



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL**

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y ACÚSTICAS DE UN AISLANTE EN BASE A PAJA DE TRIGO Y SELLADOR DE CAL

Por

Vicente Tomás Roberts Cruz

**TRABAJO DE MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CONSTRUCTOR
Y GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN**

Profesor Guía: Alberto Moya Arredondo

Noviembre, 2018

*Dedico esta tesis a mis padres,
quienes se han preocupado siempre de
mi formación personal y educacional.
Por sus años de esfuerzo y dedicación.*

Max y Carmen.

Agradecimientos

A mis padres Max Roberts y Carmen Cruz, quienes han sido los pilares fundamentales durante esta etapa de mi vida, gracias por confiar en mí.

A mis hermanos Maximiliano y Benjamín, quienes me enseñaron a creer en mí y en buscar la felicidad.

A Josefa Mukarker, quien me ha ayudado y acompañado durante gran parte de este camino educacional, motivándome a ser siempre el mejor en lo que desee hacer. Por tu amor incondicional y paciencia, gracias.

A Jean Oneto y Felipe Rosales, compañeros de carrera y amigos, gracias por haber sido parte de este proceso.

Al profesor Alberto Moya, quien fue mi guía en esta última etapa de la carrera, quien dedico parte de su tiempo en guiarme y ayudarme de manera profesional a realizar mi estudio de título.

A la señorita Emperatriz Villanueva, quien siempre tuvo la buena disposición de ayudarme en cualquier aspecto tanto personal como universitario.

A la Escuela de Construcción Civil, a todos los profesores, administrativos y laboratoristas, quienes se esforzaron por transferirme todos sus conocimientos, por su dedicación, entrega y profesionalismo.

A la Universidad de Valparaíso quien me dio la posibilidad de estudiar la carrera de Ingeniería en Construcción.

A todos mis amigos que han formado parte de mi vida, por los años de compañía y solidaridad, por creer en mí, respetarme y apoyarme.

Vicente Tomás Roberts Cruz

Noviembre, 2018

INDICE

AGRADECIMIENTOS	3
GLOSARIO.....	7
LISTA DE ABREVIATURAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FÓRMULAS	12
RESUMEN.....	13
ABSTRAC	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1 ANTECEDENTES GENERALES	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2 Objetivos de la investigación	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Alcances de la investigación.....	20
1.4 Metodología de la investigación	21
1.5 Estructura de la tesis	25
2 MARCO TEÓRICO.....	26
2.1 Introducción	26
2.2 Eficiencia energética	27
2.2.1 Chile y la eficiencia energética	28
2.3 Aislación térmica	29
2.3.1 Conductividad térmica (K_e)	29
2.3.2 Resistencia térmica (R)	30
2.3.3 Transmitancia térmica (U)	30
2.3.4 Propiedades térmicas de algunos aislantes naturales y sintéticos	31
2.3.5 Reglamentación térmica.....	32
2.4 Aislación acústica	33
2.4.1 Propiedades de ondas sonoras.....	33
2.4.2 Sonido.....	34
2.5 Descripción de materiales	35
2.5.1 Paja de trigo.....	35

2.5.2	Sellador de cal	36
2.5.3	Poliestireno expandido	37
3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1	Generalidades	38
3.2	Planificación de la investigación	38
3.3	Confección del molde	38
3.4	Elaboración del aislante	40
3.5	Estudio de las densidades	50
3.6	Metodologías de ensayos	51
3.6.1	Descripción del equipo de medición	51
3.6.2	Ensayo y cálculos para determinar las propiedades térmicas	52
3.6.3	Ensayo para determinar las propiedades acústicas.....	54
3.7	Estudio de costos.....	55
4	ELABORACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	56
4.1	Generalidades	56
4.2	Densidades aparentes	56
4.3	Resultados de los ensayos y coeficientes térmicos	58
4.3.1	Resultados de los ensayos térmicos	58
4.3.2	Cálculo de la conductividad térmica	59
4.3.3	Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica	60
4.4	Resultados de los ensayos acústicos.....	61
4.5	Determinación de costos del aislante	63
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
5.1	Generalidades	65
5.2	Análisis de densidades	65
5.3	Análisis respecto a evaluación térmica	67
5.3.1	Análisis general de resultados térmicos	67
5.3.2	Análisis de la conductividad térmica.....	68
5.3.3	Análisis del cumplimiento de la reglamentación térmica artículo 4.1.10.....	70
5.4	Análisis respecto a evaluación acústica.....	72
5.4.1	Análisis de aislante tipo "A", en comparación al elemento patrón	72
5.4.2	Análisis de aislante tipo "B", en comparación al elemento patrón	73
5.4.3	Análisis de las reducciones de dB de los aislantes ensayados	74
5.5	Análisis de costos	75
5.6	Análisis de desempeño a los elementos estudiados	78

5.6.1	Análisis de desempeño por resistencia térmica	78
5.6.2	Análisis de desempeño por reducción acústica	79
5.6.3	Análisis de desempeño por costos.....	79
5.6.4	Desempeño general de los elementos estudiados	80
6	CONCLUSIONES Y PROYECCIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	85
6.1	Conclusiones	85
6.2	Proyecciones de la investigación	87
7	REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS	88
7.1	Bibliografía	88
8	ANEXOS	92
8.1	Resultados de los ensayos térmicos	92
8.1.1	Resultados térmicos a aislante tipo “A” de 60mm (70/30)	92
8.1.2	Resultados térmicos a aislante tipo “A” de 80mm (70/30)	93
8.1.3	Resultados térmicos a aislante tipo “A” de 100mm (70/30)	94
8.1.4	Resultados térmicos a aislante tipo “B” de 60mm (50/50)	95
8.1.5	Resultados térmicos a aislante tipo “B” de 80mm (50/50)	96
8.1.6	Resultados térmicos a aislante tipo “B” de 100mm (50/50)	97
8.1.7	Resultados térmicos a aislante patrón de 60mm	98
8.1.8	Resultados térmicos a aislante patrón de 80mm	99
8.1.9	Resultados térmicos a aislante patrón de 100mm	100

Glosario

-Calefacción: Sistema que tiene como función calentar el interior de una edificación, es decir, aumentar la temperatura ambiental interior de un recinto.

-Colas: Adhesivos de tipo naturales y sintéticos que pueden mantener dos o más cuerpos unidos por contacto superficial.

-Confort: Aquello que brinda comodidades y genera bienestar físico y mental.

-Construcción ecológica: Procesos de construcción que son responsables con el ambiente en donde se ocupan recursos naturales eficientes durante todo el proceso constructivo.

-Construcción sostenible: Sistema constructivo que promueve alteraciones conscientes en el entorno, de forma a atender las necesidades de habitación y uso de espacios del hombre moderno, perseverando al medio ambiente y los recursos naturales.

-Densidad: Es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, es decir, la cantidad de materia que tiene un cuerpo por unidad de volumen.

-Ecológico: Producto o acto, en donde se utilizan materiales orgánicos, naturales y reciclados.

-Eficiencia energética: Uso eficiente de la energía, de esta manera se optimizan los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando la misma cantidad de energía o menos para producir más bienes y servicios.

-Eficiencia: Capacidad de obtener metas u objetivos empleando medios y utilización de los recursos de manera óptima.

-Fibra: Son aquellos filamentos que intervienen en la composición de tejidos orgánicos, vegetales o animales, de ciertos minerales y de algunos productos químicos.

-Imputrescible: No se pudre fácilmente debido a propiedades de impermeabilidad.

-Intrínseca: Es aquello que es esencial, propio o característico de la "cosa" que se expresa por sí misma y no depende de las circunstancias.

-Magnitud: Cualquier propiedad de los cuerpos que se puede medir. A estos sistemas físicos se les puede asignar distintos valores a partir de una medición.

-Medio ambiente: Sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana.

-Recursos naturales: Aquellos elementos proporcionados por la naturaleza sin intervención del hombre y que pueden ser aprovechados por el para satisfacer sus necesidades.

-Renovable: Es aquello que tiene las cualidades de regenerarse gracias al medio ambiente.

-Sustentabilidad: Es algo que se puede sostener a lo largo del tiempo sin agotar sus recursos o perjudicar el medio ambiente.

-Vivienda pasiva: Vivienda con un consumo energético muy bajo y que ofrece una temperatura ambiental confortable durante todo el año sin la aplicación de calefacción convencional.

Lista de abreviaturas

A: Amplitud.

Achee: Agencia Chilena de Eficiencia Energética.

ACHIPEX: Asociación Chilena del Poliestireno Expandido.

BNE: Balance Nacional de Energía.

Cepal: Comisión Económica para América Latina.

CNE: Comisión Nacional de Energía.

dB: Decibelio.

EE: Eficiencia energética.

EI: Impacto ambiental.

F: Frecuencia.

GD: Grados-Día.

GWh: Gigavatio por hora.

Hz: Hercios.

INN: Instituto Nacional de Normalización.

ISO: Organización Internacional para la Estandarización.

Ke: Conductividad Térmica.

kWh: Kilowatt por hora.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

NCh: Norma Chilena.

OGUC: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

PPEE: Programa País Eficiencia Energética.

PRIEN: Programa de Estudio e Investigaciones en Energía

R: Resistencia Térmica.

RT: Reglamentación Térmica.

U: Transmitancia Térmica.

W: Watts.

Índice de Figuras

Figura 1-1: Esquema de la metodología de la investigación.	21
Figura 2-1: Zonas de pérdidas de energía en viviendas.....	26
Figura 2-2: Consumo de energía, promedio nacional.....	28
Figura 2-3: Zonas térmicas en viviendas con su máximo coeficiente de resistencia térmica. .	32
Figura 2-4: Definición de zonas térmicas según su emplazamiento.....	32
Figura 2-5: Rango audible de frecuencias para el oído humano.....	34
Figura 3-1: Cámara de trabajo.....	38
Figura 3-2: Molde de aislante.....	39
Figura 3-3: Molde de aislante con tapa.....	39
Figura 3-4: Pesa con medición en gramos.....	40
Figura 3-5: Recipiente de masa constante.....	40
Figura 3-6: Recipiente de 150 litros para proceso de mezclado.....	41
Figura 3-7: Fardo de paja de trigo.....	41
Figura 3-8: Sellante de cal, Tajamar.....	41
Figura 3-9: Proceso de mezclado en tina.....	42
Figura 3-10: Paja mezclada incorporada en el molde compactador.....	43
Figura 3-11: Aislante de paja de trigo, prueba n°1.....	43
Figura 3-12: Aislante "A" 60 mm (70/30%).....	44
Figura 3-13: Aislante "A" 60 mm (70/30%).....	44
Figura 3-14: Humedad relativa aislante "A" 100mm (70/30).....	45
Figura 3-15: Humedad relativa pasado 5 horas en horno de viento a 50°C.....	45
Figura 3-16: Aislante tipo "A" 100mm (70/30%).....	46
Figura 3-17: Espesor aislante "A" 100mm (70/30%).....	46
Figura 3-18: Equipo de medición, Xplorer GLX.....	51
Figura 3-19: Cámara térmica, procedimiento de ensayo térmico.....	52
Figura 3-20: Procedimiento para ensayo acústico en cámara acústica.....	54
Figura 4-1: Elemento tipo "A" de 100mm, en ensayo acústico.....	62
Figura 5-1: Gráfico relación densidad vs coeficiente Ke.....	66
Figura 5-2: Gráfico de resultados térmicos de todos los elementos estudiados.....	67
Figura 5-3: Resistencia térmica de los elementos.....	68
Figura 5-4: Coeficiente de conductividad térmica de algunos aislantes.....	69
Figura 5-5: Gráfico de dB captados por el sonómetro para aislante "A" y patrón.....	72
Figura 5-6: Gráfico de dB captados por el sonómetro para aislante "B" y patrón.....	73
Figura 5-7: Gráfico de comparación precio/espesor.....	75
Figura 5-8: Resistencia térmica de los elementos y su costo por m ²	76
Figura 5-9: Gráfico de elementos ordenados de manera ascendente de costos por m ²	77
Figura 5-10: Gráfico de promedio aritmético de calificaciones obtenidas por elemento.....	81
Figura 5-11: Gráfico de promedio geométrico de calificaciones obtenidas por elemento.....	82
Figura 5-12: Gráfico radial de desempeño de los aislantes.....	83
Figura 5-13: Porcentajes de los elementos según su área.....	84
Figura 8-1: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "A" 60mm (70/30%).....	92
Figura 8-2: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "A" 80mm (70/30%).....	93
Figura 8-3: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "A" 100mm (70/30%).....	94
Figura 8-4: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "B" 60mm (50/50%).....	95
Figura 8-5: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "B" 80mm (50/50%).....	96
Figura 8-6: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "B" 100mm (50/50%).....	97
Figura 8-7: Gráfico de resultados de ensayo térmico a poliestireno expandido de 60mm.....	98
Figura 8-8: Gráfico de resultados de ensayo térmico a poliestireno expandido de 80mm.....	99
Figura 8-9: Gráfico de resultados de ensayo térmico a poliestireno expandido de 100mm... 100	

Índice de Tablas

Tabla 1-1: Cumplimiento EPS según su espesor por zona térmica.	22
Tabla 1-2: Cantidad de prototipos de aislantes a fabricar.....	24
Tabla 1-3: Cantidad de ensayos a realizar.....	24
Tabla 1-4: Cantidad de ensayos térmicos realizados para obtener el flujo térmico.	24
Tabla 2-1: Conductividad térmica del EPS, según ACHIPEX.....	37
Tabla 2-2: Comparación precio-calidad de aislantes más comunes.....	37
Tabla 3-1: Dosificaciones de todos los elementos a fabricar.....	42
Tabla 3-2: Porcentaje de humedad de todos los aislantes.....	45
Tabla 3-3: Dosificación aislante tipo "A" 60mm 70/30.....	47
Tabla 3-4: Dosificación aislante tipo "A" 80mm 70/30.....	47
Tabla 3-5: Dosificación aislante tipo "A" 100mm 70/30.....	48
Tabla 3-6: Dosificación aislante tipo "B" 60mm 50/50.....	48
Tabla 3-7: Dosificación aislante tipo "B" 80mm 50/50.....	49
Tabla 3-8: Dosificación aislante tipo "B" 100mm 50/50.....	49
Tabla 3-9: Frecuencias de Octava.	55
Tabla 3-10: Requisitos mínimos acústicos para construcciones habitacionales	55
Tabla 4-1: Densidad aparente de fardo de paja de trigo.....	56
Tabla 4-2: Densidad aparente paja de trigo.....	56
Tabla 4-3: Densidad sellador de cal en estado húmedo.....	57
Tabla 4-4: Densidad aparente aislante tipo "A".....	57
Tabla 4-5: Densidad aparente aislante tipo "B".....	57
Tabla 4-6: Densidad Poliestireno expandido.....	57
Tabla 4-7: Resultados resumidos de los ensayos térmicos.....	58
Tabla 4-8: Resultados de ensayos térmicos para cálculo del flujo térmico.	59
Tabla 4-9: Cálculo del flujo térmico.....	59
Tabla 4-10: Cálculo de la conductividad térmica a aislante tipo "A".	60
Tabla 4-11: Cálculo de la conductividad térmica a aislante tipo "B".	60
Tabla 4-12: Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica.....	60
Tabla 4-13: Resultados de los ensayos acústicos.....	61
Tabla 4-14: Diferencia de dB entre los aislantes ensayados.....	62
Tabla 4-15: Costo de materiales para la fabricación del molde.....	63
Tabla 4-16: Valor aislante tipo "A" de 60mm 70/30.....	63
Tabla 4-17: Valor aislante tipo "A" de 80mm 70/30.....	63
Tabla 4-18: Valor aislante tipo "A" de 100mm 70/30.....	64
Tabla 4-19: Valor aislante tipo "B" de 60mm 50/50.....	64
Tabla 4-20: Valor aislante tipo "B" de 80mm 50/50.....	64
Tabla 4-21: Valor aislante tipo "B" de 100mm 50/50.....	64
Tabla 5-1: Densidades aislante tipo "B".	65
Tabla 5-2: Densidades aislante tipo "A".	65
Tabla 5-3: Densidades obtenidas de los elementos en estudio.....	66
Tabla 5-4: Cálculo de R y U.	68
Tabla 5-5: Conductividad térmica de aislantes comunes en el mercado.....	69
Tabla 5-6: Cumplimiento de transmitancia térmica según reglamentación térmica.	70
Tabla 5-7: Análisis de la reducción de dB.....	74
Tabla 5-8: Cuadro comparativo de costos de aislantes.....	75
Tabla 5-9: Calificaciones a elementos por resistencia térmica.....	78
Tabla 5-10: Calificaciones a elementos por diferencial de dB.....	79
Tabla 5-11: Calificaciones a elementos por costo.....	79
Tabla 5-12: Promedio aritmético de calificaciones por desempeño.....	81
Tabla 5-13: Promedio geométrico de calificaciones por desempeño.....	82
Tabla 5-14: Áreas de los elementos según su desempeño.....	84
Tabla 8-1: Resultados térmicos aislante tipo "A" 60mm 70/30.....	92

Tabla 8-2: Resultados térmicos aislante tipo "A" 80mm 70/30.	93
Tabla 8-3: Resultados térmicos aislante tipo "A" 100mm 70/30.	94
Tabla 8-4: Resultados térmicos aislante tipo "B" 60mm 50/50.	95
Tabla 8-5: Resultados térmicos aislante tipo "B" 80mm 50/50.	96
Tabla 8-6: Resultados térmicos aislante tipo "B" 100mm 50/50.	97
Tabla 8-7: Resultados térmicos aislante patrón 60mm.	98
Tabla 8-8: Resultados térmicos aislante patrón 80mm.	99
Tabla 8-9: Resultados térmicos aislante patrón 100mm.	100

Índice de Fórmulas

Fórmula 2-1: Coeficiente de Conductividad Térmica (K_e)	29
Fórmula 2-2: Coeficiente de Resistencia Térmica (R)	30
Fórmula 2-3: Transmitancia Térmica (U)	30
Fórmula 3-1: Fórmula de densidad aparente (kg/m^3).....	50
Fórmula 3-2: Densidad relativa de la vaselina.	50
Fórmula 3-3: Peso vaselina desplazada.	50
Fórmula 3-4: Volumen de muestra.	50
Fórmula 3-5: Densidad real de la muestra.	50
Fórmula 5-1: Cálculo del promedio aritmético.....	80
Fórmula 5-2: Cálculo del promedio geométrico.	80
Fórmula 5-3: Cálculo del área según Herón.	80

Resumen

Actualmente en Chile, las edificaciones habitacionales generan un alto consumo energético en calefacción y/o refrigeración debido a su aislación térmica, siendo la eficiencia energética la medida principal a la que se puede recurrir para detener este creciente gasto energético y, además, proteger el medio ambiente asegurando un mejor abastecimiento energético. Por ende, para reducir dicho consumo energético, ya sea en calefacción y/o refrigeración, se debe considerar un diseño previo con respecto a la aislación térmica de la vivienda.

Junto con esto, existe una gran preocupación del Estado por lograr un mejor desempeño térmico de las edificaciones, por lo que en el año 2006 se introdujo una reglamentación térmica que define las exigencias mínimas para la envolvente, con el objetivo de bajar el consumo energético y aumentar el confort térmico.

A partir de lo anterior, se vuelve fundamental investigar materiales naturales que se destaquen con respecto a sus altas prestaciones de acondicionamiento térmico y acústico. Siendo uno de ellos, la paja de trigo, que además de contar con las características mencionadas, requiere un bajo consumo energético para su desarrollo y extracción, es decir, posee una baja huella de carbono.

Es así como en la presente investigación se evaluaron las propiedades térmicas y acústicas de un aislante a base de paja de trigo y sellador de cal, el cual fue elaborado y ensayado en la Universidad de Valparaíso, con la finalidad de determinar sus propiedades termoacústicas y además, verificar si el elemento propuesto satisface los estándares mínimos establecidos por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en el artículo 4.1.10 de reglamentación térmica.

Para llevar a cabo lo señalado, se diseñó una metodología en base al estudio de las variables dependientes respecto de las independientes, las cuales una vez definidas, se procedió a la confección del aislante. Realizado los ensayos correspondientes al elemento y su respectivo análisis de resultados, se concluye que, con la fabricación y uso del aislante en base a paja de trigo y sellador de cal, se podrá disminuir el consumo energético utilizado para calefacción debido a su coeficiente de conductividad térmica de $0,0428\text{w/m}^{\circ}\text{k}$ para el elemento tipo "A" y de $0,0435\text{w/m}^{\circ}\text{k}$ para el elemento tipo "B".

Palabras claves: aislante, paja de trigo, sellador de cal, eficiencia energética, aislación térmica, aislación acústica.

Abstrac

Currently in Chile, to get running the central heating, housing settlements are generating a high energy consumption due to a bad thermal insulation, for that reason, energy efficiency is the main action that can be taken to reduce this rising energy consumption, so that taking care of the environment comes as a result of this action, assuring a better energy supply. Hence, to reduce this energy consumption not only in heating but also in cooling systems, it must be considered a previous plan regarding the housing thermal insulation.

On the one hand, there exists a great concern by the government in order to improve the housing thermal insulation, for that reason in 2006 a thermal regulation was established which defines the minimum requirements for the wrapping with the aim of reducing energy consumption and improving the thermal comfort.

Considering the previous information, it is fundamental to find out natural materials that stand out regarding thermal and acoustic adjustments, being one of them wheat straw, which apart from containing all the characteristics already mentioned, it demands a low energy consumption for its growing and harvesting, that is, it has got a low carbon footprint.

Furthermore, in the following research, both thermal and acoustic features were evaluated as insulating material made of wheat straw and lime sealer which were elaborated and proven by the University of Valparaiso with the aim of determining whether they meet the minimum standards established by the General Law of Urbanism and Construction in the article 4.1.10.

To carry on this research, a methodology based on the study of dependent and independent variables was designed, therefore, once defined, the insulation material was made. After the necessary trials and the result analysis, it is concluded that the use of insulating material made of wheat straw and lime sealer will reduce the energy consumption used for heating due to the good thermal characteristics that it possesses.

Key words: insulating, wheat straw, lime sealer, energy efficiency, thermal insulation, acoustic insulation.

Introducción

La presente investigación trata acerca de la confección de un aislante en base a paja de trigo y sellador de cal el cual se diseñó para ser utilizado en tabiques, muros y techumbres de viviendas habitacionales.

Para desarrollar el estudio de la elaboración de dicho aislante, se comenzó por una profunda y detallada búsqueda de referentes teóricos y antecedentes bibliográficos, con los cuales se pudiera sostener esta investigación. En ellos se encontraron diversos trabajos de materiales aislantes naturales debido a sus propiedades térmicas y acústicas.

Posteriormente se determinaron los objetivos que delimitaron la investigación y, a partir de ellos en conjunto con la discusión bibliográfica, se estableció y desarrolló la metodología investigativa, que consiste en la fabricación del elemento en estudio respecto a las variables determinadas de espesor y dosificación.

Teniendo en consideración lo anterior, se procedió a ensayar el aislante según las normas determinadas y se analizaron sus resultados respecto a los requerimientos mínimos establecidos por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción y la norma chilena respectiva, para finalmente concluir el desempeño del aislante frente a los ensayos térmicos y acústicos realizados.

Finalmente a partir del análisis de resultados, se pudo determinar que el aislante diseñado y fabricado posee características tanto acústicas como térmicas, en cuanto a las propiedades acústicas el material posee capacidad de absorción de ondas sonoras de acuerdo a la Nch 352 of 2000 y excelentes propiedades de aislación térmica de acuerdo a la NCh 851 of 1983, debido a que posee un bajo coeficiente de conductividad térmica y satisface los requerimientos mínimos establecidos por el artículo 4.1.10 de la OGUC para 4 de las 7 de las zonas térmicas del país, dependiendo del tipo de aislante que se utilice.

1 Antecedentes Generales

1.1 Planteamiento del problema

La construcción no es un proceso amigable con el medioambiente (Li *et al.*, 2010). Levin (1997) señala que tanto la construcción como sus operaciones producen un efecto masivo directo e indirecto en el entorno, por lo que cualquier proyecto de desarrollo para mejorar la calidad de vida conlleva impactos negativos en el medio ambiente. Debido a esto los proyectos de desarrollo deberían diseñarse y planificarse de manera que produzcan la mayor cantidad de impactos positivos y un mínimo de impactos negativos sobre el medioambiente (Kaur & Arora, 2012).

Junto con lo anterior, Shen *et al.*, (2005) sostienen que la construcción es la principal fuente de contaminación ambiental en comparación con otras industrias. Li *et al.*, (2010) concuerdan con Shen (2005) y señalan que cualquier proceso de construcción requiere diversas maquinarias, recursos naturales y que genera una gran cantidad de contaminantes. Se ha informado que muy pocos desarrolladores privados y contratistas hacen esfuerzos por considerar al medioambiente, desarrollar el concepto de reciclaje de los materiales de construcción y ahorrar energía (Lam, 1997).

Romero (2011) establece que se puede minimizar el impacto ambiental mediante el ahorro de energía. Por esta razón, al aumentar la eficiencia energética, disminuye el consumo de energía, manteniendo los mismos servicios y prestaciones, protegiendo el medio ambiente y asegurando un mejor abastecimiento energético. Entre las distintas alternativas que pueden contemplarse para reducir las emisiones globales de sustancias contaminantes, la eficiencia energética es un procedimiento aplicable en hogares, vehículos, industrias y ciudades (Romero, 2011).

La eficiencia energética ayuda a mejorar estos desafíos, ya que disminuye el consumo de energía proyectado del país, reduce la dependencia de los energéticos residenciales y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. Adicionalmente, contribuye a incrementar la competitividad del país, al tener menores costos de producción. (Ministerio De Energia, 2013).

Hace algunos años que Chile como país tomó a la eficiencia energética (EE) como uno de los caminos esenciales para reducir el crecimiento de la demanda energética, que ha alcanzado un 3,8% por año durante los últimos 10 años (CNE, 2007).

El primer esfuerzo institucional para orientar las políticas públicas del país en este sentido, ha sido la creación del Programa País Eficiencia Energética (PPEE) en el año 2005. Dentro de las políticas destacadas en este sentido está el Programa de Reglamentación sobre Acondicionamiento Térmico en Viviendas impulsado por el MINVU a partir del año 2006 que se ha incorporado a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, con el objetivo de mejorar los estándares de aislación térmica en viviendas (Instituto de la Construcción, 2006).

El aislamiento térmico en muchos países es el aspecto más importante para controlar el gasto energético de edificaciones (Zubiri, 2010). Por eso es primordial tener en cuenta en las etapas de diseño, la materialidad, orientación, los sistemas de calefacción y ventilación, ya que la mayor parte del consumo energético (sobre el 90%) se define teniendo en cuenta estos puntos (Yarke, 2005).

Nuestro país lidera en uso de energía en Latinoamérica y, en el caso de la electricidad, según datos de Cepal (comisión económica para América latina), si en 1970 el consumo per cápita era 660 kWh (kilowatt por hora) en 2014 (según el Banco Mundial) llegaba a 3.793 kWh. Las edificaciones gastan el 22% del total de la energía consumida en el país, de esto se utiliza el 56% para calefacción, lo que equivale a un 12% del consumo nacional de energía, gastado en este ámbito (Blender, 2012).

Por lo mencionado en el párrafo anterior; la aislación en la construcción es un factor importante, para reducir los gastos energéticos y para entregar un mejor confort en la habitabilidad (Gonzales, 2010).

Existe una gran preocupación del Estado por lograr un mejor desempeño térmico de las edificaciones en Chile (Hernández & Meza, 2011). Se introdujo en la década pasada, una reglamentación térmica que define las exigencias térmicas mínimas para la envolvente de viviendas, específicamente, los complejos de techumbre, muros y pisos y se implementó, en el año 2010, un sistema de certificación energética de viviendas (MINVU, 2010) con el objetivo de bajar el consumo energético y aumentar el confort térmico.

En los últimos años, la industria de la construcción se ha centrado en la investigación y construcción de viviendas pasivas y en el uso de materiales naturales y locales no tóxicos, reciclables y que puedan asegurar un alto aislamiento térmico (Barreca, 2012).

La construcción ecológica y sostenible, que continúa creciendo con el pasar de los años, se encuentra en un periodo de estudio y perfección, encontrándose así en el mercado un número cada vez mayor de aislantes térmicos fabricados con materiales naturales. Dichos materiales provienen principalmente del reino vegetal, animal y de materiales reciclados (Montalvo, 2015).

Lo más atractivo de los materiales aislantes vegetales en comparación con otros materiales de construcción, es la contribución directa a reducir la demanda energética en las viviendas y necesitan una menor energía en el proceso de fabricación. Dentro de los materiales naturales utilizados con este objetivo, destaca el uso de la paja de trigo por sus amplias propiedades de aislación térmica y acústica. (Mena, 2014).

Considerando lo anterior es importante destacar que la paja de trigo se ha utilizado en la construcción durante miles de años. (King, 2006). Sus propiedades como material ecológico y renovable la convierten en un material de interés cuando se utiliza para el aislamiento de paredes o techos.

En Chile el cultivo de trigo lidera en cuanto a superficie de siembra en comparación a sus pares de cereales, según el INE (Instituto nacional de estadísticas, Chile). Durante el año 2017 se sembró un total de 225.042 hectáreas en todo el país. De las grandes superficies cultivadas de trigo en suelo nacional, se estima que se generan de 6.4 a 8 toneladas de trigo, donde aproximadamente 1.869.918 toneladas son de paja las cuales son mayoritariamente quemadas. (ODEPA, 2017).

Ahora bien, el uso del fuego para eliminar estos residuos del cultivo de trigo, es una práctica muy común. En Chile según el decreto 276/1980 el agricultor se encuentra facultado para generar quemadas controladas de dichos residuos. Además, datos entregados por la CONAF indican que cada año se queman promedio 130.000 a 140.000 hectáreas producto de quemadas agrícolas, de las cuales el 80% corresponde a quema de rastrojos de trigo (INIA, 2015).

Lo anterior, ocasiona un gran problema de contaminación, generando daño a la capa de ozono, accidentes debido a la densa capa de humo que este genera y un riesgo de producir incendios forestales de no ser bien ejecutada la quema controlada. (Whitman, C .2013).

Alcorn, A. & Donn, M (2010), plantean que la paja de trigo no debiese ser incinerada, ya que posee propiedades que la hacen útil en el ámbito de la construcción de diversas maneras tales como: fardos encajonados en madera, bloques de adobe o solo fardos; materiales que como ya se mencionó son atractivos como elementos aislantes térmicos y acústicos.

Según Loyola (2012), la paja de trigo en comparación a otros cereales, presenta la mayor relación Carbono/Nitrógeno (60/1). Esto implica que es el material más difícil de descomponer en comparación a sus pares, tales como: Arroz, Cebada, Avena, entre otros.

Investigaciones realizadas por Zlateva y Petkova (2015), determinan que las fibras de paja mezcladas con arcilla y arena tienen buenos resultados aislantes. Zach *et al.*, (2013) plantea que la paja de trigo, mediante un proceso de prensado en caliente da buenos resultados de conductividad térmica de 0.04 hasta 0.053 (W/m*k) con 100 (mm) de grosor.

Resultados de un estudio realizado por Whitman C (2013), indican que la construcción con fardos de paja en la zona central de país, es una forma asequible para proveer de eficiencia energética a una vivienda, aumentando su nivel de confort higrotérmico.

En particular, dado que el tipo de pegamento influye en el comportamiento mecánico y térmico final del aislante, varios tipos de colas naturales y sintéticas (resinas de uretano, melamínicas y fenólicas) se han usado para la fabricación de estos (Gil, 2009). No obstante, para esta investigación se utilizó como adhesivo, sellador de cal, puesto que, posee buenas propiedades de adhesión y otorga una película sellante a las fibras de paja con la finalidad de evitar posibilidades de putrefacción.

