



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMO-
ACÚSTICAS Y MECÁNICAS DE UN PANEL DE AISLACIÓN
EN BASE A ESPUMA DE POLIURETANO, CORCHO Y
YESO CARTÓN**

Por

Álvaro A. Pérez Kenchington

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

Profesor Guía: Claudio Carrasco Aldunate

Mayo del 2017

ÍNDICE

1 Capítulo I: Antecedentes generales	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general.....	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Hipótesis	13
1.4 Alcances.....	14
1.5 Metodología de la investigación	15
1.6 Cronograma	16
1.7 Seguimiento Cronograma.....	16
 2 Capítulo II: Marco teórico	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Chile y la eficiencia energética	18
2.3 Aislación Térmica	20
2.4 Propiedades de aislación de las fibras vegetales y sintéticas	21
2.4.1 Aislante fibra de celulosa	22
2.4.2 Aislante de corcho	22
2.4.3 Aislante de rastrojos de maíz	23
2.4.4 Aislante espuma de poliuretano	23
2.4.5 Aislante Lana de vidrio.....	23
2.4.6 Aislante sistema poligyp.....	24
2.5 Conductividad térmica	25
2.6 Resistencia térmica	25
2.7 Transmitancia térmica	26
2.8 Confort térmico.....	27
2.9 Acondicionamiento térmico en edificación	28
2.9.1 Reglamentación térmica	28
2.9.2 Concepto de Grados-día de calefacción y su relación con la Zonificación térmica de la RT	29
2.10 Aislación acústica.....	31

2.11 Propiedades de ondas sonoras	32
2.11.1 Amplitud (A)	32
2.11.2 Frecuencia (F).....	32
2.12 Sonido	33
2.9 Ruido.....	34
2.10 Medición del campo sonoro.....	35
2.11 Confort acústico	36
2.12Acondicionamiento acústico	37
2.13 Estudios de aislantes acústicos	40
2.14 Resistencia al fuego	44
2.14.1 Acondicionamiento Ignifugo	44
2.14.2 Listado oficial de elementos constructivos resistentes al fuego.....	45
2.15 Elementos y materiales aislantes	47
2.15.1 Espuma de poliuretano	47
2.15.2 Estudio de espuma de poliuretano	50
2.15.2 Yeso cartón.....	52
2.15.3 Corcho	54
2.15 Características de paneles prefabricados.....	58
2.15.1 Clase	58
2.15.2 Tipo.....	58
2.15.3 Grado.....	58
 3 Capítulo III: Desarrollo experimental	 59
3.1 Etapas experimentales	59
3.2 Recopilación de materiales	59
3.3 Panel general de fabricación	59
3.4 Dimensiones y cantidades de paneles	60
3.5 Alternativa para zonas extremas del país	62
3.6 Metodologías de ensayos.....	66
3.6.1 Ensayos y estudios	66
3.6.2 Ensayo de aislación térmica	66
3.6.3 Ensayo resistencia a la flexión	68
3.6.4 Ensayo a la compresión.....	69

3.6.5	Ensayo de aislación acústica	70
3.6.6	Resistencia ignifuga.....	72
3.6.7	Estudio de densidades.....	74
3.7	Confección de panel.....	75
4	Capítulo IV: Presentación de análisis y resultado	77
4.1	Preliminar	78
4.2	Densidades aparentes.....	78
4.3	Análisis de costos del elemento	80
4.4	Ensayo para la determinación de las propiedades térmicas	81
4.4.1	Ensayo de aislación térmica en paneles con espesor de 40 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 10mm de espesor)	83
4.4.2	Ensayo de aislación térmica en paneles con espesor de 50 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 15mm de espesor)	84
4.4.3	Ensayo de aislación térmica en paneles de volcapol de 40 mm de espesor	86
4.5	Ensayo para la determinación de las propiedades acústicas.....	89
4.6	Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión.....	94
4.6.1	Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión en paneles con espesor de 40 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 10mm de espesor).....	95
4.6.2	Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión en paneles con espesor de 50 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 15mm de espesor)	97
4.6.3	Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión en paneles de volcapol de 40 mm de espesor.....	98
4.7	Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión.....	101
4.7.1	Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión en paneles con espesor de 40 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 10mm de espesor)	102
4.7.2	Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión en paneles con espesor de 50 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 15mm de espesor)	104
4.7.3	Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión en paneles de volcapol de 40 mm de espesor.	106
4.8	Ensayo de resistencia al fuego.....	108
5	Capítulo V: Conclusiones y Propuestas de futuros estudios.....	111
5.1	Conclusiones.....	111
5.1.1	Respecto con la aislación térmica.....	111

