



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

**“Evaluación térmica y acústica de un aislante
fabricado con Astilla del descortezado de eucalipto,
Arcilla y Extracto de Nopal”**

Por

Diego Alberto Alarcón Moya

Memoria para optar al título de ingeniero constructor y grado
académico de licenciado en ciencias de la construcción.

Profesor Guía: Sr. Andrés Jamet Aguilar
Profesor Coref.: Sr. Alberto Moya Arredondo

Noviembre, 2019

Dedico esta memoria a mis padres Marcelo y María Olga, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradecimientos

Agradecer a mi familia en general, quienes me han entregado un constante apoyo y palabras de aliento para poder superar las distintas dificultades que se presentaron durante toda mi etapa académica. En especial agradezco a mis padres Marcelo Alarcón y María Olga Moya, personas de gran sabiduría que me dieron las distintas oportunidades en mi vida, por ser unos pilares muy importantes para mi desarrollo, por siempre confiar y darme su apoyo incondicional en mi crecimiento personal, infinitas gracias por tanto amor.

Agradezco los amigos que me entregó la universidad, que estuvieron cada año, en cada ramo, en cada certamen, formando un grupo de trabajo que sin lugar a dudas fue la motivación y apoyo que se necesitó para lograr los objetivos.

Gracias a la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso, a todos los profesores, secretarías y laboratoristas quienes me entregaron los distintos conocimientos, por su profesionalismo y dedicación.

Índice general

Agradecimientos	3
Índice de Ilustraciones.....	7
Índice de tablas.....	9
Resumen.....	10
Abstract	11
Capítulo 1: Antecedentes Generales	12
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2.- Objetivos.....	15
1.2.1.- General	15
1.2.2.- Específicos.....	15
1.3 Alcances.....	16
1.4 Esquema metodología de la investigación.....	17
Capítulo 2: Generalidades y Conceptos Técnicos Básicos.....	18
2.1 Introducción	19
2.2 Eficiencia energética en Chile	21
2.3 Reglamentación térmica.....	22
2.4 Confort Térmico	23
2.5 Aislación térmica.....	24
2.5.1 Coeficiente de transmisión térmica (Ke)	25
2.5.2 Resistencia térmica (R).....	25
2.5.3 Transmitancia térmica (U).....	26
2.6 Aislación acústica	26
2.6.1 Confort acústico	26
2.6.2 Acondicionamiento acústico	27
2.7 Propiedades de aislantes sintéticos existentes.	28
2.8 Propiedades de aislantes naturales existentes.....	30
2.9 Plantaciones de eucalipto en Chile	31
2.9.1 Cantidad de residuos de corteza.....	32
2.9.2 Propiedades del eucalipto	32
2.10 Arcilla	33

2.10.1 Plasticidad de la Arcilla	33
2.11 Propiedades del Nopal.	34
2.12 Manejabilidad.....	36
Capítulo 3: Metodología de la investigación.....	37
3.1 Definición de variables.....	38
3.2 Planificación de la investigación.....	39
3.3 Fabricación de moldes para probetas de prueba	39
3.4 Recopilación de materias primas.	40
3.4.1 Preparación de extracto de nopal.....	41
3.5 Proporciones.....	41
3.6 Definición de manejabilidad.....	42
3.7 Rúbrica de manejabilidad.	43
3.8 Preparación de la mezcla	44
3.9 Análisis de rúbrica de manejabilidad.....	45
3.10 Elaboración de moldes para aislante a ensayar	46
3.11 Confección del panel aislante	47
3.12 Metodología de los ensayos.....	48
3.12.1 Ensayo de Viscosidad.....	48
3.12.2 Ensayo para determinar las propiedades térmicas.....	50
3.12.3 Ensayo para determinar propiedades acústicas	51
Capítulo 4: Presentación y análisis de resultados.....	53
4.1 Caracterización de los materiales	54
4.1.1 Granulometría Arcilla	54
4.1.2 Límites de consistencia.....	55
4.1.3 Distribución de tamaños en la Astilla.....	58
4.1.4 Determinación de humedad de la Astilla	59
4.1.5 Extracción y cantidad de extracto de nopal.....	60
4.1.6 Determinación de la Viscosidad	61
4.2 Resultados de los ensayos térmicos.....	61
4.2.1 Calculo de potencia entregada.....	64
4.2.2 Calculo de transmisión térmica y resistencia térmica	65
4.2.3 Cálculo de conductividad térmica.....	65

4.3 Análisis de evaluación térmica	66
4.3.1 Generalidades	66
4.3.2 Análisis de resultados térmicos a aislantes espesor 30 mm.	67
4.3.3 Análisis de resultados térmicos a aislantes espesor 40 mm.	69
4.3.4 Análisis de resultados térmicos a aislantes espesor 70 mm.	71
4.4 Análisis del cumplimiento de la reglamentación térmica artículo 4.1.10	73
4.5 Resultados de los ensayos acústicos.	74
4.5.1 Diferencial Acústico de dB.....	76
4.6 Análisis de la evaluación acústica.....	77
4.6.1 Generalidades.....	77
4.6.2 Análisis de los aislantes espesor 30 mm.	77
4.6.3 Análisis de los aislantes espesor 40 mm.	79
4.6.4 Análisis de los aislantes espesor 70 mm.	80
4.6.5 Tabla resumen de datos para determinar mejor dosificación.	81
Capítulo 5: Conclusiones y Futuras Investigaciones.	82
5.1 Conclusiones.	83
5.2 Futuras investigaciones.....	84
Capítulo 6: Bibliografía.	85
6.1 Bibliografía	86
Capítulo 7: Anexos	88
7.1 Anexos	89
7.1.1: Tabla de datos Aislante 30 mm y Dosificación 30/70	89
7.1.2: Tabla de datos Aislante 30 mm y Dosificación 40/60	90
7.1.3: Tabla de datos Aislante A 40 mm y Dosificación 30/70.....	91
7.1.4: Tabla de datos Aislante 40 mm y Dosificación 40/60	92
7.1.5: Tabla de datos Aislante 70 mm y Dosificación 30/70	93
7.1.6: Tabla de datos Aislante 70 mm y Dosificación 40/60	94

Índice de Ilustraciones

Ilustración 2-1. Consumo de energía residencial.....	19
Ilustración 2.2: Pérdida de energía en viviendas.....	20
Ilustración 2.3: Expectativas de demanda de energía en calefacción promedio nacional.....	20
Ilustración 2.4: Distribución por sector de energía consumida.....	21
Ilustración 2.5: Zonas térmicas con su resistencia térmica.....	22
Ilustración 2.6: Zonificación térmica.....	22
Ilustración 2.7: Confort térmico dentro de una vivienda.....	23
Ilustración 2.8: Valores confort acústico.....	27
Ilustración 2.9: Proceso de fabricación aislantes de origen natural.....	30
Ilustración 2.10: Partículas de arcilla rodeadas de dipolos de agua y cationes.....	34
Ilustración 2.11: Planta de nopal.....	35
Ilustración 3.1: Molde de Probetas de Prueba.....	40
Ilustración 3.2: Materiales para construcción de aislante.....	40
Ilustración 3.3: Picado y macerado del nopal.....	41
Ilustración 3.4: Mezcla de los componentes del aislante.....	44
Ilustración 3.5: Desmoldante madera, TOPEX.....	44
Ilustración 3.6: Aislante Fabricado.....	45
Ilustración 3.7: Moldes de probetas a ensayar.....	46
Ilustración 3.8: Medidor digital para madera.....	47
Ilustración 3.9: Betonera utilizada.....	47
Ilustración 3.10: Aislantes fabricados.....	48
Ilustración 3.11: Viscosímetro BROOKFIELD.....	48
Ilustración 3.12: Spin LV-02 en muestra.....	49
Ilustración 3.13: Cámara Térmica del laboratorio de la Universidad.....	50
Ilustración 3.14: Equipo de medición XPLOERER GLX.....	51
Ilustración 3.15: Cámara para ensayo acústico.....	51
Ilustración 4.1: Granulometría promedio de Arcila.....	54
Ilustración 4.2: Curva de Fluidez Muestra 1.....	55
Ilustración 4.3: Curva de Fluidez Muestra 2.....	56
Ilustración 4.4: Curva de Fluidez Muestra 3.....	57
Ilustración 4.5: Granulometría promedio de la Astilla.....	58
Ilustración 4.6: Dimensiones de cortes de nopal.....	60
Ilustración 4.7: Macerado del nopal cortado.....	60
Ilustración 4.8: Diferencia de Temperatura entre las caras espesor 30 mm.....	67
Ilustración 4.9: Resistencia térmica espesor 30 mm.....	68
Ilustración 4.10: Diferencia de Temperatura entre las caras espesor 40 mm.....	69
Ilustración 4.11: Resistencia térmica espesor 40 mm.....	70
Ilustración 4.12: Diferencia de Temperatura entre las caras espesor 70 mm.....	71

Ilustración 4.13: Resistencia térmica espesor 70 mm.	72
Ilustración 4.14: Diferencial acústico espesor 30 mm.	78
Ilustración 4.15: Diferencial acústico espesor 40 mm.	79
Ilustración 4.16: Diferencial acústico espesor 70 mm.	81

Índice de tablas

Tabla 2.1: Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica.	24
Tabla 2.2: Comparación entre los distintos materiales aislantes	29
Tabla 2.3: Coeficientes de conductividad térmica.	30
Tabla 2.4: Superficie de eucaliptos por tipo de propietario	31
Tabla 2.5: Densidad básica (g/cm ³) de eucalipto a distintas edades.	32
Tabla 3.1: Dosificaciones de prueba.	42
Tabla 3.2: Rubrica de manejabilidad.	43
Tabla 3.3: Revisión de rúbrica de manejabilidad.	45
Tabla 4.1: Resumen Granulometría de la Arcilla.	54
Tabla 4.2: Límites de consistencias Muestra 1.	55
Tabla 4.3: Límites de consistencias Muestra 2.	56
Tabla 4.4: Límites de consistencias.	57
Tabla 4.5: Granulometría Astilla.	58
Tabla 4.6: Viscosidad Extracto de nopal.	61
Tabla 4.7: Resumen de datos aislación térmica.	62
Tabla 4.8: Resumen de datos aislación térmica.	62
Tabla 4.9: Resumen de datos aislación térmica.	62
Tabla 4.10: Resumen de datos aislación térmica.	62
Tabla 4.11: Resumen de datos aislación térmica.	62
Tabla 4.12: Resumen de datos aislación térmica.	63
Tabla 4.13: Resumen de datos aislación térmica.	63
Tabla 4.14: Resumen de datos aislación térmica.	63
Tabla 4.15: Resumen de datos aislación térmica.	63
Tabla 4.16: Resistencia térmica y transmisión térmica para espesor 30mm.	65
Tabla 4.17: Resistencia térmica y transmisión térmica para espesor 40mm.	65
Tabla 4.18: Resistencia térmica y transmisión térmica para espesor 70mm.	65
Tabla 4.19: Conductividad térmica para espesor 30mm.	66
Tabla 4.20: Conductividad térmica para espesor 40mm.	66
Tabla 4.21: Conductividad térmica para espesor 70mm.	66
Tabla 4.22: Revisión de cumplimiento de requisitos solicitados en reglamentación térmica.	73
Tabla 4.23 Registro de decibeles captados espesor 30 mm.	74
Tabla 4.24: Registro de decibeles captados espesor 40 mm.	75
Tabla 4.25: Registro de decibeles captados espesor 70 mm.	75
Tabla 4.26: Diferencial Acústico.	76
Tabla 4.27: Resultados ensayo acústico espesor 30 mm.	77
Tabla 4.28: Resultados ensayo acústico espesor 40 mm.	79
Tabla 4.29: Resultados ensayo acústico espesor 70 mm.	80
Tabla 4.30: Tabla resumen de datos para determinar mejor dosificación.	81

Resumen

Como es de conocimiento de todos, el consumo de energías fósiles ha ido en aumento durante los últimos años debido principalmente al sector de la edificación y la calefacción utilizada en las viviendas, esto tarde o temprano traerá consecuencias para el planeta y está en cada persona poder aportar para evitar este daño.

En la investigación se desarrolla una nueva manera de aislar las viviendas mediante un aislante en base de astilla de eucalipto, arcilla y extracto de nopal. Este fue confeccionado principalmente para ser utilizados en tabiquerías de muros tanto interiores como exteriores.

Las distintas características de los materiales utilizados en la fabricación de este nuevo aislante, generó buenas condiciones de aislación. Además, de la correcta cohesión de los materiales para poder ser manipulados.

El objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento térmico y acústico de este nuevo aislante, el cual se diseñó en dos diferentes dosificaciones y en 3 espesores distintos (30, 40 y 70 mm.).

Esto fue comparado bajo las mismas condiciones con otro, que ya se encuentra en el mercado, como lo es el poliestireno expandido obteniendo en algunos casos mejores condiciones térmicas, con esto se obtuvieron resistencias térmicas capaces de cumplir con 6 de las 7 zonas térmicas del país.

Mientras que en el ámbito de la aislación acústica tanto el aislante propuesto como el patrón no se obtuvieron buenas características, siendo incluso menores de lo que exigen las normativas vigentes.

La ventaja del aislante diseñado en esta investigación es que tanto las materias primas utilizadas como el proceso de fabricación son amigables con el medio ambiente.

Palabras claves: aislante, astilla de eucalipto, arcilla, extracto de nopal, consumo energético, aislación térmica, aislación acústica.

Abstract

As everyone knows, the consumption of fossil fuels has been increasing in recent years mainly due to the building sector and heating used in housing, this sooner or later will bring consequences for the planet and it is up to each person to contribute to avoid this damage.

In the investigation a new way of isolating the houses is developed by means of an insulator based on eucalyptus splinter, clay and nopal extract. This one was made mainly to be used in partitions of walls so much interiors as exteriors.

The different characteristics of the materials used in the manufacture of this new insulator, generated good conditions of insulation. In addition, the correct cohesion of the materials to be able to be manipulated.

The objective of this research was to determine the thermal and acoustic behaviour of this new insulator, which was designed in two different dosages and in 3 different thicknesses (30, 40 and 70 mm.).

This was compared under the same conditions with another, which is already on the market, as is the expanded polystyrene obtaining in some cases better thermal conditions, with this thermal resistances were obtained capable of meeting 6 of the 7 thermal zones of the country.

While in the field of acoustic insulation both the proposed insulator and the standard were not obtained good characteristics, being even lower than required by current regulations.

The advantage of the insulator designed in this research is that both the raw materials used and the manufacturing process are environmentally friendly.

Key words: insulating, eucalyptus chip, clay, nopal extract, energy consume, thermal insulation, acoustic insulation.

Capítulo 1: Antecedentes Generales

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los sectores más intensivos en el consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes de la industria Chilena es el sector de la edificación, teniendo un consumo de hasta el 25% de las materias primas extraídas de la litósfera y produciendo hasta un 40% de los residuos vertidos a la tierra (Wadel, 2009).

Mientras que en el sector residencial del 26% de la energía consumida por este sector, el 56% es utilizado en la calefacción de viviendas. Los principales combustibles utilizados en calefacción de viviendas son la leña, con un 60% del total del consumo, seguido del gas licuado (17%), electricidad (15%) y gas natural (7%) (BNE,2013). La combustión de estas energías genera emisiones de CO₂ las cuales están afectando a nuestro medio ambiente.

No obstante, el problema ambiental no termina ahí, los materiales de la construcción también generan contaminación, porque el consumo de recursos no renovables y la generación de residuos contaminantes asociados a su fabricación suponen una gran cantidad de impactos ambientales asociados (Wadel, 2009). Según Mercier et al., (2011) la energía utilizada para la fabricación del producto, también conocida como energía gris, está relacionada directamente con el balance de las emisiones de CO₂. De acuerdo con la declaración ambiental de la empresa “Volcán”, una de las empresas que produce paneles de lana mineral, esta genera aproximadamente 4,31 kg de CO₂ por panel de lana mineral producido, siendo en su fabricación el proceso de “fusión en horno” el que más contribuye con estas emisiones. Por lo que es indispensable disminuir el consumo de recursos no renovables debido a la escasez que hay en el mundo y el daño que provoca al medio ambiente su combustión, por ello, la industria de la construcción no puede quedar indiferente a este fenómeno debiendo tomar medidas que disminuyan esta crisis.

En los últimos años el consumo energético en Chile, así como el crecimiento de la población y el aumento de la industrialización, nos obliga a la búsqueda de una mayor eficiencia energética de los sistemas ocupados, por lo que se están llevando a cabo investigaciones buscando posibles combinaciones para obtener sistemas más eficientes que no hemos sido capaces de aprovechar. (Ministerio de Energía, 2013).

Un estudio realizado a viviendas construidas anterior a la reglamentación térmica (2000), nos da cuenta de la mala apreciación que tenemos los chilenos con respecto al confort térmico de nuestras viviendas, por lo que usar materiales de construcción apropiados y así evitar los puentes térmicos, puede significar para una familia un ahorro del 20% en energía o permitir que la vivienda mantenga un mayor tiempo las condiciones de confort interior (Bustamante, 2009).

En el confort térmico intervienen diversos factores como la humedad, temperatura y velocidad del aire al interior de las viviendas, entre otros. Estos factores condicionan la sensación térmica de las personas (Chapple, 2008), por lo que diseñar y construir viviendas que entreguen un mayor confort a sus habitantes podría hacer disminuir los índices de contaminación intra y extra domiciliarios ya que se ahorraría en el consumo de combustibles, junto con disminuir los 58 decibeles que genera la ciudad a tan solo 50 db. los cuales son los aceptables para lograr el concepto de confort acústico (Platzer M, Iñiguez C, Cevo E, & Ayala R, 2007).

Existe una diversidad de materiales, ya sea sintéticos, naturales o de reciclado, que son aptos para mejorar la envolvente de las viviendas, con la consecuente mejora del confort y la reducción de la necesidad de combustibles (Gutiérrez & González, 2012). En términos de capacidad de aislamiento,

todos cuentan con un rendimiento similar, pero pueden presentar diferencias significativas en cuanto a su comportamiento ambiental. (Carabaño, Bedoya, & Ruiz, 2014).

Los materiales aislantes que vienen siendo tradicionales y recurrentes en la construcción son principalmente el poliestireno expandido, la lana mineral, poliuretano expandido, etc. estos cuentan con una conductividad térmica que varía entre 0,027 - 0,09 [W/(m*K)] (CCHC, 2015). Estos materiales poco a poco están siendo sustituidos por aquellos aislantes naturales que ofrecen mejores condiciones de sostenibilidad y ahorro energético (Palomo Cano, 2017). Además, de tener propiedades térmicas similares a los tradicionales oscilando la conductividad térmica entre 0,038 - 0,094 [W/(m*K)]. Es por esto que el desarrollo de nuevos aislantes naturales es una alternativa factible para cualquier país, debido a la preocupación por el medio ambiente y a tener propiedades técnicas similares.

El impacto ecológico de un aislante natural se extiende durante su vida útil, al inicio se encuentra el suministro de materias primas, mientras que una vez terminada su utilización se deben deshacer los residuos generados durante su remoción, al ser un elemento de la naturaleza no emite gases tóxicos para los seres vivos, además de ser un componente biodegradable, dándole una baja huella ecológica. Al elegir un material aislante natural es común que, además de criterios térmicos se quieran considerar criterios medioambientales.(Mercier et al., 2011).

Otros problemas ambientales que se pueden observar es que diferentes industrias de la madera en Chile utilizan el eucalipto como su principal materia prima, es por eso que los aserraderos, plantas de pulpa y papel, así como también la exportación de madera por varias razones requieren el proceso de descortezado. Esto genera una gran cantidad de residuos de la corteza de eucalipto los cuales ocasionan problemas en el manejo, almacenamiento y disposición, generándose grandes volúmenes que pueden provocar incendios. La poca información sobre las características y calidad de la corteza genera que muchas veces sea utilizado para producir energía o dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal (Muñoz, Ballerini, & Gacitúa, 2013).

La corteza de eucalipto tiene propiedades térmicas aceptables ya que la conductividad térmica se encuentra por debajo de 0.07 W/(m*K) (Muñoz et al., 2013), mientras que de las propiedades acústicas no se tiene información nacional y muy poca disponible a nivel internacional(Carlos & Andrea, 2014). En este contexto surge la inquietud de conocer más sobre la corteza de eucalipto y si cumple con las propiedades exigidas por la reglamentación.

Es por esta razón que ha surgido una idea de investigación en la cual se utilizará la astilla de eucalipto, que se genera del proceso de descortezado, aglomerado con arcilla ya que al ser un material que tiene dentro de sus propiedades la plasticidad, ayuda a unir estos materiales, y para impedir una rápida retracción y como consecuencia fisuración del panel se incorporó extracto de nopal por sus características reológicas. Con esta información es que se propone fabricar un aislante, en el cual la cantidad de cada material estará definido por los criterios de manejabilidad (manipulación, transporte y colocación). El que se utilizará para un mejor acondicionamiento de las viviendas construidas con tabiquería de un modo ecológico y eficiente, cumpliendo con los requerimientos que exige las normas chilenas, además de poder competir en cuanto a prestaciones técnicas con los aislantes sintéticos más utilizados.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- General

Determinar las características térmicas y acústicas de un aislante fabricado con astilla del descortezado de eucalipto, arcilla y extracto de nopal.

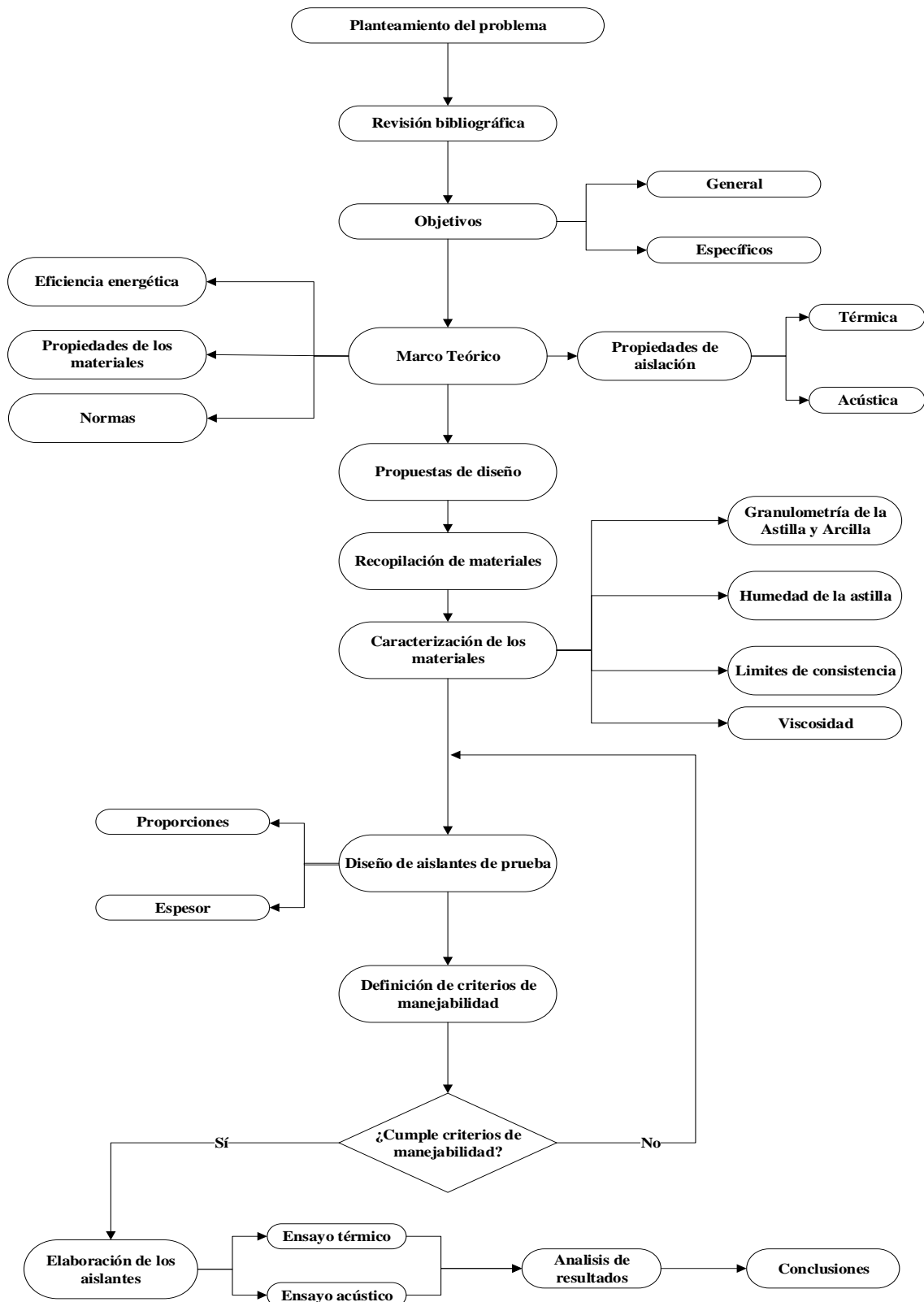
1.2.2.- Específicos.