De esta manera, teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, es que se plantea la necesidad de fabricar un aislante con residuos naturales de fácil acceso y que aseguren propiedades de aislación térmicas y acústicas, como lo es la paja de trigo. Esto con el fin de reducir desde el proceso de fabricación del elemento, la cantidad de energía utilizada, como también mejorar la eficiencia energética de una vivienda, disminuyendo la cantidad de energía utilizada en calefacción mediante la utilización de aislantes eficientes, esto se fundamenta principalmente ya que existen estudios científicos realizados con estos materiales, específicamente con la paja de trigo, en donde se han obtenidos buenos resultados en cuanto a las propiedades térmicas y acústicas.

Considerando los estudios científicos ya realizados, la investigación se enfocó en diseñar y fabricar un aislante en base a paja de trigo seca, este elemento se confeccionó mediante un proceso de prensado con sellador de cal en un molde compactador con dimensiones determinadas según la cámara térmica (60x65cm). Este elemento se podrá utilizar para la aislación en las zonas de tabiquería, muros y techumbre para todas las zonas térmicas del país dependiendo el tipo de elemento que se escoja.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades térmicas y acústicas de un aislante en base a paja de trigo y sellador de cal, de acuerdo a las variables de espesor y dosificación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer un proceso de fabricación del elemento.
- Determinar las propiedades térmicas del aislante propuesto, respecto a las variables establecidas.
- Determinar las propiedades acústicas del aislante propuesto, respecto a las variables establecidas.
- Determinar un método alternativo para obtener el coeficiente de conductividad térmica del aislante propuesto.

1.3 Alcances de la investigación

La investigación se enfocó en la confección de un aislante térmico y acústico en base a paja de trigo y sellador de cal, para ser utilizado en viviendas habitacionales.

Se estudió el aislante en base a paja de trigo y sellador de cal solo como material aislante térmico y acústico, dejando de lado factores de resistencia al fuego, comportamiento estructural y durabilidad.

Se estudiaron aislantes en base a paja de trigo y sellador de cal en dosificaciones 70/30 y 50/50.

Se estudió el aislante propuesto en espesores de 60mm, 80mm y 100mm.

Se estudió como elemento comparativo poliestireno expandido.

Se utilizó sellador de cal de la empresa Tajamar.

Los resultados obtenidos de los ensayos en laboratorios a los ensayos térmicos y acústicos, son válidos para las condiciones establecidas en el laboratorio.

Para el cálculo de la conductividad térmica (**Ke**), se realizó un procedimiento alternativo creado por el investigador, el cual consiste en determinar el flujo térmico entregado por la cámara térmica de los laboratorios de la carrera de ingeniería en construcción, procedimiento explicado en el punto 3.6.2.2.

Se verificó el cumplimiento de la reglamentación térmica del material fabricado, bajo el manual de aplicación de reglamentación térmica, artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

El desarrollo experimental de la investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso, ubicado en Playa ancha, V región de Valparaíso.

1.4 Metodología de la investigación

La metodología de la investigación se expresa en la figura 1-1, en esta, se muestran las principales etapas y procedimientos que se realizaron para llevar a cabo esta investigación.

La primera etapa consistió en una constante revisión del marco teórico, en donde se encontró la sustentación científica para realizar el estudio de esta investigación y de esta manera plantear los objetivos. Además, estudiar la normativa térmica y acústica con el fin de crear los métodos necesarios para evaluar el comportamiento del aislante, bajo los criterios normativos.

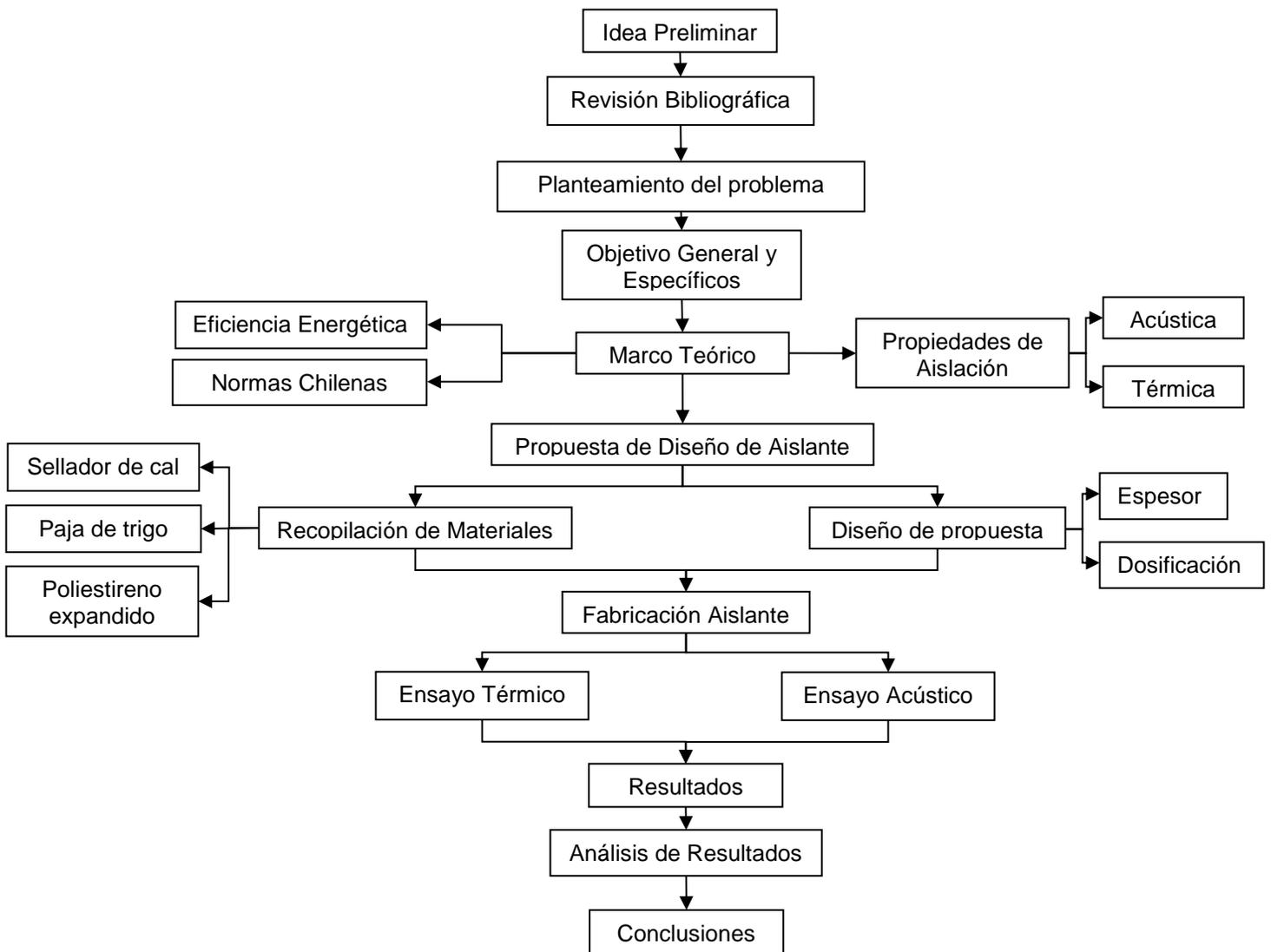


Figura 1-1: Esquema de la metodología de la investigación.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Luego que se realizó el estudio bibliográfico necesario, se procede a identificar y definir las variables de la investigación, estas serán:

Variables independientes: Márquez (2000), la define como aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado. En este caso será el espesor del aislante y la dosificación de la mezcla. Ya identificadas las variables independientes, se procede a definir estas.

Variables de espesor: El espesor del aislante se definió según el elemento a comparar, en este caso será poliestireno expandido de la marca Aislapol, de densidad 10kg/m³, ya que según el ACHIPEX esta es la densidad recomendada para la aislación de viviendas en zona de muros y cielos, los espesores a evaluar serán de 60mm, 80mm y 100mm, debido a que estos espesores de EPS, satisfacen los requerimientos mínimos establecidos por el manual de reglamentación térmica en Chile para 4 de las 7 diferentes zonas térmicas, enfocándose principalmente en el espesor de 60mm, que es exigido para la zona térmica N°2 Región de Valparaíso.

Exigencia Artículo 4.1.10 MINVU			
			Cumplimiento EPS
Zona climática	R (m²*°K/w)	U (w/m²*°K)	Densidad: 10 kg/m³
ZONA 1	0,94	1,064	40 mm
ZONA 2	1,41	0,709	60 mm
ZONA 3	1,88	0,532	80 mm
ZONA 4	2,35	0,426	100 mm
ZONA 5	2,82	0,355	120 mm
ZONA 6	3,29	0,304	140 mm
ZONA 7	3,76	0,266	160 mm

Tabla 1-1: Cumplimiento EPS según su espesor por zona térmica.

Fuente: ACHIPEX, el poliestireno expandido y la reglamentación térmica en la construcción.

Variables de dosificación: Se realizaron 2 tipos de dosificaciones, estas son: 70% paja de trigo y 30% sellador de cal y 50% paja de trigo y 50% sellador de cal. Esta variable se definió mediante un proceso empírico de pruebas, en donde se confeccionaron varias probetas de iguales dimensiones, con diferentes dosificaciones (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50). Ya teniendo las probetas secas se observaron sus propiedades físicas, en donde se pudo observar que las pruebas 90/10 y 80/20 no lograban conformar un elemento compuesto, ya que este se desarmaba al tomarlo. Las dosificaciones restantes 70/30 60/40 y 50/50 mostraron buenas propiedades de composición a priori. Teniendo en cuenta esta experiencia se decidió tomar las dosificaciones 70/30 y 50/50 como las dosificaciones para realizar la investigación.

Variables dependientes: Hayman (1974), define esta como la propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de variable independiente. En este caso las variables dependientes de la investigación serán las propiedades térmicas y acústicas que posean los aislantes, estas propiedades se obtendrán de los resultados de los ensayos térmicos y acústicos, ya que estos son los factores a estudiar para determinar los efectos de la variable independiente.

Ya identificadas las variables se procede a la confección del elemento propuesto, por ende, para realizar la dosificación se eligió una densidad como referencia, la densidad elegida fue de 77kg/m³ ya que estudios realizados por la empresa Rootman en conjunto de la Universidad del Bío-Bío (2017), fabricaron un aislante en base a raíces de paja de trigo hidropónica adheridas mediante un proceso de prensado isostático en caliente, el que tiene por nombre "Colchón Radicular" este arrojó según el INN (2017) un coeficiente de conductividad térmica de 0,0345 (W/m*°K) con una densidad de 77 kg/m³.

Ya teniendo la densidad determinada se procedió a la confección de los aislantes. Para esto se calculó el peso total necesario para fabricar según el volumen requerido, este peso es el 100% del aislante y pasará a ser nuestro 70% ó 50% de paja de trigo dependiendo del aislante que se fabrique, en el punto 3-4 se explica de manera más detallada como se realizó la dosificación de los aislantes.

Se fabricaron 6 elementos, siendo 3 de ellos con una dosificación 70/30, las que se denominaron como muestras "A" en los espesores ya determinados y los 3 restantes con dosificación 50/50, se denominaron como muestras "B". Teniendo los aislantes "A" y "B" fabricados se realizaron los ensayos térmicos y acústicos con la finalidad de determinar que dosificación es la que entrega las mejores propiedades térmicas y acústicas, para luego analizar estos resultados y poder concluir.

Paralelamente se ensayaron bajo los mismos procedimientos, planchas de poliestireno expandido en los mismos espesores y dimensiones, las que se determinaron como muestras patrones, con el fin de realizar una comparación real de los datos obtenidos, teniendo en cuenta que las planchas de poliestireno expandido ensayadas cumplen con la normativa vigente de aislación térmica y poseen un coeficiente de conductividad térmica de $0,0425 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$. Se realizó la comparación con este material de construcción ya que posee un bajo costo por m^2 y buenas propiedades térmicas en comparación a otros aislantes que ofrece el mercado.

Teniendo todos los aislantes ensayados "A", "B" y patrón se procedió a realizar el cálculo de la conductividad térmica como se explica más adelante en el punto 3.6.2.2, en donde se calculó el flujo térmico que entrega la cámara térmica para luego determinar el coeficiente de conductividad térmica de los aislantes estudiados.

Junto con lo anterior, estos datos se analizaron versus los requerimientos mínimos establecidos de acondicionamiento térmico por la OGUC y de acondicionamiento acústico de la NCh 352 of 2000 con la finalidad de verificar si se pueden clasificar como aislantes y si pueden ser utilizados en Chile con este fin.

Por último, se realizó un análisis de costos por m^2 , en donde se tuvo en cuenta los factores únicamente asociados a los materiales requeridos para la fabricación de los aislantes.

El aislante se fabricó de manera casera, en una bodega ubicada en Recreo, Viña del mar, región de Valparaíso. Se confeccionó un molde en base a terciado estructural de 20mm de espesor con dimensiones tales para lograr probetas de aislante de 60x65cm con espesor variable.

El material paja de trigo, se adquirió en la región Metropolitana, en la comuna de Buin, este viene en formato fardo agrícola, con dimensiones de: 100x55x35cm y densidad aparente de 96,1 kg/m^3

El sellador de cal se obtuvo de la empresa Tajamar, este viene en formato de 26,6 kilogramos con densidad aparente en estado húmedo de 1352 kg/m^3 .

El material Poliestireno expandido, se obtuvo de la empresa Aislapol, este viene en formato planchas de 100x50cm de densidad 10 kg/m^3 con espesores de 60mm, 80mm y 100mm.

Las dimensiones del aislante están dadas por las medidas de la cámara térmica donde se ensayarán. Como se mencionó anteriormente las dimensiones del aislante serán: 65 cm de ancho, 60 cm de alto y variarán los espesores, estos serán; 60mm, 80mm y 100mm.

El estudio de las propiedades térmicas se evaluó según el procedimiento de la norma NCh 851 of 1983 de aislación térmica.

El estudio de las propiedades acústicas se evaluó según el procedimiento de la norma NCH 2786 of 2002 de aislación acústica.

La cantidad de aislantes fabricados se muestra en la tabla 1-2.

Cantidad de aislantes fabricados durante la investigación				
Tipos de aislantes	60mm	80mm	100mm	total
Aislante tipo "A"	1	1	1	3
Aislante tipo "B"	1	1	1	3
Total de elementos fabricados	2	2	2	6

Tabla 1-2: Cantidad de prototipos de aislantes a fabricar.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La cantidad de ensayos realizados a los elementos en estudio se muestra en la tabla 1-3.

Cantidad de ensayos realizados durante la investigación										
	60mm			80mm			100mm			
Ensayos	"A"	"B"	Patrón	"A"	"B"	Patrón	"A"	"B"	Patrón	Total
Térmicos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Acústicos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Total de ensayos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18

Tabla 1-3: Cantidad de ensayos a realizar.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

La cantidad de ensayos térmicos realizados para obtener el flujo térmico que entrega la cámara térmica, se muestra en la tabla 1-4.

Cantidad de ensayos térmicos realizados para obtener el flujo térmico			
Elemento	60mm	100mm	Total de ensayos
Poliestireno expandido	5	5	10

Tabla 1-4: Cantidad de ensayos térmicos realizados para obtener el flujo térmico.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

1.5 Estructura de la tesis

En este documento se presentan 8 capítulos, en donde los capítulos 1 y 2 poseen un contenido teórico científico y los capítulos 3, 4, 5 y 6 corresponden al relato experimental de la experiencia con sus respectivos análisis y conclusiones.

En capítulo 7 se mencionan los referentes bibliográficos de donde se obtuvo la sustentación científica de la investigación y por último en el capítulo 8 de anexos se evidencian todos los datos obtenidos de los resultados a los ensayos térmicos.

Capítulos:

Capítulo 1: Antecedentes Generales, en este capítulo se presentan todas las generalidades del tema propuesto, planteamiento del problema, objetivo general y específicos, alcances y la descripción de la metodología de trabajo.

Capítulo 2: Marco Teórico, aquí se describe la eficiencia energética, aislación térmica, aislación acústica y los materiales a utilizar. En cuanto a aislación térmica y acústica se establecen los procedimientos normativos para calcular las propiedades del aislante a evaluar y también los parámetros normativos mínimos que estos deben cumplir para considerarse un aislante según la OGUC.

Capítulo 3: Diseño de la investigación, en esta sección se describen las etapas para lograr la confección del aislante y su fabricación, como también los procesos para determinar los costos, las densidades y los ensayos.

Capítulo 4: Elaboración y ejecución de la experiencia, aquí se describe el proceso de la medición de densidades, costos asociados y los resultados de la realización de los ensayos térmicos y acústicos en las 6 propuestas de aislante.

Capítulo 5: Análisis de resultado, en este capítulo se referencian los resultados obtenidos de las pruebas, se analizan los resultados y se comparan con la muestra patrón, con el fin de poder concluir los resultados bajo el manual de reglamentación térmica de la OGUC 4.1.10, y también comparar el valor de este elemento en estudio.

Capítulo 6: Conclusiones y futuras investigaciones, en este capítulo se concluye la investigación y se realiza un análisis particular de todo lo realizado con el fin de mostrar al lector la visión personal que tuvo el investigador frente a la experiencia.

Capítulo 7: Referentes bibliográficos, en este capítulo se referencian todos los autores de donde se obtuvo información científica.

Capítulo 8: Anexos, en este capítulo se pueden visualizar todos los resultados de los ensayos térmicos ordenados por tipo de aislante y espesor.

2 Marco Teórico

2.1 Introducción

La energía es la fuerza vital de nuestra sociedad. De ella dependen; la iluminación de interiores y exteriores, el calentamiento y refrigeración de las viviendas, transporte de personas, obtención de alimento, funcionamiento de maquinaria, entre otros. Su uso forma parte de nuestro estilo de vida y por ello nos preocupamos cuando carecemos de esta, este uso constante nos ha llevado a un creciente consumo de energía del 18% en hogares chilenos durante los últimos 30 años, particularmente durante la estación invernal (Brand, 2013). Actualmente es fundamental ahorrar energía, ya que, debido a su creciente consumo, cada día hay menos recursos para producirla.

Para aminorar el creciente consumo energético es fundamental la estrategia de eficiencia energética, sobre todo en el uso del hogar, ya que mejora la calidad de vida de todos nosotros. Usando responsable y eficientemente la energía, podemos disponer de más servicios y comodidades, sin consumir más energía. Ello, además, nos hace menos vulnerables ante posibles crisis de suministro y abastecimiento (AChEE, 2016).

El aislamiento térmico en las viviendas tiene como objetivo principal reducir el consumo de energía de calefacción o refrigeración para alcanzar niveles de confort térmico. Además de ser uno de los componentes que tienen mayor importancia sobre la eficiencia energética de una edificación. (Mercier *et al.*, 2011).

Según el estudio “Radiografía del consumidor de energía chileno”, realizado por Collect GFK, los hogares del país incrementan su gasto en energía en 55% en los meses de invierno respecto del resto de los meses del año. El sondeo, realizado entre 860 personas de las distintas zonas del país con un margen de error muestral de 3,3%, señala que el gasto de los hogares en energía promedia \$ 52.542 en el invierno, frente a los \$ 33.847 en los restantes meses del año; es decir, un alza del 55%. (Astudillo, 2013). Teniendo en consideración este estudio, es de gran importancia poseer una aislación térmica eficiente en las viviendas, con el fin de disminuir el creciente gasto energético y obtener un adecuado confort térmico.

Las pérdidas energéticas que presentan las viviendas, están directamente relacionadas con la poca eficiencia energética que estas poseen. RT arquitectura – Inspección Técnica de edificios realizó diversos estudios en el año 2014, en donde llegó a la conclusión de que las cubiertas y fachadas tienen la mayor filtración de energía.

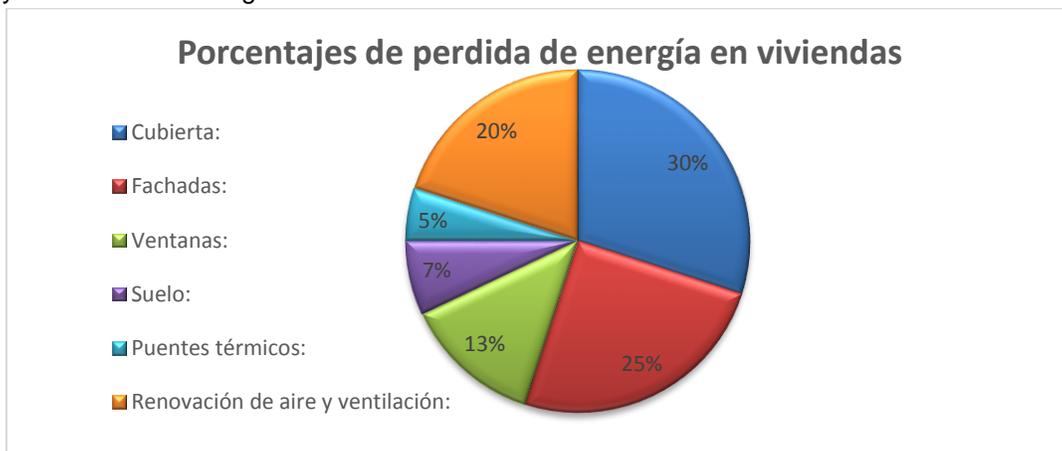


Figura 2-1: Zonas de pérdidas de energía en viviendas
Fuente: www.rtarquitectura.com/perdidas-de-energia-en-las-viviendas/

Considerando estos datos, se determina que es de suma importancia analizar en la etapa de diseño y orientación, los materiales que se utilizaran en las diversas zonas de la vivienda. Se debe priorizar el uso de materiales naturales, renovables que posean buenas características térmicas, con el fin de obtener una vivienda con eficiencia energética.

2.2 Eficiencia energética

La Eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso. Constituye un gran sistema que involucra negocio, responsabilidad medio ambiental y sentido de realidad social, donde pueden convivir energías convencionales con las renovables o limpias. Producto de todo lo anterior se genera ahorro de energías.

Actualmente establecer un comportamiento sostenible en el sector de la construcción se ha vuelto una prioridad debido al alto consumo de recursos tales como: materiales, energía y agua. En consecuencia, es necesario determinar medidas de reducción del consumo energético, de esta manera se vuelve primordial adoptar acciones más eficientes durante todo el proceso de construcción. La reutilización de distintos tipos de residuos en la construcción o rehabilitación de edificios contribuye de manera significativa a la sostenibilidad según Briga-Sá et al. (2013).

Por lo tanto, aislar térmicamente un edificio, contribuye de manera significativa a la reducción de consumo energético. En la actualidad se ha puesto un mayor énfasis en el ahorro de energía en edificios, teniendo en consideración para la optimización de este, las condiciones locales, las propiedades térmicas y la responsabilidad ambiental, con el fin de lograr un confort térmico óptimo, ahorrando en calefacción y refrigeración. Se estima que sólo el gasto del 1 % en el costo total de un edificio puede reducir el consumo de energía en un 30-40 %. Sin embargo, la magnitud de energía ahorrada varía según el tipo de construcción, condiciones climáticas, grosor y ubicación del aislante (Bekkouche et al., 2014).

Para satisfacer la demanda de energía en un futuro (cuando esta sea más limitada) se deberá aumentar el uso de fuentes de energía renovable (Pajchrowski et al., 2014).

2.2.1 Chile y la eficiencia energética

El consumo total de energía entre el periodo 1991 y 2011 aumento un 122%, a pesar de esto Chile está lejos de los consumos energéticos de países desarrollados (Ministerio de energía, 2011).

El sector comercial, público y residencial representa el 26% del consumo de energía del país, siendo el tercer sector de mayor consumo a nivel nacional. Este porcentaje corresponde a 87.335 GWh, (Balance Nacional de Energía , 2013).

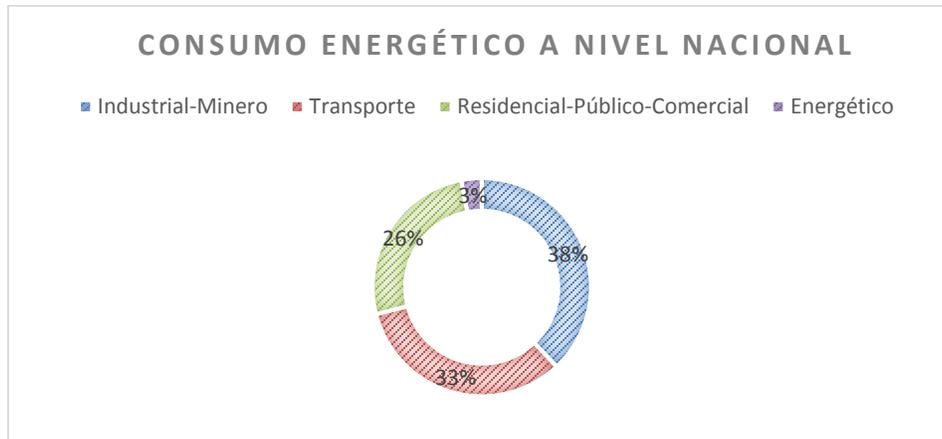


Figura 2-2: Consumo de energía, promedio nacional
Fuente: BNE, 2010

Como muestra la figura 2-2 del 100% de la energía total consumida en Chile, el 26% corresponde al sector Residencial-Público-Comercial. Del 100% de este sector el 79% es solo consumo residencial.

Estos consumos energéticos del sector Residencial-Público-Comercial, son utilizados a nivel del país de la siguiente manera según la Comisión Nacional de energía, 2014:

El gasto en refrigeración de alimentos es de un 9%, el gasto en la cocina es de un 11%, en iluminación un 5%, en otros hay un 15% (este ítem abarca: televisores, cargadores, máquinas de uso común, entre otros) y en calefacción un 60% del consumo total de energía. El fin de la calefacción es otorgar un estado de confort térmico en el interior de una edificación, este gasto en una vivienda con una baja aislación térmica, puede ser aún mayor.

La eficiencia energética ayuda a reducir el creciente consumo energético, ya que disminuye el consumo de energía proyectado del país, reduce la dependencia de los gastos energéticos residenciales y disminuye las emisiones de gases efecto invernadero. Por todo lo anterior, la Estrategia Nacional de Energía establece que el crecimiento con eficiencia energética es una política de Estado (Ministerio De Energía, 2013).

2.3 Aislación térmica

“El aislamiento térmico dificulta el paso del calor por conducción o convección, dependiendo de la ubicación del aislamiento, del interior al exterior del edificio y viceversa”. Barrera. (2005)

Los materiales porosos o poco densos son buenos para conseguir aislamiento térmico, ya sea colocado interna o externamente. Las áreas acristaladas funcionan de manera muy eficaz para captar la luz y la radiación solar, pero en la noche se convierten en importantes sumideros de calor hacia el exterior por conducción y convección.

Por otro lado, el concepto de “aislación térmica” está directamente asociado a la capacidad de control de la transmisión de calor cuando se desea que no exceda ciertos límites. La medida de la resistencia térmica se expresa, en el sistema internacional de unidades (SI) en $W/m^2 \times K$. Se considera material aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica: es inferior a $0,10 W/m^2 \times K$ medido a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ramirez, 2012).

2.3.1 Conductividad térmica (Ke)

La aislación de una vivienda consiste en evitar que, por medio de la conducción térmica, el calor se transmita desde el interior hacia el exterior en eventualidades donde la temperatura ambiental es baja (invierno), y, por otro lado, evitar que una temperatura muy alta se transmita desde el exterior hacia el interior (verano). Esta aislación que se pretende entregar a las viviendas se logra con el uso de materiales o elementos que posean una baja conductividad térmica, ya que estos elementos reducen la cantidad de energía térmica que se transfiere a los distintos ambientes por medio de la conducción.

La conductividad térmica es una propiedad intrínseca del material, que define la capacidad conductora de éste, mostrando la facilidad con que el flujo calórico pasa a través del mismo por unidad de tiempo. Se expresa en unidades de $[W/m \cdot K]$ o en $[kcal/mh \cdot ^\circ\text{C}]$. Algunos de los factores que influyen en esta propiedad física de los materiales son: densidad y humedad.

La norma chilena NCh 853 of 1991, la define como la capacidad de los elementos de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a elementos cercanos, es decir, las moléculas pasan de su estado de inercia y adquieren un movimiento cinético provocado por aumento de temperatura.

Es posible, mediante un desarrollo experimental regularizado por la norma chilena NCh 851 of 1983, determinar la conductividad térmica de cada material, para así poder tener conocimiento de sus propiedades y analizar si se trata de un posible aislante térmico.

El coeficiente de conductividad térmica, establecido en la norma como Ke se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Ke = \frac{\emptyset}{A * (t1 - t2)}$$

Fórmula 2-1: Coeficiente de Conductividad Térmica (Ke).

Fuente: NCh 851 oficial 1983.

Donde:

Ke = Coeficiente de transmisión térmica

\emptyset = Potencia entregada

A = Área del elemento estudiado

$T1$ = Temperatura de la zona afectada por la fuente calórica

$T2$ = Temperatura de la zona que no está afectada por la fuente calórica

2.3.2 Resistencia térmica (R)

Se define como la resistencia que opone un elemento constructivo al paso del calor. Su valor depende del sentido del flujo de calor y de la situación exterior o interior de las superficies, es decir, depende de la conductividad térmica que tenga el material y su espesor. Se expresa en unidades de $[m^2 \cdot k/w]$.

El coeficiente de resistencia térmica se calcula bajo la fórmula 2-2, y lleva por símbolo R .

$$R = \frac{e}{\lambda} \left[\frac{m^2 \cdot k}{w} \right]$$

Fórmula 2-2: Coeficiente de Resistencia Térmica (R).

Fuente: NCh 851 oficial 1983.

Donde:

e : Espesor del material $[m]$

λ : Conductividad térmica del material $[W/mK]$

2.3.3 Transmitancia térmica (U)

Transmitancia térmica se define como el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento (Reyna, 2014). Representa la facilidad con que el calor es transferido a través de un medio desde el lado de mayor temperatura al lado de menor temperatura. Se expresa en $W/m^2 \cdot K$ y se define como:

Una característica específica de un elemento constructivo y depende de la conductividad térmica y la geometría de los materiales que lo componen. Es el recíproco de la resistencia térmica total, mientras más pequeño es el valor de U , menor es el traspaso de energía y por lo tanto mejor aislación del elemento constructivo.

El coeficiente de transmitancia térmica, establecido en la norma como U se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

Fórmula 2-3: Transmitancia Térmica (U).

Fuente: NCh 851 oficial 1983.

Donde:

R : Resistencia térmica total $(m^2 \cdot k/w)$.

2.3.4 Propiedades térmicas de algunos aislantes naturales y sintéticos

Como parte de la preocupación por el medio ambiente y debido a sus buenas propiedades de aislación, los aislamientos térmicos naturales se están convirtiendo en una alternativa, cada vez más atractiva para cualquier país.

2.3.4.1 Aislante lana de vidrio

Es un producto compuesto por arena de cuarzo, ácido bórico y silicato de sodio, entre otros. Estos materiales se funden a altas temperaturas para producir un elemento fibroso de excelentes cualidades de absorción acústica y aislación térmica. Está constituida por miles de celdas de aire por lo que presenta una alta resistencia al paso de flujos calóricos (Sonoflex).

Sonoflex realizó el cálculo de la conductividad térmica del elemento a un aislante de dimensión 120x60 cm con un espesor de 50mm y arrojó un coeficiente K_e de 0,033 (w/m*k).

2.3.4.2 Aislante fibra de celulosa

Se encuentran variados estudios e investigaciones sobre aislantes de fibra celulosa, una de ellas se ejecutó por Luis Vargas Robles de la Universidad de Colima, México, el cual origino un material aislante fabricado con papel periódico triturado y cal hidratada. Se determinó su conductividad térmica de acuerdo con la norma ASTM-C-177.