5.1.2 Respecto con la aislación acústica.....	112
5.1.3 Respecto a las propiedades mecánicas.....	112
5.1.4 Respecto a los costos asociados	112
5.1.5 Respecto a objetivos.....	113
5.1.6 Respecto a la hipótesis.....	113
5.2 Futuras investigaciones.....	114
5.3 Bibliografía.....	115

Índice de Figuras

Figura 2.1 Expectativas de demanda de energía en calefacción promedio nacional.....	17
Figura 2.2 Perdidas de energía en viviendas.....	18
Figura 2.3 Consumo de energía en viviendas	19
Figura 2.4 Transmitancia térmica según la reglamentación térmica chilena.....	27
Figuras 2.5 Confort térmico.....	28
Figura 2.6 Zonas térmicas con su resistencia térmica.....	29
Figura 2.7 Concepto grado-día.....	29
Figura 2.8 Zonificación térmica de la RT.....	30
Figura 2.9 Coeficiente de absorción acústica de materiales aislantes.....	31
Figura 2.10 Rango audible de frecuencias para oído humano	32
Figura 2.11 Velocidades de propagación del sonido.....	33
Figura 2.12 Salud y niveles de ruido.....	34
Figura 2.13 Respuesta de Frecuencias a las Distintas Redes de Ponderación.....	35
Figura 2.14 Valores Confort Acústico.....	36
Figura 2.15 Problema acústico en una vivienda.....	37
Figura 2.16 Panel divisorio con aislamiento acústico.....	38
Figura 2.17 Muestra de lana de vidrio 30x30x1 cm	40
Figura 2.18 Muestra de lana de vidrio 30x30x4 cm	41
Figura 2.19 Muestra de Fibra de poliéster 30x30x1 cm.....	42
Figura 2.20 Muestra de Fibra de poliéster 30x30x4 cm.....	43
Figura 2.21 Clasificación resistencia al fuego.....	45
Figura 2.22 Requerimiento mínimo de resistencia al fuego.....	46
Figura 2.23 Solución constructiva con la resistencia evaluada.....	47
Figura 2.24 Espuma de poliuretano.....	48
Figura 2.25 Eficiencia térmica Espesor vs. Materiales aislantes.....	49
Figura 2.26 Gráfico de Absorción Acústica en dB.....	51
Figura 2.27 Yeso cartón.....	54

Figura 2.28 Materiales y conductividad térmica vs espesor de material.....	55
Figura 2.29 Densidad y conductividad térmica a 20-25 °C.....	55
Figura 2.30 Corcho aglomerado.....	56
Figura 2.31 Conductividad térmica de los materiales más comunes en edificación.....	57
Figura 3.1 Modelo del panel de aislación.....	60
Figura 3.2 Mapa de zonificación térmica (colores) y límites (líneas oscuras) de la zonificación climático habitacional de la NCh 1079.....	64
Figura 3.3 Cámara aislante termo-acústica.....	67
Figura 3.4 XPLOER GLX.....	68
Figura 3.5 Elementos de construcción-Paneles-Ensayos de compresión.....	69
Figura 3.6 Utilización correcta del sonómetro.....	72
Figura 3.7 Termómetro infrarrojo digital.....	73
Figura 3.8 Procesos de molde.....	75
Figura 3.9 Molde de prueba.....	76
Figura 3.10 Resultado de molde.....	76
Figura 3.11 Instalación 2da capa de Espuma P.....	77
Figura 3.12 Explotado de la confección del panel.....	77
Figura 4.1 Densidades aparentes vs conductividad térmica.....	79
Figura 4.2 Cámara aislante a utilizar.....	82
Figura 4.3 Cámara aislante con panel ensayado.....	82
Figura 4.4 Grafico I Temperatura V/S Tiempo.....	84
Figura 4.5 Grafico II Temperatura V/S Tiempo.....	85
Figura 4.6 Grafico III Temperatura V/S Tiempo.....	87
Figura 4.7 Cámara aislante y Xplorer GLX.....	89
Figura 4.8 Cámara aislante y fuente de sonido.....	90
Figura 4.9 Decibeles V/S Frecuencia.....	92
Figura 4.10 Diferencial de decibeles V/S Frecuencia.....	92
Figura 4.11 Decibeles en Santiago de Chile.....	93