- 1) Determinar criterios de manejabilidad para poder utilizar este material.
- 2) Determinar las proporciones apropiadas para la fabricación del aislante con respecto a su manejabilidad.
- 3) Determinar el comportamiento térmico del aislante con respecto a los resultados obtenidos de la resistencia y transmitancia térmica del elemento mediante una metodología estipulada en esta investigación.
- 4) Determinar las características de aislación acústica con relación a su diferencial acústico.

1.3 Alcances

- 1) Los estudios por realizar se llevarán a cabo en el laboratorio de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso ubicado en Playa Ancha para el desarrollo de la experiencia.
- 2) Para realizar los ensayos de aislación térmica se utilizará la Norma Chilena NCh 851 Of 1983.
- 3) Para realizar los ensayos de aislación acústica se utilizará la Norma Chilena NCh 2785 of 2003, NCh 2786 of 2003 y NCh 352-1 of 2000.
- 4) Se utilizará arcilla recolectada del sector de la Pólvora en región de Valparaíso.
- 5) La astilla de eucalipto será obtenida de los residuos que quedan en los aserraderos del proceso de descortezado en la VIII región.
- 6) La astilla será sometida a un tratamiento con ácido bórico para prevenir la formación de hongos.
- 7) El tamaño de la astilla de eucalipto será 1-5 cm. de largo.
- 8) El formato del elemento aislante será de 0.6 m de largo y 0.5 m de ancho además de tener 3 tipos de espesores de 30, 40, 70 mm.
- 9) Se utilizarán las proporciones 30 astilla/70 arcilla y 40/60.
- 10) El nopal será extraído de plantaciones silvestres ubicadas en el sector de la quinta Vergara en Viña del mar región de Valparaíso.

1.4 Esquema metodología de la investigación.



Capítulo 2: Generalidades y Conceptos Técnicos Básicos.

2.1 Introducción

La energía es lo principal que hace funcionar el mundo ya que sin ella no tendríamos iluminación, calefacción o electricidad para enchufar los artefactos. Hay distintas fuentes de donde se obtiene esta energía, donde encontramos energías renovables que son el agua, viento, sol, etc. Como también existen las energías no renovables los cuales son el petróleo, carbón, gas natural, etc. La estructura de consumo por fuentes energéticas es una de las claves más importantes a la hora de analizar las decisiones a las cuales el mundo se enfrenta en el futuro, en particular los combustibles fósiles aportan cerca de un 32% del consumo energético primario global, según la agencia internacional de la energía (2009).

La energía que se utiliza diariamente en nuestro país se obtiene a partir de recursos limitados, petróleo, gas, carbón, leña, entre otros. Actualmente Chile se enfrenta al desafío de contar con recursos energéticos suficientes y competitivos que puedan sostener el desarrollo futuro del país.

Bajo esta mirada y reconociendo que los recursos fósiles se vuelven cada vez más escasos, no solo es necesario buscar el reemplazo de esta fuente de energía por otra más limpia y económica, sino que también se debe poner atención en la eficiencia energética.

Según el estudio “Usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial de Chile” Realizado por la corporación de desarrollo tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, en Chile más de la mitad de la energía que se utiliza en las viviendas, es para la calefacción ambiental, teniendo un consumo promedio por vivienda de 10.232 kWh/año de energía final (incluyendo todos los combustibles y electricidad), este alto consumo de energía está fuertemente influenciado por el consumo de leña en la zona centro-sur del país. Por ello que es uno de los primeros países de Latinoamérica que ha establecido normas y reglamentos obligatorios para fomentar el buen uso de la energía en materia de viviendas (Bustamante, 2009).

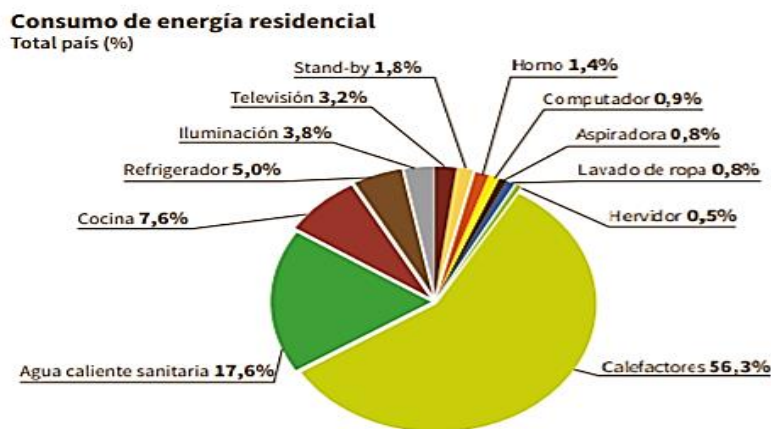


Ilustración 2-1. Consumo de energía residencial.

Fuente: Ministerio de Energía. (2010)

La poca eficiencia energética de estas viviendas está relacionada con las pérdidas de energía que presenta la envolvente de la vivienda donde la inspección técnica de edificios efectuó diversos estudios llegando a la conclusión de que las cubiertas y la fachada tiene mayor filtración de energía.

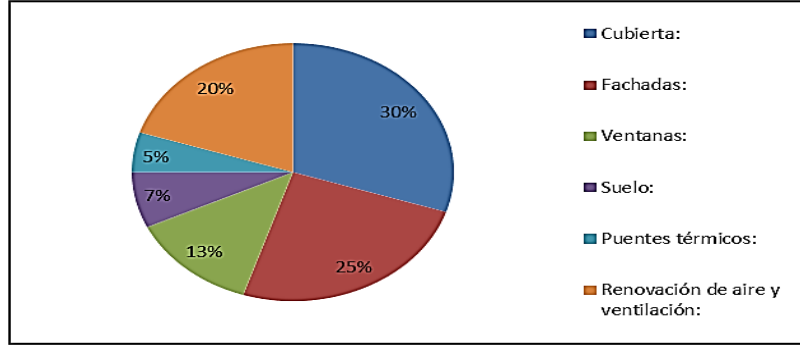


Ilustración 2.2: Pérdida de energía en viviendas
Fuente: Fundación la casa que ahorra, 2014

Chile en los últimos años ha bajado la demanda de energía en calefacción gracias a la implementación de la reglamentación térmica contenida en el artículo 4.1.10 de la OGUC, aunque aún existen viviendas con malas condiciones en el ámbito de la aislación debido a que fueron construidas antes de esta reglamentación. Por lo que es de gran importancia el uso de materiales que contribuyan a la nula pérdida de energía, para así poder obtener una vivienda energéticamente eficiente.

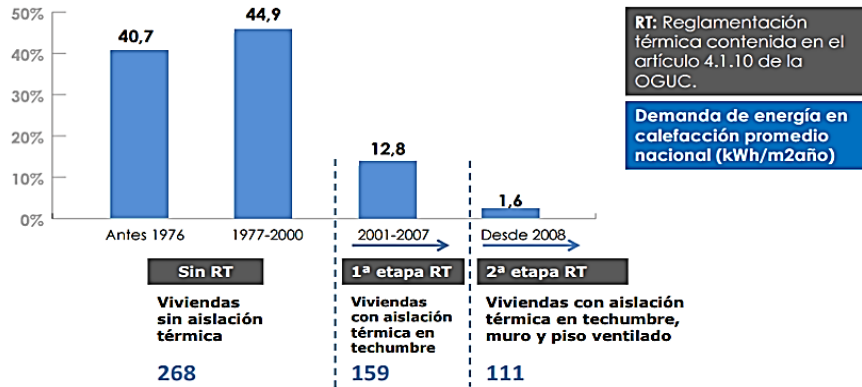


Ilustración 2.3: Expectativas de demanda de energía en calefacción promedio nacional
Fuente: MINVU, 2009

La reglamentación térmica ayuda a mejorar las condiciones de aislación que hay dentro de una vivienda, ya que regulariza la utilización de elementos aislantes en los lugares donde hay mayor pérdida de energía. Además, reduce la dependencia energética residencial por lo que disminuye las emisiones de gases que producen el efecto invernadero. Por todo lo mencionado anteriormente, la Estrategia Nacional de Energía establece que el crecimiento con eficiencia energética es una política de estado. (Ministerio de Energía, 2013).

2.2 Eficiencia energética en Chile

La eficiencia energética se puede entender de diversas formas, una es usar bien la energía, otra ahorrar energía sin perder en calidad de vida o en calidad de producción y también es la optimización de la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.

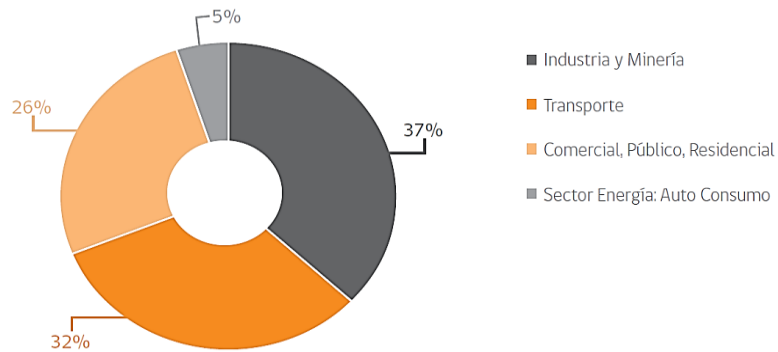


Ilustración 2.4: Distribución por sector de energía consumida
Fuente: Ministerio de Energía, 2011

En Chile, del 26% de la energía generada se utiliza en el sector residencial, siendo aproximadamente el 56% utilizado en calefacción de viviendas. (Ministerio de Energía, 2013). Los principales combustibles utilizados en calefacción de viviendas son la leña, con un 60% del total del consumo, seguido en menor cantidad por el gas licuado (17%), electricidad (15%) y gas natural (7%) (BNE, 2013). Por esto es clave reducir este consumo de energía en calefacción, para contribuir así a una disminución en el consumo energético total país.

Es fundamental acondicionar térmicamente las viviendas, una deficiente calidad en este sentido se traduce en hogares muy fríos en invierno y calurosos en verano, implicando un alto consumo de energía para lograr un adecuado nivel de confort. Esto se logra aplicando criterios de diseño pasivo, interviniendo la composición de los elementos de la envolvente para adecuarlos al clima donde se ubique la vivienda e incorporando innovación tecnológica que garantice mayor eficiencia en los equipos.

Es por ello, que la eficiencia energética es parte de la respuesta para mejorar estos desafíos, ya que disminuye el consumo de energía proyectado del país, reduce la dependencia de los energéticos importados, aumenta la seguridad de suministro y disminuye las emisiones de gases efecto invernadero.

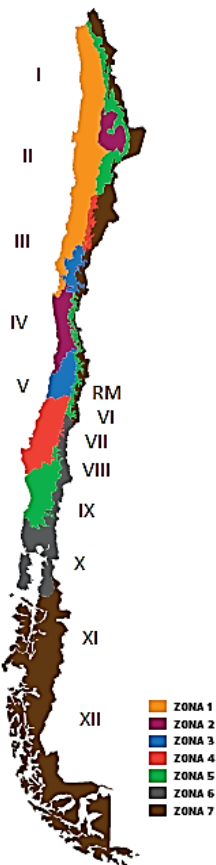
2.3 Reglamentación térmica

El acondicionamiento térmico de la envolvente está reglamentado en Chile a través del art. 4.1.10 de la ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C.). La primera reglamentación se instauró en el año 2000, donde se establecen requerimientos mínimos de transmitancia térmica de techumbres. En el año 2007 se incorporaron requerimientos de muros, ventanas y pisos.

Esta normativa es aplicable a las nuevas construcciones realizadas después del año 2000, habiendo aproximadamente 4.503.632 viviendas que poseen ningún tipo de aislación, por lo que es muy importante y fundamental acondicionarlas si corresponde.

Según la O.G.U.C. Chile está clasificada en 7 zonas térmicas de acuerdo a los requerimientos de calefacción, estas zonas están determinadas de acuerdo a los grados/día a calefaccionar.

La zona en donde se aplicará el aislante será la zona 2 donde se encuentra la región de Valparaíso.



ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Ilustración 2.5: Zonas térmicas con su resistencia térmica
Fuente: Artículo 4.1.10 reglamentación térmica

Ilustración 2.6: Zonificación térmica
Fuente: O.G.U.C., 2000

2.4 Confort Térmico

La palabra confort se refiere, en términos generales, a un estado ideal de la persona que se supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente ninguna distracción o molestia que perturbe física o mentalmente a los usuarios.

A lo largo de la historia, la idea de confort ha evolucionado de manera que en distintos períodos ha asumido diferentes significados. Inicialmente, el término confort fue sinónimo de confortar, consolar o reforzar, pues éste era el significado de su raíz latina “confortare”. En el siglo XVII, la idea de confort estuvo vinculada con lo privado, con la intimidad y, a su vez, se relacionaba con la domesticidad. En el siglo XVIII, esta palabra dio más relevancia al ocio y a la comodidad, mientras que en el siglo XIX se tradujo como la calidad y el comportamiento de los elementos en los que intervenía lo mecánico: luz, calor y ventilación. Fue en los primeros años del siglo XX cuando las llamadas ingenieras domésticas subrayaron la eficiencia y la comodidad como la idea de confort y, en los años siguientes se planteó el confort como algo que podía ser cuantificado, analizado y estudiado (Rybczynski, 1992).

El confort térmico describe las condiciones ambientales en el que el ser humano se siente agradable y sin molestias al interior de su vivienda. En él influyen distintos factores, como la temperatura del aire, la temperatura de las superficies de pisos, muros, ventanas, la humedad, las corrientes de aire, el metabolismo humano y la vestimenta.

Una de las principales condiciones exigidas ha sido la de procurar el confort adecuado en el interior de las viviendas. Entre los factores que más directamente inciden destacan la temperatura. Las condiciones de confort tradicionales son entre 20°C en invierno y 25°C en verano con una humedad relativa entre el 40% y el 60%. Estas temperaturas dependen también del tipo de actividad que se desarrolla en su interior, siendo estos valores el estándar considerado hoy en día.

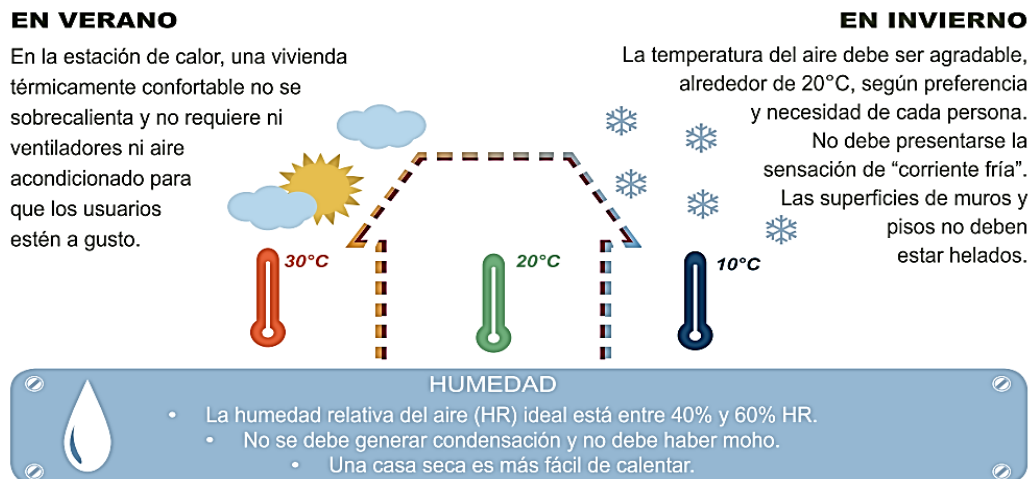


Ilustración 2.7: Confort térmico dentro de una vivienda
Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2015

2.5 Aislación térmica

El aislamiento térmico en las viviendas tiene por finalidad principal ahorrar energía de calefacción o de refrigeración para conseguir niveles adecuados de confort térmico, a la vez también evitar el deterioro de materiales al disminuir, por ejemplo, las condensaciones. Además, el aislamiento térmico permite mejorar la calidad de vida de las personas ya que disminuye la proliferación de microorganismos, tales como hongos, causantes de mal olor y de diversas enfermedades.

En Chile la norma que rige las exigencias del comportamiento térmico de las viviendas es la reglamentación térmica, en esta se encuentran los requerimientos térmicos de los materiales que deben poseer al momento de construir, en cuanto a los pisos ventilados, muros, techos y ventanas. Esto dependiendo de la zonificación térmica en donde se encuentren las viviendas.

Los aislantes térmicos más utilizados en Chile son lana mineral, espuma de poliuretano, poliestireno expandido, entre otros. Las principales cualidades que deben tener un aislante térmico, es la capacidad de oponerse al paso del calor (resistencia térmica). La mayoría de los aislantes son ligeros y de rápida instalación, en casos de incendios no deben ser un punto de aumento en la ignición.

Se considera material aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica es inferior a $0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a 23°C (Ramirez,2012). Algunos ejemplos de materiales aislantes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica.

Material	Densidad aparente [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	Material	Densidad aparente [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042	Plancha de corcho	200	0,047
	50	0,041		300	0,058
	70	0,038		400	0,066
	90	0,037		500	0,074
	110	0,04		Poliestireno expandido	10
	120	0,042	15		0,0413
Lana mineral granulada	20	0,069	20	0,0384	
	30	0,06	30	0,0361	
	40	0,055	Poliuretano expandido	25	0,0272
	60	0,048		30	0,0262
	80	0,044		40	0,025
	100	0,041		45	0,0245
	120	0,042		60	0,0254
140	0,042	70	0,0274		
Perlita expandida	90	0,05	Vermiculita en partículas	99	0,047
Plancha de corcho	100	0,04	Vermiculita expandida	100	0,07

*Los valores de conductividad térmica están dados para una temperatura media de 20°C , con los materiales en estado seco. (La conductividad térmica varía con respecto a la temperatura, a la humedad y a la densidad).

Fuente: Nch853 Of 91

2.5.1 Coeficiente de transmisión térmica (Ke)

La transmisión térmica es una propiedad se define como el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento

Un valor alto en la transmisión produce una baja aislación térmica y una alta pérdida de calor, mientras que un bajo valor de la transmisión produce una alta aislación térmica y un poco perdida de calor.

El aislante ideal tendría un valor de transmisión térmica igual a 0 (W/m²*K) es decir no se transmite calor, los valores más altos están cerca de 6 (W/m²*K) y caracteriza a los elementos con muy mala aislación térmica.

El coeficiente de transmisión térmica, denominado en la Norma Chilena 851 of 1983 como “Ke” se puede calcular mediante la siguiente formula: se expresa en W/(m²*K).

$$Ke = \frac{\phi}{A(t_2 - t_1)}$$

Donde:

Ke =Coeficiente de transmisión térmica.

Ø= Potencia entregada [W].

A= Area del elemento estudiado[m²].

t₂= Temperatura de la zona afectada por la fuente calorica.[K].

t₁= Temperatura de la zona que no esta afectada por la fuente calorica[K].

2.5.2 Resistencia térmica (R)

Es la oposición que presentan los elementos de construcción al paso del calor. Esta resistencia térmica depende de la conductividad térmica que tenga el material y de su espesor. Su unidad de medida es m²*K/W. Esta se puede expresar en la siguiente formula:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donde:

e: espesor del material [m]

Ke: λ: Conductividad térmica del material [W/m*K]

2.5.3 Transmitancia térmica (U)

Se define como el flujo térmico que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento. Por lo tanto, su unidad en el sistema métrico decimal es $W/(m^2 \cdot K)$. Es una característica específica de un elemento constructivo y depende de la conductividad térmica y geométrica de los materiales que lo componen.

$$U: \frac{1}{R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Donde:

R: Resistencia térmica total.

2.6 Aislación acústica

La aislación acústica es el principal método de control de la propagación del sonido de un recinto a otro. Es por ello que se tiene que hacer un conjunto de acciones para la obtención de una atenuación en la transmisión de ruido aéreo, impacto y vibraciones entre los diferentes espacios ya sea al interior de la vivienda como también en el exterior.

El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de vivienda, independiente de su volumen, radica en la elección de los materiales para la utilizar como revestimiento, con el propósito de buscar que absorba o refleje el sonido en el envoltente de la vivienda.

Un aislante acústico es un elemento constructivo que permite disminuir la trasmisión del sonido, reduciendo o evitando la trasmisión del ruido de un lugar a otro, por lo tanto, se usa para reflejar o absorber la energía, evitando el paso del sonido.

2.6.1 Confort acústico

El grado de confort acústico depende, al igual que el confort térmico, de distintos parámetros y factores de confort, aunque debemos afirmar que, en este caso, depende muy directamente de los parámetros ambientales relacionados concretamente con el ruido: nivel sonoro, intensidad sonora (db), frecuencia (Hz), calidad del sonido, etc.

Una de las causas principales del aumento de los niveles sonoros es el incremento cada vez mayor del tráfico automotor y aéreo, además de la mecanización de la vivienda, el uso de radios, televisores, sistemas de aire acondicionado o de calefacción, etc. Este aumento ocurre a pesar de que se

vienen aplicando normativas cuyo objetivo es reducir los niveles de ruido en ambientes interiores y exteriores.

En la siguiente tabla se muestran los distintos valores de confort acústico desde lo más silencioso a lo más ruidoso.

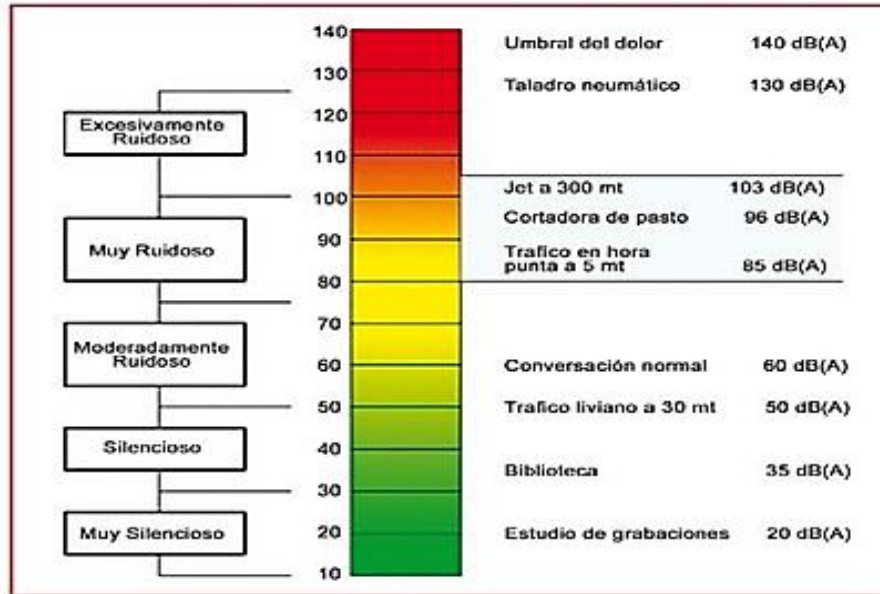


Ilustración 2.8: Valores confort acústico
Fuente: acustec.cl, 2010

2.6.2 Acondicionamiento acústico

El oído humano puede escuchar con claridad un sonido que tenga 10dB(A) o más. Se obtendrá el confort acústico cuando el nivel de ruido ambiental no supere el máximo permitido, el que según lo señalado en la NCh 352 Of.2000 y por la Organización Mundial de la Salud, para los recintos de una vivienda como dormitorios y sala de estar, no debe superar los 40dB(A) durante el día (7:00 a 21:00hrs) y a 30dB(A) en horario nocturno (21:00 a 7:00hrs) (Minvu. 2009).