Robles realizo el cálculo de la conductividad térmica del elemento a un aislante de dimensión de 20x15 cm con un espesor de 25mm y arrojó un coeficiente K_e de 0,132 (w/m*k).

2.3.4.3 Aislante de corcho

La lamina de aglomerado de corcho es un material vegetal obtenido luego de 9 años de la maduración del alcornoque en Portugal, es 100% reciclable pero no biodegradable (Ecork, 2010).

El corcho según Ecork, posee un coeficiente de conductividad térmica de 0,0425 (w/m*k).

2.3.4.4 Aislante de rastrojo de maíz

En la Universidad del Bio-Bio en el año 2012 Loyola realizó un estudio de este aislante, este consistió en utilizar rastrojos de maíz debido a su alta disponibilidad en la zona sur del país. Se calculó su conductividad térmica por el método del anillo de guarda mediante la Norma Chilena NCH850 of 83.

Según Loyola el aislante de rastrojo de maíz posee un coeficiente k_e de 0,032 (w/m*k).

2.3.4.5 Aislante espuma de poliuretano

La espuma de Poliuretano tiene una gran cantidad de poros y burbujas en su interior, cuando las ondas de sonido ingresan en la espuma de Poliuretano pueden causar vibraciones en la brecha de aire, la condición de porosidad interior y densidad inferior al Poliestireno lo convierten en un material en que la onda de sonido puede ser absorbida. (Espinoza, 2014). En este estudio se conformó un panel de espuma de poliuretano de 61x122cm.

Espinoza establece que la espuma de poliuretano posee un coeficiente k_e de 0,036 (w/m*k).

2.3.5 Reglamentación térmica

La Reglamentación Térmica (RT) de vivienda está vigente en nuestro país desde el año 2000 luego de su incorporación a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC Artículo 4.1.10).

La primera política fue establecer las exigencias máximas y mínimas de transmitancia térmica para la zona de techumbres en una edificación, con esto se logró disminuir de manera significativa las pérdidas de calor en las viviendas. Gracias a esto se mejoró el comportamiento térmico de edificaciones, particularmente en la etapa invernal (CNE, 2009).

En una segunda intervención de esta Reglamentación Térmica en el año 2007, se establecen exigencias para limitar las pérdidas de calor a través de muros, pisos ventilados y a través de ventanas. En el caso de éstas, se restringe su tamaño en función de su transmitancia térmica. Se observa en la tabla que las exigencias se establecen para 7 Zonas Térmicas (CNE, 2009).

EXIGENCIA DE TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TÉRMICA SEGÚN ZONA				
ZONA	TECHUMBRE		MUROS	
	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
2	0,60	1,67	3,0	0,33
3	0,47	2,13	1,9	0,53
4	0,38	2,63	1,7	0,59
5	0,33	3,03	1,6	0,63
6	0,28	3,57	1,1	0,91
7	0,25	4,00	0,6	1,67

Figura 2-3: Zonas térmicas en viviendas con su máximo coeficiente de resistencia térmica.
Fuente: Artículo 4.1.10 Reglamentación Térmica.

En la figura 2-4 se puede observar cómo se clasificaron las zonas térmicas según su emplazamiento, esta división se zonas se realiza en base a un estudio climatológico para cada región.

ZONA CLIMÁTICA	EMPLAZAMIENTO
	UBICACIÓN GEOGRÁFICA (Regiones)
ZONA 1	Norte grande y costa IV región
ZONA 2	Desierto y parte IV y V regiones
ZONA 3	Regiones: III, IV, VI y RM
ZONA 4	VII y VIII regiones
ZONA 5	Precordillera y IX región
ZONA 6	Zona interior: IX y X regiones
ZONA 7	Cordillera y zona austral

Figura 2-4: Definición de zonas térmicas según su emplazamiento.
Fuente: Artículo 4.1.10 de reglamentación térmica.

2.4 Aislación acústica

El aislamiento acústico es la propiedad de una solución constructiva que expresa el grado de reducción del sonido entre dos espacios separados por un elemento de cerramiento, ya sea entre dos locales o entre el espacio interno y externo. El aislamiento acústico entre dos espacios se expresa en la unidad de decibelios (dB) o en decibelios A dB(A). El decibelio (dB) es la unidad usual para las mediciones acústicas. Indica en qué proporción un sonido es más fuerte que otro denominado de referencia - umbral de audición. El decibelio (dB) es una unidad que evalúa la intensidad o el nivel de presión sonora de un sonido. El decibelio A dB(A) indica que en la medición acústica se ha tenido en cuenta la ponderación A según las frecuencias del sonido. El decibelio A ofrece una valoración del sonido teniendo en cuenta la sensibilidad propia del oído humano.

El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de vivienda, independiente de su volumen, radica en la elección de los materiales para utilizar como revestimiento, con el propósito de buscar que absorbe o refleja el sonido en el envoltorio de este recinto.

Los materiales absorbentes presentan un gran número de canales (poros) a través de los cuales la onda sonora puede penetrar. La disipación de energía en forma de calor se produce cuando la onda entra en contacto con las paredes de dichos canales, cuanto mayor sea el número de canales, mayor será la absorción producida. En consecuencia, para reflejar el sonido se necesitan elementos constituidos por materiales lisos, no porosos y totalmente rígidos capaces de reflejar la mayor parte de la energía sonora que incide sobre ellos. (Carrión, 1998)

Un aislante acústico es un elemento constructivo que permite disminuir la transmisión del sonido, reduciendo o evitando la transmisión del ruido de un lugar a otro, por lo tanto, se usa para reflejar o absorber la energía, evitando el paso del sonido (Cardenas, 2012).

En general, puede decirse que un material o combinación de materiales tienen buen comportamiento acústico, cuando son pesados e impermeables al paso del aire. Es positivo que sean rígidos y deben conformar cierres herméticos.

2.4.1 Propiedades de ondas sonoras

2.4.1.1 Amplitud (A)

Indica la magnitud de las variaciones de presión en el ambiente, mientras más amplitud tenga más fuerte será la sensación del sonido que percibe el oído humano, es medida en decibelio (dB) (S.Cardenas, 2010).

2.4.1.2 Frecuencia (F)

La indica la velocidad de las variaciones de presión por segundo y se mide en hercios (Hz), que es el número de variaciones por segundo. El rango de frecuencias que es capaz de percibir el oído humano se encuentra entre los 20 Hz (20 variaciones por segundo) y los 20000 Hz (20000 variaciones por segundo) (Chovacustic, 2016).

Las bandas de frecuencia permiten diferenciar entre sonidos graves y agudos, las bandas de octava y tercio octavas son los ejemplos más comunes. Para ensayos acústicos deben ser realizados con un nivel de presión acústica, usando filtros de banda octava (INN, 2003).

2.4.2 Sonido

El sonido se produce por pequeñas variaciones de presión en un medio, habitualmente el aire. Estas variaciones son originadas por las vibraciones de un objeto o una estructura (Chovacustic, 2016).

Desde el punto de vista de un receptor, el sonido es una sensación auditiva producida por ondas de presión generadas por el movimiento vibratorio de cuerpos, que se transmite por un medio elástico, normalmente el aire. A todo sonido no deseado se lo puede denominar como ruido. Por otra parte, los sonidos se pueden clasificar por su respuesta subjetiva dependiendo de los niveles de presión sonora que producen. Si estos niveles son excesivos, a los sonidos, o ruidos se los califica de molestos. Una de las maneras de medir los niveles sonoros y por lo tanto los de ruido es a través de la unidad conocida como decibel (dB). La escala en decibeles es logarítmica.

A modo de ejemplo para entender esta escala es importante destacar que los susurros en una biblioteca suman 40 dB, una conversación o el motor de un ventilador llegan a 60 dB, un camión 80 dB; una discoteca 110 dB y un martillo neumático 120 dB. Esto significa que los 80 dB que genera un camión no duplican los 40 dB que reinan en una biblioteca, sino que como la escala es logarítmica, los centuplican. El sonido se propaga en la atmósfera en forma de ondas de presión cuya velocidad es de aproximadamente 340 m/s dependiendo de la temperatura, humedad relativa del ambiente y de la presión atmosférica. Entre los fenómenos físicos que verifican las ondas sonoras en su propagación a través de distintos medios, se encuentran la absorción y la aislación de las mismas (Boschi et al, 2005).

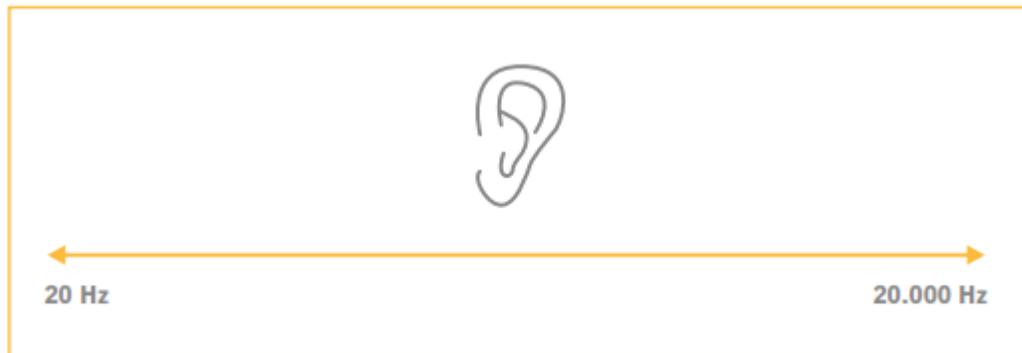


Figura 2-5: Rango audible de frecuencias para el oído humano
Fuente: Chovacustic, 2016

2.5 Descripción de materiales

2.5.1 Paja de trigo

En la actualidad existen numerosos y diversos tipos de materiales, creados para satisfacer las necesidades de la industria de la construcción. Sin embargo, existe una cantidad importante de estas materias primas, de los cuales algunos forman parte en la creación de un nuevo material y otros son utilizados directamente en la construcción.

Por muchos años la mayoría de las necesidades humanas fueron cubiertas con materiales de origen natural como: pieles, algodones, lana, tierra, madera, piedra y fibras vegetales, entre otros. El hombre aprovechaba estos recursos que se encontraban disponibles en la naturaleza y buscaba diversas aplicaciones de los mismos: por ejemplo, madera para hacer fuego y más tarde casas. Estas últimas han pasado a formar parte de las necesidades básicas de la humanidad, empleándose una gran variedad de materiales en su construcción, desde fibras vegetales hasta estructuras metálicas.

Las fibras vegetales o paja, constituyen un subproducto de las cosechas de cereales y han sido utilizadas en la elaboración de adobe e individualmente como material de cubiertas. A principios de 1900, campesinos norteamericanos la emplearon en las paredes de sus viviendas, quedando de manifiesto, desde entonces, sus excelentes cualidades. Las viviendas construidas con fardos de paja son durables, cómodas, calientes en invierno y frescas durante el verano, resistentes al fuego, y construidas con materiales favorables al medio ambiente.

Entre las características térmicas de un material se encuentra la conductividad térmica, en el caso de la paja de trigo, esta propiedad depende principalmente de la densidad y de la humedad de la paja. La influencia del contenido en humedad sobre la conductividad térmica es, en el caso de la paja de trigo, bastante inferior que en materiales de componentes minerales.

Zach en el 2013 planteó que la paja de trigo, mediante un proceso de prensado en caliente a 200°C libera un adhesivo natural llamado lignina, el cual forma un bloque de paja compactado. En este estudio las probetas de 100mm de espesor arrojaron buenos resultados, asignándole así una conductividad térmica variable de 0,053 a 0,04 W/m*K.

Algunas propiedades de la construcción con fardos de paja de trigo según la arquitecta Analía Verónica Díaz, profesional dedicada a proyectos sustentables y a la construcción natural en Argentina, son:

- La paja de trigo es un material de construcción amigable con el medio ambiente: es renovable, disponible regional o localmente, y neutral en CO₂. (2015).
- Ningún aislamiento comparable requiere menos energía para su fabricación y está disponible en grandes cantidades en una forma directamente utilizable. (2015).
- La construcción con paja de trigo es completamente reciclable. (2015).

Se han realizado pocos estudios científicos acerca de aislantes con paja de trigo. En estos se destacan sus óptimas características térmicas y acústicas, su bajo costo y su fácil proceso de obtención.

Sabiendo que la paja de trigo posee buenas cualidades de aislación térmica y acústica, este estudio pretende corroborar estas aseveraciones y obtener un proceso de construcción del aislante con dosificaciones que maximicen sus cualidades de aislación, con el fin de obtener un excelente aislante, con un bajo costo de fabricación.

2.5.2 Sellador de cal

Es un material identificado según Empresas TAJAMAR como Sellante Acrílico (CAL). Posee una estructura compuesta en su mayoría por agua y en su minoría de dióxido de titanio, silicato de aluminio, carbonato de calcio, cal y emulsiones acrílicas. (Hoja de seguridad de empresa Tajamar, 2016).

-Dióxido de titanio: Compuesto químico TiO_2 , es el noveno elemento más común en la Tierra, se encuentra en minerales y polvos. Es barato y abundante por lo que es usado en prácticamente todas las industrias. (Ficha internacional de seguridad química del Dióxido de titanio 2010).

-Silicato de aluminio: Los silicatos son el grupo de minerales de mayor abundancia, constituyen el 92% de la corteza terrestre, químicamente está compuesto por Silicio, oxígeno y aluminio. Se utiliza como extendedor del dióxido de titanio en pinturas. (QUIMIALMEL CHILE SPA 2009).

-Carbonato de calcio: Es un compuesto químico $CaCO_3$, muy abundante en la Tierra, formando rocas, es un principal componente de conchas y esqueletos de algunos organismos. (Ficha internacional de seguridad química del Carbonato de calcio 1994).

-Cal: El óxido de calcio CaO , se obtiene de la calcinación de las rocas calizas o dolomías, esta se ha usado desde la antigüedad para la construcción como adhesivo y para pintar muros y fachadas expuestas directamente a la intemperie. (Materiales ecológicos para la bioconstrucción 2011).

-Emulsión acrílica: Es una emulsión de secado rápido, soluble en agua y que una vez seca es resistente a esta. Destaca por la rapidez del secado, esta data de la primera mitad del siglo XX.

Este material no posee efectos negativos para la salud de las personas si se utiliza con precaución y no es combustible.

Es un líquido viscoso de color, con una densidad a $20^{\circ}C$ de 1,35g/ml con un porcentaje de sólidos en su composición de 44%. Se utiliza principalmente en Chile para generar un revestimiento de gran poder adhesivo y con capacidad protectora, posee gran resistencia al agua, detergente, hongos y bacterias. Posee buena adherencia en materiales como madera y fibras, es durable y se puede pintar sobre esta, una vez que el producto ha secado.

2.5.3 Poliestireno expandido

La Asociación Chilena del Poliestireno expandido, define este material como: Una espuma rígida de color blanco, caracterizada por un termoplástico celular de baja densidad.

Este material está constituido por un sin número de celdas cerradas, las cuales contienen aire quieto ocluido en su interior, debido a esto posee una extraordinaria capacidad de aislamiento térmico. Podemos decir que el poliestireno expandido usado en las construcciones es auto extingüible (no propaga la llama).

Tomando en cuenta otras características se encuentra su estabilidad dimensional a lo largo del tiempo, su higiene, su resistencia a hongos, parásitos y bacterias de putrefacción. No alimenta a roedores, ni a insectos. Contiene un amplio espectro de aplicación térmica. Además, es flexible y manipulable para trabajar, es reciclable, no es tóxico, es un producto de bajo costo y no contamina la capa de ozono, pero si la corteza terrestre si es arrojado al medio ambiente. No es un producto biodegradable, mantiene su inalterabilidad en el tiempo, lo que le permite una larga vida útil (ANPES, 2011).

La conductividad térmica del EPS según la ACHIPEX (Asociación Chilena del Poliestireno expandido), se aprecia en la siguiente tabla. Estos resultados fueron obtenidos mediante los procedimientos del ensayo NCh 853-2007.

Ke	Densidad
(W/m ² *k°)	(Kg/m ³)
0,0425	10
0,0413	15
0,0384	20
0,0373	25
0,0361	30

Tabla 2-1: Conductividad térmica del EPS, según ACHIPEX.

Fuente: "El poliestireno expandido y la reglamentación térmica en la construcción", ACHIPEX.

El Poliestireno expandido evaluado fue fabricado conforme a la NCh 1070 (Poliestireno expandido/requisitos). Este material satisface las exigencias mínimas del artículo 4.1.10 de reglamentación térmica según la OGUC con espesores determinados para cada zona térmica.

Teniendo en cuenta sus buenas propiedades de aislación térmica y su gran consumo en la construcción chilena debido a su relación precio-calidad, es que se propone como aislante de comparación al elemento propuesto en esta investigación.

Aislante	Densidad	Unidad	Coef. Térmico	Unidad	Precio M2	Espesor
Poliestireno exp.	10	Kg/M3	0,0425	W/M ² *K	1.780	50 mm
Lana de vidrio	120	Kg/M3	0,038	W/M ² *K	2.698	50 mm
Lana mineral	100	Kg/M3	0,034	W/M ² *K	3.890	50 mm

Tabla 2-2: Comparación precio-calidad de aislantes más comunes.

Fuente: Elaboración propia, 2018. Datos obtenidos de Sodimac.cl.

Para la comparación del aislante propuesto se utilizó poliestireno expandido, en formato planchas, de marca Aislapol de densidad 10 kg/m³ ya que, según ACHIPEX A.G bajo la marca comercial Aislapol el producto EPS de densidad 10kg/m³ esta especificado para uso en: entretechos, mansardas, tabiques perimetrales y tabiques interiores. Con los espesores de 60, 80 y 100 mm ya mencionados.

3 Diseño de la investigación

3.1 Generalidades

En el siguiente capítulo se aborda el diseño y planificación de la investigación, el estudio de las metodologías de obtención de las densidades, propiedades térmicas, acústicas y la determinación del costo asociado a los materiales necesarios para la confección de los elementos.

3.2 Planificación de la investigación

La planificación de esta investigación se efectuó de manera lógica en relación a los pasos que se deben ejecutar desde el momento de la fabricación del aislante hasta los ensayos y posteriores conclusiones, siendo estas etapas, las siguientes:

- 1-. Recopilación de materiales.
- 2-. Confección del molde.
- 3-. Diseño y fabricación del aislante.
- 4-. Estudio de densidades aparentes.
- 5-. Metodologías de los ensayos a realizar.
- 6-. Ensayos térmicos y acústicos.
- 7-. Estudio de costos de fabricación por concepto de materiales.
- 8-. Análisis de resultados.
- 9-. Conclusiones.
- 10-. Proyecciones de la investigación

3.3 Confección del molde

El molde es el mismo para los elementos tipo "A" y "B", ya que este tiene la opción de regular los espesores. La cámara de ensayo que se encuentra en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso tiene dimensiones de 300 cm de largo por 65 cm de ancho por 60 cm de alto. Esta cámara será la misma para realizar los ensayos térmicos y acústicos, y se encuentra adaptada para realizar los ensayos térmicos.

Cámara de trabajo:

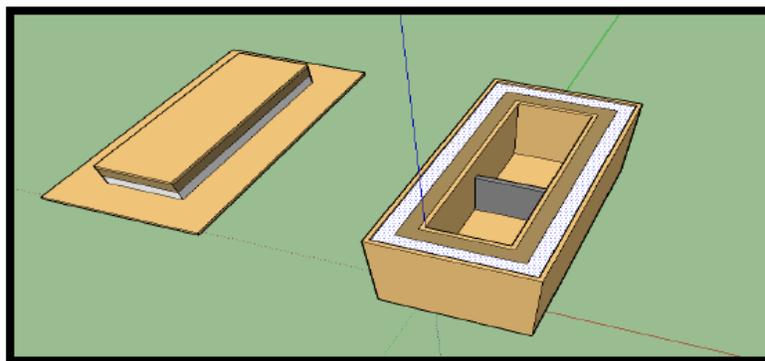


Figura 3-1: Cámara de trabajo.
Fuente: "Elaboración propia, Carlos Roa. 2016".

Considerando que la cámara posee medidas establecidas, el molde se confeccionó bajo las mismas medidas con el fin, de que al momento de realizar los ensayos el aislante propuesto quede encajado perfectamente en la cámara.

El molde posee dimensiones interiores de 60 cm por 65 cm, siendo los 60 cm de alto y los 65 cm de ancho. Este se confeccionó de madera terciada de 20 mm de espesor, a continuación, en las figuras 3-2 y 3-3 se muestra como quedó el molde.

Molde para la confección del aislante:



Figura 3-2: Molde de aislante.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura 3-3 se aprecia el molde del aislante con tapa para realizar compactación.



Figura 3-3: Molde de aislante con tapa.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

El proceso constructivo para confeccionar el molde es el siguiente:

- 1- En primer lugar, se tendrá una placa de 100 cm por 100 cm, en esta se marcará con la ayuda de una regla y un tizador una sección centrada de 60 cm por 65 cm.
- 2- En segundo lugar, ya tizada la sección, se procede a la instalación de los bordes, estos serán de la misma placa, de sección 20mmx150mm, con largos de 60 y 75 cm generando así los bordes del molde con un traslape de 2 cm en cada borde para una mejor unión.
- 3- Finalizando el proceso se adhieren con cola y tornillos de 3" los bordes a la sección de 60x65cm y luego se mide y se marca por el interior en un borde 7,8 cm, 9,8 cm, 11,8 cm, esto, ya que para el proceso de compactado se colocará una tapa de terciado de 18 mm, y para lograr las medidas de 60 mm, se debe considerar el espesor de la tapa y del aislante para obtener la medida solicitada.
- 4- Por último, se corta una sección de 60cm por 65 cm en terciado estructural del 18mm, la que será la tapa compactadora.

3.4 Elaboración del aislante

A continuación, se muestran ilustraciones representativas al proceso constructivo real del aislante, en un orden cronológico se presentan imágenes alusivas a diferentes procedimientos que se debieron realizar para obtener un buen resultado de la experiencia.

Para la fabricación del elemento en primera instancia se debió equipar el lugar, colocando todas las herramientas y materiales necesarios juntos.

Para la composición del aislante, se requiere de los siguientes elementos:

- Una pesa digital con medición en gramos.
- Dos recipientes de masa constante.
- Un recipiente de 150 litros, para el proceso de mezclado.
- Paja de trigo.
- Sellante de cal, marca Tajamar.

A continuación, se representarán los elementos en las siguientes figuras:

- Pesa digital con medición en gramos:



Figura 3-4: Pesa con medición en gramos.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Recipiente de masa constante:



Figura 3-5: Recipiente de masa constante.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

-Recipiente de 150 litros, para el proceso de mezclado:



Figura 3-6: Recipiente de 150 litros para proceso de mezclado.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

-Paja de trigo:



Figura 3-7: Fardo de paja de trigo.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

-Sellante de cal:



Figura 3-8: Sellante de cal, Tajamar.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Teniendo todos los materiales a disposición, se procede a realizar la dosificación respecto al peso total del aislante, la que se introduce en la tabla 3-1 dosificaciones de los aislantes tipo "A" y "B".

Como la densidad establecida en la metodología de la investigación es de 77 kg/m³, se calcula el peso necesario según el volumen a dosificar respecto a la densidad establecida, para un aislante de 60mm, se tiene un volumen de 0,0234m³ y se necesitan 1802 Gr para obtener esa densidad. Para dosificar un aislante tipo "A" de 60mm con dosificación 70/30 se utilizará el porcentaje de paja como el 100% de porcentaje de masa, es decir, los 70% de paja de trigo serán 1802 Gr y el porcentaje de sellador de cal 30% será 773 Gr respecto a los 70% de paja de trigo.

Las dosificaciones de los aislantes tipo "A" y "B" fueron las siguientes:

Aislante	Espesor	Densidad establecida	Volúmen a dosificar	Dosificación	Paja de trigo	Unidad	Sellador de cal	Unidad
"A"	60mm	77 kg/m ³	0,0234 m ³	70/30	1802	Gramos	773	Gramos
"A"	80mm	77 kg/m ³	0,0312 m ³	70/30	2402	Gramos	1029	Gramos
"A"	100mm	77 kg/m ³	0,039 m ³	70/30	3003	Gramos	1287	Gramos
"B"	60mm	77 kg/m ³	0,0234 m ³	50/50	1802	Gramos	1802	Gramos
"B"	80mm	77 kg/m ³	0,0312 m ³	50/50	2402	Gramos	2402	Gramos
"B"	100mm	77 kg/m ³	0,039 m ³	50/50	3003	Gramos	3003	Gramos

Tabla 3-1: Dosificaciones de todos los elementos a fabricar.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Luego realizada la dosificación, se mezcla la paja de trigo con el sellante de cal y se revuelve (durante aproximadamente 40 minutos) de manera manual en la tina de mezcla, con la finalidad de que toda la paja de trigo quede con una capa de sellador de cal, generando así una masa cubierta homogéneamente con el sellador.

El proceso de mezclado se representa en la figura 3-9.



Figura 3-9: Proceso de mezclado en tina.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Finalmente se introduce la paja mezclada al molde y se esparce de manera manual lo más homogéneamente posible, siempre preocupándose de que los bordes queden con la suficiente cantidad de paja para que cuando esta se compacte quede del mismo espesor todo el aislante.

En la figura 3-10, se muestra cómo queda la paja ya mezclada con sellador, incorporada en el molde compactador.



Figura 3-10: Paja mezclada incorporada en el molde compactador.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Luego incorporada la paja de trigo, se compacta en el molde de manera manual con la ayuda de la tapa del molde hasta lograr el espesor determinado, posteriormente, se agrega un peso de 80kg con la finalidad de mantener la compactación de la mezcla. Pasado 4 días la mezcla en el molde (tiempo de secado en el molde), este se desmolda y se deja al aire libre en un lugar techado durante 24 horas.

Esta metodología de secado se estableció mediante un proceso empírico de pruebas, en donde se observó, que el elemento fabricado debía estar de 3 a 5 días en el molde secándose expuesto a sol directo para obtener un material relativamente seco, y luego con la finalidad de obtener una humedad relativa de 0% era necesario introducirlo al horno de viento de los laboratorios de la carrera.



Figura 3-11: Aislante de paja de trigo, prueba n°1.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Luego de su descimbre, el aislante quedó como muestra la figura 3-12 y 3-13, con dimensiones de 65 cm de altura, 60 cm de ancho y 6,0 cm de espesor.

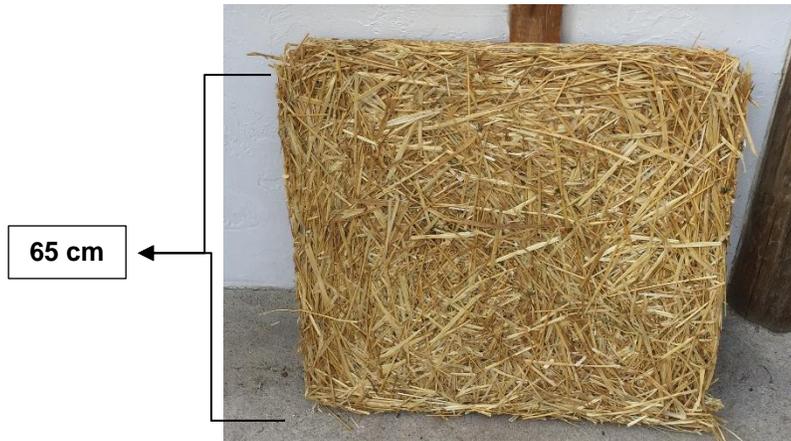


Figura 3-12: Aislante "A" 60 mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

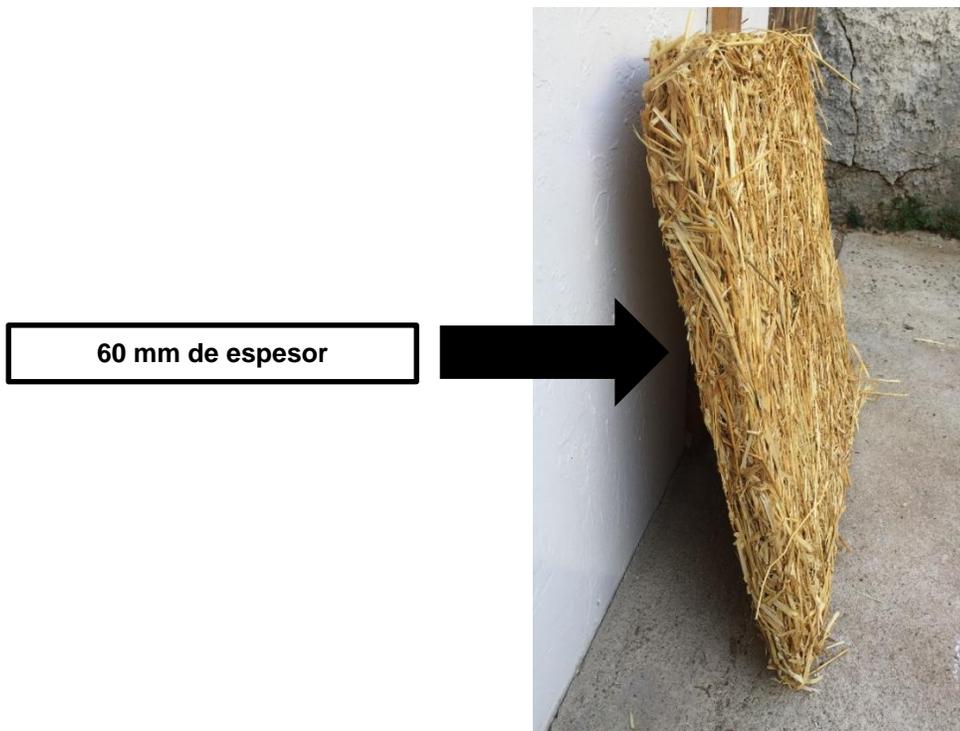


Figura 3-13: Aislante "A" 60 mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Pasado el tiempo de secado en el molde más el tiempo de secado al aire libre se procede a tomar la humedad relativa del elemento, para esto se tomó la humedad de los aislantes en 3 lugares distintos (centro del elemento por ambas caras y borde superior esquina izquierda). Este porcentaje de humedad varió de 7%-14%, sin embargo, la mayoría de las probetas tuvieron una humedad relativa de 10 a 12%.

En la figura 3-14, se puede observar la humedad relativa (en el sector borde superior esquina izquierda) del elemento antes de colocarlo en el horno de viento.



Figura 3-14: Humedad relativa aislante "A" 100mm (70/30).
Fuente: Elaboración propia.

Luego obtenida la humedad relativa, el elemento en estudio se introduce al horno de viento de los laboratorios de la carrera, este se coloca a 50 °C con la finalidad de obtener una humedad relativa de 0%. Estando el elemento colocado en el horno se tomaron mediciones cada 1 hora hasta obtener la humedad relativa deseada de 0%.

Tabla de porcentajes de humedad de los aislantes						
Tiempo (Hora)	Aislante tipo A (%)			Aislante tipo B (%)		
-	60 mm	80 mm	100 mm	60 mm	80 mm	100 mm
0	7	10	12	9	12	14
1	4,6	6,7	8,4	5,5	8,6	10,4
2	2,4	4,8	6,8	3,7	7	8,6
3	1,2	2,8	4,5	1,6	4,8	6,2
4	0	0,5	1,3	0	0,8	2,6
5	-	0	0	-	0	1
6	-	-	-	-	-	0

Tabla 3-2: Porcentaje de humedad de todos los aislantes.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura 3-15, se puede verificar el control de humedad al aislante tipo A de 100mm (70/30) en borde superior esquina izquierda, luego de estar 5 horas en el horno de viento a una temperatura de 50°C.



Figura 3-15: Humedad relativa pasado 5 horas en horno de viento a 50°C.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En las siguientes imágenes, se puede observar como quedo el aislante tipo A de 100 mm de espesor con dosificación 70/30.



