcla necesaria:

$$1.66 \text{ gr} \times 447,56 = 742,95$$

Anexo 2: Manual de procedimiento para la elaboración del panel

	PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN Y OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA	Nº: 1
		Fecha: OCT 2019
		Pág.: 1

<p>1. Objetivo Seleccionar y Obtener materia prima adecuada.</p> <p>2. Alcance Procedimiento aplicable a la selección y obtención de materia prima necesaria para la elaboración de módulos.</p> <p>3. Responsable Persona encargada del proyecto</p> <p>4. Ejecutor Persona o personas encargadas de la selección, obtención y preparación de materia prima</p> <p>5. Materiales - Fundas Plásticas</p> <p>6. Descripción Selección de la materia prima: yeso, PET, EPS, para su adquisición.</p> <p>6.1 Se revisa las características del yeso con requerimientos como: malla fina y el porcentaje de pureza.</p> <p>6.2 Para la selección del PET es necesario, seleccionar aquellas botellas que sean transparentes y en buen estado físico.</p> <p>6.3 Para el EPS, se debe seleccionar en planchas u otra forma, deben encontrarse en buen estado sin presentar manchas en su superficie.</p> <p>6.4 La obtención de la materia prima se la puede realizar mediante recolección o compra directa a recicladores.</p> <p>7. Registro 7.1 Registrar la cantidad adquirida de cada material. 7.2 Registrar hoja de material.</p>
--

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Josselyn Lalangui	Dra. Diana Guaya	Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL LAVADO Y SECADO
DEL PET**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 2

1. Objetivo

Lavar y secar el PET.

2. Alcance

Procedimiento aplicable al lavado y secado de las botellas plásticas.

3. Responsable

Persona encargada del proyecto.

4. Ejecutor

Persona o personas encargadas del lavado y secado de las botellas.

5. Materiales

- Botellas plásticas
- Agua
- Franelas

6. Descripción

6.1 Se desprenden etiquetas y tapas de cada botella

6.2 Se corta la parte superior de la botella con la finalidad de que se facilite el lavado.

6.2 Se lava las botellas con agua y jabón dejando totalmente limpias.

6.3 Con la ayuda de una franela se procede a secar cada botella.

7. Registro

Registrar hoja de material

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Josselyn Lalangui	Dra. Diana Guaya	Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL TRITURADO DEL
PET**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 3

1. Objetivo

Triturar el PET en pequeños pedazos.

2. Alcance

Procedimiento aplicable al triturado del PET.

3. Responsable

Persona encargada del proyecto.

4. Ejecutor

Persona o personas encargadas del triturado del material.

5. Materiales

- Recipientes de vidrio o plástico

6. Descripción

6.1 Las botellas son cortadas en finas tiras.

6.2 Una vez las tiras están separadas, se cortan de manera manual en pequeños pedazos de dimensiones entre 2 mm hasta 5mm.

7. Registro

Registrar hoja de material.

Elaborado por:

Revisado por:

Aprobado por:

Josselyn Lalangui

Dra. Diana Guaya

Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL TRITURADO DEL
EPS**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 4

1. Objetivo

Triturar el EPS, para obtener en pequeñas granulometrías.

2. Alcance

Procedimiento aplicable al triturado del EPS

3. Responsable

Persona encargada del proyecto

4. Ejecutor

Persona o personas encargadas del triturado del material

5. Materiales

- Recipiente de vidrio o plástico
- Rallador

6. Descripción

6.1 Se divide las planchas de EPS en pedazos pequeños, de esta manera se facilita el proceso.

6.2 Con la ayuda de un rallador manual de cocina se procede a rallar el EPS y reducirlo a granulometría de 0,1 mm a 2 mm.

7. Registro

Registrar hoja de material.

Elaborado por:

Revisado por:

Aprobado por:

Josselyn Lalangui

Dra. Diana Guaya

Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL PESADO DE
MATERIAL**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 5

1. Objetivo

Pesar el material

2. Alcance

Procedimiento aplicable al pesado del material

3. Responsable

Persona encargada del proyecto

4. Ejecutor

Persona o personas encargadas del pesado de material.