Los principales problemas acústicos en las viviendas vienen de ruido aéreo exterior principalmente del tránsito vehicular. e interior como lo puede ser el impacto en muros y pisos, vibraciones de equipos eléctricos.

Para evitar la transmisión de un ruido aéreo de un espacio a otro se deben utilizar muros de gran masa (concreto, ladrillos, macizos, etc.) con espesor suficiente (15cm mínimo) y con buenas propiedades de absorción al ruido (superficie rugosa). Para poder disminuir los puentes acústicos en paneles divisorios livianos o estructurales se debe agregar masa (materiales aislantes), usar absorbente acústicos en la cavidad y sellos absorbentes en las zonas de contacto del panel con muros, pisos y cielo, los que también actúan para aislar el ruido de impacto (Minvu, 2009).

La Nch 352-1 of 2000 establece en una tabla los siguientes requisitos que debieran cumplir las construcciones de uso habitacional.

Tabla 1 - Construcciones de uso habitacional - Requisitos

Parametro	Emisor	Receptor	NED, dB (A)	Requisitos dB (A)	Metodo de ensayo
A	Exterior	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	≤ 60 61-65 66-70 71-75 > 75	Aislación mínima: 20 25 30 35 NED-40	NF S31-057
B	Vivienda contigua	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	n.a. ¹⁾	Aislación mínima: 45	NF S31-057
C	Instalaciones sanitarias y mecánicas externas	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	n.a. ¹⁾	Nivel de ruido máximo: 40	Segun 6.4
D	Pasillo y escalera	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	n.a. ¹⁾	Aislación mínima: 30	NF S31-057
1) No aplicable.					

2.7 Propiedades de aislantes sintéticos existentes.

Los aislantes son materiales que presentan una elevada resistencia térmica, es decir que se oponen al flujo de calor. Existen muchos tipos de aislantes como el poliestireno expandido, poliuretano, lana mineral, lana de vidrio, etc. Para poder elegir el mejor aislamiento para una vivienda hay que tener una serie de consideraciones tales como: lugar geográfico donde se instalara, precio del material y contaminación que genera tanto su producción como su residuo luego de la vida útil.

Todos los materiales clasificados en este grupo, tienen como similitud que las materias primas que se utilizan en su fabricación vienen de energías fósiles como el petróleo o piedras. Estos materiales se fabrican en industrias donde se hacen largos procesos de producción, donde se obtienen las distintas materias primas para la configuración de estos materiales.

Los materiales sintéticos empleados en la actualidad son opciones menos ecológicas ya sea; de donde viene su materia prima, por sus procesos industriales en la fabricación o por los residuos que genera luego de terminada su vida útil.

En el siguiente cuadro se muestran los distintos materiales existentes con algunas de sus características destacándose que todos son de rápida instalación, una vida útil indefinida y que todos cuentan con una conductividad térmica similar.

En este cuadro no se muestra la cantidad de gases nocivos que se generan al producir uno de los elementos de aislación, pero según la declaración ambiental de la empresa “VOLCAN” un panel de lana mineral genera aproximadamente 4,31 kg. de CO₂, siendo en su fabricación el proceso de “Fusión en Horno” el que más contribuye a estas emisiones.

Tabla 2.2: Comparación entre los distintos materiales aislantes

	POLIESTIRENO EXPANDIDO	LANA MINERAL	LANA DE VIDRIO	POLIURETANO EXPANDIDO
				
Instalación	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
Daño	Ninguno	Ojos, manos y pulmones	Ojos, manos y pulmones	Liberación de gases nocivos
Vida Útil	Indefinida	Indefinida	Indefinida	Indefinida
Resistencia al Fuego ¹⁵	Autoextinguible (se quema, pero no se mantiene la combustión si se quita la fuente del fuego)	No combustible	No combustible	Autoextinguible, difícilmente combustible ¹⁶
Resistencia a la Humedad	Alta	Baja	Media	Impermeable
Compatibilidad con otros materiales	Yeso- Cal-Cemento-Aceites de silicona-Asfalto sin disolvente	Fibra de vidrio-Yeso-Madera-Pre-pintado de acero galvanizado-Aluminio-Cobre	Yeso-Madera-Aluminio-Papel Kraft	Metales
Densidad [kg/m³][20°C]	10/15/20/30	40/70/120	10/11/12	25/30/45/70
Conductividad térmica λ [W/(m²K)]	0,043/0,0413/0,0384/0,0361	0,042/0,038/ 0,042	0,044/0,0424/ 0,041	0,0272/0,0262/0,0245/ 0,0274

Fuente: Manual acondicionamiento térmico

2.8 Propiedades de aislantes naturales existentes

Teniendo en consideración el impacto sobre el medio ambiente, los aislantes naturales se consideran como una opción cada vez más factible para cualquier persona, el proceso de fabricación de estos materiales aislantes, sigue una línea más ecológica teniendo procesos menos contaminantes en su fabricación.

La mayoría de estos materiales provienen de origen vegetal (se obtienen de la naturaleza), una vez recolectados se dejan secar y con sus propias resinas se aglutinan (Palomo Cano, 2017).

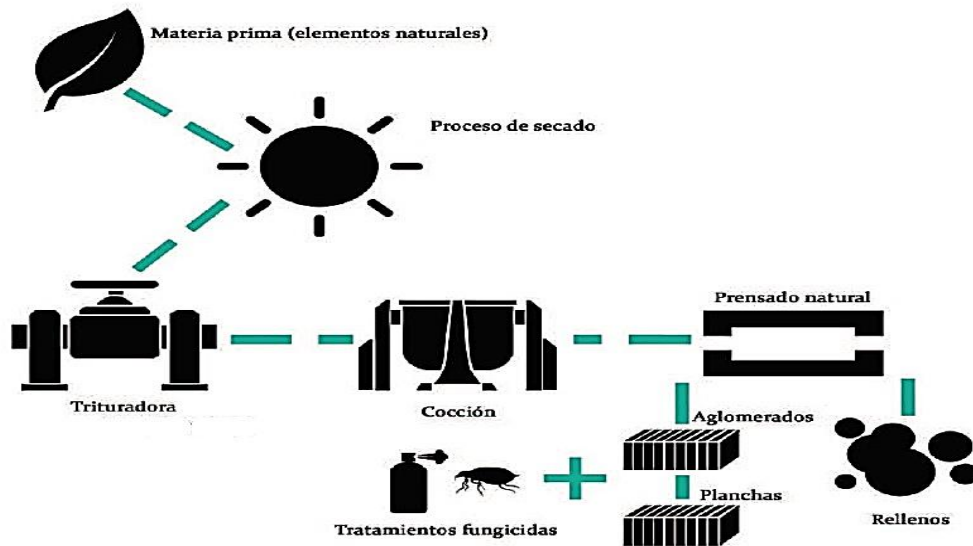


Ilustración 2.9: Proceso de fabricación aislantes de origen natural
Fuente: Elaboración propia, 2018

Con la opción de la construcción ecológica se encuentran en el mercado cada vez más aislantes fabricados con materiales naturales, de los cuales se muestran algunos en la siguiente tabla con su respectivo coeficiente de conductividad térmica. Como ocurre en la mayoría de los aislamientos, la resistencia térmica de los materiales naturales varía en función del material, su densidad, su espesor y porcentaje de humedad que contenga es por eso que el coeficiente de conductividad térmica (λ) varía tanto.

Tabla 2.3: Coeficientes de conductividad térmica.

Aislantes naturales	λ (W/mk)	Autor
Celulosa	0,038-0,050	Ahumada Luis, 2017
Paja	0,043-0,061	Roberts Vicente, 2018
Cañamo	0,040-0,094	Basaure Katia, 2018
Lana de oveja	0,04-0,067	Contreras Nicolas, 2017

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9 Plantaciones de eucalipto en Chile

La superficie plantada con eucalipto se ha incrementado notoriamente durante los últimos años, constituyendo hoy una alternativa real para la reforestación en la zona central, así como para el establecimiento de bosques de rápido crecimiento y altos rendimientos en la zona centro-sur y sur. Sus cualidades para la producción de pulpa han facilitado el establecimiento de bosques desde la IV hasta X región, concentrándose fundamentalmente en la VIII región (Baxter, Hastings, Law, & Glass, 2008).

El creciente interés por las especies del género eucaliptos esta dado por su rápido crecimiento dando la posibilidad de generar y comercializar productos de dimensiones pequeñas y así satisfacer las tendencias del mercado de la pulpa de fibra corta (Kraft), que se utiliza como un suplemento a la fibra de pino radiata.

En el periodo (2006-2010), las plantaciones de eucaliptos alcanzaron aproximadamente las 395 mil hectáreas/año, por lo que su disponibilidad volumétrica se estima en unos 72.236.157 metros cúbicos de eucalipto. Según proyecciones de la Corporación Chilena de madera para el año 2025 tendremos una disponibilidad volumétrica de aproximadamente 90.026.639 metros cúbicos de eucalipto.

Según datos obtenidos de la Corporación Chilena de la Madera (2013) el aumento de superficie de eucalipto plantado ha ido aumentando notoriamente tanto de empresas forestales como de terceros.

Tabla 2.4: Superficie de eucaliptos por tipo de propietario

Tipo Propietario	Superficie Plantaciones Eucalipto			
	<i>E. globulus</i>		<i>E. nitens</i>	
	2006	2010	2006	2010
	(ha)			
Empresas	184.347	218.462	108.671	151.216
Terceros	210.666	289.938	28.070	52.391
Total	395.013	508.400	136.741	203.607

Fuente: Corma, 2013

Según la información señalada anteriormente la cantidad de residuos de corteza de eucalipto ira en aumento a medida que pasan los años, es por esto que la idea principal de esta investigación es la utilización de los residuos generados por las plantaciones ya existentes y no promover nuevas plantaciones debido a que los eucaliptos no son muy amigables con el medio ambiente por su alto consumo de agua para su crecimiento.

2.9.1 Cantidad de residuos de corteza

Diferentes industrias de la madera como los aserraderos, plantas de papel, así como también la exportación de madera por varias razones requieren el proceso de descortezado y debido la falta de información sobre las características y calidad de este subproducto forestal, la corteza muchas veces es solo usada para producir energía o dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal.

Estadísticas forestales (INFOR, 2008), reportan que solo en la región del Bio-Bio consume aproximadamente 3 millones de m³ de madera en trozo/año. Por otro lado el volumen promedio de la corteza de un árbol de eucalipto con edad entre los 4-7 años, representa un 9.3% del volumen total del árbol, esto significa aproximadamente un volumen de 279 mil m³ de corteza/año potencialmente disponible como materia prima (Muñoz et al., 2013).





2.9.2 Propiedades del eucalipto

Esta especie tiene una madera cuyo duramen es de color café pálido con tinte amarillento a rosáceo y albura de características similares. Los anillos de crecimiento son poco notorios y no delimitados. La madera del eucalipto posee contracciones volumétricas del 18%, su dureza es de aproximadamente unos 500 kg lo que hace que tenga una alta resistencia mecánica, frente al ataque específico de hongos se clasifica como moderadamente resistente (Ivonne & Lizana, 2006).

Estudios realizados por Consuegra (1994) concluyen que la densidad básica para el eucalipto en Chile fluctúa entre 0,466 y 0,544 g/cm³ y tiende a disminuir de norte a sur, siendo menos en la zona oceánica de la región de Los Lagos. Mientras que Peredo (2000), al comparar la densidad de la madera de eucalipto creciendo en Arauco y Valdivia, observo que la madera crecida en Arauco presentaba una densidad entre un 6 y 7% mayor que la crecida en Valdivia.

Como se muestra en la tabla a medida que aumentan los años del eucalipto también incrementa la densidad de estos, provocando eventualmente una mejora en sus propiedades térmicas.

Tabla 2.5: Densidad básica (g/cm³) de eucalipto a distintas edades.

Edad (años)	Bosques Arauco		Forestal Valdivia	
5-7	0,466	-	-	-
8-10	0,492		0,464	
11-13	0,522		0,488	
14-16	0,544	+	0,508	+

Fuente: Peredo, 2000

A mayor densidad el eucalipto posee mayor capacidad de aislación térmica, variando la conductividad térmica entre 0,054 y 0,068 W/m*K, ya que la conductividad térmica se encuentra por debajo de 0,07 W/m*K todos los resultados obtenidos demuestran una capacidad aislante. (Que, La, Acha, & Donacium, 2012).

2.10 Arcilla

La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados que se habrían formado a partir del desgaste de las rocas, especialmente las compuestas por silicato y feldespato, sumando factores como presión tectónica, sismos, erosión, etc. El tipo y cantidad de cada uno de los minerales que la componen dependen de la naturaleza de la roca madre y de las condiciones climáticas del lugar. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el blanco (más puro) hasta el rojo anaranjado. Es un material natural muy repartido en la superficie de la corteza terrestre y que en ocasiones al ser mezclado con agua pueden formar masas plásticas a partir de las cuales es factible fabricar productos cerámicos.

Las propiedades de las arcillas derivan, principalmente, de su extremadamente pequeño tamaño de las partículas (inferior a $2\ \mu\text{m}$). su morfología laminar y las sustituciones isomórficas que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

El carácter plástico se debe a su tamaño de partículas, forma laminar y propiedades cristal químicas de su superficie, aspectos que permiten que se produzca una interacción con cualquier líquido polar, como por ejemplo el agua.

Según la Nch 853 of 91 la arcilla posee las siguientes características, tales como la densidad aparente que se encuentra entre $1100 - 1800\ (\text{Kg}/\text{m}^3)$ además de la conductividad térmica que es $0.90\ [\text{W}/(\text{m}^*\text{K})]$.

2.10.1 Plasticidad de la Arcilla

La plasticidad de la arcilla se puede explicar porque una pasta de arcilla consta de multitud de partículas sólidas rodeadas por delgadas películas de agua forman una cubierta viscosa. El espesor de la envoltura acuosa debe ser lo suficiente para permitir a las partículas deslizarse entre sí cuando se someten a una fuerza de cizalladura. Como es sabido, los líquidos de naturaleza polar aumentan la plasticidad de la arcilla, porque ejercen una atracción más intensa sobre sus partículas. Las partículas de arcilla, debido a que presentan enlaces rotos y cargas eléctricas negativas sin neutralizar, cuando se suspenden en agua, se rodean de un manto acuoso en cuyo interior existen iones de diferentes cargas. Las cargas negativas tienen a compensarse por un enjambre de cationes que están difusos por toda la película acuosa, cuyo espesor variara según el número, tamaño, carga y grado de hidratación de dichos cationes. (Navarro, 1963)

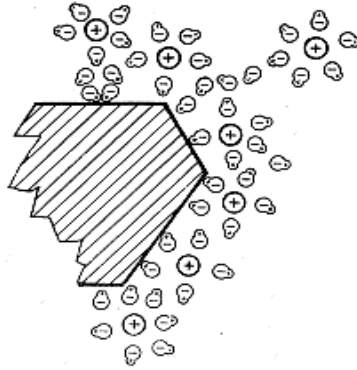


Ilustración 2.10: Partículas de arcilla rodeadas de dipolos de agua y cationes.

La cantidad de agua que será preciso añadir a una arcilla para poderla moldear dependerá de la superficie real del sólido que se tenga y se comprende que cuanto mayor sea su proporción de finos más elevado será el volumen de agua que requiera. Este margen, que se pueden denominar intervalos de laborabilidad o de maleabilidad es variable de unas arcillas a otras, aunque se mantiene para las medianamente plásticas entre el 15-35% de agua. (Navarro, 1963)

Las partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0.074 mm), puede conseguirse que presenten propiedades de plasticidad dentro de una amplia gama de humedad y posean considerable resistencia al secarse al aire. Esta plasticidad se mide con el índice de plasticidad el cual está expresado por la siguiente fórmula:

$$IP = wL - wP$$

Donde:

wL: Límite líquido (Nch 1517-1)

wP: Límite plástico (Nch 1517-2)

2.11 Propiedades del Nopal.

El nopal (*Opuntia ficus indica*) es una planta de la familia de los cactáceas que presenta características adaptativas en su anatomía, morfología y fisiología, las que le permiten sobrevivir, crecer y reproducirse en ambientes áridos y semiáridos (Castillo & Estrada, 2013). Es comúnmente conocido entre otros como chumbera, nopal tunero, entre otros y por la principal razón que se conoce el nopal en Chile es por su fruto llamado tuna.

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy en día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano.

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura. Su tronco es leñoso y mide entre 20-50 cm de diámetro. Sus ramas están formadas por cladodios de 30 a 60 cm de largo por 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor (Jiménez, 2015).

Debido a su comportamiento reológico y características físico-químicas se han desarrollado diversas aplicaciones en ramos tales como: alimentos procesados, cosmetología, farmacéutica, materiales de construcción y ambientales.

La extracción del nopal se agrega como adherente orgánico para que evite que el elemento se seque demasiado rápido, y ayuda a retener la humedad que la mezcla necesita para fijar correctamente. La composición del extracto es principalmente una mezcla de glicoproteínas y un polisacárido ácido compuesto por arabinosa, galactosa y xilosa (Carbono). (Cárdenas, et al. 2002



Ilustración 2.11: Planta de nopal
Fuente: Elaboración propia, 2019

Los líquidos tienen una propiedad denominada viscosidad, la cual se puede definir como la resistencia a fluir, resultante de los efectos combinados de la cohesión y adherencia, es por eso que la viscosidad es la principal característica del nopal, sobre la que se proyecta la aplicación como aditivo de alimentos, adhesivo de pinturas, entre otras.

Esta sustancia desde siglos atrás que es bastante conocida, debido a su adición en el mortero para construcción, mejorando las características físicas del mortero, funcionando como un adhesivo orgánico que previene que el mortero seque muy rápidamente y ayudando a retener el contenido de humedad necesario que la mezcla necesita para para que quede correctamente, además fue utilizado para la pintura y restauración de elementos de construcción, ya que al ser mezclado con cal forma una mezcla que al secar queda bien adherida a la superficie.

Según las indicaciones de la receta publicada por la secretaria del medio ambiente del Gobierno del Estado de México en su página oficial de internet, la baba se obtiene reposando en un recipiente con agua, primero se colocan los nopales previamente picados, se tapan y se dejan reposar de uno a tres días al aire libre para que suelten la baba; luego se retiran los nopales.

2.12 Manejabilidad.

La Manejabilidad es una propiedad que se refiere a la factibilidad con que un material puede ser: manipulado, transportado y colocado sin que pierda su forma original.

El grado de manejabilidad apropiado para cada elemento, depende del tamaño, forma, disposición y método de colocación.

La manejabilidad se encuentra en algunos materiales de la construcción como por ejemplo en el concreto fresco el cual se refiere a la factibilidad con que este puede ser: mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad. (Rivera, 2008)

Para determinar si nuestro elemento aislante es óptimo para su fabricación definitiva se siguieron unos criterios expresados en una rúbrica de evaluación, buscando principalmente que las cuatro muestras de aislantes puedan ser ocupados por una persona sin inconveniente.

En esta rúbrica se especifica una pauta de criterios que se siguió para poder establecer que la probeta de prueba, es o no manejable y si se cumple con todos los criterios es factible fabricar el aislante definitivo.

Capítulo 3: Metodología de la investigación

3.1 Definición de variables

Las variables de esta investigación fueron divididas en dos grupos una son las variables independientes las cuales corresponden a una propiedad, cualidad, característica o aptitud con poder de afectar el resto de las variables, mientras que las variables dependientes es aquella cualidad o característica cuyo comportamiento se ve afectado por la variable independiente.

a) Variables independientes.

- 1) Proporción astilla/arcilla: Es una variable categórica con 2 niveles, uno es la proporción 30/70 y el otro es 40/60.
- 2) Espesor: Es una variable categórica con 3 niveles los cuales son 30, 40 y 70 mm.

a) Variables dependientes.

- 1) Manejabilidad: Según rúbrica diseñada.
- 2) Aislación térmica: Diferencia de temperatura entre las caras ($^{\circ}\text{K}$).
- 3) Aislación acústica: diferencial acústico (dB).

Factorial de investigación

Espesor Proporción	30 mm.	40 mm.	70 mm.
30/70	x,y,z	x,y,z	x,y,z
40/60	x,y,z	x,y,z	x,y,z

donde:

x= Criterio de manejabilidad.

y= Diferencia de temperatura.

z= Diferencial acústico.

Se utilizará el poliestireno expandido como un aislante patrón, el cual será comparado en las mismas condiciones que el nuevo aislante fabricado, esto para poder confrontar los resultados de ambos. Además, con los datos obtenidos mediante los ensayos y las especificaciones técnicas del aislante patrón, nos permite recalcular mediante fórmulas la potencia entrega por la cámara.

3.2 Planificación de la investigación

Este estudio se dividió en dos etapas, la primera se especificó en la obtención de las proporciones apropiadas según su manejabilidad, mientras que la segunda se fabrica y ensaya el aislante con las proporciones obtenidas en la etapa anterior. Del estudio se obtendrán resultados de acuerdo a los diseños del aislante artesanal y arrojarán datos que certifiquen o refuten la factibilidad de utilizar este aislante para el aislamiento térmico y acústicos. La metodología se dividirá en dos etapas.

Primera etapa:

- Fabricación de moldes para probetas de prueba.
- Recopilación de materias primas.
- Proporciones.
- Definición de manejabilidad.
- Preparación de la mezcla.
- Análisis de criterios de manejabilidad.

Segunda etapa:

- Elaboración de moldes para aislante a ensayar.
- Recopilación de materias primas.
- Preparación de la mezcla.
- Fabricación del aislante.
- Metodología de los ensayos a efectuar.
- Resultados de ensayos.
- Discusión de resultados.
- Conclusiones.

3.3 Fabricación de moldes para probetas de prueba

En una etapa previa a la elección del método de fabricación, se realizarán pruebas en moldes de 25x25 cm, en las cuales se determinará las proporciones más apropiadas con respecto a la manejabilidad del material además de observar la resistencia del aislante, el tiempo de secado y el desprendimiento de las astillas a modo de realizar una viabilidad del aislante.



Ilustración 3.1: Molde de Probetas de Prueba.

Fuente: Elaboración propia.

La fabricación del panel se efectuará de acuerdo a un molde artesanal constituido por una plancha de OSB base de 15mm, luego se colocarán encima las tablas de pino de forma de que el molde posea las dimensiones interiores de 25 cm de alto y 25 cm de ancho. Agregando sellador de juntas para evitar que se produzcan pérdidas de materiales y desmoldante para facilitar el desprendimiento de las probetas.

3.4 Recopilación de materias primas.

Los materiales que se ocuparán para la confección del aislante se recolectarán con anticipación para que cuando llegue la etapa de fabricar las probetas no exista ningún inconveniente.

El acopio de los materiales se centró en la astilla de la corteza del eucalipto, ya que es el material principal de esta investigación, la cual debe tener un tamaño de 5 mm de largo y 2 mm de ancho esta se recolectará de los aserraderos que ocupen el proceso de descortezado en este tipo de maderas en la VIII región.

Luego la arcilla será recolectada del sector de la pólvora en la V región, y para finalizar el nopal (tuna) se recolectará del sector de la quinta Vergara en la región de Valparaíso.



Ilustración 3.2: Materiales para construcción de aislante.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 Preparación de extracto de nopal

A partir de la receta artesanal de la Secretaría del Medio Ambiente del Estado Mexicano, esta se desarrolla de acuerdo al reposo de las paletas de este cactus en agua y sal; la receta dice que deben cortarse en cubos de 5 x 5 cm y dejarlos reposar en un litro de agua por kilo de paletas durante un mínimo de 24 horas, teniendo en cuenta que entre más tiempo de reposo las propiedades viscosidad de la baba de nopal son mejores.