Figura 3-16: Aislante tipo "A" 100mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 3-17: Espesor aislante "A" 100mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

A continuación, se evidencian las tablas de datos de todos los aislantes fabricados, en ellas se puede apreciar: las dosificaciones determinadas con mayor detalle, los datos obtenidos de los elementos en estado húmedo y los datos de los elementos en estado seco.

Tabla 3-3: Datos de dosificación para aislante tipo A de 60mm 70/30:

Tabla de datos para aislante tipo "A" de 60 mm de espesor, dosificación 70/30	
Densidad establecida : 77 kg/m ³	
Volúmen de la probeta : 0,0234 m ³	
Masa de paja total : 1802 Gr	
Paja a utilizar : 1802 Gr	Porcentaje de paja : 70%
Sellador de cal a utilizar : 773 Gr	Porcentaje de Sellador : 30%
Peso total de la probeta húmeda: 2575 Gr	
Densidad húmeda de la probeta : 110,04 kg/m ³	
Secado de la probeta:	Datos obtenidos en estado de humedad 0%
Tiempo de secado total: 6 días	Altura obtenida : 60 mm
Tiempo de secado en el molde: 4 días	Volúmen obtenido : 0,0234 m ³
Tiempo de secado del elemento ya desmoldado: 1 día	Peso seco obtenido: 1973 Gr
Secado en Horno de viento a 50°C: 4 Horas	Densidad obtenida : 84,31 kg/m ³

Tabla 3-3: Dosificación aislante tipo "A" 60mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3-4: Datos de dosificación para aislante tipo A de 80mm 70/30:

Tabla de datos para aislante tipo "A" de 80 mm de espesor, dosificación 70/30	
Densidad establecida : 77 kg/m ³	
Volúmen de la probeta : 0,0312 m ³	
Masa de paja total : 2402 Gr	
Paja a utilizar : 2402 Gr	Porcentaje de paja : 70%
Sellador de cal a utilizar : 1029 Gr	Porcentaje de Sellador : 30%
Peso total de la probeta húmeda: 3431 Gr	
Densidad húmeda de la probeta : 109,96 kg/m ³	
Secado de la probeta:	Datos obtenidos en estado de humedad 0%
Tiempo de secado total: 6 días	Altura obtenida : 80 mm
Tiempo de secado en el molde: 4 días	Volúmen obtenido : 0,0312 m ³
Tiempo de secado del elemento ya desmoldado: 1 día	Peso seco obtenido: 2681 Gr
Secado en Horno de viento a 50°C: 5 Horas	Densidad obtenida : 85,93 kg/m ³

Tabla 3-4: Dosificación aislante tipo "A" 80mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3-5: Datos de dosificación para aislante tipo A de 100mm 70/30:

Tabla de datos para aislante tipo "A" de 100 mm de espesor, dosificación 70/30	
Densidad establecida : 77 kg/m ³	
Volúmen de la probeta : 0,039 m ³	
Masa de paja total : 3003 Gr	
Paja a utilizar : 3003 Gr	Porcentaje de paja : 70%
Sellador de cal a utilizar : 1287 Gr	Porcentaje de Sellador : 30%
Peso total de la probeta húmeda: 4290 Gr	
Densidad húmeda de la probeta : 110 kg/m ³	
Secado de la probeta:	Datos obtenidos en estado de humedad 0%
Tiempo de secado total: 6 días	Altura obtenida : 100 mm
Tiempo de secado en el molde: 4 días	Volúmen obtenido : 0,039 m ³
Tiempo de secado del elemento ya desmoldado: 1 día	Peso seco obtenido: 3350 Gr
Secado en Horno de viento a 50°C: 5 Horas	Densidad obtenida : 85,89 kg/m ³

Tabla 3-5: Dosificación aislante tipo "A" 100mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para la elaboración del aislante tipo "B" con dosificación 50% paja de trigo y 50% sellador de cal, se usó la misma metodología que para la dosificación del aislante tipo "A" 70/30.

Tabla 3-6: Datos de dosificación para aislante tipo B de 60mm 50/50:

Tabla de datos para aislante tipo "B" de 60 mm de espesor, dosificación 50/50	
Densidad establecida : 77 kg/m ³	
Volúmen de la probeta : 0,0234 m ³	
Masa de paja total : 1802 Gr	
Paja a utilizar : 1802 Gr	Porcentaje de paja : 50%
Sellador de cal a utilizar : 1802 Gr	Porcentaje de Sellador : 50%
Peso total de la probeta húmeda: 3604 Gr	
Densidad húmeda de la probeta : 154,02 kg/m ³	
Secado de la probeta:	Datos obtenidos en estado de humedad 0%
Tiempo de secado total: 6 días	Altura obtenida : 60 mm
Tiempo de secado en el molde: 4 días	Volúmen obtenido : 0,0234 m ³
Tiempo de secado del elemento ya desmoldado: 1 día	Peso seco obtenido: 2515 Gr
Secado en Horno de viento a 50°C: 4 Horas	Densidad obtenida : 107,47 kg/m ³

Tabla 3-6: Dosificación aislante tipo "B" 60mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3-7: Datos de dosificación para aislante tipo B de 80mm 50/50:

Tabla de datos para aislante tipo "B" de 80 mm de espesor, dosificación 50/50	
Densidad establecida : 77 kg/m ³	
Volúmen de la probeta : 0,0312 m ³	
Masa de paja total : 2402 Gr	
Paja a utilizar : 2402 Gr	Porcentaje de paja : 50%
Sellador de cal a utilizar : 2402 Gr	Porcentaje de Sellador : 50%
Peso total de la probeta húmeda: 4804 Gr	
Densidad húmeda de la probeta : 153,9 kg/m ³	
Secado de la probeta:	Datos obtenidos en estado de humedad 0%
Tiempo de secado total: 6 días	Altura obtenida : 80 mm
Tiempo de secado en el molde: 4 días	Volúmen obtenido : 0,0312 m ³
Tiempo de secado del elemento ya desmoldado: 1 día	Peso seco obtenido: 3410 Gr
Secado en Horno de viento a 50°C: 5 Horas	Densidad obtenida : 109,29 kg/m ³

Tabla 3-7: Dosificación aislante tipo "B" 80mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3-8: Datos de dosificación para aislante tipo B de 100mm 50/50:

Tabla de datos para aislante tipo "B" de 100 mm de espesor, dosificación 50/50	
Densidad establecida : 77 kg/m ³	
Volúmen de la probeta : 0,039 m ³	
Masa de paja total : 3003 Gr	
Paja a utilizar : 3003 Gr	Porcentaje de paja : 50%
Sellador de cal a utilizar : 3003 Gr	Porcentaje de Sellador : 50%
Peso total de la probeta húmeda: 6006 Gr	
Densidad húmeda de la probeta : 154 kg/m ³	
Secado de la probeta:	Datos obtenidos en estado de humedad 0%
Tiempo de secado total: 6 días	Altura obtenida : 100 mm
Tiempo de secado en el molde: 4 días	Volúmen obtenido : 0,039 m ³
Tiempo de secado del elemento ya desmoldado: 1 día	Peso seco obtenido: 4304 Gr
Secado en Horno de viento a 50°C: 6 Horas	Densidad obtenida : 110,35 kg/m ³

Tabla 3-8: Dosificación aislante tipo "B" 100mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.5 Estudio de las densidades

Se estudió la densidad aparente del aislante propuesto, para esto se realizó un promedio de las densidades obtenidas según la fórmula 3-1, a las probetas fabricadas bajo la misma dosificación. Con el fin de obtener una densidad por cada tipo de elemento propuesto. El cálculo para obtener la densidad aparente de cada aislante será el cociente de la división entre el dividendo masa en kilogramos y el divisor volumen en metros cúbicos, siendo la fórmula la siguiente:

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

Fórmula 3-1: Fórmula de densidad aparente (kg/m³).

Donde:

δ : Corresponde al valor de la densidad aparente expresado en (Kg/m³).

m : Corresponde al peso de la muestra expresado en kilogramos.

v : Corresponde al volumen de la muestra expresado en metros cúbicos.

Como la paja de trigo es muy ligera en relación a su peso, se utilizará el método del picnómetro con un líquido más denso que el agua destilada ya que esta flota en ella. Para obtener la densidad de la paja de trigo aparente en estado suelta se utilizará el método del picnómetro utilizando vaselina como líquido picnométrico (Suárez & Beatón, 2001).

El procedimiento es el siguiente:

Pesar el picnómetro (que en este caso será un vaso precipitado) para determinar su volumen exacto. Luego, llenar con agua y volver a pesar. Por último, llenar el vaso precipitado con vaselina y registrar su peso.

Calculo de densidad relativa vaselina:

$$\rho \text{ relativa vaselina} = \left(\frac{\text{Masa picnómetro} + \text{vaselina} - \text{Masa picnómetro}}{\text{Masa picnómetro} + \text{agua} - \text{Masa picnómetro}} \right) * \rho \text{ agua}$$

Fórmula 3-2: Densidad relativa de la vaselina.

Luego se debe pesar una pequeña cantidad de paja de trigo en estado suelto y seco e introducirla al vaso precipitado registrando su masa. Posteriormente agregar vaselina hasta el volumen establecido (125ml) y pesar.

Por último, se determina el peso de la vaselina desplazada mediante la fórmula 3-3 y se determina la densidad real de la muestra según el volumen de la muestra desplazada y su peso.

$$\text{Peso vaselina desplazada} = [\text{Peso (picnómetro} + \text{vaselina)} + \text{peso muestra}] - [\text{peso picnómetro} + \text{vaselina} + \text{muestra}]$$

Fórmula 3-3: Peso vaselina desplazada.

$$\text{Volumen muestra} = \left(\frac{\text{Masa vaselina}}{\text{Densidad vaselina}} \right)$$

Fórmula 3-4: Volumen de muestra.

$$\text{Densidad real} = \left(\frac{\text{Masa de la muestra}}{\text{Volumen de la muestra}} \right)$$

Fórmula 3-5: Densidad real de la muestra.

3.6 Metodologías de ensayos

Para determinar si el aislante propuesto en base a paja de trigo y sellador de cal posee propiedades térmicas y acústicas necesarias para ser considerado un aislante, se efectuaron las pruebas necesarias según los procedimientos que establecen las normas chilenas.

Los ensayos a realizar son:

Ensayo para determinar las propiedades térmicas:

-NCh 851 Of 1983. Aislación térmica- Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica

Ensayo para determinar las propiedades acústicas:

-NCh 2786 Of 2002. Acústica- Medición de aislación acústica en construcción y elementos de construcción.

3.6.1 Descripción del equipo de medición

Para esta investigación se utilizó el equipo de medición Xplorer GLX de la marca Pasco, el que se ve representado en la figura 3-18, este es un equipo con recopilación de datos portátil, lo que permite tener un registro de los datos térmicos y acústicos en tiempo real, es decir, entrega los datos en el momento en el que se está realizando el ensayo.



Figura 3-18: Equipo de medición, Xplorer GLX
Fuente: www.Pasco.com

Este componente acepta hasta 4 sensores Pasport en simultaneo, además de 2 sensores de temperatura y 1 sensor acústico. Los sensores que se utilizarán para el desarrollo de esta investigación serán los sensores de temperatura y de sonido.

Para reflejar los datos obtenidos por el equipo se utilizarán el software: "PASCOCapstone" para la interpretación de datos térmicos y acústicos.

3.6.2 Ensayo y cálculos para determinar las propiedades térmicas

3.6.2.1 Ensayo térmico

Para determinar las propiedades térmicas, las normas que rigen e indican de qué manera se deben realizar los ensayos para obtener resultados óptimos son las siguientes:

-NCh 851 Of 1983 Aislación Térmica –Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.

-NCh 853 Of 1991 Acondicionamiento térmico- Envoltura térmica de edificios- Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

-NCh 849 Of 1987 Aislación Térmica–Transmisión Térmica –Terminología, Magnitudes, Unidades y Símbolos.

Para realizar el ensayo según la norma NCh 851 Of 1983, se utilizó la cámara que se encuentra instalada en el laboratorio de docencia de la Universidad de Valparaíso. Esta cámara está conformada por terciado estructural de 15mm, con aislación en su interior de poliestireno expandido y lana de vidrio entre sus placas, con una tapa removible para realizar los ensayos.

En el interior de la cámara se instala en la parte vertical paralela al aislante una fuente de calor, la que en este caso serán 3 ampollitas de 100 W distribuidas uniformemente dentro de la sección de la cámara. Ya estando la fuente de calor y el aislante instalado, se colocan los dos sensores de temperatura, uno en el espacio donde se origina el calor y el otro en el espacio posterior al aislante, con el fin de que un sensor mida el calor que se genera por la fuente de calor y el otro mide la cantidad de calor que existe donde no se genera calor.

El tiempo de duración de cada ensayo según la norma mencionada es de 8 horas corridas, pero adecuándonos al tiempo que se puede realizar este ensayo en los laboratorios de la universidad se establece un tiempo de 2 horas corridas, ya que con esta duración se puede establecer un diferencial de temperaturas representativo para realizar la investigación.

El objetivo de este ensayo es determinar cuanta diferencia de temperatura existe en los dos espacios, por unidad de tiempo.

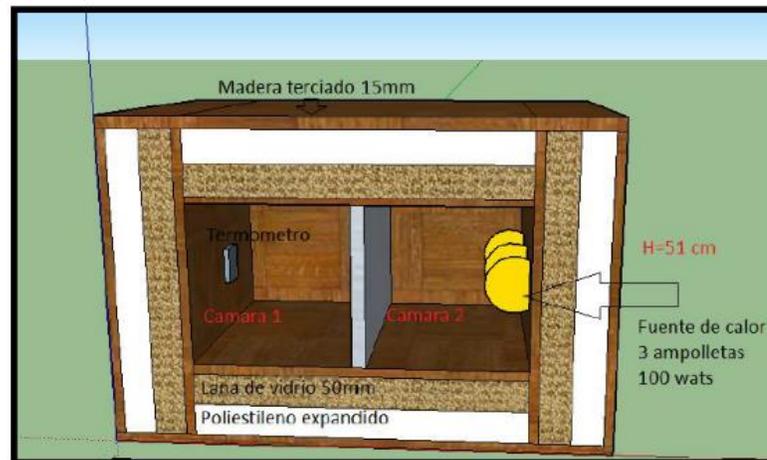


Figura 3-19: Cámara térmica, procedimiento de ensayo térmico.

Fuente: "Elaboración propia: Carlos Roa, 2016".

3.6.2.2 Cálculo de la conductividad térmica

Para realizar el cálculo de la conductividad térmica según la NCh 851 oficial de 1983 se debe tomar en consideración la fórmula explicada en el punto 2.3.1. Donde se debe conocer el flujo térmico emitido por la fuente de calor, el área de la sección a estudiar y las diferencias de temperatura que arroja el ensayo térmico.

Debido a que la cámara térmica que se utilizó para realizar el ensayo fue elaborada de manera artesanal, no se puede realizar un cálculo preciso para obtener el coeficiente de conductividad térmica, ya que, no se puede determinar el flujo térmico que la fuente de calor utilizada entrega al ensayo puesto que, este es alterado por muchos factores, tales como: la temperatura ambiente de la sala donde se encuentra la cámara, la energía que se disipa por las filtraciones de la cámara, la pérdida de funcionalidad de la ampolleta debido al gran uso de la misma, entre otros.

Tomando en consideración estos factores, es que se determinó el flujo térmico entregado por la fuente de calor de la siguiente manera:

-En primer lugar, se realizaron 10 ensayos de 2 horas en diferentes días a una plancha de poliestireno expandido de densidad 10 kg/m³ (5 ensayos a una plancha de 60mm y 5 ensayos a una plancha de 100mm).

-En segundo lugar, realizado los ensayos, se procedió a realizar el cálculo de la conductividad térmica despejando el flujo térmico, ya que, el coeficiente K_e de las planchas de 60mm y 100mm son indicadas por el fabricante (0,0425 W/m*°K).

-En tercer lugar, ya despejado el flujo térmico en las 10 ecuaciones (1 por cada ensayo) se realizó un promedio de estas y se estableció el valor dado, como el flujo térmico que entrega la cámara de trabajo a las 2 horas de ensayo.

-Finalmente, teniendo el flujo térmico se realizó el cálculo de la conductividad térmica a los aislantes en estudio.

3.6.2.3 Método de verificación del cumplimiento del artículo 4.1.10

Para verificar el cumplimiento de los aislantes ante los requerimientos del artículo 4.1.10 de reglamentación térmica, se realizó el cálculo de la resistencia térmica y transmitancia térmica de cada elemento una vez calculado el coeficiente de conductividad térmica como se menciona en el punto anterior 3.6.2.2.

Calculados los coeficientes se ordenaron en una tabla y se verificó si los coeficientes de cada elemento satisfacen los requerimientos mínimos establecidos, con la finalidad de determinar si los elementos pueden ser utilizados como aislantes o no según la zona térmica en donde se deseen emplear.

3.6.3 Ensayo para determinar las propiedades acústicas

Para este ensayo se tomó como referencia la Norma Chilena NCh 2786 Of 2002 Acústica-Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción – Mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea de elementos de construcción.

Esta norma recomienda que el ensayo de los elementos de construcción, se debe realizar en un área de 10 m², pero adecuándose a los recursos disponibles de los laboratorios de docencia de la Universidad de Valparaíso, el ensayo se realizó en la misma cámara para el ensayo de las propiedades térmicas, ya que, este se encuentra adaptado para realizar dicho ensayo.

Este ensayo consiste en colocar una fuente emisora de sonido a una distancia de 120 cm de la superficie del material a ensayar, en este caso a 120 cm del aislante colocado en forma vertical y al lado opuesto colocar una fuente receptora a la misma distancia de 120 cm desde la superficie del aislante. El sonido generado en el recinto de emisión debe ser estacionario y tener un espectro continuo en el rango de frecuencia considerado, el cual debe ser medido por un periodo de 30 segundos para cada frecuencia.

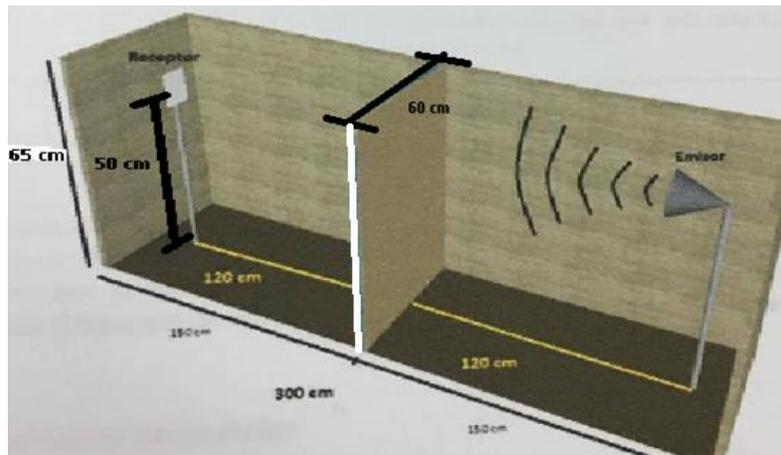


Figura 3-20: Procedimiento para ensayo acústico en cámara acústica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En primer lugar, se debe medir la intensidad sonora al interior de la cámara sin el aislante propuesto, con el fin de poseer un parámetro de comparación al momento de realizar la interpretación de datos. Luego que se obtuvo la intensidad sonora sin aislante, se procederá a instalar los distintos aislantes.

Con los datos obtenidos, se procede a realizar la diferencia de intensidad sonora que captó el equipo de medición entre la cámara vacía, los aislantes propuestos y el Poliestireno expandido.

Los rangos de frecuencias a reproducir corresponden a bandas de octava, las que varían desde los 100 a 5000 Hertz, como lo establece la NCh 2786 of 2002. Estas frecuencias se generan mediante el programa "Audacity" y se transmitirán por periodos de 30 segundos, luego se recopilarán los datos mediante el software "Pasco Caspone" y se realizó un promedio de los decibelios obtenidos en los 30 segundos, con el objetivo de obtener datos precisos.

Frecuencias emitidas por el software Audacity:

Bandas de octavas (Hertz)					
100	125	160	200	250	315
400	500	630	800	1000	1250
1600	2000	2500	3150	4000	5000

Tabla 3-9: Frecuencias de Octava.

Fuente: NCh 2786 of 2002.

Se ocupó el siguiente parlante para reproducir las frecuencias requeridas:

Parlante UE-BOOM2 con una potencia máxima de salida de 90dBA, un rango de frecuencia de 90Hz-20KHz.

Por otro lado, se consideró la NCh 352 Of 2000 para analizar los resultados a los ensayos acústicos, ya que esta norma establece los requisitos acústicos mínimos que deben cumplir las construcciones de uso habitacionales, con la finalidad de determinar si el elemento satisface tales requerimientos.

Parámetro	Emisor	Receptor	NED, dBA	Requisitos dBA	Método de ensayo
A	Exterior	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	≤ 60 61-65 66-70 71-75 > 75	Aislación mín.: 20 25 30 35 NED-40	NF S31-057
B	Vivienda contigua	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	No aplicable	Aislación mín.: 45	NF S31-057
C	Instalaciones sanitarias y mecánicas externas	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	No aplicable	Nivel de ruido máx.: 40	Según 6.3
D	Pasillo y escalera	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	No aplicable	Aislación mín.: 30	NF S31-057

Tabla 3-10: Requisitos mínimos acústicos para construcciones habitacionales

Fuente: NCh 352 Of 2000.

Esta investigación se centró en estudiar el parámetro A, en donde el requisito de aislación acústica permitida es de 25 dB o mayor, para una emisión de sonido de 61-65dB.

3.7 Estudio de costos

Durante el proceso de fabricación se llevó un riguroso control de materiales, el que permitió realizar un análisis a los costos asociados de construcción del aislante.

Se tomaron en cuenta los siguientes materiales:

- Paja de trigo.
- Sellador de cal.
- Confección del molde.

Teniendo en cuenta todos los costos asociados, se determinó un costo por m2.

Cabe mencionar que solo se tienen en cuenta los valores asociados a los materiales, ya que, debido al carácter artesanal de la fabricación de los elementos, no se puede estimar el valor del aislante fabricado de forma industrial.

4 Elaboración y ejecución de la experiencia

4.1 Generalidades

En este capítulo se presenta de manera detallada el procedimiento que se realizó para determinar las densidades aparentes, como también, los resultados de los ensayos térmicos y acústicos, los cálculos de los coeficientes térmicos y los costos de los aislantes.

4.2 Densidades aparentes

El estudio de las densidades se calculó mediante la metodología descrita en el punto 3.5, donde establece que se realizara un promedio de las densidades aparentes de cada tipo de aislante.

Antes del proceso de cálculo de densidades aparentes de los aislantes fabricados, se realizó el cálculo de densidades a los materiales de manera particular.

Densidad aparente de la paja de trigo:

En primer lugar, se calculó la densidad aparente de la paja de trigo en el estado en el cual fue adquirida, esta se encuentra en formato fardo agrícola, con un leve grado de compactación.

Cálculo de densidad aparente		
Material: Fardo de paja de trigo		
	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>
Volumen	<i>m3</i>	0,1925
Masa	<i>kg</i>	18,5
Densidad: 96,10 kg/m3		

Tabla 4-1: Densidad aparente de fardo de paja de trigo.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En segunda instancia, se realizó el cálculo de la densidad real de la paja de trigo en estado suelto, este procedimiento se realizó como explica el segundo procedimiento descrito en el punto 3.5, el resultado fue el siguiente:

N°	Item	Unidad	Cantidad
1	Peso Vaso precipitado	Gr	115,58
2	Peso VP+H2O(125ml)	Gr	237,73
3	Peso VP+Vaselina(125ml)	Gr	211,10
4	Densidad Vaselina	Gr/cm3	0,7820
5	Densidad Vaselina	Kg/m3	781,99
6	Peso paja de trigo	Gr	2,88
7	Peso vaselina+N°6	Gr	183,62
8	Peso vaselina desplazada	Gr	30,36
9	Volumen paja de trigo	MI	38,82
10	Densidad paja de trigo aparente suelto	Gr/cm3	0,0742
11	Densidad paja de trigo aparente suelto	Kg/m3	74,18

Tabla 4-2: Densidad aparente paja de trigo.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Luego que se obtiene las densidades de la paja se procedió al cálculo de la densidad del sellador de cal en estado húmedo.

Densidad aparente en estado húmedo:

Cálculo de densidad aparente		
Material: Sellador de cal		
	Unidad	Cantidad
Volumen	m³	0,0189
Masa	kg	25,55
Densidad: 1351,85 kg/m³		

Tabla 4-3: Densidad sellador de cal en estado húmedo.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Ya teniendo las densidades propias de cada material a utilizar se calculó la densidad de los aislantes propuestos. Se considera para el cálculo, todas las áreas de 60x65cm.

Aislante "A": Para el cálculo de la densidad aparente del aislante tipo A se realizó un promedio de las densidades obtenidas de cada muestra fabricada.

	Espesor	Volumen	Peso	Densidad
Aislante tipo A	60 mm	0,0234 m ³	1973 Gr	84,31 kg/m ³
Aislante tipo A	80 mm	0,0312 m ³	2681 Gr	85,93 kg/m ³
Aislante tipo A	100 mm	0,039 m ³	3350 Gr	85,89 kg/m ³
Densidad aparente Aislante tipo "A" = 85,37 kg/m³				

Tabla 4-4: Densidad aparente aislante tipo "A".
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Aislante "B": Para el cálculo de la densidad aparente del aislante tipo B se realizó un promedio de las densidades obtenidas de cada muestra fabricada.

	Espesor	Volumen	Peso	Densidad
Aislante tipo B	60 mm	0,0234 m ³	2515 Gr	107,47 kg/m ³
Aislante tipo B	80 mm	0,0312 m ³	3410 Gr	109,29 kg/m ³
Aislante tipo B	100 mm	0,039 m ³	4304 Gr	110,35 kg/m ³
Densidad aparente Aislante tipo "B" = 109,03 kg/m³				

Tabla 4-5: Densidad aparente aislante tipo "B".
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Por último, se calcularon las densidades aparentes de las planchas de poliestireno expandido marca Aislapol, de densidad establecida por el fabricante de 10 kg/m³.

Cálculo de densidad aparente poliestireno expandido:

Cálculo de densidad aparente		
Material: Plancha Poliestireno expandido		
	Unidad	Cantidad
Volumen	m³	0,039
Masa	kg	0,3985
Densidad: 10,22 kg/m³		

Tabla 4-6: Densidad Poliestireno expandido.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

4.3 Resultados de los ensayos y coeficientes térmicos

4.3.1 Resultados de los ensayos térmicos

Todos los resultados de los ensayos térmicos entregados por el software PASCOCapstone® se podrán apreciar en las tablas ubicadas en: Anexos 8.1.

A continuación, se podrá verificar el resumen de resultados de los ensayos térmicos.

4.3.1.1 Resultados térmicos resumidos de los aislantes ensayados

En la tabla 4-7, se muestra un resumen de los resultados térmicos que entregaron los elementos ensayados, este resumen se realizó dado que para cada ensayo realizado el software entrega un total de 50 datos (dos cada 5 minutos para T1 y T2) y para realizar el cálculo del coeficiente de conductividad térmica solo se utilizaron los dos últimos datos (la diferencia de T1 y T2 a los 120 minutos del ensayo).

Como se mencionó se colocaron dos sensores de temperatura, uno en cada cara del elemento en estudio, siendo los datos que registra el sensor que está colocado en la cara expuesta a la fuente de calor como T1 y los datos del sensor que está colocado en la cara reversa del aislante como T2, en la figura 3-19 se muestra de manera representativa cada sector de la cámara de trabajo.

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Resultados resumidos de los ensayos térmicos, entregados por el software PASCOCapstone									
Aislante tipo "A" 60mm (70/30)			Aislante tipo "A" 80mm (70/30)			Aislante tipo "A" 100mm (70/30)			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	15,61	15,61	0,00	13,00	13,00	0,00	9,50	9,50	0,00
60	34,60	19,25	15,35	35,40	15,13	20,27	36,42	12,06	24,36
120	44,84	21,63	23,21	41,33	16,25	25,08	42,35	15,17	27,18
Aislante tipo "B" 60mm (50/50)			Aislante tipo "B" 80mm (50/50)			Aislante tipo "B" 100mm (50/50)			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	15,43	15,43	0,00	14,50	14,50	0,00	13,63	13,63	0,00
60	32,96	17,32	15,64	33,38	16,74	16,64	35,13	16,88	18,25
120	38,50	20,45	18,05	37,80	18,12	19,68	40,32	19,03	21,29
Aislante patrón 60mm			Aislante patrón 80mm			Aislante patrón 100mm			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	11,64	11,64	0,00	14,67	14,67	0,00	15,80	15,80	0,00
60	34,92	17,72	17,20	35,67	17,27	18,40	44,84	17,88	26,96
120	45,86	19,20	26,66	48,73	19,85	28,88	50,24	19,43	30,81

Tabla 4-7: Resultados resumidos de los ensayos térmicos.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

4.3.2 Cálculo de la conductividad térmica

Para realizar el cálculo de la conductividad térmica se siguió la metodología establecida en el punto 3.6.2.2. Para esto se realizó el ensayo de la NCh 851 of 1983 al elemento de comparación poliestireno expandido de densidad 10 kg/m³ marca Aislapol, de espesores 60mm y 100mm. Este aislante viene normalizado con un coeficiente de conductividad térmica de 0,0425 W/m*°K.

A continuación, se podrán apreciar los resultados obtenidos del ensayo a los aislantes de EPS de 60mm y 100mm transcurridos los 120 minutos de duración del ensayo y sus diferencias de temperaturas en grados Celsius.

Resultados de ensayos térmicos a Poliestireno expandido de densidad 10 kg/m³							
N°	Ensayos	Duración	Área (m ²)	Temperatura T1 (°C)	Temperatura T2 (°C)	Diferencia de T1-T2 (°C)	Ke (W/m*°K)
1	EPS 60mm	120 minutos	0,39	45,86	19,2	26,66	0,0425
2	EPS 60mm	120 minutos	0,39	42,83	18,54	24,29	0,0425
3	EPS 60mm	120 minutos	0,39	46,21	19,85	26,36	0,0425
4	EPS 60mm	120 minutos	0,39	44,84	22,94	21,9	0,0425
5	EPS 60mm	120 minutos	0,39	41,94	18,54	23,4	0,0425
6	EPS 100mm	120 minutos	0,39	50,24	19,43	30,81	0,0425
7	EPS 100mm	120 minutos	0,39	52,54	20,43	32,11	0,0425
8	EPS 100mm	120 minutos	0,39	48,63	17,88	30,75	0,0425
9	EPS 100mm	120 minutos	0,39	51,83	22,76	29,07	0,0425
10	EPS 100mm	120 minutos	0,39	49,86	19,34	30,52	0,0425

Tabla 4-8: Resultados de ensayos térmicos para cálculo del flujo térmico.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Obtenidos los resultados de los ensayos térmicos se procedió a realizar la conversión de grados Celsius a grados Kelvin, para esto se sumó la diferencia dada entre T1-T2 a 273,15, ya que esta cifra equivale a 0 grados Celsius. Ya teniendo todos los datos se realizó el procedimiento para despejar el flujo térmico (ver punto 3.6.2.2).

Cálculo del flujo térmico en función de los ensayos térmicos realizados en el laboratorio						
N°	Ensayos	Área (m ²)	Diferencia de T1-T2 (°C)	Diferencia de T1-T2 (°K)	Ke (W/m*°K)	Flujo térmico
1	EPS 60mm	0,39	26,66	299,81	0,0425	4,97
2	EPS 60mm	0,39	24,29	297,44	0,0425	4,93
3	EPS 60mm	0,39	26,36	299,51	0,0425	4,96
4	EPS 60mm	0,39	21,9	295,05	0,0425	4,89
5	EPS 60mm	0,39	23,4	296,55	0,0425	4,92
6	EPS 100mm	0,39	30,81	303,96	0,0425	5,04
7	EPS 100mm	0,39	32,11	305,26	0,0425	5,06
8	EPS 100mm	0,39	30,75	303,9	0,0425	5,04
9	EPS 100mm	0,39	29,07	302,22	0,0425	5,01
10	EPS 100mm	0,39	30,52	303,67	0,0425	5,03

Tabla 4-9: Cálculo del flujo térmico.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Finalmente se realizó el cálculo del promedio de los flujos térmicos obtenidos, para posteriormente en base a este flujo térmico calcular la conductividad térmica de los aislantes propuestos.