5. Materiales

- Balanza
- Recipientes
- Yeso
- Agua
- EPS
- PET
- Bicarbonato
- Espátula

6. Descripción

6.1 Calibrar y encerar la balanza.

6.2 Pesar el recipiente en el cual se pondrá cada material.

6.3 Pesar el material, destarando el peso del recipiente empleado.

7. Registro

Registrar hoja de material.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Josselyn Lalangui	Dra. Diana Guaya	Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL MEZCLADO DE
MATERIAL**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 6

1. Objetivo

Mezclar materia prima.

2. Alcance

Procedimiento aplicable al mezclado del material pesado para la elaboración de los módulos.

3. Responsable

Persona encargada del proyecto

4. Ejecutor

Persona o personas encargadas de la elaboración de los módulos.

5. Materiales

- Recipientes de vidrio
- Espátula
- Varilla de vidrio
- Yeso
- Agua
- PET
- EPS
- Bicarbonato

6. Descripción

6.1 Recipiente 1: con una espátula se mezcla primero yeso y EPS.

6.2 Recipiente 2: se mezcla agua, bicarbonato y PET.

6.3 La mezcla del recipiente 2 en el recipiente 1, removiendo constantemente con la varilla de vidrio.

7. Registro

Registrar hoja de material.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Josselyn Lalangui	Dra. Diana Guaya	Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL MOLDEADO DE LA
MEZCLA**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 7

1. Objetivo

Moldeado de mezcla obtenida.

2. Alcance

Procedimiento aplicable al moldeado.

3. Responsable

Persona encargada del proyecto

4. Ejecutor

Persona o personas encargadas de la elaboración de módulos.

5. Materiales

- Moldes de madera
- Papel para cobertura

6. Descripción

6.1 En el molde se coloca el papel de cobertura.

6.2 La pasta obtenida en el proceso de mezclado, se vierte en los moldes y se cubre con papel kraft.

6.3 Se toma el tiempo de fraguado, y se aplica presión sobre el molde. Se deja secar al ambiente por unas horas.

7. Registro

7.1 Registrar el tiempo de fraguado.

7.2 Registrar el peso de la placa antes del secado.

Elaborado por:

Revisado por:

Aprobado por:

Josselyn Lalangui

Dra. Diana Guaya

Dra. Diana Guaya



**PROCEDIMIENTO PARA
EL SECADO DEL
MÓDULO ELABORADO**

Nº: 1

Fecha: OCT 2019

Pág.: 8

8. Objetivo

Secar adecuadamente del módulo elaborado.

9. Alcance

Procedimiento aplicable al secado de la placa o módulo.

10. Responsable

Persona encargada del proyecto

11. Ejecutor

Persona o personas encargadas de la elaboración de módulos.

12. Materiales

- Estufa
- Módulo o placa.

13. Descripción

6.1 Se coloca la placa dentro de la estufa a temperatura entre 80°C – 90°C, por 4 horas 30 minutos, luego dejar a temperatura ambiente.

6.2 Transcurrido el tiempo necesario, se procede a sacar la placa de la estufa y desmoldar.

6.3 Se toma el peso de la placa.

14. Registro

Registrar el peso de la placa después del secado.

Registrar la humedad de la placa.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Josselyn Lalangui	Dra. Diana Guaya	Dra. Diana Guaya

Anexo 3: Diseño Experimental

OPTIMIZACIÓN DE MATERIALES EMPLEADOS (%)