Ilustración 3.3: Picado y macerado del nopal.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez transcurridas las 24 horas, se filtró todo con un colador para evitar dejar trozos de las paletas en el líquido obtenido, luego se almaceno en botellas para luego ser utilizados en el momento de generar la mezcla.

3.5 Proporciones

Las proporciones se obtuvieron mediante el método de “ensayo y error” buscando la cantidad de cada material en su porción indicada, se realizaron cuatro muestras con distintas cantidades de los materiales utilizados. Cada proporción se estableció buscando que este nuevo material aislante pueda ser manejable, queriendo tener principalmente un elemento transportable evitando que tenga desprendimiento de partículas además de saber el peso para el transporte con personas estas características fueron revisadas al momento de ser fabricado el aislante, para determinar si eran apropiadas para su fabricación definitiva.

Tabla 3.1: Dosificaciones de prueba.

	Proporciones de probetas de prueba			
	Pruebas			
	1°	2°	3°	4°
Volumen de la probeta (m3) (0,25x0,25x0,05)	0,003125	0,003125	0,001875	0,003125
Masa de corteza (Kg)	0,4	0,24	0,4	0,6
Masa arcilla(Kg)	0,6	0,5	0,6	0,4
Cantidad de agua con nopal (Lt)	1,3	1	1	1
Peso establecido(Kg)	2,3	1,74	2	2
Densidad establecida (Kg/m3)	736	556,8	1066,666667	640
Tiempo de macerado (Agua+nopal)	24 horas	24 horas	24 horas	24 horas
Tiempo total de secado en el molde	7 días	7 días	7 días	7 días
Peso seco obtenido(Kg)	0,918	0,7	0,8	0,77
Volumen obtenido (m3)	0,003125	0,003125	0,003125	0,003125
Densidad obtenida (Kg/m3)	293,76	224	256	246,4

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Definición de manejabilidad.

Para determinar si los elementos son óptimos para su fabricación definitiva se siguieron unos criterios expresados en una rúbrica de evaluación, buscando principalmente que las cuatro muestras de aislantes puedan ser ocupados por una persona sin inconveniente.

En esta rúbrica se especifica una pauta de criterios que se siguió para poder establecer que las probetas de pruebas, son o no manejables y si cumplen con todos los criterios para fabricar el aislante definitivo.

Uno de los factores que influyen en esta manejabilidad es la cantidad de arcilla que se utilice en la dosificación de los aislantes ya que es este material aglomera a las astillas por lo que el mayor porcentaje debe ser de arcilla.

Otro factor es la cantidad de humedad con que se desmolda luego de su fabricación, este es muy importante debido a que si el aislante se encuentra con un gran porcentaje de humedad este se desarmara al desmoldarse, es por esto que el porcentaje apropiado para ser desmoldado es de 15% - 20% (humedad ambiente).

Estas características son observadas en las cuatro muestras que fueron logradas mediante “ensayo y error” en aislantes de pruebas, con esto se determinará la dosificación más apropiada para la fabricación definitiva.

Para poder definir de mejor manera la manejabilidad se elaboró una rúbrica en la cual se expresan los criterios a tener en cuenta al momento de definir si es apropiado el aislante para su fabricación definitiva. Para que cumpla con la trabajabilidad deseada el aislante fabricado debe obedecer con todos los criterios, de no ser así este será descartado.

Los criterios que se adoptaron para poder generar esta rúbrica son los siguientes:

Criterios:

- **Manipulación:** Es la capacidad del aislante para mantener la forma original al ser tomado por una persona, sin que se produzcan pérdidas de trozos sobre un 20% de su peso original.
- **Transporte:** Es la virtud del elemento para poder moverse de un lugar a otro sin que se rompa o se agriete.
- **Colocación:** Es la aptitud del aislante para poder ser cortando en el caso de que se necesite, además de que el peso sea menor a 25 kg. para que pueda ser colocado por una persona.

Fuente: Elaboración propia, 2019

3.7 Rúbrica de manejabilidad.

Se analizarán con esta rúbrica cuatro muestras con distintas proporciones (las cuales serán determinadas mediante “ensayo y error”), estas muestras deberán cumplir con todos los criterios para poder ser utilizado en la fabricación definitiva del material aislante.

Tabla 3.2: Rubrica de manejabilidad.

Criterios:	Muestras	
MANIPULACIÓN	El aislante se mantuvo intacto al ser tomado.	Se producen pérdidas de trozos del aislante sobre un 20%
TRANSPORTE	Se puede mover de un lugar a otro sin romperse, ni agrietarse.	Hay quiebres en el aislante al tomarlo y al moverlo de un lugar a otro.
COLOCACIÓN	El elemento puede ser cortado y pesa menos de 25 kg para que pueda ser colocado por una persona, en sus medidas definitivas.	El elemento no puede cortado y su peso es superior a 25 Kg.
MANEJABILIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia, 2019

3.8 Preparación de la mezcla

Una vez obtenido el líquido viscoso del nopal este es mezclado con la arcilla hasta lograr una pasta para luego agregar la astilla en una batea dejando la mezcla lo más homogénea posible. Esta homogeneidad se logrará ocupando un taladro de 2600 rpm con una paleta instalada en el, lo que funciona como una batidora manual.



Ilustración 3.4: Mezcla de los componentes del aislante.
Fuente: Elaboración propia.

Antes de verter la mezcla sobre el molde se debe aplicar desmoldante de madera para que al momento de sacar el aislante no quede pegado en el molde.



Ilustración 3.5: Desmoldante madera, TOPEX.
Fuente: Elaboración propia.

Los moldes con la mezcla serán dejados descubiertos (sin tapa) para ayudar a que el proceso de secado se produzca de manera más rápida y de forma más homogénea por todo el aislante, además de producir espacio dentro del mismo aislante ayudando a mejorar las propiedades acústicas y térmicas.



Ilustración 3.6: Aislante Fabricado.
Fuente: Elaboración propia.

3.9 Análisis de rúbrica de manejabilidad

A continuación, se muestra la pauta de manejabilidad con lo que se determinó si cumple con los criterios establecidos para saber si el aislante es posible fabricarlo en el tamaño que corresponde para los ensayos de aislación térmica y acústica.

Tabla 3.3: Revisión de rúbrica de manejabilidad.

Criterios:	MUESTRAS							
	1		2		3		4	
MANIPULACIÓN	El aislante se mantuvo intacto al ser tomado.	Se producen pérdidas de trozos del aislante sobre un 20%	El aislante se mantuvo intacto al ser tomado	Se producen pérdidas de trozos del aislante sobre un 20%	El aislante se mantuvo intacto al ser tomado	Se producen pérdidas de trozos del aislante sobre un 20%	El aislante se mantuvo intacto al ser tomado	Se producen pérdidas de trozos del aislante sobre un 20%
TRANSPORTE	Se puede mover de un lugar a otro sin romperse, ni agrietarse.	Hay quiebres en el aislante al tomarlo y al moverlo de un lugar otro.	Se puede mover de un lugar a otro sin romperse, ni agrietarse.	Hay quiebres en el aislante al tomarlo y al moverlo de un lugar otro.	Se puede mover de un lugar a otro sin romperse, ni agrietarse.	Hay quiebres en el aislante al tomarlo y al moverlo de un lugar otro.	Se puede mover de un lugar a otro sin romperse, ni agrietarse.	Hay quiebres en el aislante al tomarlo y al moverlo de un lugar otro.
COLOCACIÓN	El elemento puede ser cortado y pesa menos de 25 kg para que pueda ser colocado por una persona, en sus medidas definitivas.	El elemento no puede ser cortado y su peso es superior a 25 Kg.	El elemento puede ser cortado y pesa menos de 25 kg para que pueda ser colocado por una persona, en sus medidas definitivas.	El elemento no puede ser cortado y su peso es superior a 25 Kg.	El elemento puede ser cortado y pesa menos de 25 kg para que pueda ser colocado por una persona, en sus medidas definitivas.	El elemento no puede ser cortado y su peso es superior a 25 Kg.	El elemento puede ser cortado y pesa menos de 25 kg para que pueda ser colocado por una persona, en sus medidas definitivas.	El elemento no puede ser cortado y su peso es superior a 25 Kg.
MANEJABILIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

Cumpliendo con las características mencionadas en su totalidad, se obtienen que de las cuatro muestras propuestas solo dos cumplen los criterios mencionados, siendo las proporciones de 30% Astilla y 70% Arcilla y de 40/60 con respecto al volumen, las que se utilizaran para la elaboración definitiva de los aislantes.

3.10 Elaboración de moldes para aislante a ensayar

Antes de la fabricación debemos tener en cuenta que la cámara de ensayo que se encuentra en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso tiene las dimensiones de 3 m. de largo por 0.65m de ancho por 1,2 cm de alto. En esta cámara se realizarán los ensayos térmicos y acústicos, por lo que la altura real que se utilizara serán 0,6 m.

La fabricación del panel se efectuará de acuerdo a un molde artesanal constituido por una plancha de OSB base de 15mm, luego se colocarán encima listones de 2x2” de forma de que el molde posea las dimensiones interiores de 60 cm de alto y 50 cm de ancho. Agregando sellador de juntas para evitar que se produzcan pérdidas de materiales y desmoldante para facilitar el desprendimiento de las probetas.



Ilustración 3.7: Moldes de probetas a ensayar.

Fuente: Elaboración propia

Los listones fueron unidos mediante tornillos para que al momento de ser desmoldado sea más fácil sacarlos con esto los aislantes se puedan secar de mejor manera. este proceso se produce luego de 48 horas de secado a la intemperie.

3.11 Confección del panel aislante

El aislante propuesto se fabrica en dos espesores 30, 40 y 70 mm, debido a su principal uso en muros de tabiquería, ya sea de acero galvanizado (90mm) o madera bruta de (2x2" o 2X3"), y para disminuir su peso para el transporte.

La astilla para ser utilizada debe estar con una humedad entre 12-18 % es por eso que se medirá esta variable para poder realizar los ensayos. El equipo que se utilizará para medir la humedad de la astilla será un medidor de humedad relativa para maderas modelo MD-4G con rango de medición entre 5% y un 45% de humedad y con un rango de error de $\pm 2\%$.



Ilustración 3.8: Medidor digital para madera.

Fuente: Elaboración propia

Para la fabricación de los aislantes definitivos y con la finalidad de lograr una homogeneidad de la mezcla, es que se utilizó una betonera para poder revolver los 3 materiales. La utilización de la betonera se debió a que se hizo mezcla para poder hacer 3 aislantes de la misma dosificación, pero distinto espesor de una sola vez.



Ilustración 3.9: Betonera utilizada.

Fuente: Elaboración propia

Se tomarán muestras en el proceso de secado a modo de ir teniendo un registro del porcentaje de humedad que contenga el elemento estas muestras se tomaran en 3 partes distintas del aislante, con fin poder saber el momento en que el aislante ya se encuentra listo para ser demoldado y usado.



Ilustración 3.10: Aislantes fabricados.
Fuente: Elaboración propia

3.12 Metodología de los ensayos.

3.12.1 Ensayo de Viscosidad

Para este ensayo se utiliza un viscosímetro mecánico, el cual está capacitado para medir altas viscosidades. En la figura 3.12 se muestra el viscosímetro utilizado en la presente investigación se utiliza el viscosímetro BROOKFIELD.



Ilustración 3.11: Viscosímetro BROOKFIELD.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla el procedimiento que se tuvo que realizar durante el desarrollo de la experiencia.

La viscosidad de un fluido se define como una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. por este motivo antes de utilizar el viscosímetro se debe verificar si el fluido contiene solidos a la vista ya que si estos quedan en la solución los resultados obtenidos serán alterados entregando un resultado no preciso.

En el caso de que la solución tenga partículas sólidas, se deberá colar la muestra hasta poder retirar esas partículas sólidas que alteraran los resultados.

Una vez instalado el equipo este debe ser nivelado para poder ser utilizado, luego se enciende el equipo y se instala el Spin LV-02 (El Spin se escoge a partir de distintas opciones que trae el viscosímetro). En la Figura 3.13. Se muestra el spin a utilizar, este spin se utiliza por sugerencia del profesional a cargo de la unidad ya que la baba de nopal no es un fluido altamente viscoso.



Ilustración 3.12: Spin LV-02 en muestra.
Fuente: Elaboración propia

El spin debe ser atornillado en la parte inferior del equipo, una vez instalado en el viscosímetro BROOKING este debe ser configurado con el código que aparece en la parte superior del spin, el cual es especificado en la pantalla del equipo.

Cabe destacar que para la medición se utilizó una temperatura de 20 °C en todo el conjunto de la muestra, además se debe ingresar una velocidad angular la cual fue de 100 RPM.

Una vez ingresado todos los datos para la realización del ensayo en el equipo y verificando que la temperatura sea la estipulada con un termómetro incluido en el viscosímetro, se inicia el análisis. luego de unos segundos la pantalla proyecta los datos obtenidos del ensayo.

3.12.2 Ensayo para determinar las propiedades térmicas.

Para realizar este ensayo la principal norma en la que se basa es la Nch 851 of 83 en la cual se encuentran los pasos para realizar los ensayos para determinar el coeficiente de transmisión térmica y como consecuencia la capacidad de aislación térmica del aislante. Como referencia a esta norma se utiliza la norma 849 of 87 la que presenta terminología, unidades y símbolos necesarios para realizar el estudio de las propiedades térmicas.

Se realiza este ensayo en una cámara a escala que se encuentra aislada en cada una de sus caras, las dimensiones de la cámara son 0,65x3 m en planta y 1,2 m de altura, pero cabe destacar que permite una altura de 60 cm lo que acota a estas dimensiones de 50x60 los aislantes a ensayar. La cámara está construida en una estructura de madera y revestida con terciado estructural de 15 mm, para la aislación cuenta con poliestireno expandido y lana de vidrio entre las placas, el techo de la cámara es removible para efectuar los ensayos y al cerrarse genera un cierre completamente estanco.



Ilustración 3.13: Cámara Térmica del laboratorio de la Universidad.
Fuente: Elaboración propia.

Para comenzar se ubica el aislante o panel a ensayar a una distancia de 1.2 mt de la fuente de calor, a modo de generar espacios separados dentro de la misma cámara, se instala el equipo de medición con los dos sensores, uno en la pared que contiene la fuente emisora de calor y el otro, al otro lado de la cámara donde no hay emisiones de calor. La emisión de calor se realiza por medio de tres ampollitas de 100 [W].

El ensayo consiste en estudiar la temperatura en la cara del panel a la que se le aplica fuente de calor y su vez la temperatura obtenida al traspasar el panel en el extremo de la cámara que no tiene la fuente de calor, además de obtener la temperatura en la cámara sin el aislante y en la cámara con el aislante. De este modo con ayuda del equipo de medición XPLOER GLX. Es posible obtener la diferencia de temperatura en el transcurso del tiempo y por consecuencia la transferencia de calor.



Ilustración 3.14: Equipo de medición XPLORER GLX
Fuente: Elaboración propia.

3.12.3 Ensayo para determinar propiedades acústicas

Para este ensayo se tiene como referencia la norma Nch 2786 of 2002, de aislación acústica, medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción, mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea de elementos de construcción.

Según especificaciones de la norma indica que para realizar el ensayo en elementos de construcción se debe tener un área por lo menos de 10 m², para este ensayo se adaptará a los recursos entregados en el laboratorio de docencia de la Universidad de Valparaíso, el ensayo se realizará en la misma cámara donde se realiza el ensayo de aislación térmica.

El ensayo consiste en colocar una fuente emisora de sonido en un extremo de la cámara a una distancia de 1,2 m. de la superficie de la cara del material a estudiar, y en el lado opuesto de la cámara, también a una distancia de 1,2 metros se coloca una fuente receptora.

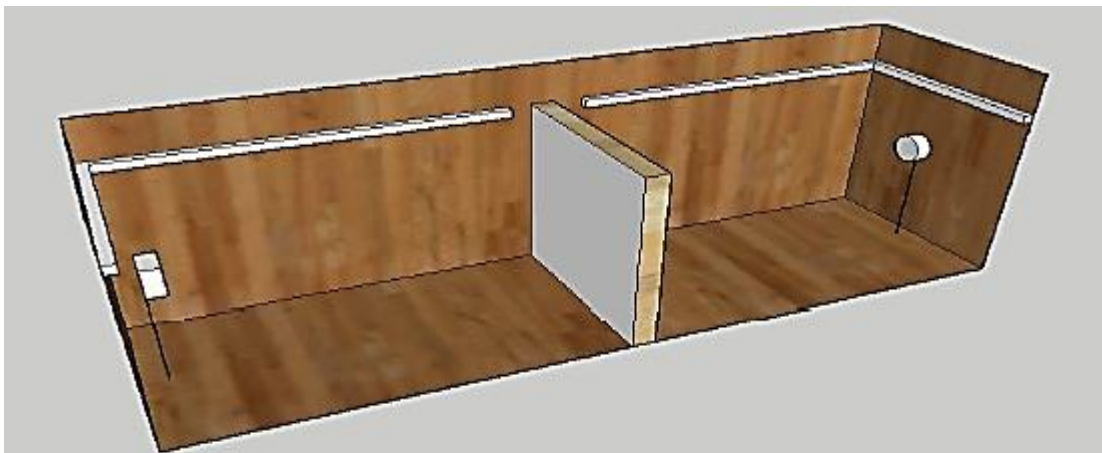


Ilustración 3.15: Cámara para ensayo acústico.
Fuente: Elaboración propia.

Se emite un sonido estacionario y de espectro continuo, el cual debe mantenerse por 30 segundos en cada frecuencia, el que será emitido por medio del software Audacity y las ondas de presión serán recibidas por medio del software PASCO caspene, el ensayo es realizado en un principio con el panel sin aislación en su interior y luego se realiza ubicando el panel con el respectivo aislante a estudiar.

En la norma Nch 352 of 2000, podemos encontrar los requisitos mínimos de aislación acústicas que deben contar las viviendas de uso habitacional, requisitos que el poliestireno expandido (aislante de comparación) cumple.

Si bien los ensayos se realizan referenciando a la norma, estos no entran dentro de la norma, es por esto que se compara con un aislante que su cumpla con ella, si el aislante propuesto tiene mejores prestaciones que el aislante de comparación, estudiado bajo los mismos parámetros, se desprende de aquello que el aislante cumple con los siguientes requisitos mínimos de la norma.

Capítulo 4: Presentación y análisis de resultados.

4.1 Caracterización de los materiales

4.1.1 Granulometría Arcilla

La granulometría de la arcilla se realizó según procedimiento establecido en Nch 165 of 77 y Manual de carreteras V8. Se tomaron 3 muestras de lo recolectado del sector de la pólvora en la Región de Valparaíso.

Los datos obtenidos de la Muestra 1 son los siguientes:

Tabla 4.1: Resumen Granulometría de la Arcilla.

Tamiz	Tamiz (mm)	Muestras		
		1	2	3
		% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa
N° 4	4,75	100	100	100
N° 10	2	100	100	100
N° 40	0,425	95	94	94
N° 200	0,075	81	80	74

Fuente: Elaboración propia.

Grafico promedio de granulometria de la arcilla:

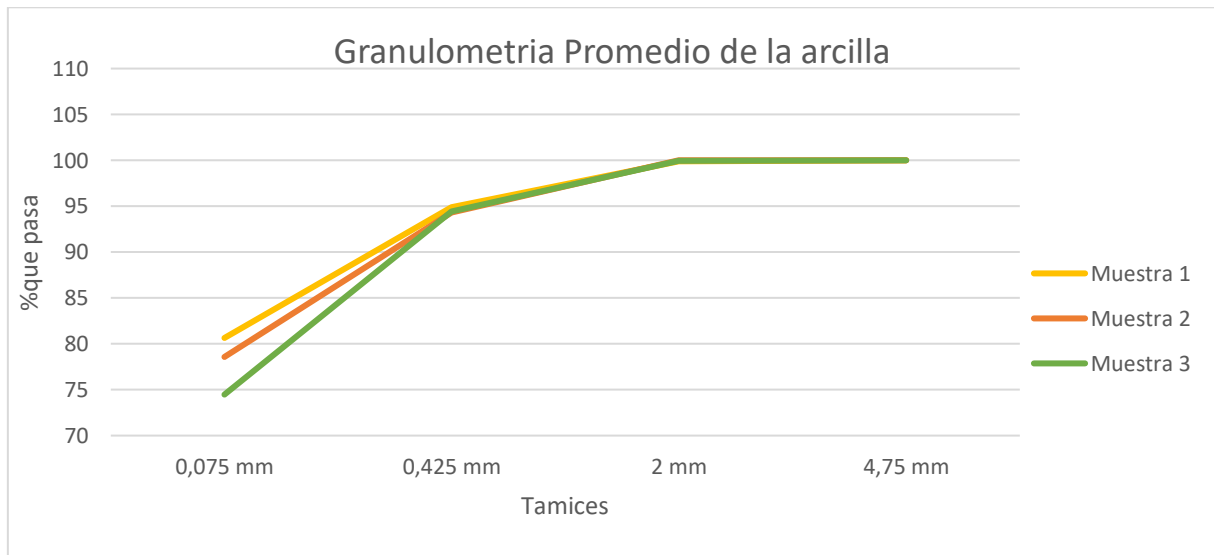


Ilustración 4.1: Granulometría promedio de Arcila.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Límites de consistencia

Los límites de consistencia se realizaron siguiendo las normas Nch 1517/1 y 1517/2 of 79. Además, de que se extrajeron 3 muestras según lo estipulado en las normativas, de lo que se recolecto del sector de la pólvora en la Región de Valparaíso.

Los datos obtenidos para la Muestra 1 son los siguientes:

Tabla 4.2: Límites de consistencias Muestra 1.

Ensaye N°	Límites Líquidos					Límite Plástico		
	1	2	3	4	5	1	2	3
Cápsula N°	59	6	20	2	43	1	8	48
Número de Golpes	17	20	24	28	32			
Peso Cápsula + Suelo Hum.	20,43	21,27	21,33	21,68	20,41	15,14	18,1	13,21
Peso Cápsula + Suelo Seco	16,34	17,66	17,44	17,46	17,25	13,5	16,44	11,74
Peso Cápsula	6,91	8,55	7,33	7,15	9	7,61	10,41	5,75
Peso Agua	4,09	3,61	3,89	4,22	3,16	1,64	1,66	1,47
Peso Suelo Seco	9,43	9,11	10,11	10,31	8,25	5,89	6,03	5,99
% de Humedad	43,4	39,6	38,5	40,9	38,3	27,84	27,53	24,54
Promedio Límite Plástico							26,64	

Fuente: Elaboración propia.

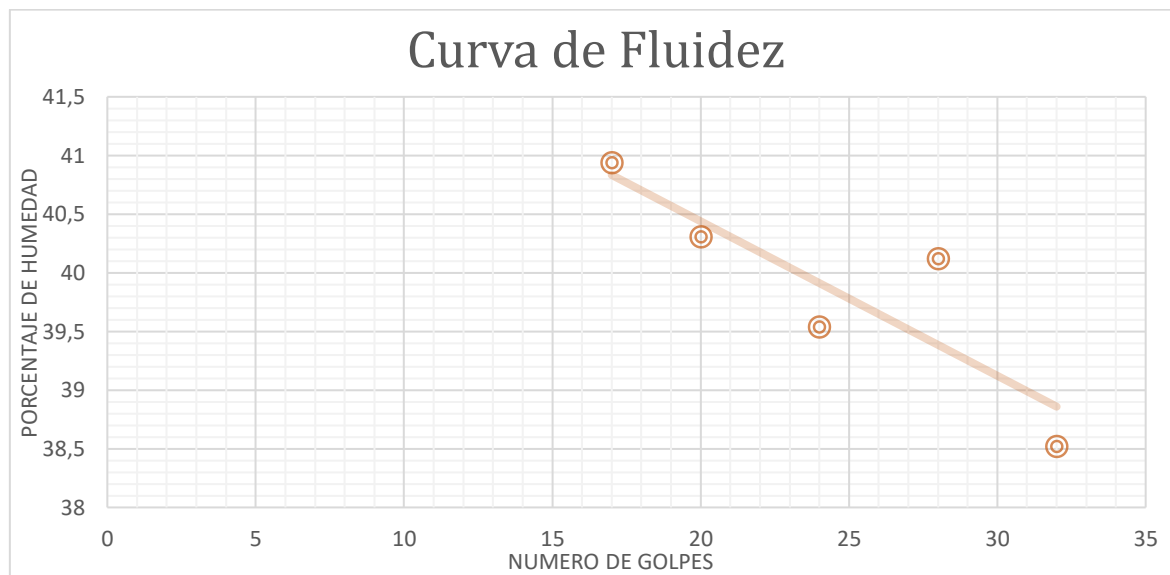


Ilustración 4.2: Curva de Fluidez Muestra 1.