El promedio de los flujos térmicos obtenidos es de 4,89 Watt ó 4,89 J/seg.

Cálculo de la conductividad térmica del aislante tipo "A":

<i>Resultados del cálculo de la conductividad térmica del aislante tipo "A", respecto al flujo térmico establecido</i>								
Nº	Ensayos	Duración	Área (m ²)	Temperatura T1 (°C)	Temperatura T2 (°C)	Diferencia de T1-T2 (°K)	Flujo térmico (W)	KE (W/m ² *K)
1	Aislante tipo A 60mm	120 minutos	0,39	44,84	21,63	296,36	4,98	0,04313
2	Aislante tipo A 80mm	120 minutos	0,39	41,33	16,25	298,23	4,98	0,04286
3	Aislante tipo A 100mm	120 minutos	0,39	42,35	15,17	300,33	4,98	0,04256

Tabla 4-10: Cálculo de la conductividad térmica a aislante tipo "A".

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El promedio de la conductividad térmica obtenida del elemento tipo "A" es de 0,0428 W/m²*K para una densidad promedio de 85,37 kg/m³.

Cálculo de la conductividad térmica del aislante tipo "B":

<i>Resultados del cálculo de la conductividad térmica del aislante tipo "B", respecto al flujo térmico establecido</i>								
Nº	Ensayos	Duración	Área (m ²)	Temperatura T1 (°C)	Temperatura T2 (°C)	Diferencia de T1-T2 (°K)	Flujo térmico (W)	KE (W/m ² *K)
1	Aislante tipo B 60mm	120 minutos	0,39	38,5	20,45	291,2	4,98	0,04389
2	Aislante tipo B 80mm	120 minutos	0,39	37,8	18,12	292,83	4,98	0,04365
3	Aislante tipo B 100mm	120 minutos	0,39	41,57	18,14	296,58	4,98	0,04310

Tabla 4-11: Cálculo de la conductividad térmica a aislante tipo "B".

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El promedio de la conductividad térmica obtenida del elemento tipo "B" es de 0,0435 W/m²*K, para una densidad promedio de 109,3 kg/m³.

4.3.3 Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica

Para realizar el cálculo de la resistencia y transmitancia térmica de los elementos, se realizaron los cálculos correspondientes establecidos en los puntos 2.3.2 y 2.3.3.

<i>Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica.</i>				
Nº	Tipo de aislante	Ke (w/m ² *k)	R (m ² *°k/w)	U (w/m ² *°k)
1	Aislante tipo A de 60 mm	0,0428	1,402	0,713
2	Aislante tipo A de 80 mm	0,0428	1,869	0,535
3	Aislante tipo A de 100 mm	0,0428	2,336	0,428
4	Aislante tipo B de 60 mm	0,0435	1,379	0,725
5	Aislante tipo B de 80 mm	0,0435	1,839	0,544
6	Aislante tipo B de 100 mm	0,0435	2,299	0,435
7	Poliestireno expandido 60 mm	0,0425	1,412	0,708
8	Poliestireno expandido 80 mm	0,0425	1,882	0,531
9	Poliestireno expandido 100 mm	0,0425	2,353	0,425

Tabla 4-12: Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

4.4 Resultados de los ensayos acústicos

Los resultados de los ensayos acústicos se pueden verificar en la tabla n°4-13.

4.4.2.1 Resultados acústicos de los aislantes ensayados

Los siguientes resultados, reflejan los comportamientos que tuvieron los aislantes ensayados frente a la prueba acústica, en la tabla se puede observar cada frecuencia emitida (100-5000 Hertz) y la cantidad de decibeles captados por el sonómetro.

Resultados de los ensayos acústicos, entregados por el software PASCOCapstone										
Hertz	Sin aislante en la cámara	Aislante A 60mm 70/30	Aislante A 80mm 70/30	Aislante A 100mm 70/30	Aislante B 60mm 50/50	Aislante B 80mm 50/50	Aislante B 100mm 50/50	Aislante 60 mm, EPS	Aislante 80 mm, EPS	Aislante 100 mm, EPS
100	82,7	81,28	80,5	79,5	73,8	71,5	69,8	80,1	80,1	79,7
125	90	90	90	90	86	86	83,5	90	90	90
160	77,6	77,53	77	76,21	71,5	70,6	69,5	76,9	74,6	75,8
200	77,7	70,4	69,8	68,78	70	68,9	67,5	61,9	57,9	53,6
250	90	90	89,34	88,8	70,6	68,7	66,57	90	89,7	88,9
315	90	83,8	82,5	78,6	70	68,5	66,7	81,3	78,1	74,5
400	86,8	81,3	82,09	80,3	78,8	78	77,3	84,1	75,6	66,7
500	55,7	55,62	55,45	54,23	45,8	43,97	41,3	55,4	55	54,3
630	86,7	67,4	67,14	64,76	59,7	58,8	56,7	86	84,6	82,6
800	84,1	67,2	66,16	65	66,4	65,5	64,5	83,2	76,1	64,9
1000	84	78,7	76,72	74,3	67,6	65,7	63,5	81,1	75	68,5
1250	89	71,9	69,76	67,4	69,5	67,8	65,6	78,6	74,6	70,2
1600	79,1	78,12	77,35	75,9	70,1	68,3	65,2	78,6	75,5	71,5
2000	73,4	73,05	72,2	71,6	68,8	66,9	64,78	72,9	70	68,8
2500	79,5	78,59	77,9	76,8	69,5	67,7	65,9	73,6	70,9	67,9
3150	84,8	68,8	66,92	64,9	66	64,6	61,9	77,6	69,1	59,8
4000	88,1	75,7	74,95	73,8	73,6	72,5	71,8	64,3	64	63,4
5000	62,5	61,9	61,64	61,4	60,8	59,5	57	61,6	61	60,43

Tabla 4-13: Resultados de los ensayos acústicos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los resultados que se encuentran colocados en las casillas correspondientes para cada tipo de aislante, es la cantidad de decibeles que captó el sonómetro cuando se emitió la frecuencia señalada, la pérdida de decibeles se debe a que el elemento en estudio absorbe un porcentaje de la frecuencia y queda retenido en él.

4.4.2.2 Diferencial acústico de dB

En la tabla 4-14, se pueden verificar los diferenciales acústicos en dB, este diferencial se calculó tomando como referencia la cantidad de dB captados por el sonómetro estando la cámara de prueba vacía y luego estando la cámara con los aislantes. De esta manera se puede generar un parámetro de comparación para identificar la cantidad de decibelios que absorbe el elemento en estudio.

Diferencial acústico de dB a los aislantes ensayados									
Hertz	Aislante A 60mm 70/30	Aislante A 80mm 70/30	Aislante A 100mm 70/30	Aislante B 60mm 50/50	Aislante B 80mm 50/50	Aislante B 100mm 50/50	Aislante 60 mm, EPS	Aislante 80 mm, EPS	Aislante 100 mm, EPS
100	1,42	2,2	3,2	8,9	11,2	12,9	2,6	2,6	3
125	0	0	0	4	4	6,5	0	0	0
160	0,07	0,6	1,39	6,1	7	8,1	0,7	3	1,8
200	7,3	7,9	8,92	7,7	8,8	10,2	15,8	19,8	24,1
250	0	0,66	1,2	19,4	21,3	23,43	0,0	0,3	1,1
315	6,2	7,5	11,4	20	21,5	23,3	8,7	11,9	15,5
400	5,5	4,71	6,5	8	8,8	9,5	2,7	11,2	20,1
500	0,08	0,25	1,47	9,9	11,73	14,4	0,3	0,7	1,4
630	19,3	19,56	21,94	27	27,9	30	0,7	2,1	4,1
800	16,9	17,94	19,1	17,7	18,6	19,6	0,9	8	19,2
1000	5,3	7,28	9,7	16,4	18,3	20,5	2,9	9	15,5
1250	17,1	19,24	21,6	19,5	21,2	23,4	10,4	14,4	18,8
1600	0,98	1,75	3,2	9	10,8	13,9	0,5	3,6	7,6
2000	0,35	1,2	1,8	4,6	6,5	8,62	0,5	3,4	4,6
2500	0,91	1,6	2,7	10	11,8	13,6	5,9	8,6	11,6
3150	16	17,88	19,9	18,8	20,2	22,9	7,2	15,7	25
4000	12,4	13,15	14,3	15,1	15,6	16,3	23,8	24,1	24,7
5000	0,6	0,86	1,1	1,7	3	5,5	0,9	1,5	2,07

Tabla 4-14: Diferencia de dB entre los aislantes ensayados.

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la imagen 4-1, se puede observar el elemento tipo "A" de 100mm en la prueba acústica.



Figura 4-1: Elemento tipo "A" de 100mm, en ensayo acústico.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

4.5 Determinación de costos del aislante

Para determinar el costo de fabricación del aislante propuesto se deben considerar los costos de todos los materiales, herramientas y mano de obra empleada, sin embargo, para este caso el valor de la mano de obra no será un factor a considerar debido a que al ser un proceso artesanal cualquier valor estimado será solo una suposición.

Así también el costo de las herramientas necesarias para confeccionar el molde no se integrará al análisis de costos, ya que no se realizó ninguna compra de herramientas y su desgaste para fabricar el molde se consideró despreciable.

Costo de los materiales utilizados para confeccionar el molde del elemento a estudiar:

N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Placa Terciado	M2	1	6.037	Pesos	1,7	M2	10.263	Pesos	
2	Tornillos de 3"	Unidad	1	15,6	Pesos	40	Unidad	624	Pesos	
3	Cola fria profesional	Kilogramos	1	3.990	Pesos	0,2	Kilogramos	798	Pesos	
4	Manillas	Unidad	1	1.000	Pesos	2	Unidad	2.000	Pesos	
								Valor total del molde	13.685	Pesos

Tabla 4-15: Costo de materiales para la fabricación del molde.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se aprecia en la tabla 4-15, el costo del molde en materiales es de 13.685 pesos.

El molde compactador posee una funcionalidad limitada, este es capaz de fabricar un total de 200 unidades de aislantes, considerando su vida útil, se agregará un costo de molde de 68 pesos por aislante.

Luego que se confeccionó el molde, se procedió a realizar el cuadro de costos de materiales para la fabricación de los aislantes según su espesor y dosificación.

Valor total de materiales para fabricar aislante tipo "A" de espesor 60mm, de 0,39m²:

Valor total aislante tipo "A" espesor 60mm con dosificación 70/30										
N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Paja de Trigo	Kilogramos	18,5	3.000	Pesos	1,802	Kilogramos	292	Pesos	
2	Sellador de Cal	Kilogramos	26,55	22.500	Pesos	0,773	Kilogramos	655	Pesos	
3	Molde compactador	Unidad	1	13.685	Pesos	0,005	Unidad	68	Pesos	
								Valor Total Aislante	1.016	Pesos

Tabla 4-16: Valor aislante tipo "A" de 60mm 70/30.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Valor total de materiales para fabricar aislante tipo "A" de espesor 80mm, de 0,39m²:

Valor total aislante tipo "A" espesor 80mm con dosificación 70/30										
N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Paja de Trigo	Kilogramos	18,5	3.000	Pesos	2,402	Kilogramos	390	Pesos	
2	Sellador de Cal	Kilogramos	26,55	22.500	Pesos	1,029	Kilogramos	872	Pesos	
3	Molde compactador	Unidad	1	13.685	Pesos	0,005	Unidad	68	Pesos	
								Valor Total Aislante	1.330	Pesos

Tabla 4-17: Valor aislante tipo "A" de 80mm 70/30.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Valor total de materiales para fabricar aislante tipo "A" de espesor 100mm, de 0,39m²:

Valor total aislante tipo "A" espesor 100mm con dosificación 70/30										
N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Paja de Trigo	Kilogramos	18,5	3.000	Pesos	3,003	Kilogramos	487	Pesos	
2	Sellador de Cal	Kilogramos	26,55	22.500	Pesos	1,278	Kilogramos	1.083	Pesos	
3	Molde compactador	Unidad	1	13.685	Pesos	0,005	Unidad	68	Pesos	
								Valor Total Aislante	1.638	Pesos

Tabla 4-18: Valor aislante tipo "A" de 100mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Valor total de materiales para fabricar aislante tipo "B" de espesor 60mm, de 0,39m²:

Valor total aislante tipo "B" espesor 60mm con dosificación 50/50										
N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Paja de Trigo	Kilogramos	25	3.000	Pesos	1,802	Kilogramos	216	Pesos	
2	Sellador de Cal	Kilogramos	26,55	22.500	Pesos	1,802	Kilogramos	1.527	Pesos	
3	Molde compactador	Unidad	1	13.685	Pesos	0,005	Unidad	68	Pesos	
								Valor Total Aislante	1.812	Pesos

Tabla 4-19: Valor aislante tipo "B" de 60mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Valor total de materiales para fabricar aislante tipo "B" de espesor 80mm, de 0,39m²:

Valor total aislante tipo "B" espesor 80mm con dosificación 50/50										
N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Paja de Trigo	Kilogramos	25	3.000	Pesos	2,402	Kilogramos	288	Pesos	
2	Sellador de Cal	Kilogramos	26,55	22.500	Pesos	2,402	Kilogramos	2.036	Pesos	
3	Molde compactador	Unidad	1	13.685	Pesos	0,005	Unidad	68	Pesos	
								Valor Total Aislante	2.392	Pesos

Tabla 4-20: Valor aislante tipo "B" de 80mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Valor total de materiales para fabricar aislante tipo "B" de espesor 100mm, de 0,39m²:

Valor total aislante tipo "B" espesor 100mm con dosificación 50/50										
N°	Material	Unidad	Cantidad	Valor	Unidad	Cantidad Utilizada	Unidad	Valor Total	Unidad	
1	Paja de Trigo	Kilogramos	25	3.000	Pesos	3,003	Kilogramos	360	Pesos	
2	Sellador de Cal	Kilogramos	26,55	22.500	Pesos	3,003	Kilogramos	2.545	Pesos	
3	Molde compactador	Unidad	1	13.685	Pesos	0,005	Unidad	68	Pesos	
								Valor Total Aislante	2.974	Pesos

Tabla 4-21: Valor aislante tipo "B" de 100mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

5 Análisis de resultados

5.1 Generalidades

En este capítulo se analizaron los datos obtenidos de los resultados y se interpretaron mediante gráficos con la finalidad de obtener una lectura cómoda e interpretativa.

En primer lugar, se analizaron las densidades, en segundo lugar, se analizaron los resultados de los ensayos térmicos y acústicos para posteriormente analizar los coeficientes de conductividad térmica obtenidos de los elementos en estudio y de esta manera analizar estos coeficientes de conductividad térmica en base a la reglamentación térmica y la diferencia de dB con la reglamentación acústica. Luego, se analizó el estudio de costos asociados a la fabricación del material y por último, se realizó un análisis de desempeño a los elementos según su comportamiento frente a las pruebas realizadas.

El gráfico térmico representa la diferencia de temperatura existente entre la cara del aislante en el interior de la cámara, es decir, donde se encuentra la emisión de calor, versus la cara posterior que se encuentra en contacto con el exterior T2, estos datos se representan en función del tiempo que duro la ejecución de los ensayos (120 minutos).

Los gráficos acústicos representan la diferencia de frecuencias captadas por el sonómetro cuando esta la cámara vacía (sin aislante) versus con el elemento.

5.2 Análisis de densidades

Se realizó un análisis general con el promedio de las densidades obtenidas por cada tipo de aislante, siendo estos "A", "B" y patrón.

Densidades de aislantes tipo "A" con dosificación 70/30 y tipo "B" con dosificación 50/50:

	<i>Espesor</i>	<i>Densidad</i>
Aislante tipo A	60 mm	84,31 kg/m ³
Aislante tipo A	80 mm	85,93 kg/m ³
Aislante tipo A	100 mm	85,89 kg/m ³

Densidad aparente Aislante tipo "A" = 85,37 kg/m³

Tabla 5-2: Densidades aislante tipo "A".
Fuente: Elaboración propia, 2018.

	<i>Espesor</i>	<i>Densidad</i>
Aislante tipo B	60 mm	107,47 kg/m ³
Aislante tipo B	80 mm	109,29 kg/m ³
Aislante tipo B	100 mm	110,35 kg/m ³

Densidad aparente Aislante tipo "B" = 109,03 kg/m³

Tabla 5-1: Densidades aislante tipo "B".
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Observando la tabla 5-1 y 5-2, se puede observar las densidades obtenidas de los elementos fabricados.

Debido a que cada elemento fabricado bajo la misma dosificación arrojó una densidad distinta se realizó un promedio de estas densidades por dosificación. Esta diferencia de densidades se debe principalmente a que el proceso de confección de los elementos es artesanal.

Considerando las densidades obtenidas se puede analizar que estas se encuentran dentro del rango de las densidades de aislantes comunes del mercado chileno, también es importante mencionar que la relación densidad, coeficiente de conductividad térmica que poseen los aislantes en estudio es muy buena.

Sin embargo, la densidad del poliestireno expandido es considerablemente menor que la de los elementos estudiados, no obstante, su coeficiente K_e es bastante similar, es decir, a pesar de que los aislantes fabricados posean una alta densidad sus propiedades térmicas son similares al elemento patrón.

A continuación, se puede observar en la tabla n°5-3 las diferencias de densidades entre los elementos mencionados en esta investigación y su coeficiente de conductividad térmica.

N°	Tipo de aislante	Densidad (kg/m ³)	K_e (w/m ² *k)
1	Lana mineral	100	0,034
2	Colchón Radicular	77	0,0345
3	Lana de vidrio	120	0,038
4	Poliestireno expandido	10	0,0425
5	Aislante tipo A	85,37	0,0428
6	Aislante tipo B	109,03	0,0435

Tabla 5-3: Densidades obtenidas de los elementos en estudio.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las densidades de los elementos mencionados en la tabla 5-3 se encuentran dentro de un rango determinado acotado, al igual que sus coeficientes.

Cabe mencionar que la densidad del elemento está estrechamente relacionada con las propiedades térmicas y acústicas, debido a la cantidad de aire que posee el material en su interior, por ende, los aislantes propuestos y fabricados, demostraron poseer una morfología adecuada para ser utilizado como aislante térmico y acústico.

Finalmente, los aislantes fabricados a pesar de poseer una “alta” densidad en comparación al elemento patrón, poseen similares densidades a la del colchón radicular (77 kg/m³), a la lana de vidrio (120 kg/m³) y a la lana mineral (100 kg/m³), así como también similares coeficientes de conductividad térmica.

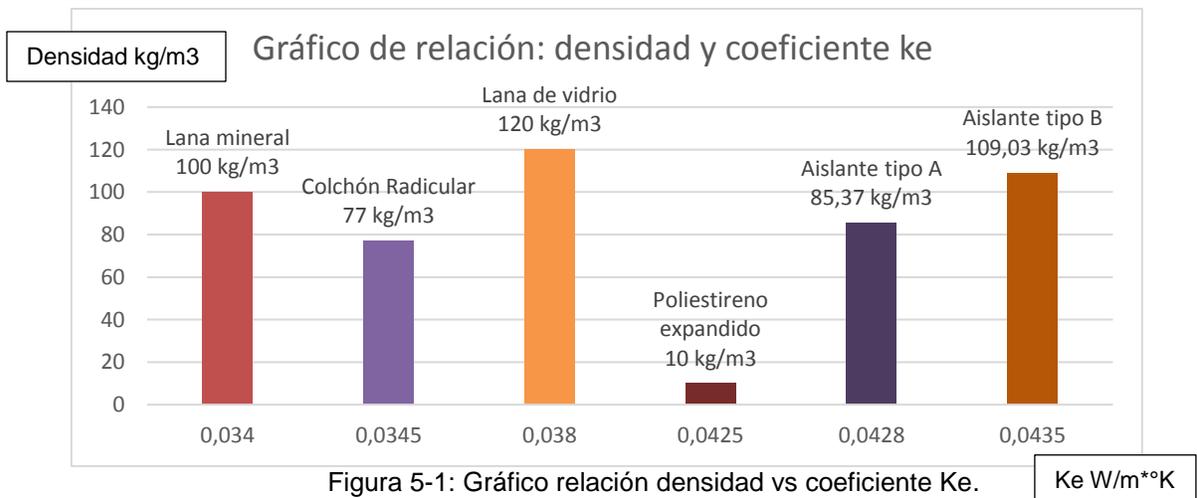


Figura 5-1: Gráfico relación densidad vs coeficiente K_e .
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Considerando la figura 5-1, se observa que las densidades de los elementos “A” y “B” están dentro del rango de densidades, al igual que sus coeficientes K_e , sin embargo, la densidad de cada elemento dependerá de la dosificación y materialidad de su composición.

5.3 Análisis respecto a evaluación térmica

5.3.1 Análisis general de resultados térmicos

En la figura 5-2, se observa el gráfico de resultados de la prueba térmica a los 120 minutos de ejecución, para los elementos ensayados tipo "A", "B" y patrón de 60, 80 y 100mm.

La nomenclatura del ensayo es la siguiente:

Eje Y: Temperatura en grados Celsius de 0 a 60 °C.

Eje X: Tipos de aislantes ensayados.

T1: Temperatura interior de la cámara, donde se origina la fuente de calor.

T2: Temperatura tomada en la cara exterior del aislante, donde no recibe calor.

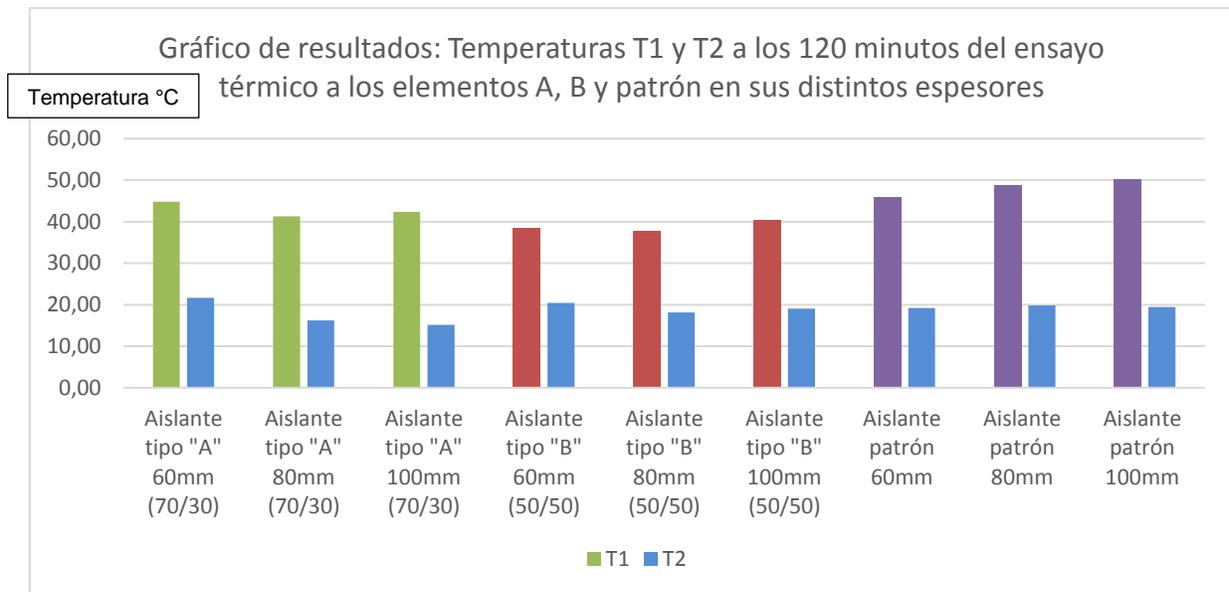


Figura 5-2: Gráfico de resultados térmicos de todos los elementos estudiados.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En primer lugar, se analizó que todos los elementos en estudio mantienen una tendencia de comportamiento similar, ya que T1 es considerablemente mayor que T2.

En segundo lugar, se observa que la cantidad de temperatura acumulada en T1 está directamente relacionado con la resistencia térmica que posea el elemento, ya que los elementos con espesor 100mm arrojaron temperaturas T1 considerablemente mayores a los espesores de 60 y 80mm.

En tercer lugar, considerando lo mencionado, se rectifica la idea de que al aumentar el espesor del elemento este mantiene un diferencial de T° mayor debido a que aumento su resistencia térmica.

Finalmente, se evidencia que el elemento patrón es el que posee las mejores propiedades de aislación térmica debido a su diferencial de T°, sin embargo, el elemento tipo "A" posee propiedades menores pero similares a estas, quedando en último lugar el elemento tipo "B" debido a que presentó el menor diferencial de T°.

5.3.2 Análisis de la conductividad térmica

Según los datos obtenidos del punto 4.3.3, se puede observar que el coeficiente de conductividad térmica obtenido de los elementos "A" y "B" es similar al del elemento en comparación.

En primer lugar, podemos establecer que el elemento en estudio es un aislante térmico, ya que, según la NCh 853 oficial 1991, el material que posee una conductividad térmica inferior a $0,1 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, es considerado un aislante térmico, en nuestro caso particular el elemento tipo "A" dio un coeficiente de conductividad térmica de $0,0428 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ y el aislante "B" de $0,0435 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$.

A pesar de que el procedimiento de obtención del flujo térmico no es un proceso normalizado, para efectos del estudio se acepta el procedimiento, debido a que todos los elementos en estudio se ensayaron bajo los mismos procedimientos.

A continuación, se analizó respecto a los datos de la tabla la conductividad térmica y la resistencia térmica según los espesores de los aislantes tipo "A", "B" y patrón.

Cálculo de R y U a partir del Ke obtenido				
N°	Tipo de aislante	Ke (w/m ² *k)	R (m ² *k/w)	U (w/m ² *°k)
1	Aislante tipo A de 60 mm	0,0428	1,402	0,713
2	Aislante tipo A de 80 mm	0,0428	1,869	0,535
3	Aislante tipo A de 100 mm	0,0428	2,336	0,428
4	Aislante tipo B de 60 mm	0,0435	1,379	0,725
5	Aislante tipo B de 80 mm	0,0435	1,839	0,544
6	Aislante tipo B de 100 mm	0,0435	2,299	0,435
7	Poliestireno expandido 60 mm	0,0425	1,412	0,708
8	Poliestireno expandido 80 mm	0,0425	1,882	0,531
9	Poliestireno expandido 100 mm	0,0425	2,353	0,425

Tabla 5-4: Cálculo de R y U.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se evidencia que las resistencias obtenidas son mayores a 1, lo que significa que los elementos tipo "A" y "B", poseen una alta resistencia al paso del calor.

En la figura 5-3, se puede observar la relación espesor y resistencia térmica de los elementos.



Figura 5-3: Resistencia térmica de los elementos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Respecto a transmitancia térmica, esta es el recíproco de la resistencia térmica por lo que los valores que poseen los aislantes están directamente relacionados por esta y dependen específicamente del espesor del aislante. Por ende, a mayor espesor, mayor resistencia térmica.

Se observa en la figura 5-3, que el orden de desempeño de los elementos se repite en el mismo patrón, siendo este el siguiente: Patrón, "A" y "B", al igual que su desempeño frente a los ensayos térmicos.

En cuanto a conductividad térmica, como se mencionó anteriormente, los elementos fabricados arrojaron coeficientes de conductividad térmica parecidos entre ellos (0,0428 y 0,0435 $w/m^{\circ}k$), estos coeficientes se encuentran dentro del rango de coeficientes térmicos de elementos aislantes comunes en el mercado de Chile.

En la tabla 5-5 se puede observar la conductividad térmica de algunos materiales aislantes comunes utilizados en la construcción de viviendas, en esta tabla se puede verificar que los elementos en estudio a pesar de poseer un Ke menor que la competencia este no difiere en grandes cantidades.

N°	Tipo de aislante	Densidad (kg/m ³)	Ke ($w/m^{\circ}k$)
1	Poliestireno expandido	10	0,0425
2	Colchón Radicular	77	0,0345
3	Aislante tipo "A"	85,37	0,0428
4	Lana mineral	100	0,34
5	Aislante tipo "B"	109,03	0,0435
6	Lana de vidrio	120	0,038

Tabla 5-5: Conductividad térmica de aislantes comunes en el mercado.

Fuente: Elaboración propia, 2018. Datos obtenidos de Sodimac.cl

En la figura 5-4 se puede observar un gráfico en cual se representa de mejor manera la tabla 5-5, en donde se presenta en el eje Y los tipos de aislantes ya mencionados y en el eje X su respectivo coeficiente de conductividad térmica, se puede analizar que los elementos propuestos en esta investigación poseen un coeficiente Ke similar al poliestireno expandido ya que, los coeficientes de los elementos en estudio difieren al del patrón en 0,0003 $w/m^{\circ}k$ para el elemento "A" y de 0,0013 $w/m^{\circ}k$ para el elemento "B".

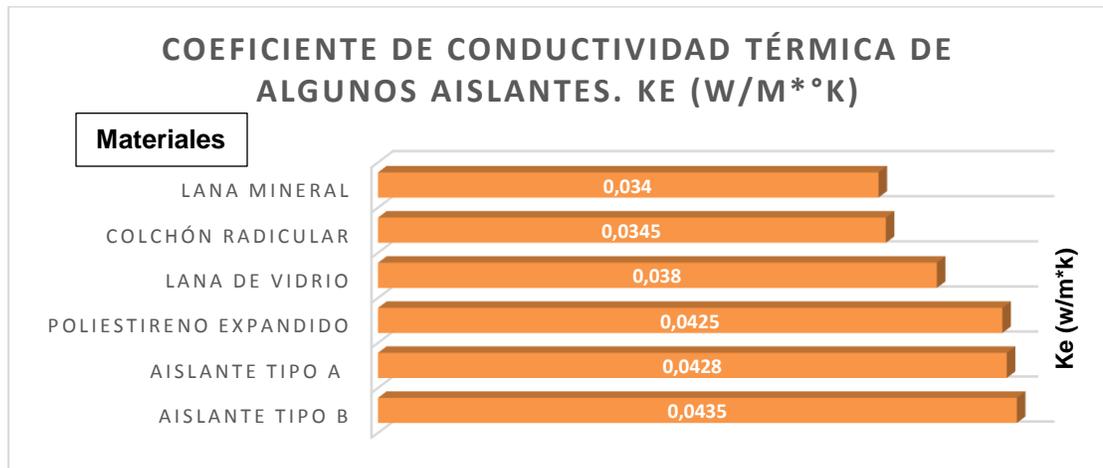


Figura 5-4: Coeficiente de conductividad térmica de algunos aislantes.

Fuente: Elaboración propia ,2018.

5.3.3 Análisis del cumplimiento de la reglamentación térmica artículo 4.1.10

En la siguiente tabla se verificó según los datos entregados en el punto 4.3.3, si el elemento en estudio satisface los requerimientos mínimos de la reglamentación térmica para zona de techumbre y muros.