Figura 4.12 Ensayo de flexión panel 40mm de espesor.....	95
Figura 4.13 Ensayo de flexión panel 50mm de espesor.....	98
Figura 4.14 Ensayo de flexión panel Volcapol.....	100
Figura 4.15 Ensayo de compresión panel 40 mm.....	102
Figura 4.16 Ensayo de compresión panel 50 mm.....	104
Figura 4.17 Ensayo de compresión panel Volcapol.....	106
Figura 4.18 Ensayo ignifugo paneles propuestos.....	109
Figura 4.19 Ensayo ignifugo paneles Volcapol.....	110

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Consumo de energía promedio nacional	19
Tabla 2.2 Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica.....	20
Tabla 2.3 Materiales aislantes y su conductividad térmica.	21
Tabla 2.4 Ficha técnica, aislador con fibra de celulosa.....	22
Tabla 2.5 Ficha técnica, aislador con fibra de corcho	22
Tabla 2.6 Ficha técnica, aislador con fibra rastrojos de maíz.	23
Tabla 2.7 Ficha técnica, aislador espuma de poliuretano.....	23
Tabla 2.8 Ficha técnica, aislador Lana de vidrio.....	24
Tabla 2.9 Ficha técnica, Revestimiento sistema Poligyp.....	24
Tabla 2.10 Resumen de las propiedades térmicas de aislantes de fibras naturales y sintéticas.....	26
Tabla 2.11 Rango de sonidos permitidos.....	36
Tabla 2.12 Requisitos mínimos en construcciones de uso habitacional.....	39
Tabla 2.13 Característica de Lana de vidrio de 1mm.....	40
Tabla 2.14 Característica de Lana de vidrio de 4mm	41
Tabla 2.15 Característica de fibra de poliéster de 1mm.....	42
Tabla 2.16 Característica de fibra de poliéster de 4mm.....	43
Tabla 2.17 Materiales aislantes y su conductividad térmica.....	49
Tabla 2.18 Resultados de Mediciones Acústicas Estudio Instituto E. Toroje.....	50
Tabla 2.19 Propiedades térmicas del yeso cartón de diferentes densidades.....	52
Tabla 2.20 Especificaciones técnicas de las placas de yeso-cartón.....	53
Tabla 3.1 Monto de probetas a ensayar.....	60
Tabla 3.2 Resistencia al Fuego Espuma Soudalfoam FR.....	61
Tabla 3.3 Espesores de los tipos de paneles utilizados en estudio.....	61
Tabla 3.4 Espesores de los paneles y su composición.....	62
Tabla 3.5 Cálculo de las transmitancias y resistencia térmicas (Rt).....	62
Tabla 3.6 Cumplimiento de las prestaciones de las zonas térmicas.....	65

Tabla 3.7 Requisitos mínimos para construcciones de uso habitacional.....	71
Tabla 4.1 Densidad aparente del panel de espesor de 50mm	78
Tabla 4.2 Densidad aparente del panel de espesor de 40mm.....	79
Tabla 4.3 Costo del panel tipo propuesto.....	80
Tabla 4.4 Costo de materiales aislantes en el mercado.....	81
Tabla 4.5 Resultados ensayo I aislación térmica.....	83
Tabla 4.6 Resultados ensayo II aislación térmica.....	85
Tabla 4.7 Resultados ensayo III aislación térmica.....	86
Tabla 4.8 Zonificación térmica de la RT de paneles propuestos	88
Tabla 4.9 Frecuencias de octavas.....	90
Tabla 4.10 Datos ensayo de aislación acústica.....	91
Tabla 4.11 Datos ensayo de flexión panel 40 mm.....	96
Tabla 4.12 Datos ensayo de flexión panel 50 mm.....	97
Tabla 4.13 Datos ensayo de flexión panel 40 mm.....	99
Tabla 4.14 Datos ensayo de compresión panel 40 mm.....	103
Tabla 4.15 Datos ensayo de compresión panel 50 mm.....	105
Tabla 4.16 Datos ensayo de compresión panel Volcapol.....	107

1 Capítulo I: Antecedentes generales

1.1 Planteamiento del problema

Estamos frente a una sociedad en donde en el transcurso de los días se incrementa cada vez más el uso de energías no renovables. Por tanto la edificación no ha quedado al margen de la evolución de nuestro sistema productivo promovido por el sistema técnico de la revolución industrial (Cuchi, 2010). Esta situación de crisis, se vive en un nivel tanto global como local, lo que se demuestra si se toma en cuenta que el 26% del consumo de energía secundaria en Chile corresponde al servicio comercial, residencial y público (Salvo, 2010).