Fuente: Elaboración propia.

Límite Líquido (LL)	40,8
Límite Plástico (LP)	26,64
Índice de Plasticidad	14,16

Los datos obtenidos para la Muestra 2 son los siguientes:

Tabla 4.3: Límites de consistencias Muestra 2.

Ensaye N°	Límites Líquidos					Límite Plástico		
	1	2	3	4	5	1	2	3
Cápsula N°	3	72	56	10	49	2	57	6
Número de Golpes	15	19	27	32	36			
Peso Cápsula + Suelo Hum.	25,7	20,61	20,74	20,09	21,24	16,86	12,74	13,4
Peso Cápsula + Suelo Seco	21,07	16,31	17,04	16,49	17,59	15,45	11,45	12,27
Peso Cápsula	10,17	6,01	7,57	7,36	8,09	9,64	6,24	7,56
Peso Agua	4,63	4,3	3,7	3,6	3,65	1,41	1,29	1,13
Peso Suelo Seco	10,9	10,3	9,47	9,13	9,5	5,81	5,21	4,71
% de Humedad	42,48	41,75	39,07	39,43	38,42	24,27	24,76	23,99
Promedio Límite Plástico							24,34	

Fuente: Elaboración propia.

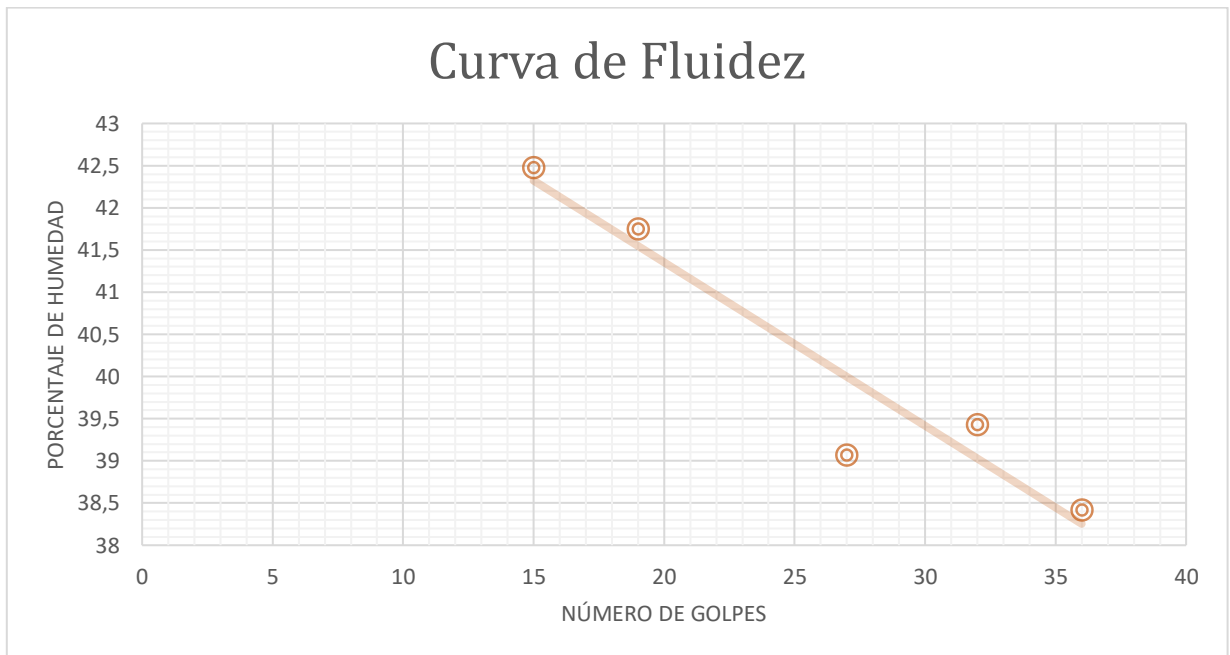


Ilustración 4.3: Curva de Fluidez Muestra 2.

Fuente: Elaboración propia.

Límite Líquido (LL)	40,4
Límite Plástico (LP)	24,34
Índice de Plasticidad	16,06

Los datos obtenidos para la Muestra 3 son los siguientes:

Tabla 4.4: Límites de consistencias.

Ensaye N°	Límites Líquidos					Límite Plástico		
	1	2	3	4	5	1	2	3
Cápsula N°	3	72	56	10	49	2	57	6
Número de Golpes	16	20	28	31	35			
Peso Cápsula + Suelo Hum.	27,11	21,41	23,83	20,09	22,28	16,76	13,74	12,4
Peso Cápsula + Suelo Seco	21,63	17,11	18,54	16,49	17,97	15,55	12,45	11,27
Peso Cápsula	8,5	6,58	5,58	7,3	6,78	10,64	7,24	6,56
Peso Agua	5,48	4,3	5,29	3,6	4,31	1,21	1,29	1,13
Peso Suelo Seco	13,13	10,53	12,96	9,19	11,19	4,91	5,21	4,71
% de Humedad	41,74	40,84	40,82	39,17	38,52	24,64	24,76	23,99
Promedio Límite Plástico							24,47	

Fuente: Elaboración propia.

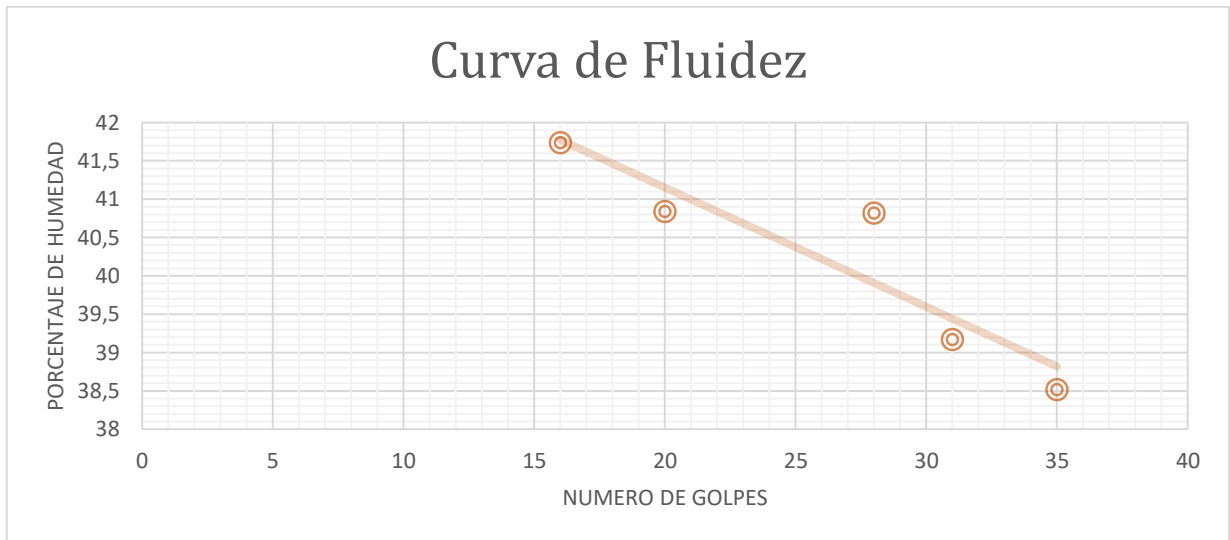


Ilustración 4.4: Curva de Fluidez Muestra 3.

Fuente: Elaboración propia.

Límite Líquido (LL)	40,3
Límite Plástico (LP)	24,47
Índice de Plasticidad	16

Según la granulometría de la arcilla se ve que hay un gran porcentaje de fino el cual es sobre un 80%, además con los ensayos de consistencia se obtiene un índice de plasticidad de 16%, con estos datos se revisa el sistema de clasificación USCS y se obtiene que tenemos una arcilla orgánica de baja plasticidad (CL).

4.1.3 Distribución de tamaños en la Astilla.

Esta granulometría se llevó a cabo para poder caracterizar el material con que se fabricara el aislante propuesto y así ocupar las astillas con los tamaños especificados (2-5 mm). Este ensayo se llevó a cabo con el método especificado en la Nch. 165 of 77, debido de que no hay un método específico para las astillas, se tomó una muestra de 100 gr. Esta muestra fue secada en un horno para evitar que las partículas quedaran pegadas en los tamices.

Tabla 4.5: Granulometría Astilla.

Tamiz	Tamiz Arcilla (mm)	Peso Retenido (Gr)	% Que pasa
N° 4	4,75	2,08	97,92
N° 10	2	35,76	62,16
N° 40	0,425	53,96	8,20
N° 200	0,075	7,24	0,96
Total		99,04	

Fuente: Elaboración propia.

Muestra Inicial (Gr)		100
Muestra Final (Gr)		99,04

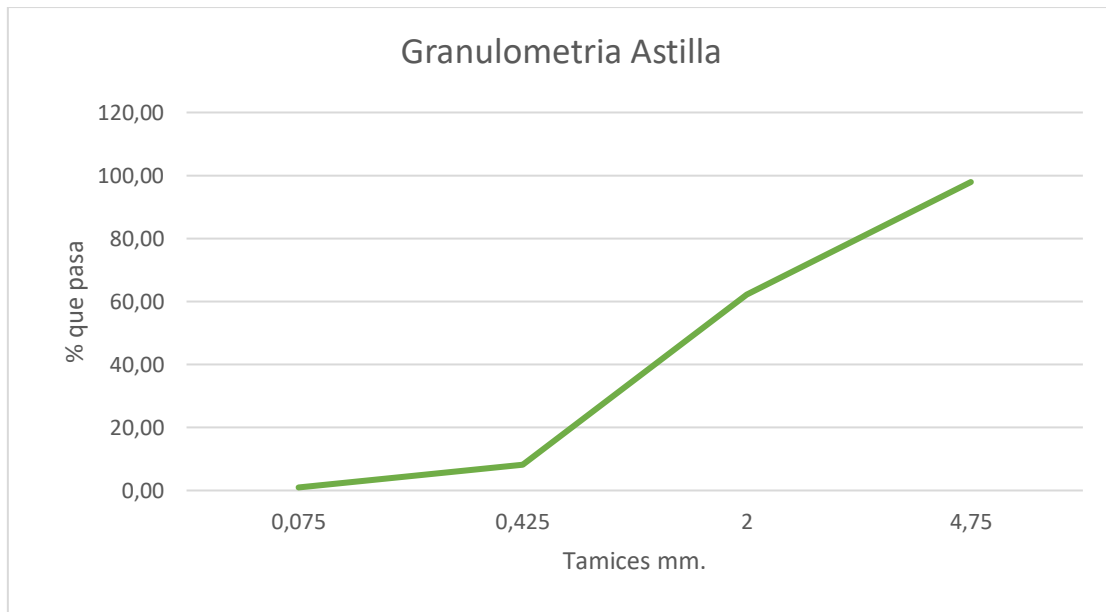


Ilustración 4.5: Granulometría promedio de la Astilla.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Determinación de humedad de la Astilla

Para poder determinar la humedad a la que se encuentra la astilla que se utilizará para la fabricación de los paneles se siguió el procedimiento descrito en la norma Nch 1515 of 79. El porcentaje de humedad obtenido está dentro de lo estipulado anteriormente por lo que no se necesita secar este material para poder fabricar los aislantes.

Muestra 1	
Determinación de Hum. Astilla	(Gr.)
Peso Cápsula + Suelo Hum.	69,54
Peso Cápsula + Suelo Seco	65,82
Peso Cápsula	38,2
Peso Agua	3,72
Peso Suelo Seco	27,62
% de Humedad	13,47

Muestra 2	
Determinación de Hum. Astilla	(Gr.)
Peso Cápsula + Suelo Hum.	486,67
Peso Cápsula + Suelo Seco	481,51
Peso Cápsula	447,52
Peso Agua	5,16
Peso Suelo Seco	33,99
% de Humedad	15,18

Muestra 3	
Determinación de Hum. Astilla	(Gr.)
Peso Cápsula + Suelo Hum.	112,51
Peso Cápsula + Suelo Seco	108,45
Peso Cápsula	79,74
Peso Agua	4,06
Peso Suelo Seco	28,71
% de Humedad	14,14

Porcentaje promedio de las humedades:	14,26
---------------------------------------	-------

4.1.5 Extracción y cantidad de extracto de nopal.

Para obtención del extracto de la planta de nopal fue necesario describir una metodología para que pueda ser replicada en otras experiencias. El procedimiento que se siguió para la obtención del extracto de nopal proviene de una receta desarrollada por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado Mexicano y que se describe a continuación:

Se obtuvo pencas de la planta *Opuntia Ficus-Indica*, de la ciudad de viña del mar específicamente del sector de la quinta Vergara.

Las pencas fueron limpiadas y cortadas en cuadrados de 5cm x 5cm como se muestra en las figuras.

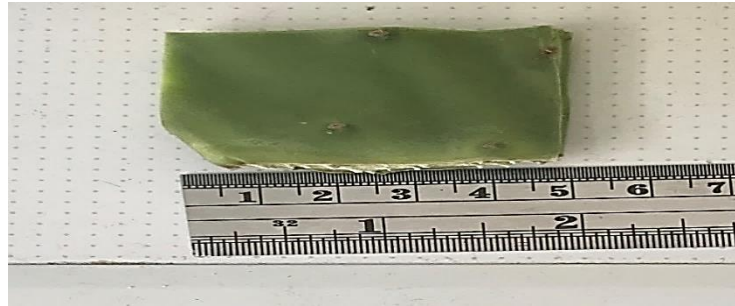


Ilustración 4.6: Dimensiones de cortes de nopal.

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el proceso de extracción se utilizó una relación 1:1 entre los kilogramos de nopal picado y agua. Es decir, en 2 kg. De paletas de la planta picada en 2 litros de agua.



Ilustración 4.7: Macerado del nopal cortado

Fuente: Elaboración propia.

Se dejó reposar por 24 horas, donde ya había empezado el proceso de desprendimiento de este líquido viscoso formando una solución con el agua. Mediante un colador se filtraron las partículas sólidas de la solución resultante, dando origen a un líquido más limpio.

Se obtuvo un resultante de extracto de nopal de 1,48 litros para una experiencia, resultando un rendimiento de extracto de 0,72 litros por kg de nopal. La sustancia resultante se almacena en botellas de vidrio cerradas para su utilización en esta investigación.

4.1.6 Determinación de la Viscosidad

Descripción del viscosímetro.

El funcionamiento del viscosímetro Brookfield se basa en el principio de la viscosimetría rotacional; mide la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un spin o aguja inmerso en la muestra de fluido a estudiar.

El par de torsión es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido y, en consecuencia, a la viscosidad del fluido.

Los viscosímetros Brookfield son de fácil instalación y gran versatilidad y para su manejo no se necesitan grandes conocimientos operativos.

Una vez aplicados una serie de procedimientos el viscosímetro Brookfield arroja el resultado de la viscosidad de las propuestas los cuales se muestran a continuación.

Tabla 4.6: Viscosidad Extracto de nopal.

Fluido	Extracto Nopal 24 hr.	Extracto de Nopal 24 hr. (trozos Reutilizados)
Temperatura (°C)	20	20
Spin	LV-02	LV-02
Velocidad Angular (RPM)	100	100
% Torque	13	13,4
Viscosidad (cP)	416	429

Fuente: Elaboración propia.

En comparación con el agua que tiene una viscosidad de 1 cP, el extracto de nopal es 400 veces más viscoso esto le entregaría mayor flexibilidad ayudando a que el aislante se mantenga en su forma original sin que se quiebre al ser manipulado.

4.2 Resultados de los ensayos térmicos.

Los resultados de los ensayos térmicos entregados por el software PASCO CAPSTONE se podrán apreciar en los anexos mediante tablas, a continuación, solo se expresará un resumen de estos datos entregados por el programa.

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los resultados térmicos que entregaron los aislantes confeccionados, este resumen se desarrolló debido a que la configuración del programa arroja resultados cada 5 min de las diferencias de temperatura, es por eso que solo se entregaran los valores obtenidos para los 30, 60, 90 y 120 minutos, expresando la temperatura de la cámara sin los aislantes propuestos, de la cara de los aislantes expuesta a la fuente de calor, de la que no está expuesta y finalmente de la cámara aislada con el material.

Tabla 4.7: Resumen de datos aislación térmica.

Aislante A: Dos: 30/70; e:30 mm.						
ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA						
Tiempo (min)	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°		ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	28,23	22,29	18,53	18,27	3,76	277,01
60	34,36	26,7	21,43	18,17	5,27	278,52
90	37,86	30,01	23,98	18,17	6,03	279,28
120	40,85	35,8	19,56	18,25	17,53	290,53

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8: Resumen de datos aislación térmica.

Aislante B: Dos: 40/60; e:30 mm.						
ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA						
Tiempo (min)	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°		ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	37,16	28,2	20,65	21,28	7,55	280,80
60	41,73	31,63	21,68	21,58	9,95	283,20
90	44,91	34,02	22,38	21,93	11,64	284,89
120	47,16	35,8	22,93	22,3	12,87	286,12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9: Resumen de datos aislación térmica.

Patrón: EPS 30 mm.						
ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA						
Tiempo (min)	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°		ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	24,81	22,17	14,04	14,69	8,13	281,38
60	31,06	27,22	14,98	14,96	12,24	285,49
90	34,59	30,32	15,8	15,41	14,52	287,77
120	37,41	32,78	16,56	15,93	16,22	289,47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10: Resumen de datos aislación térmica.

Aislante A: Dos: 30/70; e:40 mm.						
ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA						
Tiempo (min)	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°		ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	38,1	30,2	18,94	18,59	11,26	284,51
60	42,64	33,81	19,83	18,94	13,98	287,23
90	45,62	36,32	20,67	19,43	15,65	288,90
120	48,15	38,41	21,45	19,95	16,96	290,21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11: Resumen de datos aislación térmica.

Aislante B: Dos: 40/60; e:40 mm.						
ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA						
Tiempo (min)	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°		ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	43,18	31,91	20,23	19,55	11,68	284,93
60	47,32	35,67	21,67	19,91	14	287,25
90	50,5	38,43	22,85	20,37	15,58	288,83
120	52,57	40,39	23,76	20,85	16,63	289,88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12: Resumen de datos aislación térmica.

Patrón: EPS 40 mm.						
Tiempo (min)	ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA				ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°			
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	26,95	25,42	16,06	16,71	9,36	282,61
60	32,87	30,57	16,9	16,84	13,67	286,92
90	36,91	34,04	17,55	17,05	16,49	289,74
120	40,08	36,85	18,13	17,3	18,72	291,97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13: Resumen de datos aislación térmica.

Aislante B: Dos: 30/70; e:70 mm.						
Tiempo (min)	ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA				ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°			
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	26,71	25,23	15,45	17,09	9,78	283,03
60	30,78	29,48	15,98	17,58	13,5	286,75
90	33,94	32,04	16,12	18,14	15,92	289,17
120	36,64	35,23	12,6	18,74	21,79	294,79

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14: Resumen de datos aislación térmica.

Aislante B: Dos: 40/60; e:70 mm.						
Tiempo (min)	ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA				ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°			
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	34,49	25,85	16,14	18,04	9,71	282,96
60	38,58	29,31	16,51	18,02	12,8	286,05
90	41,03	31,57	17,08	18,12	14,49	287,74
120	43,3	33,5	17,67	18,3	12,63	285,63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15: Resumen de datos aislación térmica.

Patrón: EPS 70 mm.						
Tiempo (min)	ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA				ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras
	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°			
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°		
30	34,68	32,51	17,54	18,46	14,97	288,22
60	39,38	36,83	17,87	18,47	18,96	292,21
90	42,89	39,99	18,16	18,54	21,83	295,08
120	45,29	42,16	18,42	18,65	23,74	296,99

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Calculo de potencia entregada.

Como se sabe la fuente de calor que tiene la cámara térmica que se encuentra en el laboratorio de construcción está compuesta por 3 ampolletas de 100 (W) cada una, pero al ser una cámara térmica artesanal que no cuenta con una debida aislación esta potencia se pierde por lo que le termina llegando es una potencia menor a la probeta de aislación que se está ensayando.

Para poder determinar esta potencia se ensayó un poliestireno expandido de 30 mm. de espesor y de las mismas medidas que los aislantes propuestos (0.65 X 0.50 m.), este ensayo se llevó a cabo en las mismas condiciones de los aislantes propuestos, para así obtener valores que puedan ser comparados entre los aislantes.

Según la ficha técnica de la empresa Aislapol la conductividad térmica del aislante ensayado es de 0.038 (W/m*K), con este valor más el espesor (0.03 m.) del aislante ensayado podemos obtener la resistencia térmica del material.

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0.03}{0.038} = 0.789 \left(\frac{m^2 * k}{W} \right)$$

Una vez obtenido este valor se determina la transmisión térmica del material, la cual está definida de la siguiente manera.

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0.789} = 1.27 \left(\frac{W}{m^2 * K} \right)$$

Finalmente, con este valor junto con las diferencias de temperatura entre las caras y el área de la sección utilizada, se puede despejar la potencia entregada de la formula del coeficiente de transmisión térmica.

$$Ke = \frac{\phi}{A * (t_2 - t_1)}$$

$$1.27 = \frac{\phi}{0.3 * 286.03}$$

$$\phi = 108.97 \cong 109 W$$

Una vez obtenido el valor de la potencia se pueden calcular las distintas fórmulas para cada uno de los aislantes diseñados.

4.2.2 Cálculo de transmisión térmica y resistencia térmica

Para realizar este cálculo se utilizaron las fórmulas expresadas en el punto 2.5.1 y 2.5.2.

Tabla 4.16: Resistencia térmica y transmisión térmica para espesor 30mm.

Aislante	Duración (min)	Area (m ²)	Temperatura T2 (°C)	Temperatura T1 (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°K)	Potencia (W)	KE(W/m ² *K)	Rt (m ² *K/W)
EPS 30 mm	120	0,3	32,78	16,56	16,22	289,22	109	1,256	0,796
Aislante (40/60) 30 mm.	120	0,3	35,73	22,93	12,87	285,87	109	1,271	0,787
Aislante (30/70) 30 mm.	120	0,3	35,8	19,56	17,53	290,53	109	1,251	0,800

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.17: Resistencia térmica y transmisión térmica para espesor 40mm.

Aislante	Duración (min)	Area (m ²)	Temperatura T2 (°C)	Temperatura T1 (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°K)	Potencia (W)	KE(W/m ² *K)	Rt (m ² *K/W)
EPS 40 mm	120	0,3	36,85	18,13	18,72	291,72	109	1,245	0,803
Aislante (40/60) 40 mm.	120	0,3	35,67	22,67	16,63	289,63	109	1,254	0,797
Aislante (30/70) 40 mm.	120	0,3	40,39	21,76	16,96	289,96	109	1,253	0,798

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.18: Resistencia térmica y transmisión térmica para espesor 70mm.