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

Cumplimiento de transmitancia térmica a según el Artículo 4.1.10 OGUC							
Para zona de techumbre		Tipo de aislante (CUMPLE / NO CUMPLE)					
ZONAS	$U(w/m^2*k)$	A(60mm-70/30)	A(80mm-70/30)	A(100mm-70/30)	B(60mm-50/50)	B(80mm-50/50)	B(100mm-50/50)
ZONA 1	0,84	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 2	0,6	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 3	0,47	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
ZONA 4	0,38	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
ZONA 5	0,33	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
ZONA 6	0,28	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
ZONA 7	0,25	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Para zona de muros		Tipo de aislante (CUMPLE / NO CUMPLE)					
ZONAS	$U(w/m^2*k)$	A(60mm-70/30)	A(80mm-70/30)	A(100mm-70/30)	B(60mm-50/50)	B(80mm-50/50)	B(100mm-50/50)
ZONA 1	4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 2	3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 3	1,9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 4	1,7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 5	1,6	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 6	1,1	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ZONA 7	0,6	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 5-6: Cumplimiento de transmitancia térmica según reglamentación térmica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede verificar en la tabla que a pesar de que los elementos “A” y “B” posean una gran diferencia de densidad y una pequeña pero significativa diferencia en cuanto a su coeficiente de conductividad térmica, al momento de evaluar si la transmitancia térmica de cada aislante satisface los requerimientos mínimos establecidos en el manual de reglamentación térmica 4.1.10 de la OGUC estos cumplen para las mismas zonas térmicas.

Para la zona de techumbre se puede observar en la parte superior de la tabla 5-6 que la transmitancia térmica de los elementos en estudio no satisface a la mayoría de las zonas térmica, sin embargo, enfocándonos en la zona N°2 en la cual se encuentra la región de Valparaíso solo los elementos tipo “A” y “B” de 60mm no cumplen, no obstante, los elementos “A” y “B” de 80mm y 100mm satisfacen con creces el requerimiento mínimo establecido.

Considerando que según estudios mencionados en el punto 2.1 se establece que el 30% de las pérdidas de energía en una vivienda se producen a través de la techumbre esta es una zona en la cual se debe colocar principal énfasis a la hora de aislar la vivienda, sin embargo, para esta zona generalmente no existe un espesor determinado como es en la tabiquería en la que se tiene un espesor determinado según la materialidad estructural de este. Considerando esto, se puede utilizar sin problema alguno los aislantes tipo “A” y “B” de 80mm y 100mm para aislar la zona de techumbres en una zona térmica n°2 con la finalidad de cumplir con la normativa vigente.

Enfocándose en la parte inferior de la tabla 5-6, para la zona de muros los elementos en estudio satisfacen para la mayoría de las zonas térmicas, solamente no cumplen los elementos tipo "A" y "B" de 60mm para la zona térmica N°7. Sin embargo, para la zona térmica N°2 donde se realizó la investigación, los elementos fabricados en sus 3 espesores satisfacen de gran manera los requerimientos mínimos establecidos por la OGUC para la zona de tabiquería, para este sector el espesor si es un factor determinante a la hora de elegir un aislante, ya que como se mencionó anteriormente en esta zona si está delimitado su espesor debido a su diseño estructural, no obstante, se puede usar el espesor de 60mm para la aislación de muros y cumplir con la normativa vigente de aislación térmica.

El propósito de cumplir con la normativa vigente, es mejorar la calidad de vida de las personas que habitaran la vivienda aislada con el aislante de paja de trigo y sellador de cal, mediante un mejor confort térmico y los beneficios que ello reporta: mayor habitabilidad, mejor salud, menor contaminación y mayor durabilidad de la vivienda.

También se busca optimizar y/o reducir el consumo de combustibles destinados a calefaccionar y refrigerar las viviendas.

Se puede determinar que el aislante en base a paja de trigo y sellador de cal tipo "A" y "B" 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 y para la minoría de la zona de techumbres. Enfocándose principalmente en la zona térmica N°2, se puede rectificar que es un excelente aislante ya que satisface tanto la zona de muros como la zona de techumbre utilizando espesores de 80mm y 100mm.

5.4 Análisis respecto a evaluación acústica

5.4.1 Análisis de aislante tipo “A”, en comparación al elemento patrón

A continuación, en la figura 5-5, se puede observar el gráfico de resultados de la prueba acústica realizada a los elementos en estudio, en esta se puede verificar el comportamiento que tuvo el aislante tipo “A” y el elemento patrón frente a la emisión de las frecuencias establecidas.

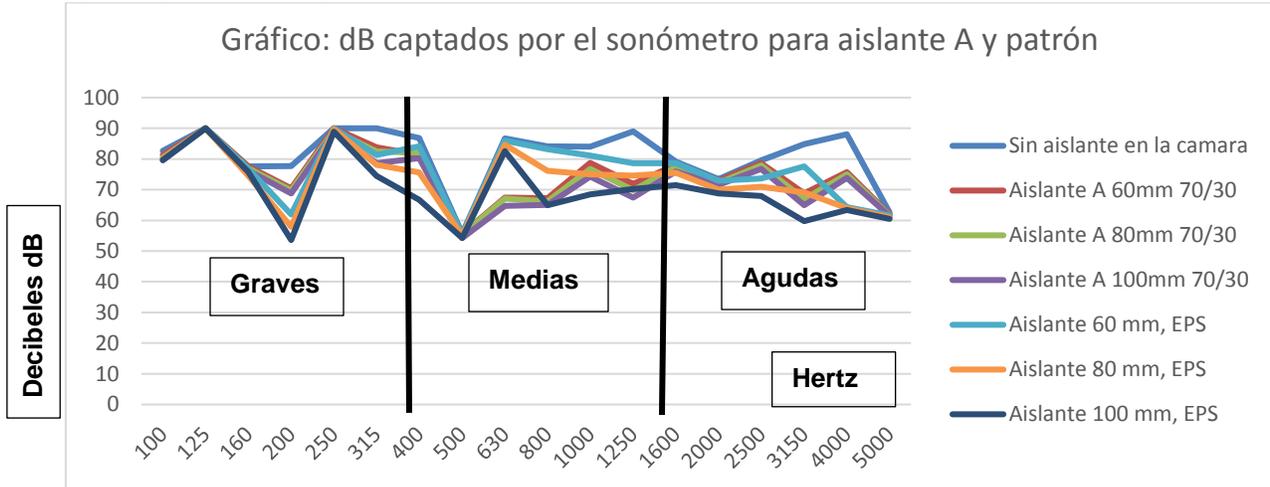


Figura 5-5: Gráfico de dB captados por el sonómetro para aislante “A” y patrón.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede verificar que el aislante tipo “A” en sus diferentes espesores tuvo propiedades similares al elemento patrón, siendo el que tuvo mayor reducción acústica el aislante tipo patrón de 100mm.

Con la finalidad de realizar un mejor análisis se agruparon las frecuencias y se dividieron en 3 clases, el rango de frecuencias de 100 a 400 se denominó como frecuencias graves, luego entre 400 a 1600 se catalogaron como frecuencias medias y de 1600 a 5000 Hertz se estableció como frecuencias agudas.

Considerando estas agrupaciones, se analizó que el elemento “A” en sus distintos espesores se desenvuelve de mejor manera para las frecuencias medias y agudas, mostrando su bajo comportamiento en frecuencias graves, sin embargo, para la frecuencia grave de 315 Hz el elemento A muestra una gran reducción acústica, luego para la frecuencia específica de 630 y 1250 Hz el elemento muestra su mejor comportamiento, finalmente para el rango de las frecuencias graves el elemento mantiene un comportamiento similar al patrón en donde la tendencia del comportamiento es mayor pero bastante similar en magnitudes al patrón a excepción de la frecuencia de 3150 Hz en donde el elemento tipo A y patrón mostraron una gran reducción acústica.

Generalizando el análisis, se establece que el elemento tipo “A” posee prestaciones acústicas, ya que logra mantener un diferencial de dB, sin embargo, el diferencial que este posee es menor, pero se asemeja al comportamiento del elemento patrón, en este punto cabe considerar que el poliestireno expandido no es considerado en la construcción por ser un “destacado” aislante acústico, sino más bien debido a sus propiedades térmicas.

5.4.2 Análisis de aislante tipo “B”, en comparación al elemento patrón

A continuación, en la figura 5-6, se puede observar el gráfico de resultados de la prueba acústica realizada a los elementos en estudio, en esta se puede verificar el comportamiento que tuvo el aislante tipo “B” y el elemento patrón frente a la emisión de las frecuencias establecidas.

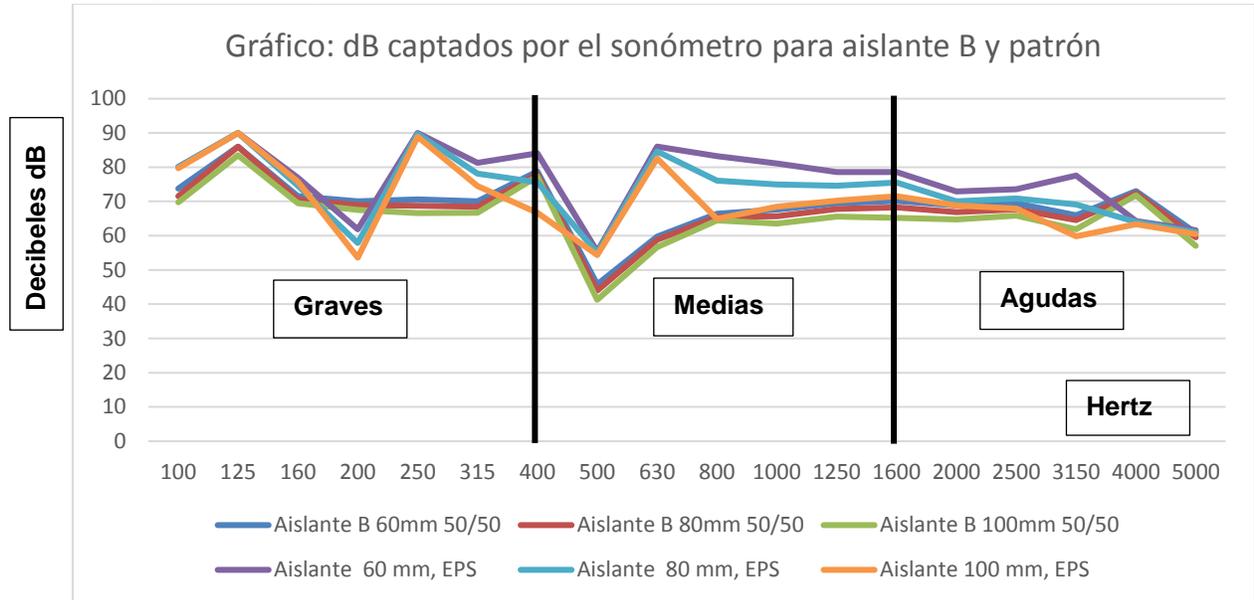


Figura 5-6: Gráfico de dB captados por el sonómetro para aislante “B” y patrón.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede verificar que el aislante tipo “B” en sus diferentes espesores tuvo propiedades similares al patrón, sin embargo, el que tuvo mayor reducción acústica fue el aislante “B” de 100mm.

Considerando las agrupaciones que se determinaron en el análisis anterior, se establece que el elemento tipo “B” posee mejores propiedades de aislación acústica que el elemento patrón en todos los espesores estudiados. Particularmente el elemento “B”, se desenvuelve de manera óptima para las frecuencias graves, medias y agudas, ya que mantiene un gran diferencial de dB para todos los rangos de frecuencias, en particular posee su mejor comportamiento para la frecuencia media de 630 y 1250 Hz, estas frecuencias se asocian a tipos de sonidos de la vida cotidiana tal como, conversación de humanos y sonidos de máquinas de cocina, por ende, este elemento tendrá un excelente desempeño utilizándose como aislante acústico en tabiquería habitacional.

Es de suma importancia considerar que el elemento tipo “B” posee propiedades de reducción acústica mayores que el elemento tipo “A” y patrón, de esta manera se establece que de todos los elementos en estudio el aislante tipo “B” posee las mejores propiedades acústicas, tomando en cuenta el análisis anterior se pudo observar que el elemento tipo “A” no supero en reducción acústica al elemento patrón, por ende el mejor elemento en cuanto a prestaciones acústicas es el tipo “B” en sus distintos espesores.

Generalizando el análisis, se establece que el elemento tipo “B” posee buenas prestaciones acústicas, ya que logra mantener un alto diferencial de dB, estas propiedades acústicas están directamente relacionadas con la densidad del elemento, en particular, observando el comportamiento del elemento tipo “A” y “B” se determinó y rectificó la idea de que a mayor densidad mejores prestaciones acústicas tendrá el aislante.

5.4.3 Análisis de las reducciones de dB de los aislantes ensayados

Considerando la tabla 4-14, donde se muestra el diferencial acústico de dB a los elementos ensayados, se puede establecer que para las distintas frecuencias emitidas el aislante que registró un mayor diferencial de dB fue el aislante tipo “B” 50/50 en sus distintos espesores, sin embargo, el elemento “B” de 100mm obtuvo la mayor diferencia de dB, obteniendo su máximo en las frecuencias de 250, 315, 630, 1250 y 3150 Hz, donde obtuvo un diferencial mayor a 23,00 dB.

A continuación, en la tabla 5-7, se muestra de manera comparativa el diferencial de dB captados por el sonómetro para los diferentes aislantes, en las frecuencias donde se logra determinar el máximo de diferenciales.

Cabe considerar que el máximo diferencial se obtuvo en la frecuencia media de 630Hz, esta frecuencia en particular es la que más se asocia a tipo de sonidos cotidianos tales como sonidos de conversación de humanos, máquinas de cocina, entre otros.

Diferencial acústico de dB a los aislantes ensayados									
Hertz	Aislante A 60mm 70/30	Aislante A 80mm 70/30	Aislante A 100mm 70/30	Aislante B 60mm 50/50	Aislante B 80mm 50/50	Aislante B 100mm 50/50	Aislante 60 mm, EPS	Aislante 80 mm, EPS	Aislante 100 mm, EPS
100	1,42	2,2	3,2	8,9	11,2	12,9	2,6	2,6	3
250	0	0,66	1,2	19,4	21,3	23,43	0,0	0,3	1,1
315	6,2	7,5	11,4	20	21,5	23,3	8,7	11,9	15,5
500	0,08	0,25	1,47	9,9	11,73	14,4	0,3	0,7	1,4
630	19,3	19,56	21,94	27	27,9	30	0,7	2,1	4,1
800	16,9	17,94	19,1	17,7	18,6	19,6	0,9	8	19,2
1000	5,3	7,28	9,7	16,4	18,3	20,5	2,9	9	15,5
1250	17,1	19,24	21,6	19,5	21,2	23,4	10,4	14,4	18,8
3150	16	17,88	19,9	18,8	20,2	22,9	7,2	15,7	25
5000	0,6	0,86	1,1	1,7	3	5,5	0,9	1,5	2,07

Tabla 5-7: Análisis de la reducción de dB.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Comparando con los otros elementos en estudio para las mismas frecuencias el elemento tipo “A” de 100mm, arrojó un diferencial de 1,2 dB para la frecuencia de 250 Hz, 11,4 dB para los 315 Hz, 21,94 dB para los 630 Hz, 21,6 dB para los 1250 Hz y 19,9 dB para los 3150 Hz y para el elemento patrón de 100mm, este arrojó un diferencial de dB para las mismas frecuencias de, 1,1 dB, 15,5 dB, 4,1 dB, 18,8 dB y 24 dB. A pesar de que los elementos “A” y patrón para estas frecuencias generaron un gran diferencial de dB estos no lograron superar al elemento tipo “B”.

Analizando estos datos se puede determinar que el elemento tipo “B” posee las mejores propiedades acústicas, ya que este en sus 3 espesores fue el que obtuvo la mayor cantidad de diferencia de dB, luego sigue el elemento tipo patrón y en tercer lugar queda el elemento tipo “A”, es decir, el aislante propuesto en su dosificación 50/50, supera en reducción acústica al elemento en comparación.

A demás, es de suma relevancia mencionar que en esta investigación los requisitos mínimos de aislación acústicas están dados por el parámetro A de la tabla 3-10, en donde se establece que la aislación acústica mínima permitida debe tener un diferencial de dB de 25.

Teniendo en consideración estos parámetros se puede establecer que de los seis elementos propuestos estudiados en esta investigación solamente uno se aproxima a satisfacer tal requerimiento normativo, este es el aislante tipo “B” 50/50 de 100mm.

5.5 Análisis de costos

Se realizó el análisis de costos de los aislantes en estudio, este se calculó a partir de los costos obtenidos en el punto 4.5, en donde se obtuvo un valor de “fabricación” (valor de concepto por materiales utilizados) para un aislante de 0,39 m2 y se realizó el cálculo para obtener un valor por m2, con la finalidad de comparar estos costos con el elemento patrón.

La finalidad de realizar este análisis de costos es verificar en qué situación se encuentra el aislante propuesto comparado con un aislante que posee prestaciones térmicas y acústicas similares y un bajo costo en el mercado. En la tabla n°5-8 se puede observar un cuadro comparativo de costos de los aislantes en estudio para dimensiones de 1 m2 según los espesores determinados.

Cuadro comparativo de costos de aislantes en estudio				
N°	Tipo de aislante	Espesor	Dimensión	Valor
1	Aislante tipo A 70/30	60 mm	1 m2	2.605
2	Aislante tipo A 70/30	80 mm	1 m2	3.410
3	Aislante tipo A 70/30	100 mm	1 m2	4.200
4	Aislante tipo B 50/50	60 mm	1 m2	4.646
5	Aislante tipo B 50/50	80 mm	1 m2	6.133
6	Aislante tipo B 50/50	100 mm	1 m2	7.625
7	Poliestireno expandido	60 mm	1 m2	2.520
8	Poliestireno expandido	80 mm	1 m2	3.380
9	Poliestireno expandido	100 mm	1 m2	4.497

Tabla 5-8: Cuadro comparativo de costos de aislantes.
Fuente: Elaboración propia, 2018. Datos obtenidos de Sodimac.cl

Se puede verificar tomando los datos de la tabla n°5-8 que el elemento propuesto en sus distintas dosificaciones posee un valor más alto que el aislante en comparación, a excepción del aislante n°3 que poseen un valor menor respecto al patrón en su mismo espesor. No obstante, el valor obtenido por los aislantes tipo “A” no supera en grandes cantidades los costos del poliestireno expandido, sin embargo, el aislante tipo “B” arroja valores superiores al elemento en comparación, lo que no lo convierte en un elemento de interés a la hora de evaluar costos por m2.

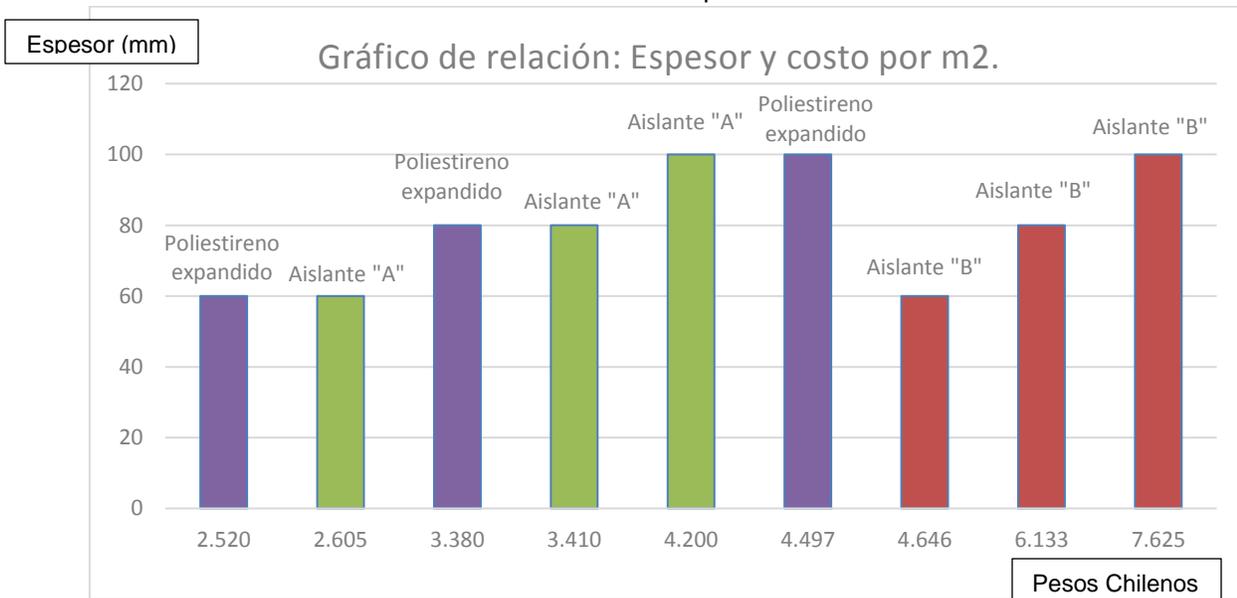


Figura 5-7: Gráfico de comparación precio/espesor.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede apreciar en la figura 5-7, que los elementos están ordenados por costo de menor a mayor, y que el patrón de resultados se repite en el siguiente orden: Patrón, "A", patrón, "A", "A", patrón, "B", "B", "B", sin embargo, enfocándose en el elemento tipo A de 100mm, el patrón del orden se altera ya que este elemento es más económico por m2 que el patrón de 100mm.

El aislante tipo "A" debido a su bajo costo y a su bajo coeficiente de conductividad térmica lo convierten en un elemento interesante a la hora de evaluar las características precio-calidad de los elementos en estudio, cabe destacar que el aislante tipo A 70/30 de 100mm es más económico que el elemento patrón ya que posee un valor por m2 de \$4.200 CLP vs los \$4.497 CLP del poliestireno expandido y posee una resistencia térmica de 2,336 ($m^2 \cdot ^\circ K/w$) menor, pero bastante similar a la del patrón de 2,352 ($m^2 \cdot ^\circ K/w$). Considerando esta diferencia de costos, se puede analizar que estos 297 pesos de diferencia por m2, a la hora de realizar un presupuesto generarán un gran ahorro económico y se estaría cumpliendo con la resistencia térmica establecida por norma.

A continuación, se pueden evidenciar los elementos ordenados por costo, en donde el primer aislante posee el menor costo por m2 y en el eje Y están sus coeficientes de resistencia térmica.

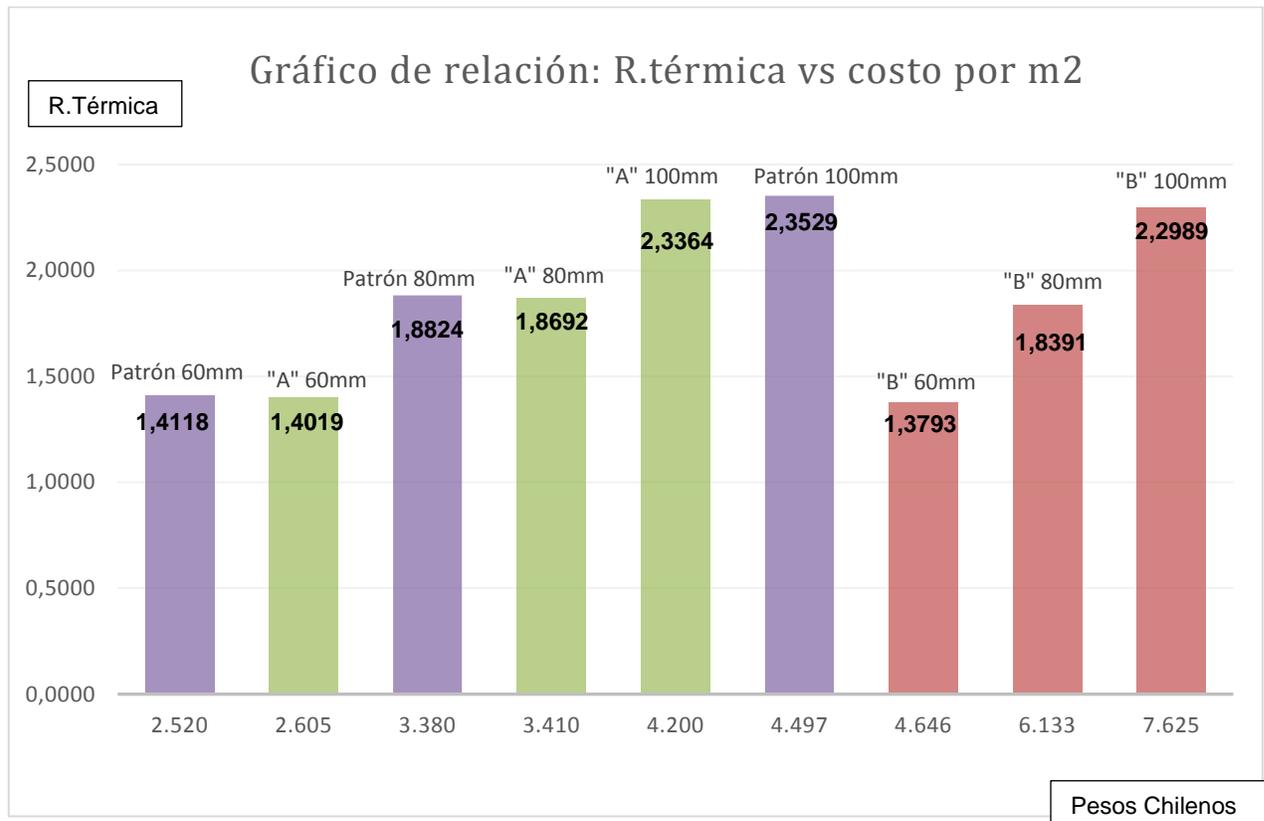


Figura 5-8: Resistencia térmica de los elementos y su costo por m2.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se determina según los antecedentes mencionados que el espesor del aislante es un factor determinante para el coeficiente de resistencia térmica.

En la siguiente figura, se observa una relación gráfica de los elementos con espesores de 50mm y 60mm, ordenados por costo de menor a mayor y con su respectivo coeficiente de conductividad térmica.

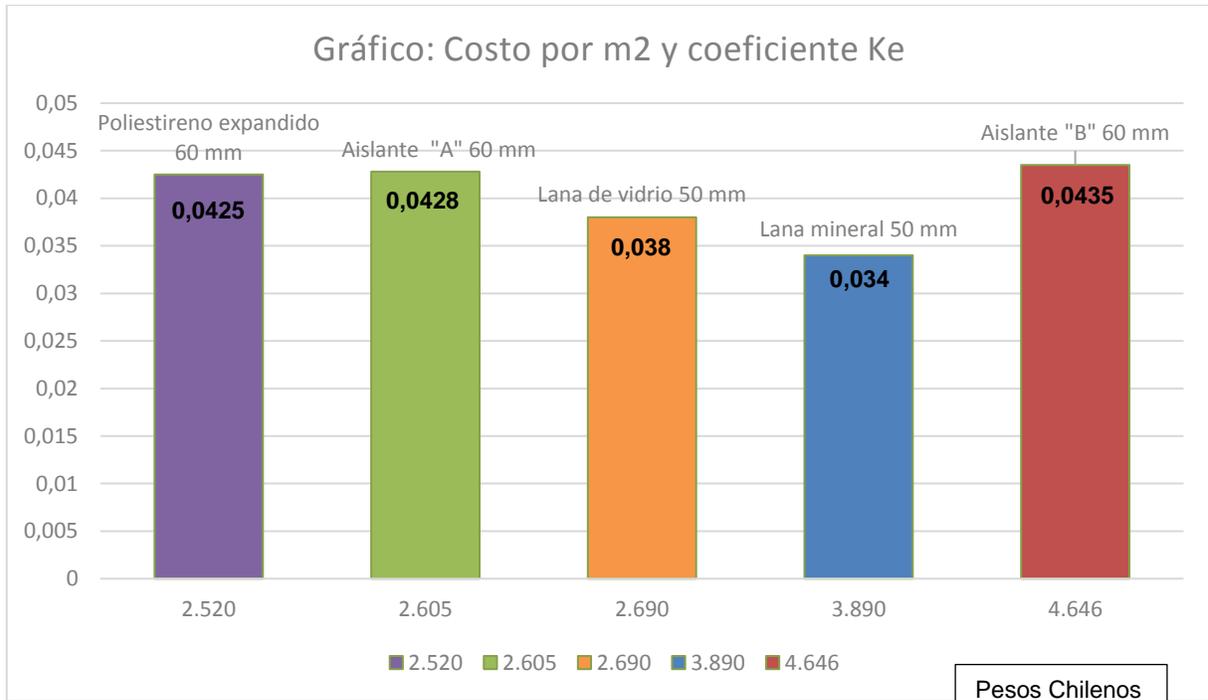


Figura 5-9: Gráfico de elementos ordenados de manera ascendente de costos por m2.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede evidenciar en la figura 5-9 que los elementos en estudio no se encuentran fuera del rango de precios de aislantes comunes del mercado, al igual que sus coeficientes Ke.

Se determina, que el aislante patrón posee el menor coeficiente de conductividad térmica entre "A" y "B" y el menor costo por m2. No obstante, las propiedades térmicas y acústicas de los elementos propuestos son semejantes a las del patrón, sin embargo, dichos aislantes poseen un costo por m2 para el elemento "A" similares al del patrón y un costo por m2 mayor que el del patrón para el elemento tipo "B".

5.6 Análisis de desempeño a los elementos estudiados

Se realizó un análisis de desempeño particular a todos los elementos estudiados, para ello se efectuó una evaluación con respecto al desempeño que obtuvo cada elemento frente a las propiedades estudiadas tales como, resistencia térmica, capacidad de reducción acústica y costo.

La forma de evaluar cada desempeño fue mediante una nota colocada en base a parámetros normativos y a juicio del investigador, en donde para el análisis térmico y acústico la nota máxima de 10 puntos será para el requerimiento mínimo normativo y para el análisis de costo la nota máxima de 10 puntos será para el elemento que tenga el menor costo por m².

La finalidad de realizar este análisis es identificar qué elemento en estudio posee el mejor desempeño frente a las características y parámetros determinados.

5.6.1 Análisis de desempeño por resistencia térmica

En la tabla 5-9, se evidencian las calificaciones de los elementos obtenidos por su coeficiente de resistencia térmica, en donde el N°1 posee la calificación mayor ya que obtuvo el máximo coeficiente.

Para esta evaluación se tomó la resistencia térmica más desfavorable exigida por el artículo 4.1.10 de la OGUC para la zona térmica N°2, esta corresponde a la zona de techumbre con una R mínima de 1,67 m²*°k/w.

Calificación de aislantes por resistencia térmica					
N°	Tipo de aislante	Espesor	Dimensión	R (m ² *°k/w)	Calificación
-	EXIGENCIA MÍNIMA ESTABLECIDA POR NORMA			1,6700	10
1	Poliestireno expandido	100 mm	1 m ²	2,3529	14,09
2	Aislante tipo A 70/30	100 mm	1 m ²	2,3364	13,99
3	Aislante tipo B 50/50	100 mm	1 m ²	2,2989	13,77
4	Poliestireno expandido	80 mm	1 m ²	1,8824	11,27
5	Aislante tipo A 70/30	80 mm	1 m ²	1,8692	11,19
6	Aislante tipo B 50/50	80 mm	1 m ²	1,8391	11,01
7	Poliestireno expandido	60 mm	1 m ²	1,4118	8,45
8	Aislante tipo A 70/30	60 mm	1 m ²	1,4019	8,39
9	Aislante tipo B 50/50	60 mm	1 m ²	1,3793	8,26

Tabla 5-9: Calificaciones a elementos por resistencia térmica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observa que el poliestireno expandido de 100mm es el que obtuvo la nota máxima en esta evaluación, luego sigue el elemento tipo "A" 70/30 de 100mm y en tercer lugar queda el elemento tipo "B" 50/50 de 100mm. El elemento que arrojó el peor desempeño para esta prueba fue el aislante tipo "B" 50/50 de 60mm.

Se analiza que el orden de los desempeños sigue el mismo patrón, el que está determinado por el espesor, ya que se encuentran en el orden: patrón, "A" y "B", agrupados por espesores, 100mm, 80mm y 60mm.

5.6.2 Análisis de desempeño por reducción acústica

Para calificar el desempeño de los elementos frente a las propiedades acústicas, se calculó un promedio a partir de los diferenciales de dB captados por el sonómetro para cada frecuencia emitida en la prueba acústica.