La eficiencia energética (EE) hoy en día es un factor de mayor relevancia ya que al usar la energía de manera eficiente nos permite realizar todas nuestras actividades y a la vez un ahorro monetario y de emisiones. Por lo que se presentan beneficios a través de ventajas en términos económicos y medioambientales que las medidas de EE generan, sumados a los beneficios a nivel país.

Uno de los caminos para aportar a la reducción del cambio climático es incentivar el uso de medidas de eficiencia energética en industrias de la construcción.

La dependencia energética históricamente ya excesiva, se ha ido incrementando incluso en la última década, sin bajar nunca de un porcentaje del 80% (Martínez, 2005).

Cabe señalar que es indispensable disminuir los gastos energéticos en las viviendas debido a la escasez de los recursos existentes en la actualidad. Es por esto que la construcción e implementación de nuevos materiales se hace necesario, para la mitigación de esta crisis energética.

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. Comparado con los desarrollados, no obstante, aún estamos entre un tercio y un quinto más bajo que un habitante de esos países (González, 2015).

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).

En Chile, 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. (Blender, 2012)

La reconversión del sector de la edificación deberá abordarse, en este sentido, no solamente mediante el desarrollo de estrategias de aumento de eficacia aplicadas a las viviendas, sino a través de cambios estructurales, generándose la imprescindible necesidad de incorporar a la vivienda las estrategias pasivas y las nuevas técnicas activas orientadas al ahorro, la eficiencia y la mejora del confort doméstico (Larrea, 2008). Por lo que se debe encontrar diversas soluciones que ayuden a reducir el impacto que genera los consumos excesivos de energía, incrementando la sustentabilidad y construyendo una estructura que provea un hábitat con los requisitos de los usuarios y así a la vez ayudar al medio ambiente para generaciones futuras. Al usar los materiales

constructivos apropiados puede significar para una familia un ahorro del 20% en energía o bien permitir que su vivienda mantenga por un mayor tiempo las condiciones de confort interior. (Minvu, 2013)

Por lo mismo nace la inquietud de generar nuevas opciones de proporcionar un confort domestico de la mano con la eficiencia energética por lo que se plantea el análisis de una propuesta de un elemento de construcción nuevo, que ayude a la problemática actual, donde estas opciones estarán enfocadas en reducir el m2 en el espacio interior de la vivienda sin perder la aislación adecuada para ayudar así con la eficiencia energética.

Se propone un elemento de construcción : un panel de aislación en el perímetro de la fachada interior de una edificación compuesto por corcho ,espuma de poliuretano y yeso cartón que son materiales que tiene una gran capacidad como aislante térmico y alcanzan propiedades aislantes muy altas ocupando espacios pequeños, el cual será estudiado para ver la factibilidad y la eficiencia al ser utilizado juntos como panel de aislación termo acústica que ayudara con la disminución de la energía utilizada para alcanzar este concepto de confort doméstico y generar un aporte a la sustentabilidad buscada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

-Evaluar las propiedades termo-acústicas, mecánicas, ignifugas y costo asociado de una solución de panel de aislación en base a espuma de poliuretano, corcho y yeso-cartón para ser aplicado en el envolvente interior de una edificación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades térmicas del panel propuesto, de acuerdo a norma vigente.
- Determinar las propiedades mecánicas del panel propuesto, de acuerdo a norma vigente.
- Establecer las propiedades acústicas del panel propuesto, de acuerdo a norma vigente.
- Establecer las propiedades de resistencia al fuego del panel propuesto de acuerdo a norma vigente.
- Establecer el costo asociado de los paneles propuestos.