Aislante	Duración (min)	Area (m ²)	Temperatura T2 (°C)	Temperatura T1 (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°K)	Potencia (W)	KE(W/m ² *K)	Rt (m ² *K/W)
EPS 70 mm	120	0,3	42,16	18,42	23,74	296,74	109	1,224	0,817
Aislante (40/60) 70 mm.	120	0,3	33,5	17,67	12,63	285,63	109	1,272	0,786
Aislante (30/70) 70 mm.	120	0,3	35,23	12,6	21,79	294,79	109	1,233	0,811

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Cálculo de conductividad térmica

Para obtener el valor de la conductividad térmica se procedió a despejar de la fórmula de la resistencia térmica, donde:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{e}{R}$$

Con la fórmula anterior se procedió a sacar la conductividad térmica de los distintos aislantes diseñados, además se determinó este dato para el aislante patrón con el fin de que tuviera el mismo flujo térmico que los otros aislantes imitando las condiciones.

Tabla 4.19: Conductividad térmica para espesor 30mm.

Aislante	Rt (m ² *K/W)	Espesor (m.)	λ (W/m*K)
EPS 30 mm	0,796	0,030	0,0377
Aislante (40/60).	0,787	0,030	0,0381
Aislante (30/70).	0,800	0,030	0,0375

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.20: Conductividad térmica para espesor 40mm.

Aislante	Rt (m ² *K/W)	Espesor (m.)	λ (W/m*K)
EPS 40 mm	0,803	0,040	0,050
Aislante (40/60).	0,797	0,040	0,050
Aislante(30/70).	0,798	0,040	0,050

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.21: Conductividad térmica para espesor 70mm.

Aislante	Rt (m ² *K/W)	Espesor (m.)	λ (W/m*K)
EPS 70 mm	0,817	0,070	0,086
Aislante (40/60)	0,786	0,070	0,089
Aislante (30/70)	0,811	0,070	0,086

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Análisis de evaluación térmica.

4.3.1 Generalidades

En este ítem se conocerán los análisis de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio de la universidad de Valparaíso en el sector de playa ancha. Estos resultados se interpretarán mediante gráficos con la finalidad de obtener una lectura más clara.

Los gráficos térmicos se presentarán en dos formatos, en uno se mostrará la diferencia de temperatura entre la cara expuesta a la fuente de calor y la cara que no lo está, una vez transcurrido 120 minutos del ensayo, además serán agrupados por espesor de los aislantes fabricados para así poder ser comparado con el aislante que se encuentra en el mercado. Mientras que el segundo gráfico será una comparación entre las resistencias térmicas de los aislantes propuestos y el aislante patrón que en este caso es el poliestireno expandido en las 3 dimensiones (30, 40 y 70 mm.)

Los gráficos acústicos representaran el diferencial acústico en las distintas frecuencias captadas por el sonómetro cuando esta la cámara sin el aislante, con el aislante patrón y con los aislantes propuestos.

Cómo se explicó anteriormente los análisis se expresarán en gráficos en donde en el primer caso en el eje de coordenadas “Y” se representa la diferencia de temperatura entre las caras en grados Celsius de 0 a 20 °C, mientras que en el eje de coordenadas “X” se representara los distintos aislantes ensayados.

Para cada espesor se presenta un gráfico en donde los datos representados son obtenidos por ensayos que tienen una duración de 2 horas con intervalos de 5 min.

También se analizará mediante un gráfico la resistencia térmica de los aislantes fabricados en comparación con el aislante que se encuentra en el mercado (EPS).

4.3.2 Análisis de resultados térmicos a aislantes espesor 30 mm.

a) Diferencia de temperatura entre las caras.

A continuación, en el gráfico 5-1 se muestran los distintos aislantes de espesor 30 mm. haciendo una comparación con un aislante patrón (EPS) de las mismas dimensiones, esta comparación se hizo con la diferencia de temperatura entre la cara expuesta a la fuente de calor y con la que no lo está.

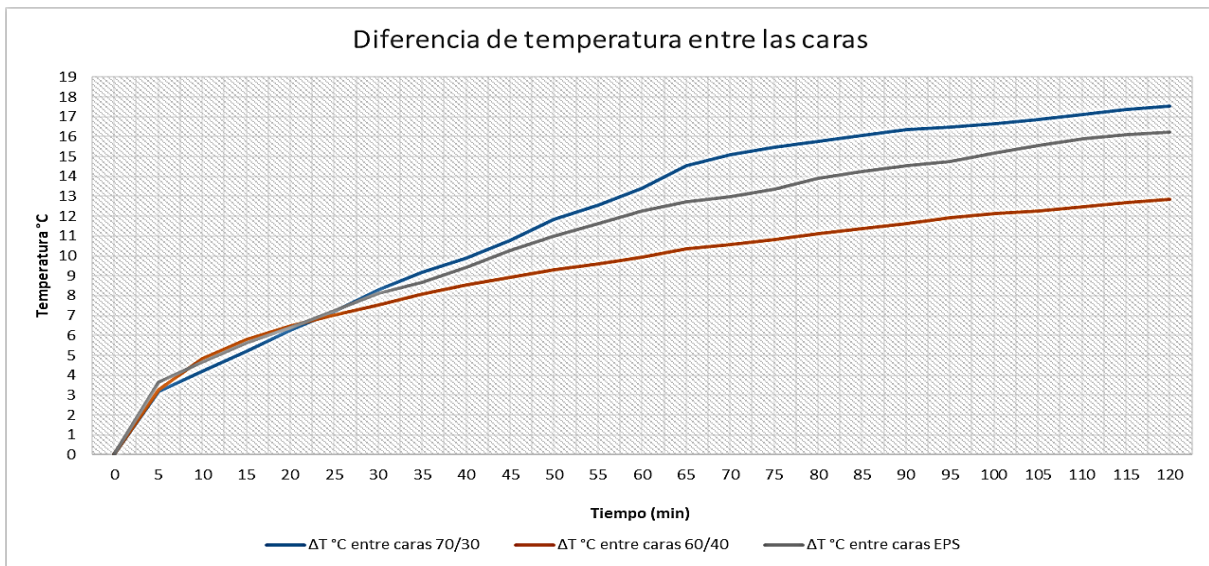


Ilustración 4.8: Diferencia de Temperatura entre las caras espesor 30 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede observar en el aislante de dosificación 40/60, la diferencia de temperatura es menor que la del aislante patrón, lo que quiere decir que el traspaso de calor entre la cara expuesta a la fuente de calor y la cara que no lo está, fue mayor en el aislante fabricado que en el poliestireno expandido. Esto se podría interpretar, en este caso, que el poliestireno tiene mejores condiciones de aislación que el aislante propuesto.

En caso contrario el aislante de dosificación 30/70 presento una diferencia de temperatura levemente mayor (aproximadamente 2°C) que el aislante patrón, lo que quiere decir que no hubo tanto traspaso de calor entre las caras. Esto haría posible que el poliestireno expandido ocupado en la aislación de una vivienda pueda ser reemplazado por el aislante propuesto en la dosificación especificada.

Al tener un comportamiento térmico similar entre los aislantes la resistencia térmica no varía mucho entre ellos, por lo que los decimales son los que hacen la diferencia entre ellos. Entre mayor sea la resistencia térmica del elemento mejor será la aislación entre un ambiente y el otro.

Recordar que el aislante patrón fue ensayado bajo las mismas condiciones que los demás aislantes con el fin de que los datos obtenidos puedan ser comparados.

b) Resistencia térmica.

En el siguiente gráfico se muestra la resistencia térmica de los aislantes fabricados en sus distintas dosificaciones y del poliestireno expandido utilizado como patrón, todos los elementos cuentan con el mismo espesor de 30 mm.

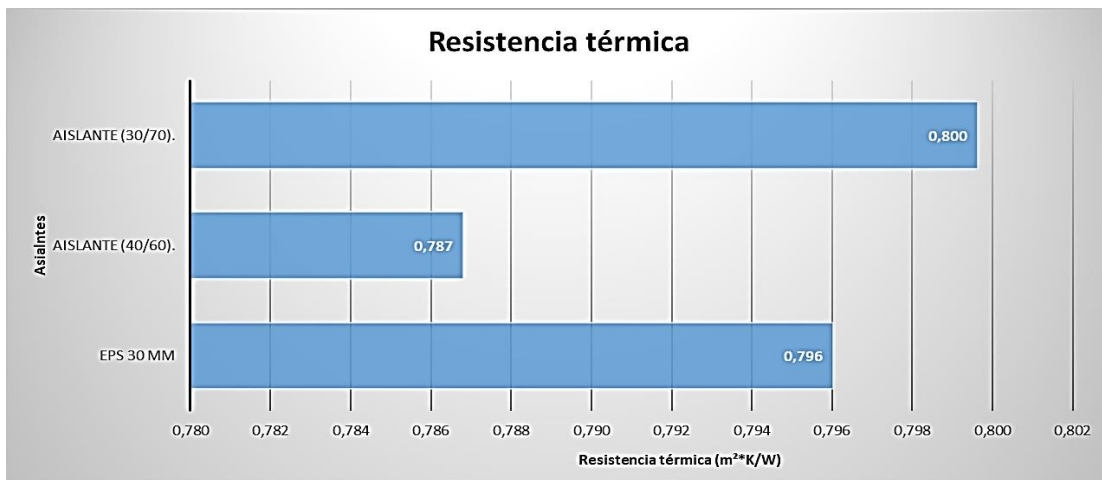


Ilustración 4.9: Resistencia térmica espesor 30 mm.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico la resistencia térmica del aislante con la dosificación 30/70 es levemente mayor en comparación con el EPS, lo que hace que presente buenas condiciones de aislación, siendo fácilmente reemplazado el que se encuentra en el mercado por los aislantes propuestos en la dosificación especificada.

Mientras que el aislante con dosificación 40/60 presenta una resistencia térmica levemente menor que el aislante patrón, lo que hace que no tenga mejores condiciones de aislación que el EPS.

La resistencia térmica entre los aislantes ensayados es muy similar entre ellos sí que fácilmente cualquiera de los dos aislantes propuestos puede reemplazar al aislante que se encuentra en el mercado.

4.3.3 Análisis de resultados térmicos a aislantes espesor 40 mm.

a) Diferencia de temperatura entre las caras.

A continuación, en el gráfico 5-3 se muestran los distintos aislantes de 40 mm. haciendo una comparación de la diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre el EPS y los aislantes fabricados con su respectiva dosificación.

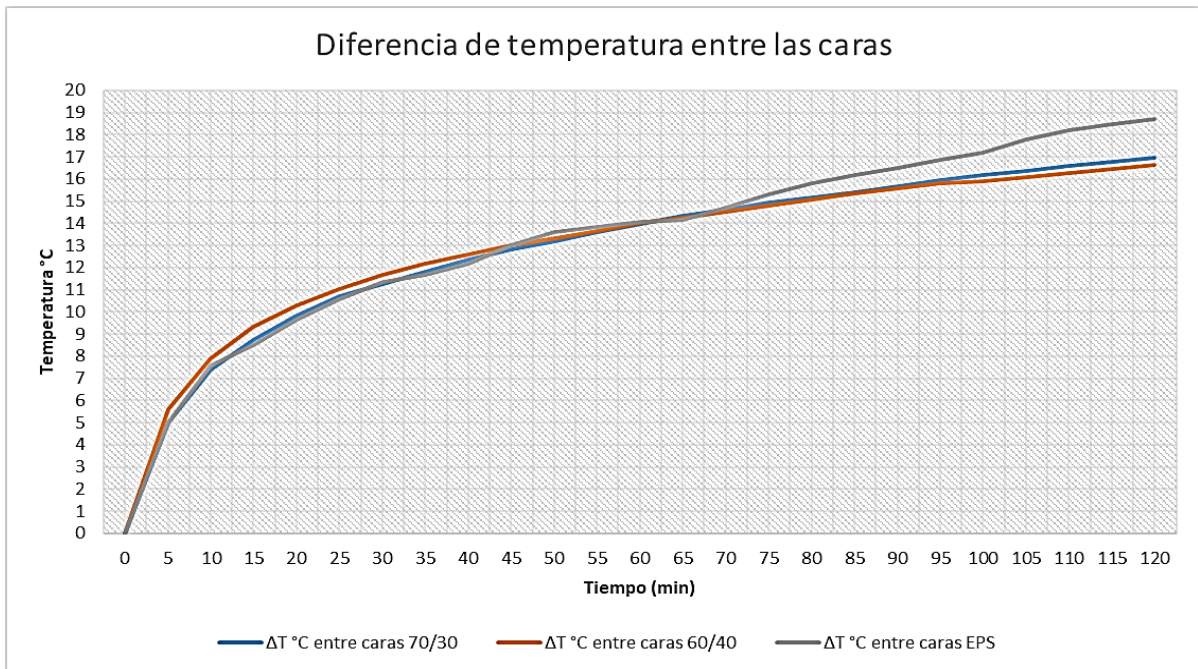


Ilustración 4.10: Diferencia de Temperatura entre las caras espesor 40 mm.
Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede observar en este caso los tres aislantes tienen curvas semejantes entre ellos, con una leve diferencia del aislante patrón con las dos dosificaciones propuestas en esta investigación, lo que quiere decir que no hay diferencias entre ellos, por lo que el EPS podría ser reemplazado por los aislantes propuestos obteniendo las mismas condiciones de aislación.

En el caso del aislante de dosificación 40/60 fue el que presentó una diferencia de temperatura menor, lo que quiere decir que hubo un mayor traspaso de calor entre las caras. Esto produce que las condiciones de aislación de este aislante sean menores que las del aislante que se encuentra en el mercado.

Al tener un espesor mayor que los aislantes mencionados en el punto anterior, la diferencia de temperatura también es mayor, lo que genera una menor conductividad térmica del material.

Con el análisis de este punto ya se puede ver que los aislantes de dosificación 30/70 tienen mejores diferencias de temperatura entre las caras que los aislantes fabricados con la dosificación 40/60.

b) Resistencia térmica.

En el siguiente gráfico se muestra la resistencia térmica de los aislantes fabricados en sus distintas dosificaciones y del poliestireno expandido utilizado como patrón, todos los elementos cuentan con el mismo espesor de 40 mm.

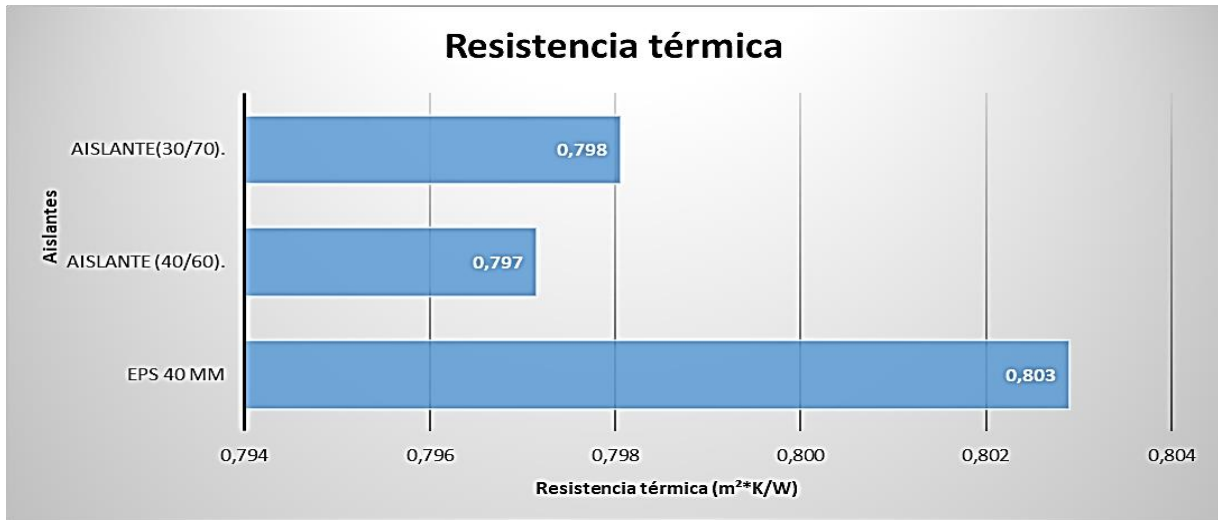


Ilustración 4.11: Resistencia térmica espesor 40 mm.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico la resistencia térmica del aislante con la dosificación 40/60 es menor en comparación con el EPS, lo que hace que no presente buenas condiciones de aislación.

Mientras que el aislante con dosificación 30/70 presenta una resistencia térmica muy similar que el aislante patrón, lo que hace que tenga condiciones de aislación muy similares al EPS.

La resistencia térmica entre los aislantes ensayados varía en muy poco entre ellos por esto es que fácilmente cualquiera de los dos aislantes propuestos puede reemplazar al aislante que se encuentra en el mercado.

4.3.4 Análisis de resultados térmicos a aislantes espesor 70 mm.

a) Diferencia de temperatura entre las caras.

A continuación, en el gráfico 5-5 se muestran los distintos aislantes ensayos de 70 mm. haciendo una comparación de la diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre el EPS y los aislantes fabricados con su respectiva dosificación.

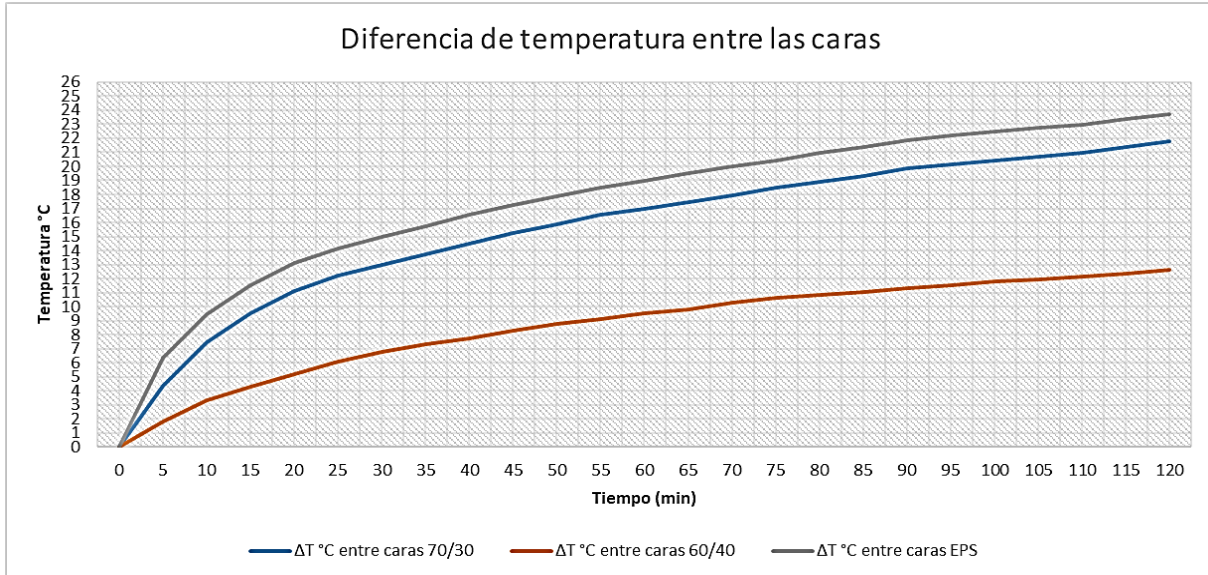


Ilustración 4.12: Diferencia de Temperatura entre las caras espesor 70 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede observar en este aislante también es la dosificación 40/60, la que tiene una diferencia de temperatura entre las caras menor a la del aislante patrón, por lo que el aislante propuesto en esta dosificación no podría ser reemplazado por el EPS que se encuentra en el mercado.

En caso contrario el aislante de dosificación 30/70 presento una diferencia de temperatura semejante con la del aislante patrón (aproximadamente 2°C) esto produce que las condiciones de aislación de este aislante son similares a que las del aislante que se encuentra en el mercado.

Al tener el mayor espesor entre todos los aislantes mencionados en los puntos anteriores, la diferencia de temperatura también es mayor, lo que genera una menor conductividad térmica del material provocando una buena aislación térmica.

Con el análisis de este último aislante fabricado se puede ver que la dosificación que presento mejores condiciones de aislación es la 30/70, esto fue una constante en los 3 espesores fabricados.

b) Resistencia térmica.

En el siguiente gráfico se muestra la resistencia térmica de los aislantes fabricados en sus distintas dosificaciones y del poliestireno expandido utilizado como patrón, todos los elementos cuentan con el mismo espesor de 40 mm.

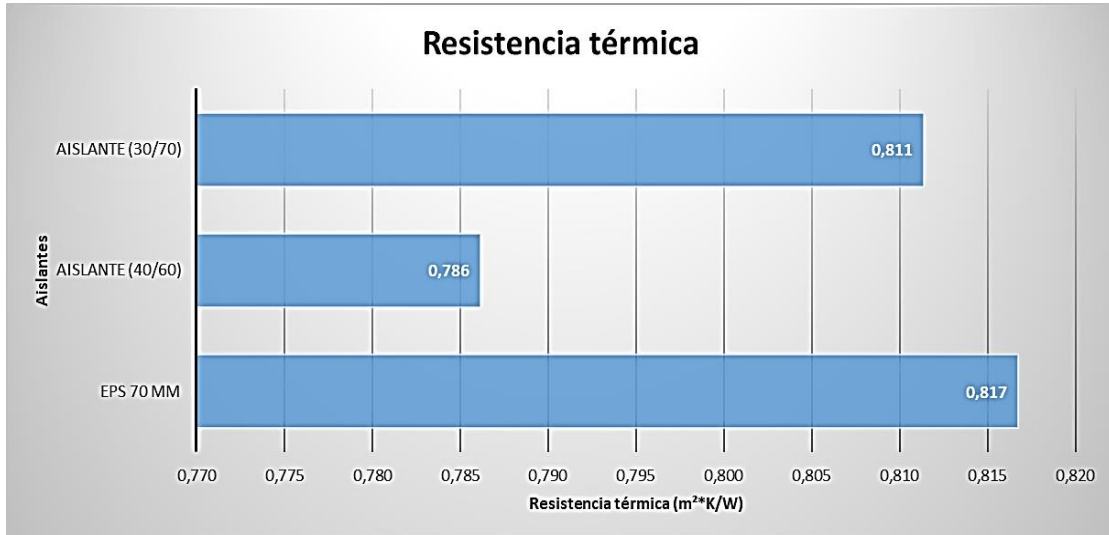


Ilustración 4.13: Resistencia térmica espesor 70 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico la resistencia térmica del aislante con la dosificación 40/60 es menor en comparación con el EPS, lo que hace que las condiciones de aislación no sean buenas para esta dosificación.

Mientras que el aislante con dosificación 30/70 presenta una resistencia térmica levemente menor que el aislante patrón, lo que hace que tenga condiciones de aislación muy similares entre el aislante fabricado y el poliestireno expandido.

La resistencia térmica entre los aislantes ensayados varía en muy poco entre ellos por esto es que fácilmente cualquiera de los dos aislantes propuestos puede reemplazar al aislante que se encuentra en el mercado.

4.4 Análisis del cumplimiento de la reglamentación térmica artículo 4.1.10

En la tabla que se muestra a continuación se hace una comparación entre las resistencias térmicas obtenidas de los distintos aislantes y los requisitos que solicita ordenanza general de urbanismo para las distintas zonas a lo largo de Chile.

Los valores de la resistencia térmica que poseen los elementos de estudio deberán ser igual o menor a la señalada para la zona que le corresponda.

Los aislantes fabricados debido a su peso solo pueden ser usados en los muros de una vivienda, por lo que se hará una comparación con los valores solicitados para este tipo de usos.

Tabla 4.22: Revisión de cumplimiento de requisitos solicitados en reglamentación térmica.

ZONA	Muros	Aislante (30/70)	Aislante (40/60)	Aislante (30/70)	Aislante (40/60)	Aislante (30/70)	Aislante (40/60)
	Rt (M2k/W)	30 mm.	30 mm.	40 mm.	40 mm.	70 mm.	70 mm.
1	0,25	√	√	√	√	√	√
2	0,33	√	√	√	√	√	√
3	0,53	√	√	√	√	√	√
4	0,59	√	√	√	√	√	√
5	0,63	√	√	√	√	√	√
6	0,91	×	×	×	×	×	×
7	1,67	×	×	×	×	×	×

Fuente: Elaboración propia.