La manera en la cual se evaluó esta prueba fue a partir de los requisitos mínimos acústicos que exige la NCh 352 of 2000, en donde como se mencionó en el punto 3.6.3, la investigación se centró en estudiar el parámetro A con un diferencial de dB entre el exterior e interior de 25 dB, por lo que dicho diferencial tendrá la nota máxima de 10 puntos.

Calificación de aislantes por promedio de diferencial de dB					
N°	Tipo de aislante	Espesor	Dimensión	Promedio de Δ de dB	Calificación
EXIGENCIA MÍNIMA ESTABLECIDA POR NORMA				25	10
1	Aislante tipo B 50/50	100 mm	1 m2	15,7	6
2	Aislante tipo B 50/50	80 mm	1 m2	13,79	5,52
3	Aislante tipo B 50/50	60 mm	1 m2	12,43	4,97
4	Poliestireno expandido	100 mm	1 m2	11,12	4,45
5	Aislante tipo A 70/30	100 mm	1 m2	8,3	3,32
6	Poliestireno expandido	80 mm	1 m2	7,77	3,11
7	Aislante tipo A 70/30	80 mm	1 m2	6,9	2,76
8	Aislante tipo A 70/30	60 mm	1 m2	6,13	2,45
9	Poliestireno expandido	60 mm	1 m2	4,69	1,88

Tabla 5-10: Calificaciones a elementos por diferencial de dB.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se aprecia que ningún elemento logró satisfacer el requerimiento mínimo normativo, sin embargo, el elemento que obtuvo la mayor calificación en esta prueba fue el aislante tipo "B" 50/50 de 100mm, luego el elemento tipo "B" 50/50 de 80mm y en tercer lugar el elemento tipo "B" de 60mm. El elemento que obtuvo el peor desempeño en esta prueba fue el poliestireno expandido de 60mm

5.6.3 Análisis de desempeño por costos

La tabla 5-11 muestra las calificaciones de aislantes por costos, en donde el N°1 posee la calificación más alta debido a que posee el menor costo por m2.

Calificación de aislantes por costo					
N°	Tipo de aislante	Espesor	Dimensión	Valor	Calificación
1	Poliestireno expandido	60 mm	1 m2	2.520	10
2	Aislante tipo A 70/30	60 mm	1 m2	2.605	9,67
3	Poliestireno expandido	80 mm	1 m2	3.380	7,46
4	Aislante tipo A 70/30	80 mm	1 m2	3.410	7,39
5	Aislante tipo A 70/30	100 mm	1 m2	4.200	6
6	Poliestireno expandido	100 mm	1 m2	4.497	5,60
7	Aislante tipo B 50/50	60 mm	1 m2	4.646	5,42
8	Aislante tipo B 50/50	80 mm	1 m2	6.133	4,11
9	Aislante tipo B 50/50	100 mm	1 m2	7.625	3,30

Tabla 5-11: Calificaciones a elementos por costo.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observa en la tabla 5-11, que el aislante que obtuvo la mayor calificación por concepto de costos fue el poliestireno expandido de 60mm, luego el aislante tipo "A" 70/30 de 60mm y, en tercer lugar, el poliestireno expandido de 80mm, siendo el que tuvo el peor desempeño para esta prueba el elemento tipo "B" 50/50 de 100mm.

5.6.4 Desempeño general de los elementos estudiados

Con la finalidad de analizar el desempeño general de los elementos respecto a las notas obtenidas por cada tipo de propiedad evaluada, se calcularon promedios de desempeño de tres formas diferentes, estas son: promedio o media aritmética, promedio o media geométrica y porcentaje de área, de esta manera se pudo verificar el orden de los elementos según su desempeño en base a distintas formas de medición de promedios.

Los cálculos para obtener cada promedio son los siguientes:

-Desempeño de los elementos por promedio o media aritmética.

La fórmula para realizar este cálculo es el siguiente:

$$\text{Promedio aritmético} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n}$$

Fórmula 5-1: Cálculo del promedio aritmético.

-Desempeño de los elementos por promedio o media geométrica.

La fórmula para realizar este cálculo es el siguiente:

$$\text{Promedio geométrico} = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * x_3 * \dots * x_n}$$

Fórmula 5-2: Cálculo del promedio geométrico.

-Desempeño de los elementos por porcentaje de área.

La fórmula para realizar este cálculo es el siguiente:

A partir de las notas obtenidas según las propiedades evaluadas se realizó una gráfica radial, esta gráfica arrojó un triángulo ya que, se evaluaron 3 propiedades y cada una formó un vértice, graficado el triángulo se midieron sus lados en centímetros (A, B y C) y luego se calculó su área mediante la fórmula para calcular el área de un triángulo en el cual se conocen todos sus lados, más conocida como la fórmula de Herón. Posterior a esto se tomó el área ideal como el 100% de área y en base a esta área ideal, se calcularon los % de área de los demás elementos.

$$\text{Cálculo del área según Herón} = \sqrt{S * (S - A) * (S - B) * (S - C)}$$

Fórmula 5-3: Cálculo del área según Herón.

Donde:

$$S = \frac{A+B+C}{2}$$

A, B y C: lados del triángulo.

5.6.4.1 Desempeño general de los elementos por media aritmética

Este cálculo consistió en realizar una sumatoria de las notas obtenidas de los elementos dividida por la cantidad de notas sumadas, la finalidad de realizar este cálculo es encontrar un valor representativo de un conjunto de números. Fórmula 5-1.

En la siguiente tabla se puede observar el promedio aritmético de las calificaciones obtenidas a partir de del desempeño de las propiedades analizadas anteriormente.

Calificaciones totales y promedio aritmético de los elementos [(C-) Calificación por]					
N°	Tipo de aislante	C-Resistencia térmica	C-Δ dB	C-Costos	Promedio
-	 AISLANTE IDEAL	10	10	10	10
1	Poliestireno expandido 100mm	14,09	4,45	5,6	8,05
2	Aislante tipo B 50/50 100mm	13,77	6,28	3,3	7,78
3	Aislante tipo A 70/30 100mm	13,99	3,32	6	7,77
4	Poliestireno expandido 80mm	11,27	3,11	7,46	7,28
5	Aislante tipo A 70/30 80mm	11,19	2,76	7,39	7,11
6	Aislante tipo B 50/50 80mm	11,01	5,52	4,1	6,88
7	Aislante tipo A 70/30 60 mm	8,39	2,45	9,67	6,84
8	Poliestireno expandido 60mm	8,45	1,88	10	6,78
9	Aislante tipo B 50/50 60mm	8,26	4,97	5,42	6,22

Tabla 5-12: Promedio aritmético de calificaciones por desempeño.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

A continuación, en el siguiente gráfico se puede observar de manera representativa los promedios obtenidos por los elementos según las propiedades evaluadas, en esta figura los aislantes están ordenados de manera descendente.

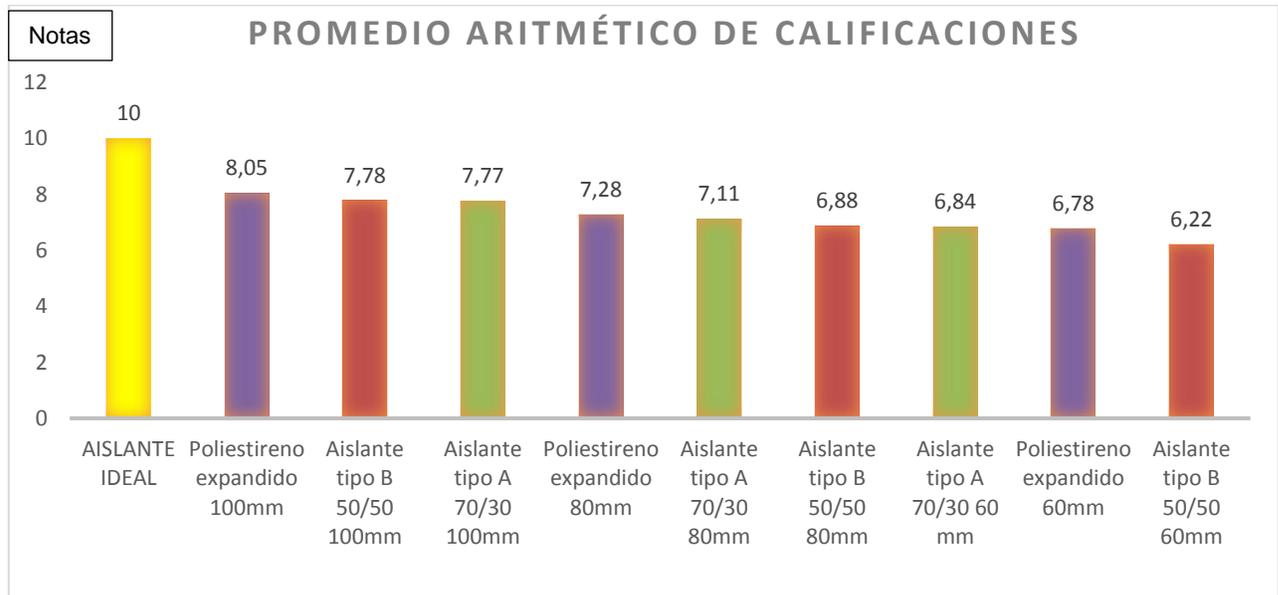


Figura 5-10: Gráfico de promedio aritmético de calificaciones obtenidas por elemento.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura 5-10, se analiza que el elemento que posee el mejor promedio de desempeño es el patrón de 100mm, luego en segundo lugar queda el elemento tipo "B" de 100m y en tercer lugar queda el elemento tipo "A" de 100mm, cabe destacar que el orden de resultados por espesores es: para 100mm: Patrón, "B", "A", para los 80mm: Patrón, "A", "B" y para los 60mm: "A", patrón, "B".

5.6.4.2 Desempeño general de los elementos por promedio geométrico

El promedio geométrico consiste en calcular la raíz enésima del producto de los (n) valores de la variable que en este caso son los tres valores obtenidos de las propiedades evaluadas, la finalidad de realizar este cálculo es para dar mayor importancia a los valores pequeños de la variable. Fórmula 5-2.

En la siguiente tabla se puede observar el promedio geométrico de las calificaciones obtenidas a partir de del desempeño de las propiedades analizadas anteriormente.

Calificaciones totales y promedio geométrico de los elementos [(C-) Calificación por]					
N°	Tipo de aislante	C-Resistencia térmica	C-Δ dB	C-Costos	Promedio
-	AISLANTE IDEAL	10	10	10	10
1	Poliestireno expandido 100mm	14,09	4,45	5,6	7,05
2	Aislante tipo B 50/50 100mm	13,77	6,28	3,3	6,58
3	Aislante tipo A 70/30 100mm	13,99	3,32	6,0	6,53
4	Poliestireno expandido 80mm	11,27	3,11	7,46	6,39
5	Aislante tipo B 50/50 80mm	11,01	5,52	4,1	6,29
6	Aislante tipo A 70/30 80mm	11,19	2,76	7,39	6,11
7	Aislante tipo B 50/50 60mm	8,26	4,97	5,42	6,06
8	Aislante tipo A 70/30 60 mm	8,39	2,45	9,67	5,84
9	Poliestireno expandido 60mm	8,45	1,88	10	5,42

Tabla 5-13: Promedio geométrico de calificaciones por desempeño.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

A continuación, en el siguiente gráfico se puede observar de manera representativa los promedios obtenidos por los elementos según las propiedades evaluadas, en esta figura los aislantes están ordenados de manera descendente.

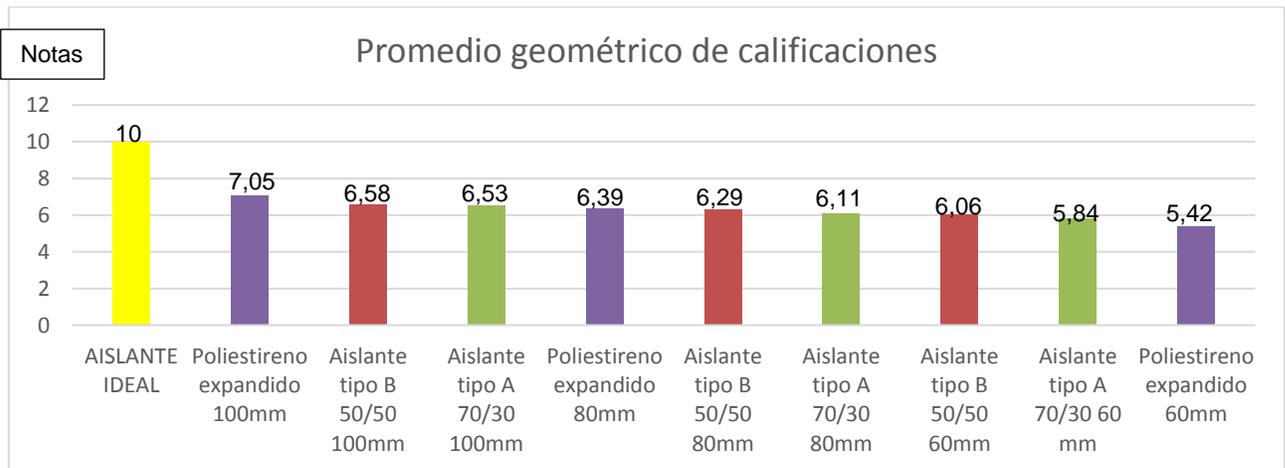


Figura 5-11: Gráfico de promedio geométrico de calificaciones obtenidas por elemento.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura 5-11, se analiza que el elemento que posee el mejor promedio de desempeño es el patrón de 100mm, luego en segundo lugar queda el elemento tipo "B" de 100m y en tercer lugar queda el elemento tipo "A" de 100mm, cabe destacar que el orden de resultados por espesores es: para 100mm: Patrón, "B", "A", para los 80mm: Patrón, "B", "A" y para los 60mm: "B", "A" y patrón.

5.6.4.3 Desempeño general de los elementos por porcentaje de área

Se presenta el siguiente gráfico radial, en donde cada vértice representa la propiedad evaluada en su mejor desempeño de 10 puntos para la evaluación acústica y costos y de 14 puntos para la resistencia térmica.

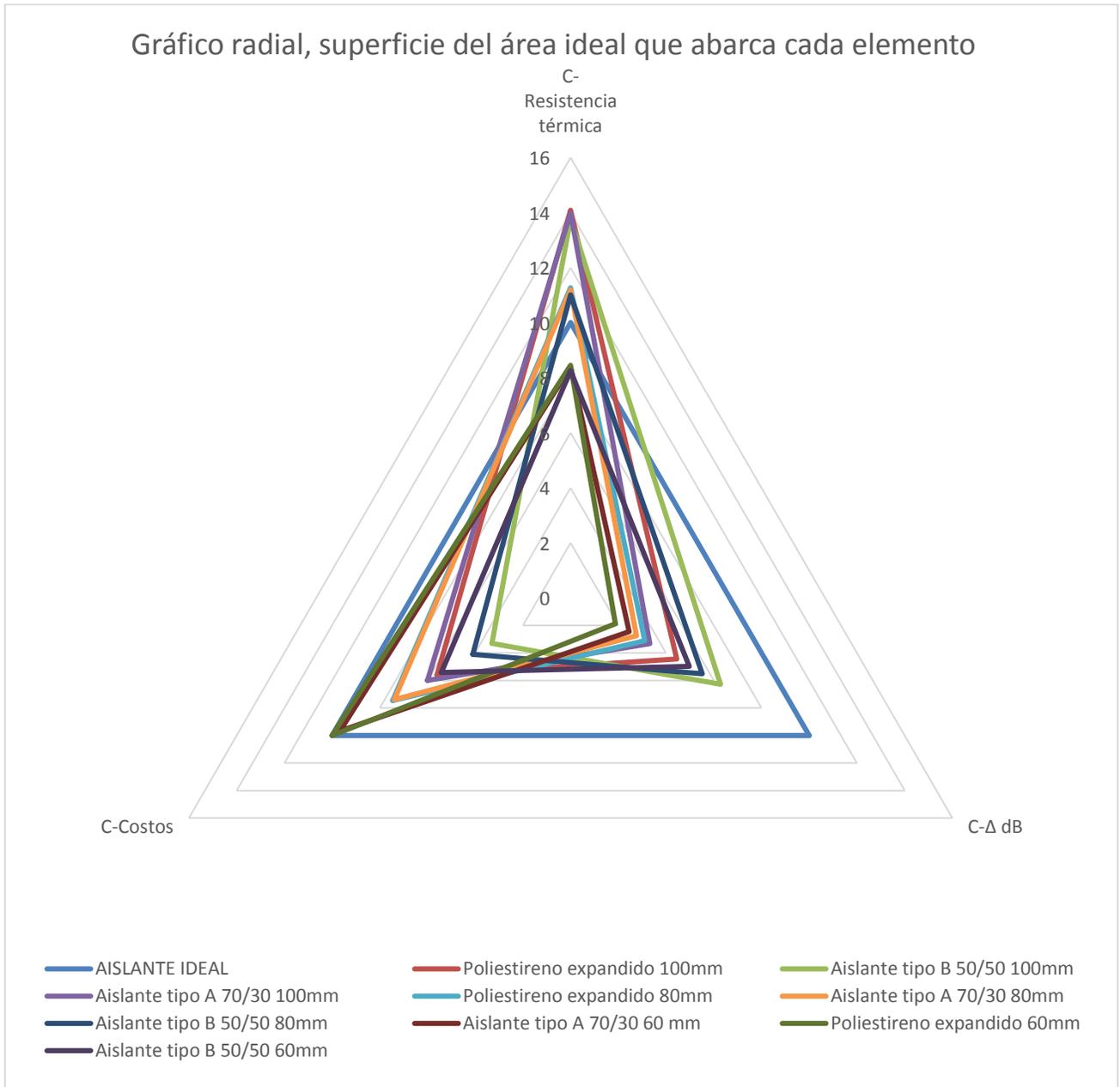


Figura 5-12: Gráfico radial de desempeño de los aislantes.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para realizar esta gráfica radial se siguió el procedimiento explicado en el 5.6.4 y se midió su área con la fórmula 5-3.

Observando la figura 5-12, se rectifica que el elemento que obtuvo el mejor promedio de desempeño frente a las tres características evaluadas fue el elemento tipo patrón de 100mm ya que obtuvo la mayor área en el gráfico radial 11,84 unidades de área.

No obstante, en segundo lugar, se encuentra el aislante tipo "B" de 100mm con un área de 11,58 unidades y en tercer lugar queda el elemento tipo "A" 70/30 de 100mm con un área de 10,55 unidades.

Áreas de los elementos graficados en la figura 5-12		
Elemento	Área (unidades)	%
Aislante ideal	21,21	100
Poliestireno expandido 100mm	11,84	56
Aislante tipo B 50/50 100mm	11,58	55
Aislante tipo A 70/30 100mm	10,55	50
Poliestireno expandido 80mm	10,06	47
Aislante tipo A 70/30 80mm	9,61	45
Aislante tipo B 50/50 80mm	9,18	43
Aislante tipo A 70/30 60mm	9,11	43
Poliestireno expandido 60mm	8,33	39
Aislante tipo B 50/50 60mm	7,81	37

Tabla 5-14: Áreas de los elementos según su desempeño.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Sin embargo, los elementos "A" y "B" tuvieron un porcentaje de área similar respecto al elemento patrón poliestireno expandido, ya que, lograron poseer un porcentaje de área de 55% para "B" y de 50% para "A" respecto a los 56% del elemento patrón todos de 100mm. Para los espesores de 60mm el mejor desempeño lo obtuvo el elemento tipo "A" con 43% de área frente a los 39% del patrón de 60mm.

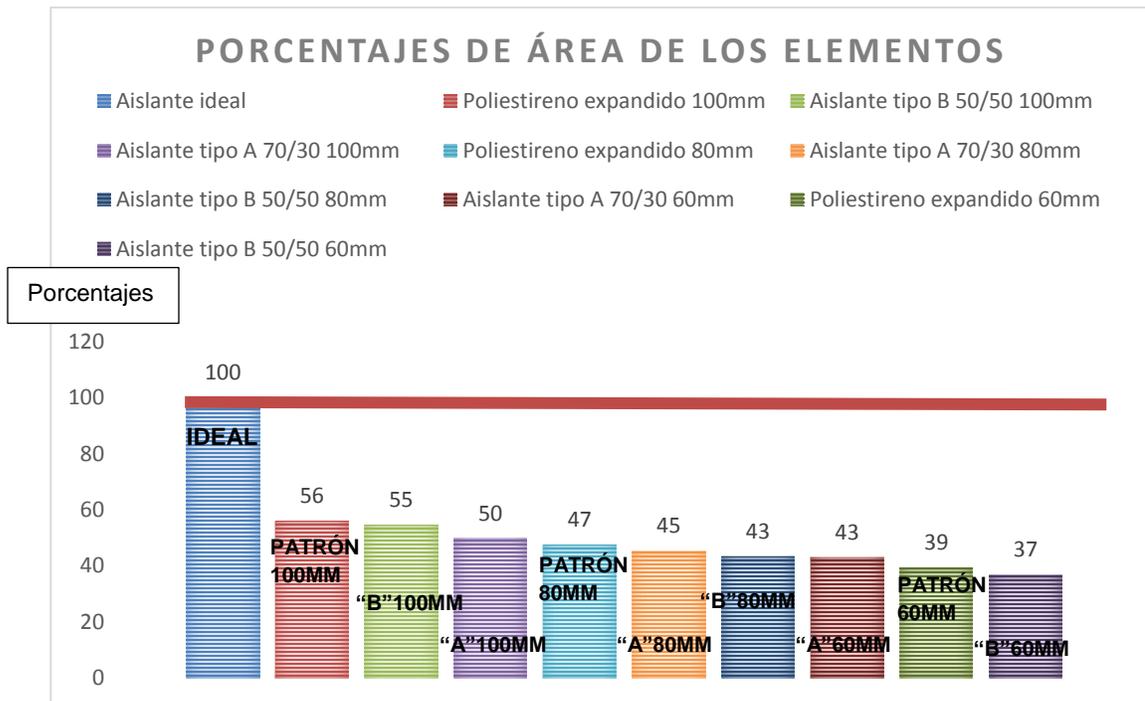


Figura 5-13: Porcentajes de los elementos según su área.
Fuente: Elaboración propia 2018.

6 Conclusiones y proyecciones de la investigación

6.1 Conclusiones

A modo de conclusiones para esta investigación, es importante destacar aspectos vinculados a la problemática de la investigación, accesibilidad de los materiales, fabricación del elemento, propiedades térmicas y acústicas y a su bajo costo de elaboración.

En primer lugar, es importante mencionar que el aislante propuesto presenta una opción viable a la disminución de la quema de paja de trigo ya que este elemento puede ser utilizado como aislante en edificaciones habitacionales.

En segundo lugar, se concluye que los objetivos de la investigación se vieron cumplidos, ya que se lograron determinar todas las características propuestas, permitiendo identificar y caracterizar el material propuesto según sus propiedades térmicas, acústicas, sobre su cumplimiento en la normativa térmica y sobre su costo de fabricación.

En tercer lugar, cabe destacar que el detallado y no complejo proceso constructivo del material, permite que cualquier individuo que siga estrictamente los pasos planteados, pueda confeccionar el aislante de manera casera y obtener resultados óptimos.

Otro aspecto relevante en cuanto a la fabricación del elemento es su baja huella hídrica y de carbono que posee este. Entendiendo que la primera, corresponde a la cantidad de agua dulce usada para confeccionar este material y la segunda, compete a la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto para la fabricación del material. Aclarando este punto, se realiza esta aseveración respecto solo al proceso de fabricación del aislante como tal, no de la huella hídrica y de carbono que se tiene para la obtención de las materias primas (paja de trigo y sellador de cal).

Ahora bien, respecto al aislante como material para ser utilizado en viviendas habitacionales, es correcto señalar, que posee una destacada relación precio/calidad en comparación al elemento patrón, ya que, su coeficiente de conductividad térmica se encuentra dentro del rango de los aislantes comunes y su precio se posiciona entre los menores del mercado.

Por otro lado, respecto a las prestaciones acústicas del elemento se pudo determinar que los dos tipos de aislantes "A" y "B" poseen propiedades de aislación acústica, ya que, lograron generar un diferencial de dB mayor que el elemento en comparación para el aislante tipo "B" y similar al elemento patrón para el aislante tipo "A". Cabe destacar que el factor incidente en el comportamiento acústico de los elementos fue el % de sellador de cal ya que este aumenta la densidad del elemento y a mayor densidad mejores propiedades acústica posee el aislante.

Respecto a sus prestaciones térmicas, debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica de $0,0428 \text{ w/m}^{\circ}\text{k}$ para el aislante tipo "A" y de $0,0435 \text{ w/m}^{\circ}\text{K}$ para el aislante tipo "B", este material de construcción satisface los requerimientos térmicos mínimos de la OGUC, para 6 de 7 zonas térmicas en cuanto a zona de muros y para 3 de 7 zonas térmicas para zona de techumbre, en consecuencia, el elemento podría ser normalizado. En este punto es importante mencionar que el factor incidente en la resistencia térmica del aislante es el espesor, ya que como se mencionó anteriormente a mayor espesor mayor resistencia térmica.

Por último, con respecto al desempeño que obtuvo el aislante fabricado frente a los ensayos térmicos y acústicos, además de su costo de fabricación, lo posicionan en una categoría similar en comparación al poliestireno expandido y otros aislantes mencionados en la investigación, ya que, a pesar de que los elementos se evaluaron según su desempeño mediante tres maneras distintas, el patrón de orden de desempeño para las tres maneras evaluadas fue el siguiente, los elementos de 100mm obtuvieron las mejores calificaciones de 7,78(promedio aritmético), 6,58 (promedio geométrico) y 55% de área para el elemento tipo "B" y de 7,77(promedio aritmético), 6,53(promedio geométrico) y 50% de área para el elemento tipo "A" en una escala del 1 al 10 en promedios aritmético y geométrico y de 100% de área, donde el elemento patrón obtuvo nota 8,05(promedio aritmético), 7,05 (promedio geométrico) y 56% del área. Cabe mencionar que el desempeño de los elementos fue siempre en orden de espesores: 100mm, 80mm y 60mm, esto da cuenta que el factor incidente que mejora las propiedades tanto térmicas como acústicas es el espesor del elemento.

Finalmente se concluye que el elemento propuesto en este estudio, contribuye de manera directa al incremento de la eficiencia energética en una vivienda en la cual se emplee este aislante, ya que sus altas prestaciones térmicas disminuyen el alto consumo energético empleado para calefacción, mejorando así, el confort térmico de la vivienda y a la vez, generando cuidado del medio ambiente mediante el ahorro de energía.

6.2 Proyecciones de la investigación

Respecto a lo analizado y concluido se pueden destacar algunos puntos que tienen gran relevancia dentro de la investigación, los que generaron cuestionamientos e incertidumbres.

Dentro de estos puntos se pueden destacar y en base a estos, formular las siguientes proyecciones de la investigación:

-Una investigación interesante sería confeccionar los aislantes tipo "A" y "B" para luego obtener su coeficiente de conductividad térmica mediante el procedimiento de la NCh 850 Of 2008, cálculo del coeficiente de conductividad térmica por método del anillo de guarda. Con la finalidad de realizar una comparación real a los coeficientes obtenidos mediante el proceso realizado en esta investigación.

-Se podría realizar la fabricación del elemento con distintos aglomerantes que posean un menor costo y a su vez un menor peso específico, con la finalidad de maximizar las prestaciones térmicas. Esta proyección se recomienda, dado que para esta investigación el factor incidente en el precio del elemento es el costo del sellador de cal.

-Una propuesta llamativa sería incorporar papel Kraft al mismo elemento de esta investigación con la finalidad de obtener un producto con una mejor imagen de venta, así como también se podría estudiar la incidencia del papel Kraft en el comportamiento térmico y acústico del aislante.

-Se podría realizar a la misma investigación enfocándose en estudiar las propiedades ignífugas del elemento respecto a la norma española UNE 23-752-90 y a su clasificación en la UNE-EN 13501.

-Considerando la proyección anterior se recomienda estudiar en base a la misma investigación las propiedades de impermeabilidad del aislante propuesto, es decir, estudiar y analizar cómo se comportará el elemento frente al contacto con el agua.

-Por último, se recomienda realizar un estudio en el cual se pueda determinar la vida útil del elemento en estudio, el que se podría estudiar en la cámara de envejecimiento de los laboratorios de la carrera.