Placas	YESO	H2O	PET	EPS	MgSO4	K2SO4	DETREX	ESPUMA DE JABÓN	AGUA OXIGENADA	ALMIDÓN DE MAÍZ	BICARBONATO DE SODIO	Tiempo de fraguado	Peso antes del secado	Peso después del secado	Humedad
1	50	50	x	x	x	x	x	x	x	x	x	26'	139,23	98,25	29,43
2	51.20	47.59	x	x	x	x	x	x	x	x	x	23'30"	134,6	92,84	31,03
3	53.01	45.18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	23'12"	135,44	93,47	30,99
4	60	40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	21'46"	135,94	100,7	25,92
5	57	43	0.5	0.5	x	x	x	x	x	x	x	20'09"	133,59	92	31,13
6	57	43	1	1	x	x	x	x	x	x	x	23'16"	121,4	94,1	22,49
7	57	43	0.59	0.41	x	x	x	x	x	x	x	23'22"	138,8	104,14	24,97
8	57	43	1	0.30	x	x	x	x	x	x	x	22'46"	133,85	89,84	32,88
9	57	43	2	0.25	x	x	x	x	x	x	x	22'50"	125,13	79,36	36,58
10	57	43	1.20	0.25	x	x	x	x	x	x	x	23'48"	150,3	108,38	27,89
11	57	43	1	0.25	0,5	x	x	x	x	x	x	19'	134,9	108	19,58
12	57	43	1	0.25	1	x	x	x	x	x	x	19'14"	138,8	104,14	24,97
13	57	43	1	0.25	1	x	x	x	x	x	x	19'10"	133,85	92,33	31,02
14	57	43	1	0.25	1	x	x	x	x	x	x	19'	125,13	79,36	36,58
15	57	43	1	0.25	0,5	0,3	x	x	x	x	x	6'39"	141,83	80,25	43,42
16	57	43	1	0.25	0,5	0,5	x	x	x	x	x	6'56"	137,57	80,14	41,75
17	57	43	1	0.25	0,6	1	x	x	x	x	x	7'23"	135,55	93,46	31,05
18	57	43	1	0.25		1	x	x	x	x	x	5'12"	136,48	98,83	27,59
19	57	43	1	0.25	0.5	x	0.3	x	x	x	x	3'42"	129,4	90,12	30,36
20	57	43	1	0.25	0.5	x	0.5	x	x	x	x	3'12"	150,3	90,06	40,08
21	57	43	1	0.25	x	x	x	0.3	x	x	x	4'55'	155,395	92,24	40,64
22	57	43	1	0.25	x	x	x	0.8	x	x	x	4'22"	156,37	93,15	40,43

23	57	43	1	0.25	x	x	x	x	3	x	x	1:45:39	146,985	108,21	26,38
24	57	43	1	0.25	x	x	x	x	x	0.5	x	13'32"	156,265	127	18,73
25	57	43	1	0.25	x	0.5	x	x	x	x	0.3	15'38"	111,39	94,56	15,11
26	57	40	1	0.25	x	0.5	x	x	x	x	0.5	6'31"	166,68	73,37	55,98
27	57	40	1	0.25	x	x	x	x	x	x	1	20'05"	157,3	95,23	39,46
28	57	40	1	0.25	x	x	x	x	x	x	0.5	6'12"	165,12	72,58	56,04

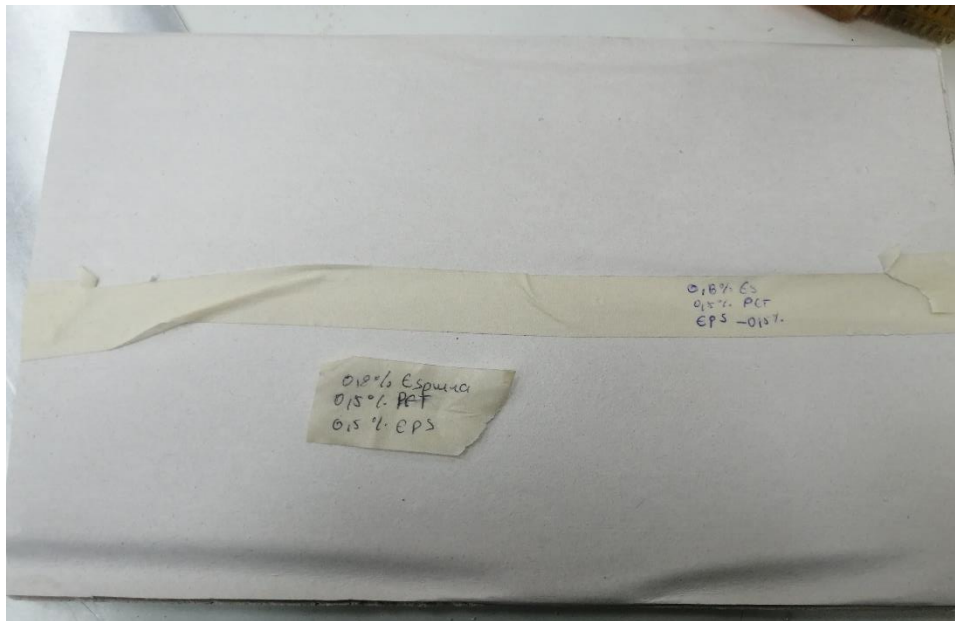
Anexo 4: Paneles 10 x10 cm para optimizaciones