Con la siguiente tabla se comprueba que todos los aislantes pueden ser usados en desde la primera zona térmica hasta la quinta, no pudiendo ser instalados en las dos últimas correspondientes a la IX, X región y la cordillera y zona austral.

A pesar de que la resistencia térmica en algunos aislantes fue menor que la del aislante patrón, al momento de ser evaluados en el artículo 4.1.10 todos cumplen hasta la quinta zona térmica, pudiendo ser utilizado específicamente en la segunda zona en donde se ubica la región de Valparaíso, lugar donde se desea ocupar principalmente.

El propósito de cumplir con la normativa vigente es mejorar la calidad de vida de las personas que habitaran la vivienda aislada con el elemento propuesto, mediante un mejor confort térmico, buscando optimizar y/o reducir el consumo de combustibles destinados a la calefacción o refrigeración de la vivienda.

Se puede determinar que el aislante fabricado en base de astilla del descortezado de eucalipto, arcilla y extracto de nopal, en sus distintas dosificaciones utilizadas en esta investigación, satisfacen de

gran manera los requerimientos mínimos establecidos por el manual de reglamentación térmica del artículo 4.1.10 de la OGUC. para la zona de muros.

Enfocándose principalmente en la zona térmica N°2, se puede rectificar que es un excelente aislante en sus dos dosificaciones ((30/60) y (30/70)) y en los tres espesores (30,40 y 70 mm.) cumpliendo favorablemente con los requisitos para muros de esta zona.

4.5 Resultados de los ensayos acústicos.

Los resultados de los ensayos acústicos fueron separados por espesor para tener una comparación más clara, se expresarán en tablas en las cuales se reflejan los comportamientos que tuvieron los aislantes fabricados, además del aislante patrón que le corresponda, en este ensayo se utilizaron distintas frecuencias emitidas entre 100 y 5000 Hertz según la Norma Chilena Nch 2786 of 2002.

Tabla 4.23 Registro de decibeles captados espesor 30 mm.

frecuencia (Hz)	Decibeles captados por el sonometro			
	Sin aislante	EPS 30 mm.	(40/60) 30 mm.	(30/70) 30 mm.
100	43,2	41,6	41,1	41,7
125	45,1	40,6	40,9	41,8
160	43,5	41,2	40	40,8
200	44,8	42,3	42	41,7
250	58,5	42	46	45,5
315	58,5	42,5	53,1	53,7
400	50,6	51,2	43,3	43,9
630	60,6	47,1	52,5	51,9
870	67	64	66	66,5
1250	69	69,1	67	68
1600	69,8	66,1	69,5	69
2000	70,5	61,3	65,5	68,4
3100	62,9	55	57,5	57,3
4600	40,2	40,7	39,4	39,1
5000	60,5	59,1	59,2	59,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.24: Registro de decibeles captados espesor 40 mm.

frecuencia (Hz)	Decibeles captados por el sonometro			
	Sin aislante	EPS 40 mm	(40/60) 40 mm.	(30/70) 40 mm.
100	43,2	41,6	41,2	41,5
125	45,1	40,6	40,5	41,4
160	43,5	40,8	39,8	40,3
200	44,8	41,8	41,4	41,1
250	58,5	42,3	45,2	45
315	58,5	42	52,6	53,5
400	50,6	50,3	43	42,8
630	60,6	46,8	51,3	50,9
870	67	62,2	65,6	65
1250	69	64,9	64,3	65
1600	69,8	45,6	68,7	68,5
2000	70,5	52	64,4	67,8
3100	62,9	50,9	56,8	57,4
4600	40,2	40,6	38,7	38,3
5000	60,5	59,8	59,6	59,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.25: Registro de decibeles captados espesor 70 mm.

frecuencia (Hz)	Decibeles captados por sonometro			
	Sin aislante	EPS 70 mm.	(40/60) 70 mm.	(30/70) 70 mm.
100	43,2	41,3	41,5	41,3
125	45,1	40,3	40,5	40,6
160	43,5	40,7	40,4	40,2
200	44,8	41,8	40,7	40,8
250	58,5	40,7	40,3	40,1
315	58,5	41,5	40,8	40,9
400	50,6	46,6	47,8	47,5
630	60,6	44,1	43,9	43,4
870	67	57,7	61,4	61,6
1250	69	64,1	64,5	64,8
1600	69,8	64,1	61,2	61,3
2000	70,5	53,2	66,5	66,7
3100	62,9	47,6	50,8	50,5
4600	40,2	41,2	40,2	40,4
5000	60,5	59,6	59,3	59,2

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se encuentran en las tablas corresponden para cada tipo de aislante, en ellas se muestran las cantidades de decibeles que captó el sonómetro cuando se emitió la frecuencia señalada. La pérdida de decibeles se debe a que el elemento de estudio absorbe un porcentaje de la frecuencia y queda retenido en él, lo que genera que se produzca una aislación entre cámaras.

4.5.1 Diferencial Acústico de dB

A continuación, en la tabla se pueden verificar los diferenciales acústicos en dB, este número se calculó tomando como referencia la cantidad de dB captados por el sonómetro estando la cámara de prueba sin el elemento aislante y luego estando en la cámara el aislante fabricado, además se realizó

Tabla 4.26: Diferencial Acústico.

Diferencial Acústico									
	Espesor: 30 mm.			Espesor: 40 mm.			Espesor: 70 mm.		
frecuencia (Hz)	EPS 30 mm.	A1 (30/70)	A2 (40/60)	EPS 40 mm.	B1 (30/70)	B2 (40/60)	EPS 70 MM	C1(70/30).	C2 (60/40)
100	1,6	2,1	1,5	1,6	2	1,7	1,9	1,9	1,7
125	4,5	4,2	3,3	4,5	4,6	3,7	4,8	4,5	4,6
160	2,3	3,5	2,7	2,7	3,7	3,2	2,8	3,3	3,1
200	2,5	2,8	3,1	3	3,4	3,7	3	4	4,1
250	16,5	12,5	13	16,2	13,3	13,5	17,8	18,4	18,2
315	16	5,4	4,8	16,5	5,9	5	17	17,6	17,7
400	-0,6	7,3	6,7	0,3	7,6	7,8	4	3,1	2,8
630	13,5	8,1	8,7	13,8	9,3	9,7	16,5	17,2	16,7
870	3	1	0,5	4,8	1,4	2	9,3	5,4	5,6
1250	-0,1	2	1	4,1	4,7	4	4,9	4,2	4,5
1600	3,7	0,3	0,8	24,2	1,1	1,3	5,7	8,5	8,6
2000	9,2	5	2,1	18,5	6,1	2,7	17,3	3,8	4
3100	7,9	5,4	5,6	12	6,1	5,5	15,3	12,4	12,1
4600	-0,5	0,8	1,1	-0,4	1,5	1,9	-1	-0,2	0
5000	1,4	1,3	1	0,7	0,9	1,1	0,9	1,3	1,2

Fuente: Elaboración propia.

Para poder comparar el aislante propuesto con uno que se encuentre en el mercado se realizaron los mismos ensayos para un poliestireno expandido de 30, 40, 70 mm. con el fin de poder hacer una comparación bajo las mismas condiciones que los aislantes fabricados.

Según lo que se puede analizar de los resultados del ensayo acústica es que el diferencial acústico de los aislantes fabricados es muy similar al de los aislantes que se encuentran en el mercado en sus distintos espesores.

4.6 Análisis de la evaluación acústica.

4.6.1 Generalidades.

El campo audible de decibels para una persona va de 0 a 120 dB. El nivel 0 es el mínimo nivel de presión acústica que el oído humano percibe. se considera que un nivel 120 dB produce daños irreversibles en el sistema auditivo.

Dentro del campo de la audibilidad, los niveles de ruido se clasifican de la siguiente manera:

- Muy bajo: 10-30 dB.
- Bajo: 30-55 dB.
- Ruidoso: 55-75 dB.
- Ruido Fuerte: 75-100 dB.
- Ruido insoportable: >100 dB.
- Umbral de dolor: <140 dB.

La banda de audición se divide en tres regiones:

- Frecuencia bajas o graves: 20-400 Hz.
- Frecuencia media: 400-1600 Hz.
- Frecuencias altas o agudos: 1600-20000 Hz.

4.6.2 Análisis de los aislantes espesor 30 mm.

Los datos registrados en el ensayo acústico se pueden observar en la tabla 5.2, estos registros establecerán parámetros comparativos de aislación acústica.

Tabla 4.27: Resultados ensayo acústico espesor 30 mm.

frecuencia (Hz)	Decibels captados por el sonometro				Diferencial acustico		
	Sin aislante	EPS 30 mm.	(40/60) 30 mm.	(30/70) 30 mm.	EPS 30 mm.	A1 (30/70)	A2 (40/60)
100	43,2	41,6	41,1	41,7	1,6	2,1	1,5
125	45,1	40,6	40,9	41,8	4,5	4,2	3,3
160	43,5	41,2	40	40,8	2,3	3,5	2,7
200	44,8	42,3	42	41,7	2,5	2,8	3,1
250	58,5	42	46	45,5	16,5	12,5	13
315	58,5	42,5	53,1	53,7	16	5,4	4,8
400	50,6	51,2	43,3	43,9	-0,6	7,3	6,7
630	60,6	47,1	52,5	51,9	13,5	8,1	8,7
870	67	64	66	66,5	3	1	0,5
1250	69	69,1	67	68	-0,1	2	1
1600	69,8	66,1	69,5	69	3,7	0,3	0,8
2000	70,5	61,3	65,5	68,4	9,2	5	2,1
3100	62,9	55	57,5	57,3	7,9	5,4	5,6
4600	40,2	40,7	39,4	39,1	-0,5	0,8	1,1
5000	60,5	59,1	59,2	59,5	1,4	1,3	1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en los datos de la tabla 5.2 los aislantes propuestos reducen la energía sonora emitida en las distintas frecuencias, es decir se aprecia una leve reducción de los decibeles captados.

También se puede observar que no existe grandes diferencias en el comportamiento de reducción sonora entre los aislantes propuestos y el aislante industrial.

Se graficó el diferencial acústico para observar de mejor manera cuanto es lo que aíslan en comparación a que no se utilice ningún aislante y dependiendo de la frecuencia de las bandas para cada uno de las distintas dosificaciones de los aislantes fabricados.

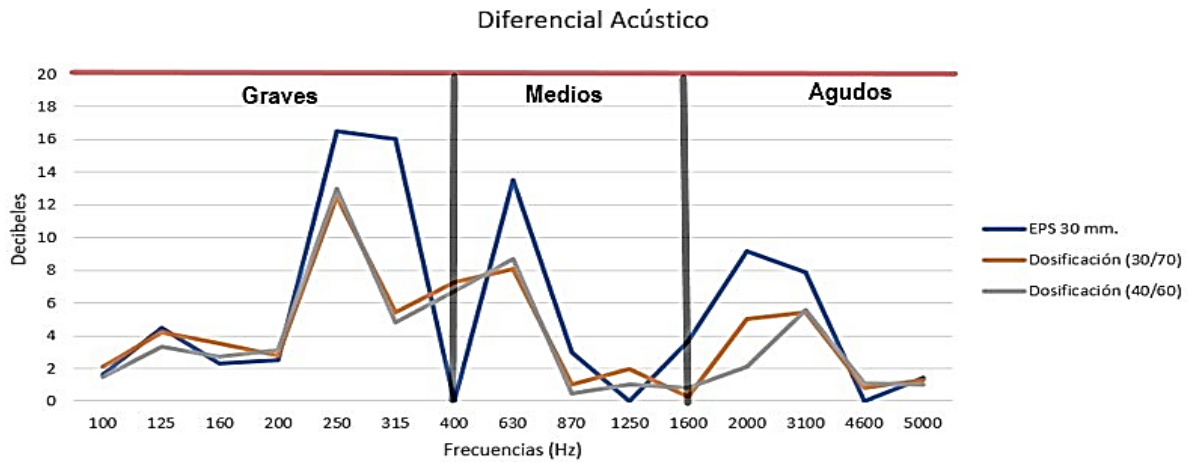


Ilustración 4.14: Diferencial acústico espesor 30 mm.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se muestra como los aislantes fabricados actúan de forma similar, en la aislación de las distintas frecuencias, en comparación con el aislante que se encuentra en el mercado. Donde se presenta un comportamiento más similar fue en las frecuencias agudas.

También es importante destacar que en general el diferencial acústico de los tres aislantes no cumple con los 20 decibeles mínimos que exige la norma para ser utilizados como aislante acústico.

4.6.3 Análisis de los aislantes espesor 40 mm.

Los datos registrados en el ensayo acústico se pueden observar en la tabla 5.3, estos registros establecerán parámetros comparativos de aislación acústica.

Tabla 4.28: Resultados ensayo acústico espesor 40 mm.

frecuencia (Hz)	Decibeles captados por el sonometro				Diferencial acustico		
	Sin aislante	EPS 40 mm	(40/60) 40 mm.	(30/70) 40 mm.	EPS 40 mm.	B1 (30/70)	B2 (40/60)
100	43,2	41,6	41,2	41,5	1,6	2	1,7
125	45,1	40,6	40,5	41,4	4,5	4,6	3,7
160	43,5	40,8	39,8	40,3	2,7	3,7	3,2
200	44,8	41,8	41,4	41,1	3	3,4	3,7
250	58,5	42,3	45,2	45	16,2	13,3	13,5
315	58,5	42	52,6	53,5	16,5	5,9	5
400	50,6	50,3	43	42,8	0,3	7,6	7,8
630	60,6	46,8	51,3	50,9	13,8	9,3	9,7
870	67	62,2	65,6	65	4,8	1,4	2
1250	69	64,9	64,3	65	4,1	4,7	4
1600	69,8	45,6	68,7	68,5	24,2	1,1	1,3
2000	70,5	52	64,4	67,8	18,5	6,1	2,7
3100	62,9	50,9	56,8	57,4	12	6,1	5,5
4600	40,2	40,6	38,7	38,3	-0,4	1,5	1,9
5000	60,5	59,8	59,6	59,4	0,7	0,9	1,1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en los datos de la tabla 5.3 los aislantes propuestos también reducen la fuerza de la energía sonora emitida en las distintas frecuencias, esto genera que los aislantes artesanales se comportar de manera similar que los aislantes que se encuentran en mercado.

Se graficó el diferencial acústico para observar de mejor manera cuanto es lo que aíslan en comparación a que no se utilice ningún aislante y dependiendo de la frecuencia de las bandas para cada uno de las distintas dosificaciones de los aislantes fabricados en espesor 40 mm.

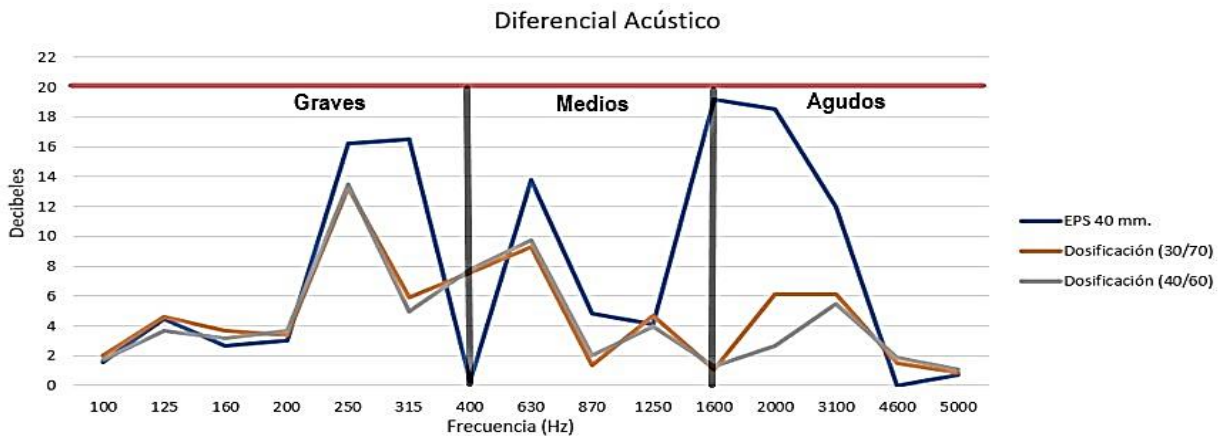


Ilustración 4.15: Diferencial acústico espesor 40 mm.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se muestra como los aislantes fabricados no actúan de la mejor manera en comparación con el aislante que se encuentra en el mercado, pero destacando que ninguno cumple con lo que exige la normativa vigente de los 20 decibeles.

4.6.4 Análisis de los aislantes espesor 70 mm.

Los datos registrados en el ensayo acústico se pueden observar en la tabla 5.4, estos registros establecerán parámetros comparativos de aislación acústica.

Tabla 4.29: Resultados ensayo acústico espesor 70 mm.

frecuencia (Hz)	Decibeles captados por sonometro				Diferencial acustico		
	Sin aislante	EPS 70 mm.	(40/60) 70 mm.	(30/70) 70 mm.	EPS 70 MM	C1(30/70).	C2 (40/60)
100	43,2	41,3	41,5	41,3	1,9	1,9	1,7
125	45,1	40,3	40,5	40,6	4,8	4,5	4,6
160	43,5	40,7	40,4	40,2	2,8	3,3	3,1
200	44,8	41,8	40,7	40,8	3	4	4,1
250	58,5	40,7	40,3	40,1	17,8	18,4	18,2
315	58,5	41,5	40,8	40,9	17	17,6	17,7
400	50,6	46,6	47,8	47,5	4	3,1	2,8
630	60,6	44,1	43,9	43,4	16,5	17,2	16,7
870	67	57,7	61,4	61,6	9,3	5,4	5,6
1250	69	64,1	64,5	64,8	4,9	4,2	4,5
1600	69,8	64,1	61,2	61,3	5,7	8,5	8,6
2000	70,5	53,2	66,5	66,7	17,3	3,8	4
3100	62,9	47,6	50,8	50,5	15,3	12,4	12,1
4600	40,2	41,2	40,2	40,4	-1	-0,2	0
5000	60,5	59,6	59,3	59,2	0,9	1,3	1,2

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en los datos de la tabla 5.4 los aislantes propuestos al igual que los anteriores reducen la fuerza de la energía sonora emitida en las distintas frecuencias, por lo que también se aprecia una leve reducción de los decibeles captados.

Además, se puede observar que no existe grandes diferencias en el comportamiento de reducción sonora entre los aislantes artesanales en los dos espesores ya analizados y el aislante industrial utilizado como patrón.

Se graficó el diferencial acústico para observar de mejor manera cuanto es lo que aíslan en comparación a que no se utilice ningún aislante y dependiendo de la frecuencia de las bandas para cada uno de las distintas dosificaciones de los aislantes fabricados en espesor 70 mm.

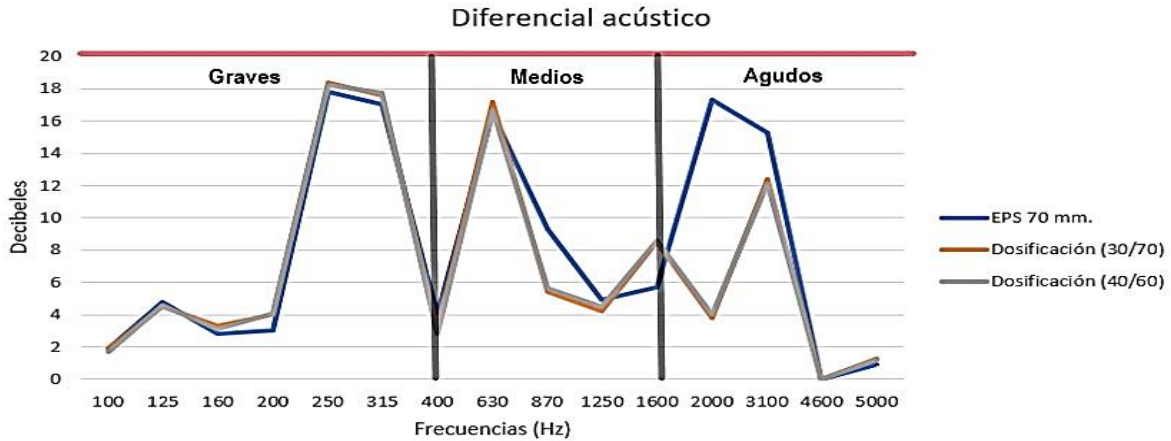


Ilustración 4.16: Diferencial acústico espesor 70 mm.
Fuente: Elaboración propia.

En este caso las diferencias entre el aislante industrial y los asientos artesanales no varían entre ellos, siendo en todas sus frecuencias un comportamiento similar. Con esto el aislante artesanal de espesor 70 mm. es el que más se asemeja con el aislante de comparación que se encuentra en el mercado.

4.6.5 Tabla resumen de datos para determinar mejor dosificación.

Para poder determinar que dosificación es mejor en ambos ámbitos (térmico y acústico), se realizó una tabla resumen en donde se pueden comparar los distintos aislantes fabricados, en relación a la diferencia de temperatura entre las caras a los 120 min., medido en grados Celsius. Mientras que en el diferencial acústico se tomaron como referencias las frecuencias medias (400, 630, 870, 1250 y 1600 Hz) las cuales determinaron un diferencial acústico en decibels que corresponden a la diferencia generada entre las cámaras separadas por el aislante.

Tabla 4.30: Tabla resumen de datos para determinar mejor dosificación.

Aislantes	Diferencia de temperatura (°C)	Diferencial acústico (dB)					Cumple mejor ambos criterios
		400 (Hz)	630 (Hz)	870 (Hz)	1250 (Hz)	1600 (Hz)	
A1	12,87	6,7	8,7	0,5	1	0,8	
A2	17,53	7,3	8,1	1	2	0,3	√
B1	16,63	7,8	9,7	2	4	1,3	
B2	16,96	7,6	9,3	1,4	4,7	1,1	√
C1	12,63	2,8	16,7	5,6	4,5	8,6	
C2	21,79	3,1	17,2	5,4	4,2	8,5	√

Fuente: Elaboración propia

los aislantes señalados con la letra A corresponden a los de espesor de 30 mm, los que tienen la letra B son los de 40 mm y finalmente la C pertenece a 70 mm. mientras que el número 1 corresponde a la dosificación 40 de astilla/ 60 de arcilla, mientras que el número 2 se asocia a la dosificación 30/70.

Con el análisis de la tabla 4.30 se obtuvo que la dosificación que cumple mejor ambos criterios es la dosificación 30/70 teniendo una buena diferencia de temperatura y un aceptable diferencial acústico.

Capítulo 5: Conclusiones y Futuras Investigaciones.

5.1 Conclusiones.

Con los ensayos realizados se logró obtener el comportamiento térmico y acústico de los aislantes en sus distintas proporciones y espesores por lo que se da cumplimiento al objetivo general de esta investigación, debido a las experiencias desarrolladas en el laboratorio.

En el comportamiento térmico se determinó la resistencia térmica de los distintos elementos fabricados, donde este valor se interpreta como la oposición que presentan los elementos de construcción al paso del calor, estos datos fueron comparados con el aislante que se encuentra en el mercado que en este caso fue poliestireno expandido, teniendo valores muy similares e incluso en algunos espesores mejores que los obtenidos de los aislantes patrón.

La proporción que obtuvo mejor aislación térmica es la 30% astilla y 70% arcilla con espesor 70 mm. Teniendo un diferencial de temperatura entre sus caras de 22°C, comparado con 24°C del poliestireno expandido en el mismo espesor.

Los espesores de 30 y 40 mm de los aislantes fabricados, tuvieron un diferencial de temperatura de 20 y 17 °C respectivamente, en las proporciones de 30/70. Esto genera una buena aislación térmica en comparación con el aislante patrón que tuvo un diferencial de temperatura de 16 y 18 °C, en los mismos espesores.

Además, los valores obtenidos de resistencia térmica para los aislantes artesanales cumplen con los requisitos de la OGUC. que establece en el artículo 4.1.10. Específicamente los aislantes propuestos pueden ser utilizados desde la primera zona térmica (norte grande y costa IV región) hasta la quinta (precordillera y IX región), excluyendo a la zona interior de IX y X región además de la cordillera y sector austral que corresponden a la sexta y séptima zona térmica.