7 Referentes bibliográficos

7.1 Bibliografía

- AChEE (2016). *Guía práctica de la buena energía. Aprendamos a ahorrar. Página n°4.*
- Acustec.cl. (2010). *Confort acústico.*
- A. Alcorn, M. Donn (2010) "Life cycle potencial of strawbales an timber for carbon sequestration in house construction". Segunda conferencia internacional sobre materiales y tecnologías de construcción sostenible. Italia.
- Antoni, I. (2001). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL ABSORBENTE CON MATERIALES DE RESIDUO SÓLIDO.*
- Balance Nacional de Energía. (2013). *SISTEMA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS.*
- Barreca F y Riccardo C. (2012). Aislamiento térmico evaluación del desempeño de tableros de corcho aglomerado.
- Barrera Oswaldo, (2005). *INTRODUCCIÓN A UNA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA PARA LOS ANDES ECUATORIALES.* Barcelona, España. Pag.: 134-135
- Bekkouche, S.M. a. et al., (2014). *Thermal resistances of local building materials and their effect upon the interior temperatures case of a building located in Ghardaïa region. Construction and Building Materials, 52, pp.59–70.*
- Blender, M. (2012). *Envolvente termica "Una promesa tramposa", Ministerio de Obras Publicas (MOP).*
- Briga-Sá, A. et al., (2013). *Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. Construction and Building Materials, 38, pp.155–160.*
- Cardenas, J. (2012). *Estudio a viviendas en Temuco arrojando graves fallencias en el sistema de aislacion termo-acustica.*
- Carrión, A. (1998). *Diseño acústico.*
- C. Whitman (2013). *"Fardos de paja: ¿Una solución para viviendas rurales energéticamente eficientes en la zona central de Chile.?"*
- Chovacustic. (2016). *Manual de aislamineto acustico en la edificacion.*
- CNE. (2007). *Balance Energético.*
- CNE. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social.*
- De Angelis, E., Pansa, G. & Serra, E., (2014). *Research of Economic Sustainability of Different Energy Refurbishment Strategies for an Apartment Block Building. Energy Procedia, 48, pp.1449–1458.*
- Ecorc. (2010). *Láminas de corcho portugués, grano pequeño 0,5/1mm.*
- Espinoza, J. C. (2014). *Estudio de Comportamiento Acústico en Panel Compuesto EPS.PUR.EPS.*

- Galdámez y Gúzman. (2011). *Evaluación térmica, energética y económica del uso de aislantes térmicos en edificios de oficina acondicionados en el salvador.*
- Garrido, B. S. (2003). *Historia de la Ley, Nº 19.300, Bases del Medio Ambiente.*
- Gil L. (2009). *Cork composites: A review. Materials (Basel) 2(3):776-789.*
- Gonzales A. (2010). *Propuesta de un aislante termino a base de papel de diario reciclado para el acondicionamiento de viviendas sociales considerando criterios medioambientales y técnicos. Valparaíso.*
- González, M. I. (2015). *Consumo eléctrico se cuadruplicó en 20 años.*
- Hayman, J. (1974). *Investigación y Educación.* Buenos aires: Paidós.
- Hernández y Meza. (2011). MINVU (2006). *Manual de aplicación reglamentación térmica MINVU ordenanza general de urbanismo y construcciones Artículo 4.1.10 Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU. Santiago de Chile.*
- Ibañez, L. (2009). Silicato de aluminio. QUIMIALMEL Chile SPA.
- Instituto de investigaciones Agropecuarias (INIA), 2015. *Rastrojo de cultivos y residuos forestales.*
- Kaur M. and Arora S. (2012), *Environment impact assessment and environment management studies for an upcoming multiplex- a Case Study. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE), 1(4): 22-30.*
- King, B., & al. (2006). *Desing of straw bale buildings. San Rafael CA: Green Building Press.*
- Lam A. L. P. (1997). *A study of the development of environmental management in Hong Kong construction industry. BSc Thesis. The Hong Kong Polytechnic University.*
- Lavin, F. E. (2012). *DESARROLLO DE AISLANTES TÉRMICOS EMPLEANDO RASTROJOS DE MAÍZ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS;UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO.*
- Levin H. (1997). *Systematic evaluation and assessment of building environmental performance (SEABEP), paper for presentation to "Buildings and Environment", Paris, 9-12 June, 1997.*
- Li X., Zhu Y. and Zhang Z. (2010). *An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. Building and Environment, 45(3):766-775.*
- Loyola F. (2012). *Desarrollo de aislantes térmicos empleando rastrojos de maíz para la construcción de viviendas.*
- Márquez, R. (2000). *El proceso de la investigación en las Ciencias sociales.* Ediciones de la Universidad Ezequiel Zamora, colección Docencia Universitaria.
- Melgarejo. (1995). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura;MODOS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR Y TÉRMINOS TÉCNICOS.*
- Mena, J. d. (2014). *Materiales aislantes fabricados con productos reciclados. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.*
- Mercier, D., Dutil, Y., Rouse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., &Castonguay, M (2011). *Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética.*

- Mikučionienė, R., Martinaitis, V. & Keras, E., (2014). *Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method. Energy and Buildings*, 76, pp.64–71.
- Mimbrea.com. (2005).
- Ministerio De Energia. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*.
- MINVU. (2007). *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica*.
- Minvu. (2009). *Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social*.
- Montalvo, F. B. (2015). *Utilización de un sistema constructivo con aislante térmico vegetal en viviendas de interés social rural en la región Andina del Ecuador*.
- Montalvo, F. B. (2015). *Utilización de un sistema constructivo con aislante térmico vegetal en viviendas de interés social rural en la región Andina del Ecuador*.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2017. Estimación de superficies, producción y rendimientos de cultivos anuales según región.
- Pajchrowski, G. et al., (2014). *Materials composition or energy characteristic – What is more important in environmental life cycle of buildings? Building and Environment*, 72, pp.15–27.
- Palma, P. (1986). *Sughero*. In: Giordano G., *Tecnología del legno*. UTET.
- Pereira, H. (1998). *O calibre e a porosidade como parâmetros da qualidade tecnológica da cortiça em prancha. Revista Florestal*, 2 (11): 46-50.
- Ramirez. (2012). *"Conceptos de aislacion termica"* Universidad Francisco De Paula Santander.
- Reyna, M. (2014). *Propiedades Térmicas de los Materiales*.
- Rives J, Fernández I, Gabarrell X, Rierade J. (2012). *Environmental analysis of cork granulate production in Catalonia-North Spain. Resour Conserv Recycling* 58:132-142.
- Robles, L. V. (2007). *USO DE FIBRAS DE PAPEL PERIÓDICO, CAL HIDRATADA Y ALUMBRE, EN LA ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO*
- Rocha, E. (2011). *Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA*. Bogotá.
- Romero (2011). *LA EFICIENCIA ENERGÉTICA COMO INSTRUMENTO DE AHORRO*.
- Rybczynski. (1992). *Cap 1 El confort en el reacondicionamiento bioclimático*.
- Shen L.Y., Lu W. S., Yao H. and Wu D. H. (2005). *A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities. Automation in Construction*, 14(13): 297-309.
- Sonoflex. *Ficha técnica Lana mineral, Sonoflex Chile Ltda*.
- Tajamar. (2016). *Hoja de seguridad según NCh 2245:2015*.
- Yarke E. (2005). *Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*.
- Zlateva P, & Petkova S. (2015). *Comparative analysis of the thermal conductivity coefficients of environmentally friendly building materials*.

-Zubiri Arqueta, Edurne (2010). "Arquitectura Bioclimática". En: *FENERCOM (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid). Soluciones Energicamente Eficientes en la Edificación*, (p. 25-48).

-Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar "Passivhaus" en Chile (http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2012000200011).

-Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción (http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000300002)

-Evaluación térmica, energética y económica del uso de aislantes térmicos en edificios de oficina acondicionados en el Salvador. (http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluacion_termica_energetica_y_economica_del_uso_de_aislantes_termicos_en_edificios_de_oficina_acondicionados_en_El_Salvador.pdf)

-Evolución del comportamiento térmico en viviendas tradicionales de piedra y cubierta de paja. Puesta en valor de un modelo sostenible en el noroeste de España (http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000200008)

-Materiales no convencionales como aislantes térmicos en el sector de la construcción (<http://www.slideshare.net/jdvalverde/materiales-no-convencionales-como-aislantes-trmicos-en-el-sector-de-la-construccin>)

-Percepción de barreras a la incorporación de criterios de eficiencia energética en las edificaciones (http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2011000100002)

-Thermal Insulating Characteristics of Cork Agglomerate Panels in Sustainable Food Buildings (http://ceur-ws.org/Vol-1498/HAICTA_2015_paper43.pdf)

-Norma chilena NCh 851.Of1983. Aislación térmica: Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.

-Norma chilena NCh 853.Of1991. Aislación térmica-Envolvente térmica de edificios-Cálculo de resistencia y transmitancias térmicas.

-Norma chilena NCh 2786.Of2002. Acústica - Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción – Mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea de elementos de construcción.

8 Anexos

8.1 Resultados de los ensayos térmicos

8.1.1 Resultados térmicos a aislante tipo "A" de 60mm (70/30)

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-1, representa los datos tomados al aislante tipo "A" de 60 mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante tipo "A" 60 mm (70/30%)			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	15,61	15,61	0
5	16,8	15,82	0,98
10	17,56	16,15	1,41
15	18,43	16,33	2,1
20	20,25	16,55	3,7
25	21,84	16,73	5,11
30	23,45	17,17	6,28
35	25,85	17,46	8,39
40	27,35	17,82	9,53
45	29,74	18,37	11,37
50	31,23	18,64	12,59
55	32,47	18,97	13,5
60	33,16	19,25	13,91
65	34,6	19,58	15,02
70	36,23	19,85	16,38
75	37,85	20,17	17,68
80	38,25	20,32	17,93
85	38,86	20,55	18,31
90	39,54	20,87	18,67
95	40,25	21,16	19,09
100	41,35	21,26	20,09
105	42,15	21,37	20,78
110	43,59	21,48	22,11
115	44,14	21,55	22,59
120	44,84	21,63	23,21

Tabla 8-1: Resultados térmicos aislante tipo "A" 60mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

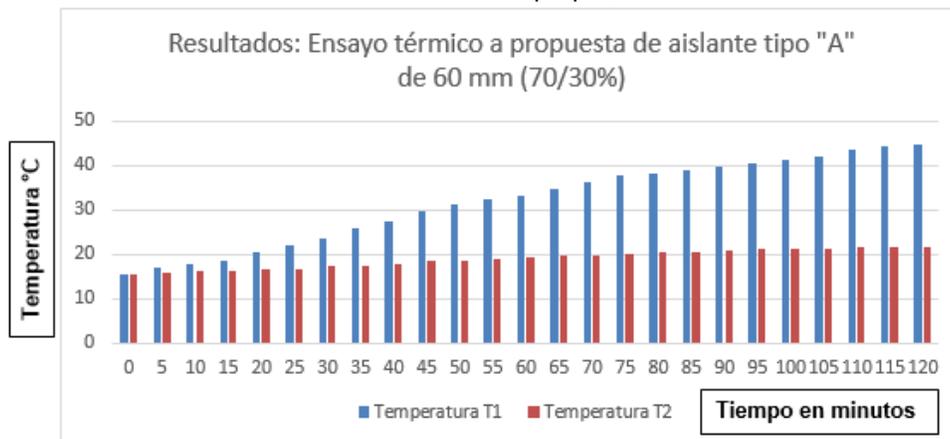


Figura 8-1: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "A" 60mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.2 Resultados térmicos a aislante tipo "A" de 80mm (70/30)

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-2, representa los datos tomados al aislante tipo "A" de 80 mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante tipo "A" 80 mm (70/30%)			
<i>Tiempo (min)</i>	<i>Temperatura T1</i>	<i>Temperatura T2</i>	<i>Diferencia T=(T1-T2)</i>
0	13,00	13,00	0,00
5	18,05	13,44	4,61
10	21,85	13,78	8,07
15	24,38	13,97	10,41
20	26,35	14,00	12,35
25	28,14	14,18	13,96
30	29,65	14,22	15,43
35	30,71	14,38	16,33
40	31,75	14,53	17,22
45	32,94	14,72	18,22
50	34,13	14,88	19,25
55	34,90	14,95	19,95
60	35,40	15,13	20,27
65	35,82	15,21	20,61
70	36,31	15,32	20,99
75	37,13	15,48	21,65
80	37,89	15,54	22,35
85	38,45	15,66	22,79
90	38,93	15,72	23,21
95	39,31	15,80	23,51
100	39,66	15,89	23,77
105	40,05	16,05	24,00
110	40,58	16,16	24,42
115	41,02	16,22	24,80
120	41,33	16,25	25,08

Tabla 8-2: Resultados térmicos aislante tipo "A" 80mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

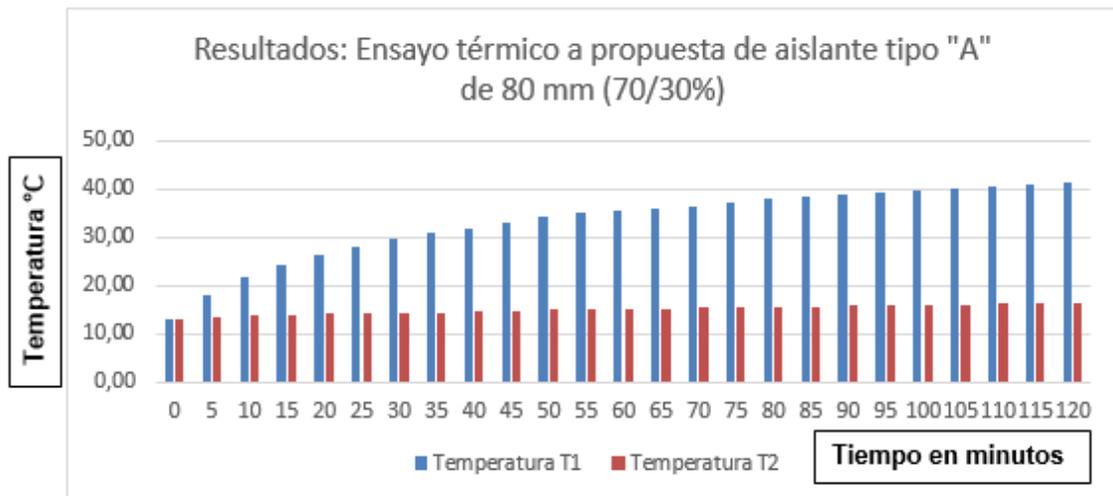


Figura 8-2: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "A" 80mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.3 Resultados térmicos a aislante tipo "A" de 100mm (70/30)

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-3, representa los datos tomados al aislante tipo "A" de 100 mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante tipo "A" 100 mm (70/30%)			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	9,50	9,50	0,00
5	19,07	10,00	9,07
10	22,87	10,50	12,37
15	25,40	10,80	14,60
20	27,37	10,82	16,55
25	29,16	10,90	18,26
30	30,67	11,00	19,67
35	31,73	11,12	20,61
40	32,77	11,26	21,51
45	33,96	11,42	22,54
50	35,15	11,61	23,54
55	35,92	11,82	24,10
60	36,42	12,06	24,36
65	36,84	12,31	24,53
70	37,33	12,54	24,79
75	38,15	12,79	25,36
80	38,91	13,07	25,84
85	39,47	13,35	26,12
90	39,95	13,63	26,32
95	40,33	13,90	26,43
100	40,68	14,17	26,51
105	41,07	14,41	26,66
110	41,60	14,67	26,93
115	42,04	14,92	27,12
120	42,35	15,17	27,18

Tabla 8-3: Resultados térmicos aislante tipo "A" 100mm 70/30.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

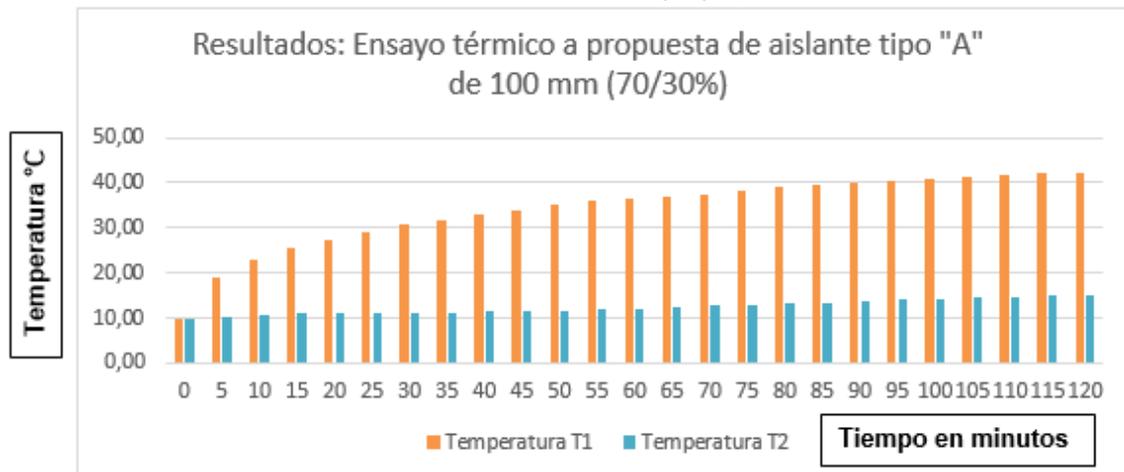


Figura 8-3: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "A" 100mm (70/30%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.4 Resultados térmicos a aislante tipo "B" de 60mm (50/50)

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-4, representa los datos tomados al aislante tipo B de 60mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

<i>Prueba Térmica, aislante tipo "B" 60 mm (50/50%)</i>			
<i>Tiempo (min)</i>	<i>Temperatura T1</i>	<i>Temperatura T2</i>	<i>Diferencia T=(T1-T2)</i>
0	15,43	15,43	0
5	16,81	15,54	1,27
10	19,73	15,97	3,76
15	23,07	16,02	7,05
20	25,26	16,21	9,05
25	26,73	16,36	10,37
30	27,93	16,42	11,51
35	28,86	16,59	12,27
40	29,82	16,73	13,09
45	30,62	16,89	13,73
50	31,62	17	14,62
55	32,46	17,04	15,42
60	32,96	17,32	15,64
65	33,48	17,62	15,86
70	34,04	17,91	16,13
75	34,6	18,2	16,4
80	35,01	18,49	16,52
85	35,67	18,76	16,91
90	36,23	19,05	17,18
95	36,81	19,33	17,48
100	37,15	19,6	17,55
105	37,56	19,88	17,68
110	37,9	20,14	17,76
115	38,29	20,38	17,91
120	38,5	20,45	18,05

Tabla 8-4: Resultados térmicos aislante tipo "B" 60mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

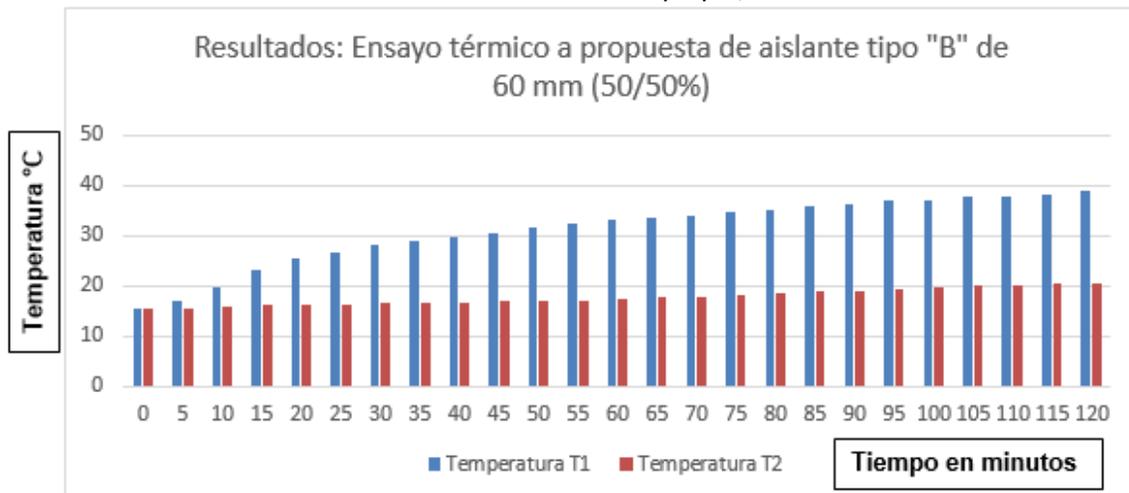


Figura 8-4: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "B" 60mm (50/50%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.5 Resultados térmicos a aislante tipo "B" de 80mm (50/50)

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-5, representa los datos tomados al aislante tipo B de 80mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante tipo "B" 80 mm (50/50%)			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	14,5	14,5	0
5	19,84	14,9	4,94
10	22,41	15,55	6,86
15	26,34	15,84	10,5
20	27,65	15,87	11,78
25	28,67	15,92	12,75
30	29,56	16,03	13,53
35	30,36	16,22	14,14
40	31,07	16,38	14,69
45	31,7	16,42	15,28
50	32,28	16,5	15,78
55	32,86	16,61	16,25
60	33,38	16,74	16,64
65	33,91	16,87	17,04
70	34,39	16,99	17,4
75	34,81	17,13	17,68
80	35,18	17,26	17,92
85	35,55	17,33	18,22
90	35,96	17,4	18,56
95	36,3	17,53	18,77
100	36,59	17,62	18,97
105	36,89	17,74	19,15
110	37,16	17,88	19,28
115	37,4	18	19,4
120	37,8	18,12	19,68

Tabla 8-5: Resultados térmicos aislante tipo "B" 80mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

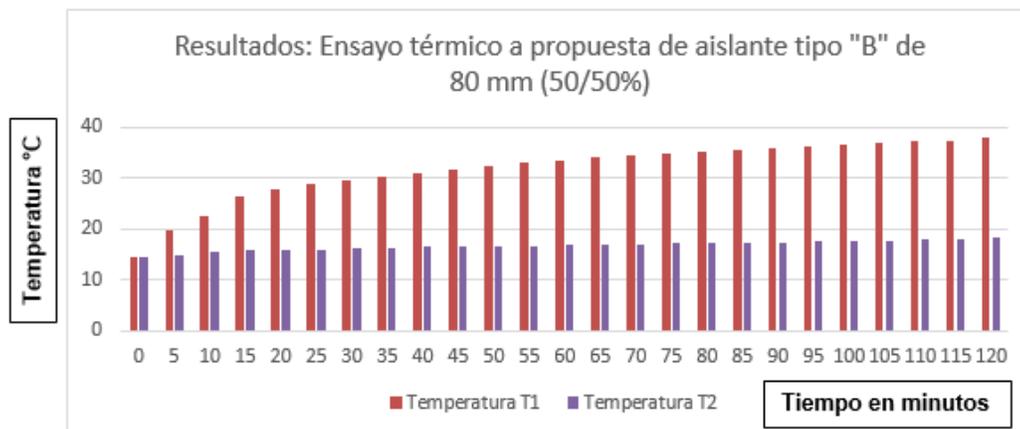


Figura 8-5: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "B" 80mm (50/50%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.6 Resultados térmicos a aislante tipo "B" de 100mm (50/50%)

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-6, representa los datos tomados al aislante tipo B de 100mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante tipo "B" 100 mm (50/50%)			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	13,63	13,63	0,00
5	18,88	13,96	4,92
10	23,69	14,33	9,36
15	27,72	14,74	12,98
20	29,10	14,98	14,12
25	30,17	15,12	15,05
30	31,11	15,43	15,68
35	31,95	15,75	16,20
40	32,70	15,98	16,72
45	33,36	16,22	17,14
50	33,97	16,49	17,48
55	34,58	16,63	17,95
60	35,13	16,88	18,25
65	35,69	17,17	18,52
70	36,19	17,36	18,83
75	36,64	17,52	19,12
80	37,02	17,74	19,28
85	37,41	17,91	19,50
90	37,85	18,12	19,73
95	38,20	18,32	19,88
100	38,51	18,48	20,03
105	38,82	18,67	20,15
110	39,11	18,83	20,28
115	39,36	18,97	20,39
120	40,32	19,03	21,29

Tabla 8-6: Resultados térmicos aislante tipo "B" 100mm 50/50.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

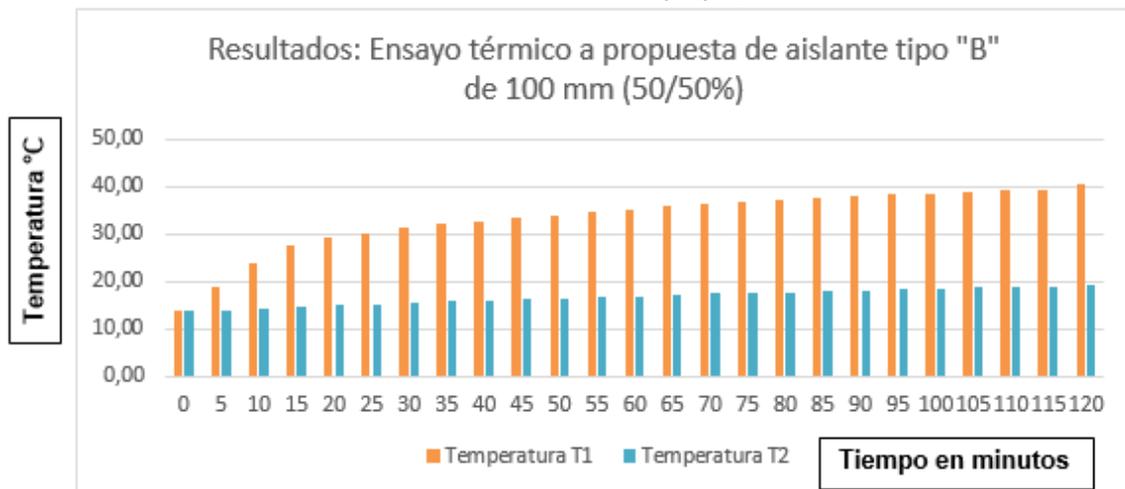


Figura 8-6: Gráfico de resultados a ensayo térmico, propuesta "B" 100mm (50/50%).
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.7 Resultados térmicos a aislante patrón de 60mm

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-7, representa los datos tomados al aislante patrón de 60mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante patrón de 60 mm de espesor			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	11,64	11,64	0
5	14,22	11,9	2,32
10	16,52	12,3	4,22
15	19,65	13,64	6,01
20	20,88	14,5	6,38
25	21,53	14,98	6,55
30	22,55	15,35	7,2
35	24,76	17,08	7,68
40	27,07	17,06	10,01
45	30,04	17,25	12,79
50	32,06	17,42	14,64
55	33,51	17,57	15,94
60	34,92	17,72	17,2
65	36,16	17,86	18,3
70	37,34	17,98	19,36
75	38,54	18,1	20,44
80	39,68	18,24	21,44
85	40,67	18,37	22,3
90	41,59	18,49	23,1
95	42,49	18,61	23,88
100	43,16	18,73	24,43
105	44,15	18,84	25,31
110	45,05	18,97	26,08
115	45,5	19,09	26,41
120	45,86	19,2	26,66

Tabla 8-7: Resultados térmicos aislante patrón 60mm.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

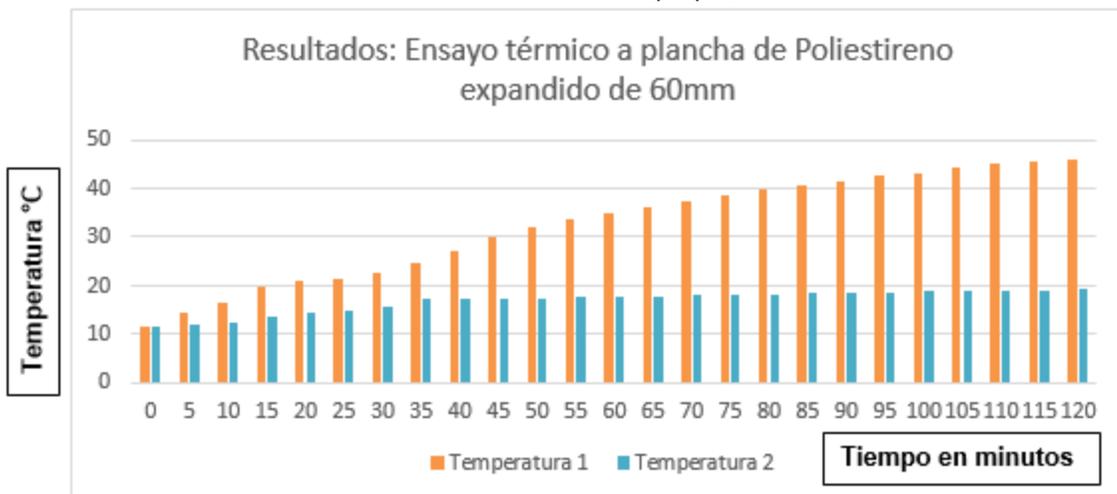


Figura 8-7: Gráfico de resultados de ensayo térmico a poliestireno expandido de 60mm.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.8 Resultados térmicos a aislante patrón de 80mm

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-8, representa los datos tomados al aislante patrón de 80mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante patrón de 80 mm de espesor			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	14,67	14,67	0
5	16,23	14,98	1,25
10	17,35	15,16	2,19
15	18,87	15,78	3,09
20	20,45	15,98	4,47
25	23,12	16,12	7
30	25,46	16,32	9,14
35	27,98	16,52	11,46
40	28,9	16,73	12,17
45	30,43	16,93	13,5
50	32,56	17,03	15,53
55	34,21	17,18	17,03
60	35,67	17,27	18,4
65	37,93	17,35	20,58
70	39,43	17,48	21,95
75	40,12	17,62	22,5
80	42	17,74	24,26
85	43,56	17,82	25,74
90	44,65	17,94	26,71
95	45,28	18,15	27,13
100	46,33	18,46	27,87
105	46,88	18,78	28,1
110	47,33	19,17	28,16
115	48,12	19,55	28,57
120	48,73	19,85	28,88

Tabla 8-8: Resultados térmicos aislante patrón 80mm.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

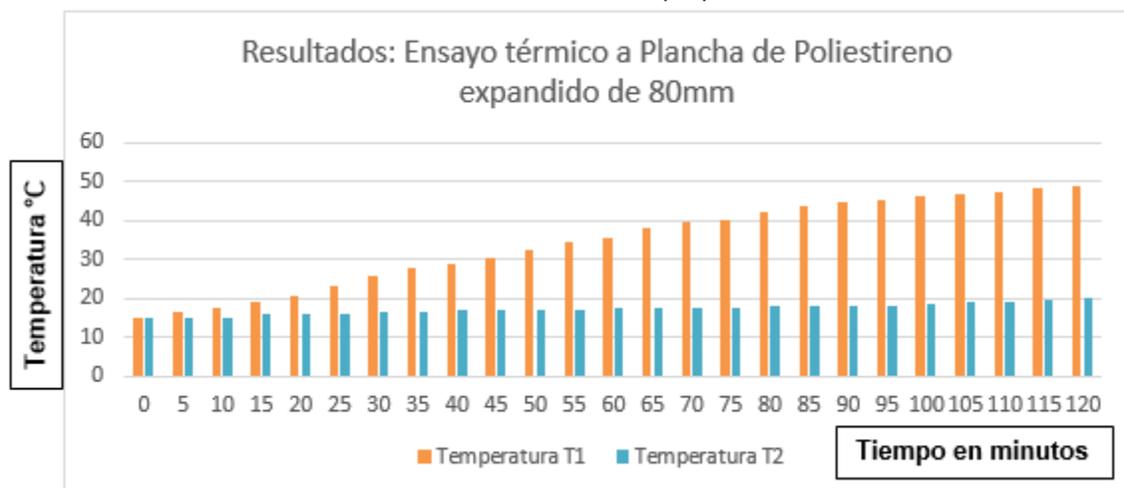


Figura 8-8: Gráfico de resultados de ensayo térmico a poliestireno expandido de 80mm.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.1.9 Resultados térmicos a aislante patrón de 100mm

Las temperaturas están tomadas en grados Celsius.

Tabla n°8-9, representa los datos tomados al aislante patrón de 100mm de espesor en un periodo de 120 minutos, los datos representados están resumidos en intervalos de 5 minutos.

Prueba Térmica, aislante patrón de 100 mm de espesor			
Tiempo (min)	Temperatura T1	Temperatura T2	Diferencia T=(T1-T2)
0	15,8	15,8	0
5	26,32	16,12	10,2
10	28,46	16,32	12,14
15	30,22	16,55	13,67
20	32,85	16,79	16,06
25	33,78	16,94	16,84
30	35,76	17,01	18,75
35	37,84	17,18	20,66
40	39,37	17,23	22,14
45	40,33	17,4	22,93
50	41,89	17,57	24,32
55	43,37	17,73	25,64
60	44,84	17,88	26,96
65	45,75	17,94	27,81
70	46,23	18,15	28,08
75	46,84	18,23	28,61
80	47,56	18,38	29,18
85	48,12	18,45	29,67
90	48,45	18,58	29,87
95	48,89	18,67	30,22
100	49,12	18,82	30,3
105	49,55	18,97	30,58
110	49,84	19,11	30,73
115	50,03	19,26	30,77
120	50,24	19,43	30,81

Tabla 8-9: Resultados térmicos aislante patrón 100mm.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

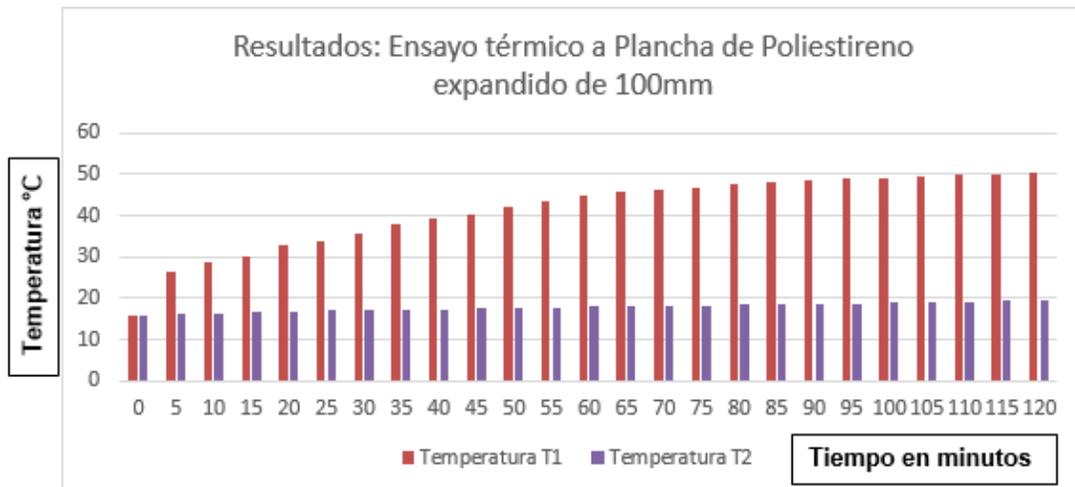


Figura 8-9: Gráfico de resultados de ensayo térmico a poliestireno expandido de 100mm.
Fuente: Elaboración propia, 2018.