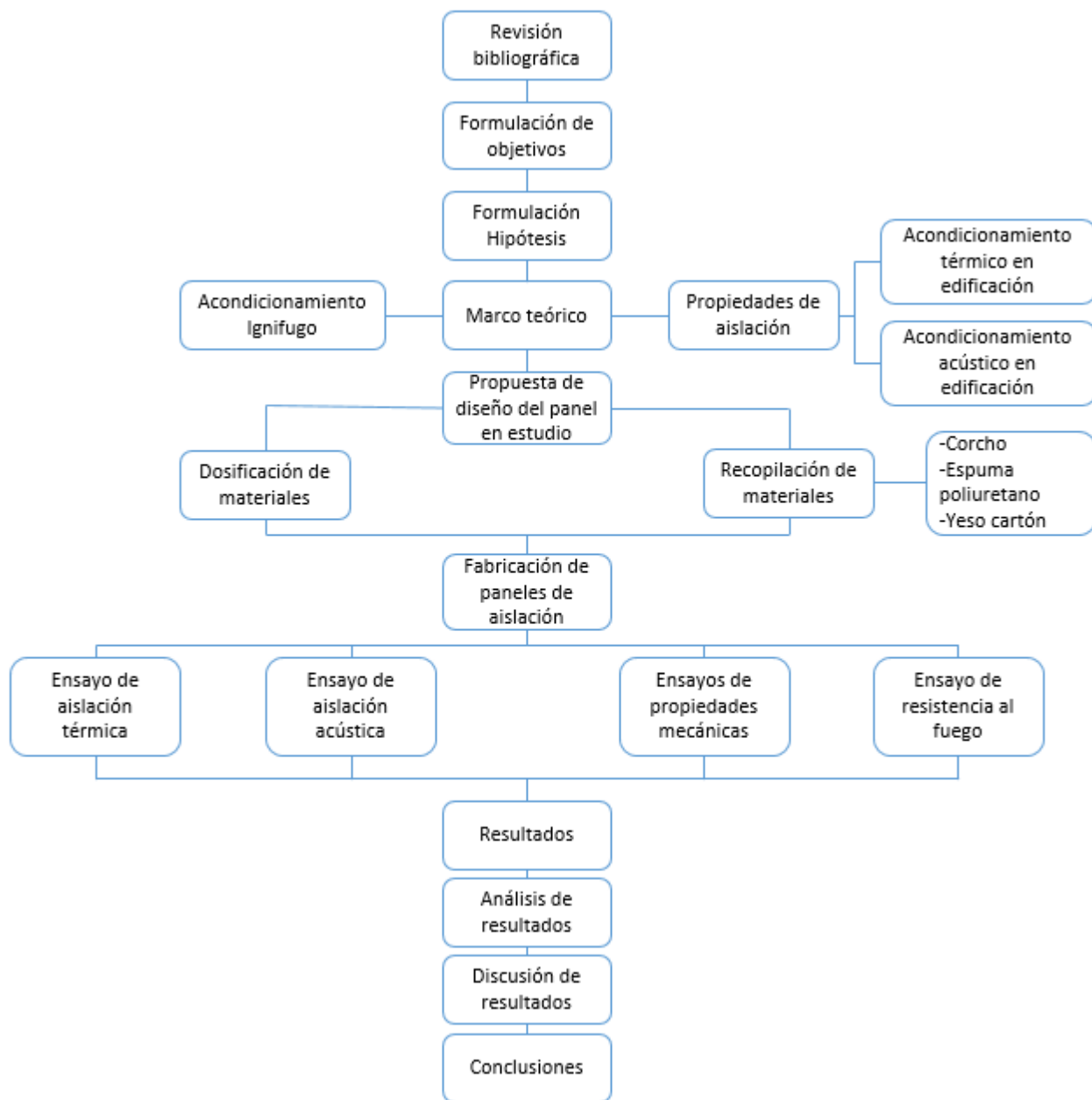
1.3 Hipótesis

“El Panel Compuesto formado por Espuma de Poliuretano, Corcho y Yeso cartón presentará prestaciones de aislación termo-acústica y mecánicas para ser aplicado en el perímetro interior de construcciones de tipo habitacional”.

1.4 Alcances

- El diseño se orienta a un sistema constructivo al envolvente perimetral interior de una vivienda.
- Los ensayos térmicos y acústicos serán de acuerdo a las normas chilenas del Instituto Nacional de Normalización (INN)
- La espuma de poliuretano junto con el corcho se estudiarán en conjunto con una placa de yeso-cartón de 10 mm ST, como panel tipo Volcapol.
- El tipo de lámina de corcho es de tipo aglomerado elaborado con granos de corcho entre 0,5/1mm y goma de poliuretano.
- Se realizarán los ensayos y el desarrollo de los paneles en los laboratorios de docencia de la Universidad de Valparaíso, ubicado en Playa Ancha, Valparaíso, V Región.