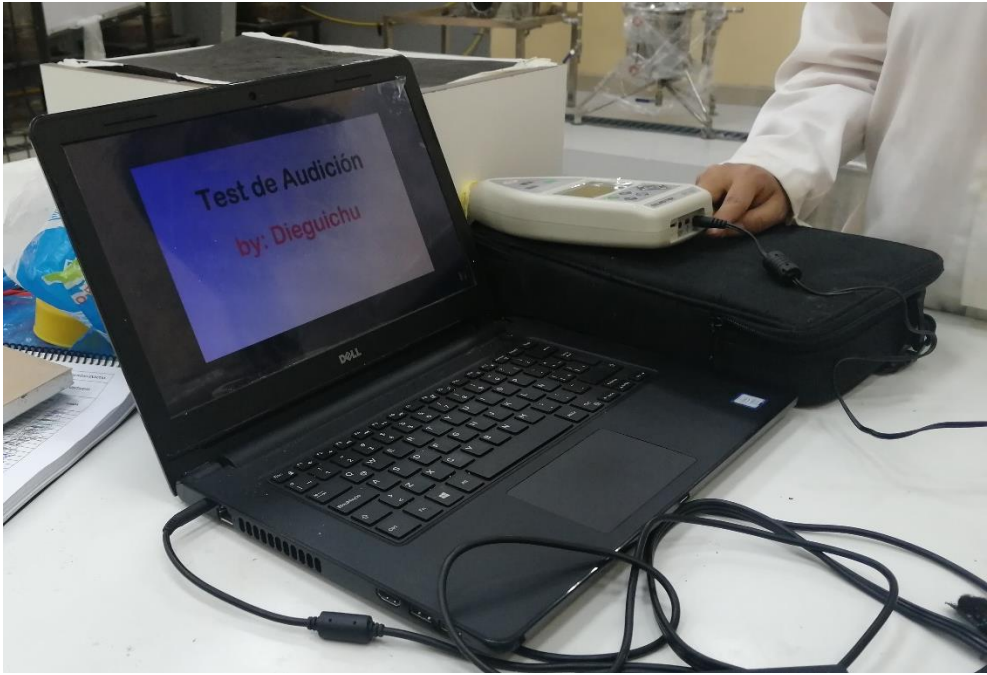


Anexo 5: Panel 26,8 x 16,7 cm





Anexo 6: Pruebas Acusticas





Anexo 7: Pruebas térmicas



Cálculos de pruebas térmicas

Para el panel propuesto

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 102,7 ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 375,85$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 37,45 ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 310,6$$

$$\Delta T_{\text{int}} = T_{\text{hotface}} - T_{\text{coldface}}$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 375,85^{\circ}\text{k} - 310,6^{\circ}\text{k}$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 65,25^{\circ}\text{k}$$

$$Q = 600 \text{ W}$$

$$A = 0,044756 \text{ m}^2$$

$$\Delta X_{\text{int}} = 0,013 \text{ m}$$

$$T_{\text{hotface}} = 102,7 ^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{coldface}} = 40 ^{\circ}\text{C}$$

$$K_{\text{int}} = \frac{\Delta X_{\text{int}} * Q}{\Delta T_{\text{int}} * A_{\text{int}}} = \frac{0,013 \text{ m} * 600 \text{ W}}{65,25^{\circ}\text{k} * 0,044756 \text{ m}^2} = 2.67 \text{ W/mk}$$