En el comportamiento acústico se determinó el diferencial acústico de los distintos aislantes fabricados, estos datos fueron comparados con el aislante que se encuentra en el mercado y no presento mejoras en estas características, obteniendo poca aislación acústica entre los espacios divididos por los aislantes propuestos.

Según el análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, la dosificación que presento mejores condiciones tanto térmicas como acústica fue la de 30 de astilla y 70 de arcilla, la cual obtuvo las mejores condiciones de aislación en los tres espesores estudiados.

La utilización del extracto de nopal en este nuevo material aislante provocó que la evaporación del agua, al momento del secado de las probetas, se hiciera de manera más lenta debido a que tiene la característica de retener la humedad por mayor tiempo, esto ayudó a que las materias primas de la mezcla se adhirieran mejor y así también no se vieran afectados por la fisuración de sus caras, evitando la rotura de ellos.

Otro aspecto importante en cuanto a la fabricación de aislantes propuestos es su baja huella ecológica, debido a que la totalidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos son mínimos por efecto

directo de los materiales utilizados o indirecto por el proceso de fabricación, ya que la forma en que se construyeron estos aislantes es bastante artesanal y con un consumo energético mínimo.

Los aislantes conformados por la astilla del descortezado de eucalipto, arcilla y extracto de nopal tuvieron buenos resultados en los ensayos térmicos para una posible solución al aporte de la disminución de la utilización de energías fósiles teniendo una buena eficiencia energética, además es importante destacar aspectos vinculados a la accesibilidad de los materiales con que se diseñó y el mínimo de herramientas necesarias para la fabricación de estos. Generando buenas condiciones de aislación en las viviendas que puedan utilizar este tipo de aislante, dando una alternativa real para la envolvente de una vivienda.

5.2 Futuras investigaciones

Se pueden destacar algunos puntos que tienen gran relevancia dentro de la investigación, los cuales al ser modificados se pueden obtener otros resultados tanto en su comportamiento térmico como acústico.

- ❖ Una propuesta interesante sería la fabricación de los aislantes con otras dosificaciones con el fin de poder determinar si las condiciones estudiadas varían con la utilización de otras dosificaciones.
- ❖ Otra investigación llamativa sería la fabricación de estos aislantes en otras dimensiones, específicamente en otros espesores.
- ❖ Se podría realizar a la misma investigación un estudio referente a las propiedades ignífugas del elemento, respecto a la norma española UNE 23-752-90 y su clasificación en la UNE-EN 13501.
- ❖ Otro estudio que se le podría realizar a esta misma investigación sería la de las propiedades de impermeabilidad de los aislantes propuestos.
- ❖ Por último, se podría considerar un estudio en el cual se pueda determinar la vida útil del aislante propuesto, el que se podría estudiar en la cámara de envejecimiento de los laboratorios de la carrera.

Capítulo 6: Bibliografía.

6.1 Bibliografía

- Balance Nacional de Energía . (2013). Sistema de calificación energética de viviendas,
- Baxter, R., Hastings, N., Law, a., & Glass, E. J. . (2008). *Animal Genetics*.
- Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*.
- C, P. C. (2008). Confort Térmico en las Viviendas.
- Carabaño, R., Bedoya, C., & Ruiz, D. (2014). Análisis de ciclo de vida de una nueva solución arquitectónica que mejora el rendimiento térmico de la envolvente del edificio: Fachada Natural Aljibe. *Informes de La Construcción*.
- Carlos, M., & Andrea, C. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de una población de *Eucalyptus bosistoana* F . Muell . cultivada en Uruguay.
- Consuegra, R. 1994. Caracterización de Eucaliptos como materia prima pulpable. Tesis Ing. Forestal. Universidad de Chile. Santiago (Chile)
- Gutiérrez, J. a., & González, A. D. (2012). Determinación experimental de conductividad térmica de materiales aislantes naturales y de reciclado. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambient*.
- Ivonne, A., & Lizana, E. (2006). Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile.
- Jiménes, E. (2015). OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LA CÁSCARA DE LA TUNA (*Opuntia ficus- indica*) A PARTIR DE DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.
- Mercier, D., Dutil, Y., Rousse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., & Castonguay, M. (2011). Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética.
- Ministerio De Energía. (2013). Plan de acción de eficiencia energética 2020.
- Minvu. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética.
- Minvu. (2014). Listado oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Muñoz, F., Ballerini, A., & Gacitúa, W. (2013). VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FISICAS, MORFOLOGICAS Y TERMICAS DE LA FIBRA DE CORTEZA DE Eucalyptus nitens. *Maderas. Ciencia y Tecnología*.

Navarro, J. M. F. (n.d.). Plasticidad de las arcillas.

Norma chilena Nch 851 of 1983. Aislación térmica: determinación de coeficientes de transmisión térmica por método de la cámara térmica.

Norma chilena Nch 853 of 1991. Aislación térmica-Envoltura térmica de edificios-Cálculo de resistencia y transmitancias térmicas.

Norma chilena Nch 2786 of 2002. Aislación acústica: Medición de aislamiento acústico en construcciones y elementos de construcción- Mediciones en laboratorio de aislamiento acústico aéreo de elementos de construcción.

Palomo Cano, M. (2017). Aislantes Térmicos Criterios De Selección Por Requisitos Energéticos.

Peredo, M. 2000. Utilización Industrial de la madera de eucalipto. IN: I Congreso iberoamericano de investigación y desarrollo de productos forestales. Concepción (Chile)

Platzer M, U., Iñiguez C, R., Cevo E, J., & Ayala R, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*.

Que, A., La, P., Acha, E. D. E. M., & Donacium, M. (2012). I. Acta De Término Del Proyecto.

Rybczynski. (1992). *Cap 1 El confort en el reacondicionamiento bioclimático*.

Ramirez. (2012). *"Conceptos de aislamiento térmico" Universidad Francisco De Paula Santander*

Wadel, G. (2009). Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de oveja y algodón : Un aporte a la construcción sostenible.

Capítulo 7: Anexos

7.1 Anexos

A continuación, se expresan los resultados de los ensayos térmicos en intervalos de 5 minutos en un tiempo total de 120 min. Cada tabla muestra los resultados de cada aislante diseñado

7.1.1: Tabla de datos Aislante 30 mm y Dosificación 30/70

ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA					ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras	U W/m ² K	Rt m ² K/W	espesor m.	λ W/m ² K	Promedio U W/m ² K	Promedio Rt m ² K/W	Promedio λ W/m ² K
EXPUESTA A T°		AISLADA A T°											
N°	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CAMARA s/T°										
1	16,82	17,39	16,92	19,04	0,47	273,72	1,33	0,75	0,03	0,040	1,31	0,77	0,039
2	20,4	18,06	16,76	18,61	1,3	274,55	1,32	0,76	0,03	0,040			
3	22,9	19,05	16,91	18,46	2,14	275,39	1,32	0,76	0,03	0,040			
4	24,86	20,04	17,22	18,39	2,82	276,07	1,32	0,76	0,03	0,039			
5	25,94	20,79	17,63	18,34	3,16	276,41	1,31	0,76	0,03	0,039			
6	27,2	21,55	18,06	18,3	3,49	276,74	1,31	0,76	0,03	0,039			
7	28,23	22,29	18,53	18,27	3,76	277,01	1,31	0,76	0,03	0,039			
8	29,48	23,05	18,99	18,25	4,06	277,31	1,31	0,76	0,03	0,039			
9	30,75	23,88	19,49	18,23	4,39	277,64	1,31	0,76	0,03	0,039			
10	31,62	24,62	19,99	18,21	4,63	277,88	1,31	0,76	0,03	0,039			
11	32,28	25,25	20,47	18,2	4,78	278,03	1,31	0,77	0,03	0,039			
12	33,42	25,98	20,94	18,18	5,04	278,29	1,31	0,77	0,03	0,039			
13	34,36	26,7	21,43	18,17	5,27	278,52	1,30	0,77	0,03	0,039			
14	34,9	27,3	21,89	18,17	5,41	278,66	1,30	0,77	0,03	0,039			
15	35,44	27,86	22,34	18,17	5,52	278,77	1,30	0,77	0,03	0,039			
16	36,28	28,46	22,77	18,16	5,69	278,94	1,30	0,77	0,03	0,039			
17	36,95	29,06	23,2	18,16	5,86	279,11	1,30	0,77	0,03	0,039			
18	37,27	29,53	23,6	18,17	5,93	279,18	1,30	0,77	0,03	0,039			
19	37,86	30,01	23,98	18,17	6,03	279,28	1,30	0,77	0,03	0,039			
20	38,58	30,54	24,36	18,18	6,18	279,43	1,30	0,77	0,03	0,039			
21	39,35	31,12	24,74	18,19	6,38	279,63	1,30	0,77	0,03	0,039			
22	39,73	31,58	25,12	18,2	6,46	279,71	1,30	0,77	0,03	0,039			
23	40,08	31,99	25,47	18,21	6,52	279,77	1,30	0,77	0,03	0,039			
24	40,43	32,36	25,8	18,23	6,56	279,81	1,30	0,77	0,03	0,039			
25	40,85	32,74	26,12	18,25	6,62	279,87	1,30	0,77	0,03	0,039			

7.1.2: Tabla de datos Aislante 30 mm y Dosificación 40/60

ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA			M2		ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras	U W/m ² K	Rt m ² K/W	espesor m.	λ W/m ² K	Promedio U W/m ² K	Promedio Rt m ² K/W	Promedio λ W/m ² K
N°	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°										
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°									
1	26,36	21,25	15,65	16,95	5,6	278,85	1,30	0,77	0,03	0,039	1,28	0,78	0,038
2	28,56	22,49	15,85	16,92	6,64	279,89	1,30	0,77	0,03	0,039			
3	30,4	23,83	16,07	16,92	7,76	281,01	1,29	0,77	0,03	0,039			
4	31,77	24,92	16,35	16,94	8,57	281,82	1,29	0,78	0,03	0,039			
5	32,76	25,78	16,66	16,97	9,12	282,37	1,29	0,78	0,03	0,039			
6	33,71	26,55	16,97	17,01	9,58	282,83	1,28	0,78	0,03	0,039			
7	34,15	27,08	17,25	17,07	9,83	283,08	1,28	0,78	0,03	0,039			
8	34,9	27,69	17,49	17,13	10,2	283,45	1,28	0,78	0,03	0,038			
9	35,76	28,4	17,74	17,2	10,66	283,91	1,28	0,78	0,03	0,038			
10	36,56	29,05	17,99	17,27	11,06	284,31	1,28	0,78	0,03	0,038			
11	37,23	29,61	18,24	17,35	11,37	284,62	1,28	0,78	0,03	0,038			
12	37,71	30,09	18,51	17,43	11,58	284,83	1,28	0,78	0,03	0,038			
13	37,97	30,41	18,76	17,51	11,65	284,90	1,28	0,78	0,03	0,038			
14	38,41	30,76	18,97	17,59	11,79	285,04	1,27	0,78	0,03	0,038			
15	39,04	31,24	19,16	17,67	12,08	285,33	1,27	0,79	0,03	0,038			
16	39,47	31,61	19,35	17,75	12,26	285,51	1,27	0,79	0,03	0,038			
17	39,94	31,97	19,54	17,84	12,43	285,68	1,27	0,79	0,03	0,038			
18	40,1	32,19	19,7	17,92	12,49	285,74	1,27	0,79	0,03	0,038			
19	40,29	32,36	19,86	18	12,5	285,75	1,27	0,79	0,03	0,038			
20	40,77	32,69	20,01	18,08	12,68	285,93	1,27	0,79	0,03	0,038			
21	41,19	33,01	20,15	18,17	12,86	286,11	1,27	0,79	0,03	0,038			
22	41,6	33,33	20,29	18,25	13,04	286,29	1,27	0,79	0,03	0,038			
23	41,81	33,59	20,42	18,33	13,17	286,42	1,27	0,79	0,03	0,038			
24	42,03	33,77	20,56	18,41	13,21	286,46	1,27	0,79	0,03	0,038			
25	42,24	33,96	20,69	18,49	13,27	286,52	1,27	0,79	0,03	0,038			

7.1.3: Tabla de datos Aislante A 40 mm y Dosificación 30/70

ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA					ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras	U W/m ² K	Rt m ² K/W	espesor m.	λ W/m ² K	Promedio U W/m ² K	Promedio Rt m ² K/W	Promedio λ W/m ² K
EXPUESTA A T°		AISLADA A T°											
N°	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°									
1	25,57	20,86	18,71	18,82	2,15	275,40	1,32	0,76	0,04	0,053	1,27	0,79	0,0508029
2	30,04	23,6	18,6	18,64	5	278,25	1,31	0,77	0,04	0,052			
3	33,05	25,95	18,56	18,57	7,39	280,64	1,29	0,77	0,04	0,052			
4	34,67	27,33	18,59	18,55	8,74	281,99	1,29	0,78	0,04	0,052			
5	36,11	28,5	18,67	18,55	9,83	283,08	1,28	0,78	0,04	0,051			
6	37,26	29,5	18,78	18,56	10,72	283,97	1,28	0,78	0,04	0,051			
7	38,1	30,2	18,94	18,59	11,26	284,51	1,28	0,78	0,04	0,051			
8	39,03	30,92	19,09	18,62	11,83	285,08	1,27	0,78	0,04	0,051			
9	39,86	31,59	19,22	18,68	12,37	285,62	1,27	0,79	0,04	0,051			
10	40,56	32,17	19,37	18,73	12,8	286,05	1,27	0,79	0,04	0,051			
11	41,27	32,73	19,52	18,8	13,21	286,46	1,27	0,79	0,04	0,051			
12	41,96	33,27	19,67	18,87	13,6	286,85	1,27	0,79	0,04	0,051			
13	42,64	33,81	19,83	18,94	13,98	287,23	1,26	0,79	0,04	0,051			
14	43,26	34,31	19,98	19,02	14,33	287,58	1,26	0,79	0,04	0,051			
15	43,73	34,74	20,13	19,1	14,61	287,86	1,26	0,79	0,04	0,050			
16	44,3	35,19	20,26	19,18	14,93	288,18	1,26	0,79	0,04	0,050			
17	44,65	35,56	20,39	19,26	15,17	288,42	1,26	0,79	0,04	0,050			
18	45,12	35,93	20,53	19,35	15,4	288,65	1,26	0,79	0,04	0,050			
19	45,62	36,32	20,67	19,43	15,65	288,90	1,26	0,80	0,04	0,050			
20	46,2	36,75	20,81	19,52	15,94	289,19	1,26	0,80	0,04	0,050			
21	46,63	37,14	20,96	19,61	16,18	289,43	1,26	0,80	0,04	0,050			
22	47,04	37,46	21,08	19,7	16,38	289,63	1,25	0,80	0,04	0,050			
23	47,44	37,81	21,2	19,78	16,61	289,86	1,25	0,80	0,04	0,050			
24	47,74	38,09	21,31	19,86	16,78	290,03	1,25	0,80	0,04	0,050			
25	48,15	38,41	21,45	19,95	16,96	290,21	1,25	0,80	0,04	0,050			

7.1.4: Tabla de datos Aislante 40 mm y Dosificación 40/60

ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA					ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras	U W/m ² K	Rt m ² K/W	espesor m.	λ W/m ² K	Promedio U W/m ² K	Promedio Rt m ² K/W	Promedio λ W/m ² K
N°	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°										
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°									
1	31,26	23	19,42	19,54	3,58	276,83	1,30	0,77	0,04	0,05	1,26	0,79	0,05043438
2	34,72	25,04	19,45	19,49	5,59	278,84	1,29	0,77	0,04	0,05			
3	38,2	27,41	19,51	19,47	7,9	281,15	1,28	0,78	0,04	0,05			
4	39,9	28,93	19,62	19,47	9,31	282,56	1,28	0,78	0,04	0,05			
5	41,17	30,06	19,79	19,48	10,27	283,52	1,27	0,79	0,04	0,05			
6	42,23	31,04	20	19,51	11,04	284,29	1,27	0,79	0,04	0,05			
7	43,18	31,91	20,23	19,55	11,68	284,93	1,27	0,79	0,04	0,05			
8	43,92	32,64	20,48	19,6	12,16	285,41	1,26	0,79	0,04	0,05			
9	44,69	33,33	20,72	19,66	12,61	285,86	1,26	0,79	0,04	0,05			
10	45,41	33,99	20,97	19,72	13,02	286,27	1,26	0,79	0,04	0,05			
11	45,98	34,53	21,21	19,78	13,32	286,57	1,26	0,79	0,04	0,05			
12	46,65	35,11	21,45	19,85	13,66	286,91	1,26	0,80	0,04	0,05			
13	47,32	35,67	21,67	19,91	14	287,25	1,26	0,80	0,04	0,05			
14	47,83	36,14	21,88	19,98	14,26	287,51	1,26	0,80	0,04	0,05			
15	48,36	36,62	22,09	20,06	14,53	287,78	1,25	0,80	0,04	0,05			
16	48,97	37,1	22,3	20,13	14,8	288,05	1,25	0,80	0,04	0,05			
17	49,49	37,57	22,49	20,21	15,08	288,33	1,25	0,80	0,04	0,05			
18	50	38,01	22,67	20,29	15,34	288,59	1,25	0,80	0,04	0,05			
19	50,5	38,43	22,85	20,37	15,58	288,83	1,25	0,80	0,04	0,05			
20	50,84	38,8	23,01	20,45	15,79	289,04	1,25	0,80	0,04	0,05			
21	51,09	39,09	23,17	20,54	15,92	289,17	1,25	0,80	0,04	0,05			
22	51,53	39,43	23,33	20,62	16,1	289,35	1,25	0,80	0,04	0,05			
23	51,85	39,76	23,47	20,7	16,29	289,54	1,25	0,80	0,04	0,05			
24	52,23	40,09	23,62	20,78	16,47	289,72	1,25	0,80	0,04	0,05			
25	52,57	40,39	23,76	20,85	16,63	289,88	1,24	0,80	0,04	0,05			

7.1.5: Tabla de datos Aislante 70 mm y Dosificación 30/70

ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA				C1	ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras	U W/m ² K	Rt m ² K/W	Espesor m	λ W/m ² K	Promedio U W/m ² K	Promedio Rt m ² K/W	Promedio λ W/m ² K
N°	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°										
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°									
1	15,03	15,2	15,17	16,77	0,03	273,28	1,32	0,76	0,07	0,09	1,28	0,78	0,09
2	19,37	17,05	15,21	16,81	1,84	275,09	1,31	0,76	0,07	0,09			
3	21,7	18,59	15,25	16,86	3,34	276,59	1,31	0,77	0,07	0,09			
4	23,13	19,61	15,29	16,91	4,32	277,57	1,30	0,77	0,07	0,09			
5	24,44	20,53	15,33	16,95	5,2	278,45	1,30	0,77	0,07	0,09			
6	25,79	21,46	15,39	17,02	6,07	279,32	1,29	0,77	0,07	0,09			
7	26,71	22,23	15,45	17,09	6,78	280,03	1,29	0,78	0,07	0,09			
8	27,47	22,81	15,51	17,17	7,3	280,55	1,29	0,78	0,07	0,09			
9	28,07	23,32	15,58	17,23	7,74	280,99	1,28	0,78	0,07	0,09			
10	29,02	23,97	15,67	17,32	8,3	281,55	1,28	0,78	0,07	0,09			
11	29,77	24,56	15,76	17,41	8,8	282,05	1,28	0,78	0,07	0,09			
12	30,18	25	15,87	17,49	9,13	282,38	1,28	0,78	0,07	0,09			
13	30,78	25,48	15,98	17,58	9,5	282,75	1,28	0,78	0,07	0,09			
14	31,29	25,93	16,1	17,66	9,83	283,08	1,28	0,78	0,07	0,09			
15	32,14	26,48	16,22	17,76	10,26	283,51	1,27	0,79	0,07	0,09			
16	32,69	26,97	16,35	17,86	10,62	283,87	1,27	0,79	0,07	0,09			
17	33,07	27,34	16,48	17,95	10,86	284,11	1,27	0,79	0,07	0,09			
18	33,39	27,66	16,61	18,04	11,05	284,30	1,27	0,79	0,07	0,09			
19	33,94	28,04	16,75	18,14	11,29	284,54	1,27	0,79	0,07	0,09			
20	34,45	28,43	16,89	18,24	11,54	284,79	1,27	0,79	0,07	0,09			
21	34,83	28,8	17,02	18,34	11,78	285,03	1,27	0,79	0,07	0,09			
22	35,14	29,09	17,16	18,43	11,93	285,18	1,27	0,79	0,07	0,09			
23	35,65	29,46	17,31	18,53	12,15	285,40	1,26	0,79	0,07	0,09			
24	36,15	29,81	17,45	18,63	12,36	285,61	1,26	0,79	0,07	0,09			
25	36,64	30,23	17,6	18,74	12,63	285,88	1,26	0,79	0,07	0,09			

7.1.6: Tabla de datos Aislante 70 mm y Dosificación 40/60

ENSAYO AISLACIÓN TÉRMICA				C1	ΔT °C entre caras	ΔT °K entre caras	U W/m ² K	Rt m ² K/W	Espesor m	λ W/m ² K	Promedio U W/m ² K	Promedio Rt m ² K/W	Promedio λ W/m ² K
N°	EXPUESTA A T°		AISLADA A T°										
	CAMARA c/T°	CARA c/T°	CARA s/T°	CAMARA s/T°									
1	23,04	21	18,73	18,83	2,27	275,52	1,32	0,76	0,07	0,09	1,25	0,80	0,09
2	27,07	24,15	17,8	18,63	6,35	279,60	1,30	0,77	0,07	0,09			
3	29,52	26,91	17,45	18,54	9,46	282,71	1,29	0,78	0,07	0,09			
4	31,35	28,92	17,38	18,49	11,54	284,79	1,28	0,78	0,07	0,09			
5	32,84	30,53	17,41	18,48	13,12	286,37	1,27	0,79	0,07	0,09			
6	33,84	31,64	17,47	18,47	14,17	287,42	1,26	0,79	0,07	0,09			
7	34,68	32,51	17,54	18,46	14,97	288,22	1,26	0,79	0,07	0,09			
8	35,57	33,3	17,6	18,46	15,7	288,95	1,26	0,80	0,07	0,09			
9	36,56	34,19	17,65	18,46	16,54	289,79	1,25	0,80	0,07	0,09			
10	37,31	34,95	17,71	18,45	17,24	290,49	1,25	0,80	0,07	0,09			
11	38,08	35,61	17,77	18,46	17,84	291,09	1,25	0,80	0,07	0,09			
12	38,86	36,33	17,82	18,46	18,51	291,76	1,25	0,80	0,07	0,09			
13	39,38	36,83	17,87	18,47	18,96	292,21	1,24	0,80	0,07	0,09			
14	40,11	37,45	17,92	18,48	19,53	292,78	1,24	0,81	0,07	0,09			
15	40,62	37,95	17,96	18,49	19,99	293,24	1,24	0,81	0,07	0,09			
16	41,21	38,46	18,02	18,5	20,44	293,69	1,24	0,81	0,07	0,09			
17	41,84	39,02	18,06	18,51	20,96	294,21	1,23	0,81	0,07	0,09			
18	42,35	39,5	18,11	18,53	21,39	294,64	1,23	0,81	0,07	0,09			
19	42,89	39,99	18,16	18,54	21,83	295,08	1,23	0,81	0,07	0,09			
20	43,3	40,39	18,21	18,56	22,18	295,43	1,23	0,81	0,07	0,09			
21	43,65	40,72	18,25	18,57	22,47	295,72	1,23	0,81	0,07	0,09			
22	44,07	41,08	18,3	18,6	22,78	296,03	1,23	0,81	0,07	0,09			
23	44,3	41,32	18,34	18,61	22,98	296,23	1,23	0,82	0,07	0,09			
24	44,82	41,73	18,38	18,63	23,35	296,60	1,22	0,82	0,07	0,09			
25	45,29	42,16	18,42	18,65	23,74	296,99	1,22	0,82	0,07	0,09			