1.5 Metodología de la investigación



1.6 Cronograma

	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
	SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS	
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Recopilacion de informacion																
Recopilacion de bibliografia																
Objetivos propuestos																
Alcances propuestos																
Recopilacion de materiales																
Dosificacion de materiales																
Dimensionamiento del panel																
Fabricacion de panel																
Desarrollo experimental																
Presentacion de analisis y resultados																
Conclusiones																

1.7 Seguimiento Cronograma

	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
	SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS		SEMANAS	
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Recopilacion de informacion																
Recopilacion de bibliografia																
Objetivos propuestos																
Alcances propuestos																
Recopilacion de materiales																
Dosificacion de materiales																
Dimensionamiento del panel																
Fabricacion de panel																
Desarrollo experimental																
Presentacion de analisis y resultados																
Conclusiones																

2 Capítulo II: Marco teórico

2.1 Introducción

La energía es el motor que hace funcionar el mundo. Sin ella no tendríamos iluminación ni calefacción en nuestras casas; no podríamos ver la televisión ni desplazarnos en automóviles o buses. Su uso forma parte de nuestro estilo de vida y por eso nos preocupamos cuando carecemos de ella, este uso nos ha llevado a un aumento de consumo de energía del 18% en hogares chilenos en los últimos 30 años, sobretudo en estación de invierno (Emol, 2016). Para esto, 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 (IDAE, 2007).

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). Por lo que al utilizar un aislamiento deficiente obliga a las personas a aumentar su porcentaje de gasto para encontrar su confort ambiental dentro de la vivienda por ello es de gran importancia una buena aislación perimetral.

Chile en los últimos años ha bajado la demanda de energía en calefacción gracias a la implementación de la reglamentación térmica contenida en el artículo 4.1.10 de la OGUC, donde también existen aún viviendas con malas condiciones en el ámbito de aislación.

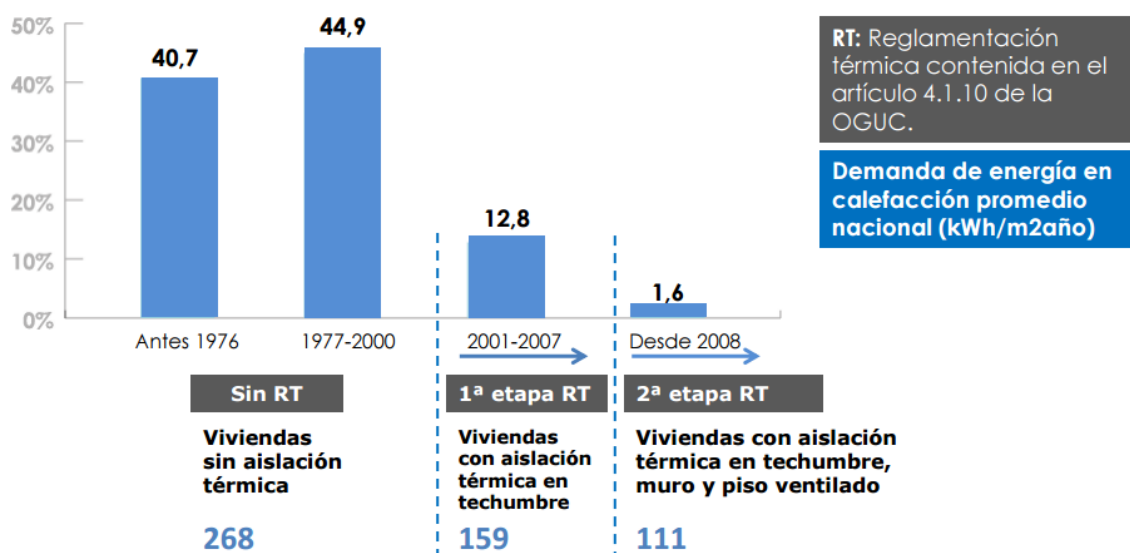


Figura 2.1.- Expectativas de demanda de energía en calefacción promedio nacional

Fuente: MINVU

La poca eficiencia energética de estas viviendas está relacionada con las pérdidas de energía que presenta la envolvente de la vivienda donde la RT arquitectura - Inspección Técnica de Edificios efectuó diversos estudios llegando a la conclusión de que las fachadas y cubiertas tiene mayor filtración de energía.