Para el panel de Gypsum

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 102,7 ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 375,85$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 40 ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = 313,15$$

$$\Delta T_{\text{int}} = T_{\text{hotface}} - T_{\text{coldface}}$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 375,85^{\circ}\text{k} - 313,15^{\circ}\text{k}$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 62,7^{\circ}\text{k}$$

$$A = 0,044756 \text{ m}^2$$

$$\Delta X_{\text{int}} = 0,013 \text{ m}$$

$$T_{\text{hotface}} = 102,7 ^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{coldface}} = 40 ^{\circ}\text{C}$$

$$K_{\text{int}} = \frac{\Delta X_{\text{int}} * Q}{\Delta T_{\text{int}} * A_{\text{int}}} = \frac{0,013 \text{ m} * 600 \text{ W}}{62,7^{\circ}\text{k} * 0,044756 \text{ m}^2} = 2,78 \text{ W/mk}$$

Cálculo resistencia a la flexión

Para el panel B1

$$P_F = 0,00234 \times P$$

$$P_F = 0,00234 \times 63,047 \text{ N}$$

$$P_F = 0,148 \text{ N/mm}^2$$

Para el panel de gypsum

$$P_F = 0,00234 \times P$$

$$P_F = 0,00234 \times 76,067 \text{ N}$$

$$P_F = 0,178 \text{ N/mm}^2$$

Anexo 9: Costo Detallado

Costo Unitario del Panel Propuesto con medidas de 26,8 x 16,7 cm							
Descripción	Cantidad de material adquirido	Unidad de medida	Valor (USD)	Cantidad de material empleado	Unidad de medida	Valor (USD)	
MATERIA PRIMA DIRECTA	Yeso	25000	gr	13,5	423,48	gr	0,23
	PET	1	Unidad (1 lt)	0,03	7,43	gr	0,002
	EPS	1	Unidad (50x50 cm)	0,25	1,85	gr	0,008
	Bicarbonato de sodio	1000	gr	40,77	3,71	gr	0,15
	Agua potable	1	m3	1,77	297,18	gr	0,0005
	Papel Kraft	1	Pliego (110x77 cm)	0,25	26,8 x 16,7	cm	0,025
	Cartón Cartulina	1	Pliego (65x77 cm)	0,2	26,8 x 16,7	cm	0,025
		Cantidad de energía	Unidad de medida	Valor de 1 kWh (USD)			
	Energía para el secado	10,32	kWh	0,09953			0,205
	MATERIA PRIMA INDIRECTA : Equipos y utensilios		Cantidad de material adquirido	Unidad de medida	Valor (USD)	Cantidad de material empleado	Unidad de medida
Moldes		6	Unidades (30x20 cm)	12	1	unidad	0,06
Papel encerado		1	Rollo (7,62 m)	2,3	30	cm	0,08
Vasos de precipitado					3	600 ml	0,00009
Varilla					1		0,000018
Espátula					1		0,000013
Balanza analítica					1		0,005743
TOTAL CON MATERIA PRIMA DIRECTA							0,79

Depreciación y costo de materiales y equipos empleados

Equipos y utensilios indirectos empleados en la elaboración de los paneles 26,8 x 16,7 cm					
Equipo / Material	Cantidad	Costo (USD)	Vida útil (años)	Valor depreciable anual (USD)	Costo por 30 minutos de uso
Balanza digital analítica	1	1118,88	10	100,89	0,005743
Vasos de precipitación	3	10,5	5	1,68	0,00009
Varilla	1	2	5	0,32	0,000018
Espátula	1	1,5	5	0,24	0,000013
Total					0,00586

Costo del panel a medias estándar

Costo unitario del panel propuesto a dimensión Estándar (1,22 x 2,44 m)				
Descripción		Cantidad de material empleado	Unidad	Valor
MATERIA PRIMA DIRECTA	Yeso	26679,24	gr	14,49
	PET	468,09	gr	0,126
	EPS	116,55	gr	0,504
	Bicarbonato de sodio	233,73	gr	17,01
	Agua Potable	18722,34	gr	0,033
	Papel Kraft	1,22 x 2,44	m	1,500
	Cartón cartulina	1,22 x 2,44	m	1,600
TOTAL				35,263