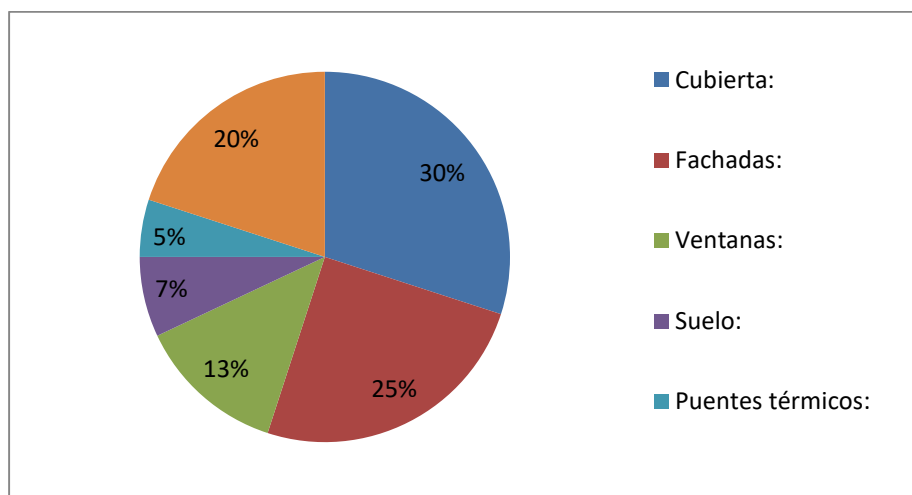


Figura 2.2.- Pérdidas de energía en viviendas

Fuente: rtarquitectura.com

Por lo que es de gran importancia el uso de materiales que contribuyen a la nula pérdida de energía y así obtener una vivienda energéticamente eficiente.

2.2 Chile y la eficiencia energética

El consumo final de energía entre los años 1991 y 2011 aumentó un 122%, y aun así Chile está lejos de los consumos que tienen países desarrollados(Ministerio de energía, 2011).Por ello Chile, si quiere llevar un crecimiento sostenido, requiere de mayor energía para concretarlo. Por lo tanto, se debe enfrentar con un suministro de energía eficiente y confiable para los siguientes años.

La edificación comercial, pública 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, proveniente principalmente del uso de la leña (46,9%), derivados de petróleo (19,8%) y consumo eléctrico (24,9%)(Balance Nacional de Energía , 2013).

Industrial – minero	38%
Transporte	33%
Residencial – público – comercial	26%
Energético	3%

Tabla 2.1.- Consumo de energía promedio nacional

Fuente: BNE, 2010

Donde el 26% de energía que consume el sector residencial-comercial público, el 79% es consumo residencial.

Estos consumos energéticos son utilizados a nivel del país como muestra la figura 2.3.

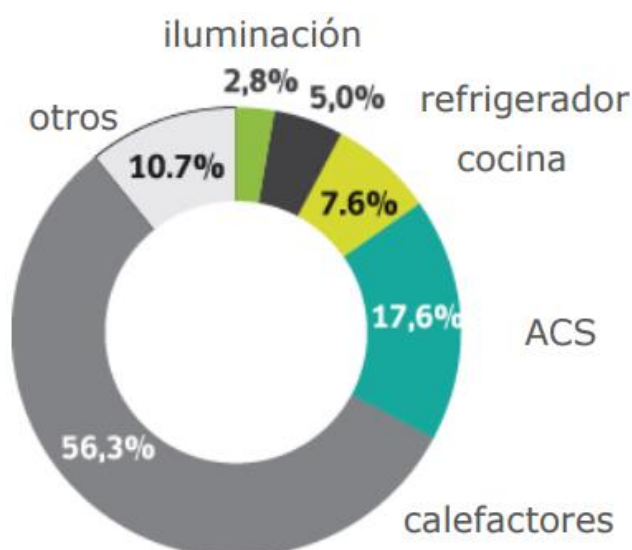


Figura 2.3.- Consumo de energía en viviendas

Fuente: Comisión Nacional de energía 2012

Se observa en la figura 2.3 que el mayor consumo de energía a nivel residencial es asignado a la calefacción con un 56,3% del consumo total, donde su funcionalidad es mantener un confort en el interior de la vivienda, que puede ser mayor en viviendas malas aisladas.

La eficiencia energética ayudaría 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 efecto invernadero. Adicionalmente, contribuye a incrementar la competitividad del país, al tener menores costos de producción. Por todo lo anterior, la Estrategia Nacional de Energía establece que el crecimiento con eficiencia energética será una política de Estado (Ministerio De Energía, 2013).

¿QUÉ ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA? La eficiencia energética se puede entender de diversas formas: es usar bien la energía, es ahorrar energía sin perder en calidad de vida o en calidad de producción y también es la optimización de la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.

2.3 Aislación Térmica

Este concepto está 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 $\text{W/m}^2 \times \text{K}$. Se considera material aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica: es inferior a $0,10 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ medido a 23°C (Ramírez, 2012).

Todos los materiales que representan mayores características en aislación, son materiales que se conforman de aire en su estructura interior. La norma NCH 853 Of 91 entrega los valores de conductividad térmica de distintos tipos de materiales como se muestra en la tabla 2.2.

Material	Densidad aparente kg/m^3	Conductividad térmica, λ $\text{W/(m} \cdot \text{K)}$
Mortero de cemento	2 000	1,40
Papel	1 000	0,13
Perlita expandida	90	0,050
Plancha de corcho	100	0,040
	200	0,047
	300	0,058
	400	0,066
	500	0,074
Plomo	11 300	35
Poliestireno expandido	10	0,0430
	15	0,0413
	20	0,0384
	30	0,0361
Poliuretano expandido	25	0,0272
	30	0,0262
	40	0,0250
	45	0,0245
	60	0,0254
	70	0,0274
Vidrio plano	2 500	1,2
Yeso-cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31

Tabla 2.2.- Materiales aislantes, densidad aparente y conductividad térmica (Fuente: Nch 853 of 91)

2.4 Propiedades de aislación de las fibras vegetales y sintéticas

Un factor determinante en la eficiencia energética de un edificio es el diseño y la calidad en la fabricación de la fachada o envoltente. El aislamiento térmico de dicha fachada es uno de los componentes que tiene mayor impacto sobre la eficiencia energética. Como parte de la preocupación por el medio ambiente, los aislamientos térmicos naturales se están convirtiendo en una alternativa, cada vez más atractiva, para cualquier país.

Con la popularidad de la construcción ecológica y sostenible, que continúa creciendo, se encuentran en el mercado un número cada vez mayor de aislamientos térmicos fabricados con materiales naturales. Dichos materiales provienen principalmente del reino vegetal y animal, y de materiales reciclados(Montalvo, 2015).

Los aislantes con fibras vegetales dependiendo su calidad, naturaleza, espesor y método de colocación tendrá beneficios hacia el medio ambiente para aislar térmicamente o acústicamente.

Tipos de Aislantes Naturales	Conductividad termica (W/m·K)
Lana de vidrio	0,035
Celulosa	0,039
Algodón	0,04
Corcho	0,045
Agrofibras	0,05
Vidrio celular	0,05
Fibras de la madera	0,06
Lana de madera	0,09

Tabla 2.3.- Materiales aislantes y su conductividad térmica.

Fuente: Javier de mena, 2014

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(Mena, 2014).

Las fibras vegetales presentan prelación productiva ya que tiene bajo costo de adquisición y facilidad de procesamiento de acuerdo a su disponibilidad. Estas ventajas productivas y ambientales facilitan su utilización como alternativa para impulsar el uso nacional de recursos naturales y la preservación ambiental. Al contrario de las fibras sintéticas tienen un mayor costo de producción y no ayuda de forma óptima hacia el medio ambiente, por lo que solo tendrá beneficios al utilizarlo para mejorar las prestaciones aisladoras.

2.4.1 Aislante fibra de celulosa

Se encuentran varios estudios o investigaciones sobre aislantes desarrollados con fibra celulosa, una de ellas se ejecutó por Luis Vargas Robles tesista de la Universidad de Colima, México, el cual origino un material aislante fabricado con papel periódico triturado y cal hidratada donde origino un panel de 0,20 x 0,15 x 0,025m. Se determinó su conductividad térmica de acuerdo con la norma ASTM C-177. Obteniendo los datos visualizados en la tabla 2.4.

Ficha Técnica	
Densidad	592 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0,132 (W/m·K)
Resistencia térmica	0,189 (m ² ·K/W)

Tabla 2.4.- Ficha técnica, aislador con fibra de celulosa.

Fuente: (Robles, 2007)

2.4.2 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). Sus propiedades térmicas se encuentran en la tabla 2.5.

Ficha Técnica	
Aglomerado	
Densidad	220 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0,045 (W/m·K)
Resistencia térmica	0,44 (m ² ·K/W)
Ficha Técnica	
Granulado	
Densidad	80 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0,050 (W/m·K)
Resistencia térmica	0,40 (m ² ·K/W)

Tabla 2.5.- Ficha técnica, aislador con fibra de corcho.

Fuente: (Ecork, 2010)

2.4.3 Aislante de rastrojos de maíz

En la Universidad del Bio Bio en el año 2012 se realizó un estudio de este aislante, donde consistió en utilizar desechos de maíz debido a su alta disponibilidad en la zona sur del país, el cual se utilizó probetas de 30 x 30 cm con un espesor de 5 cm, analizando su conductividad térmica por el método del anillo de guarda mediante la Norma Chilena NCH850 of 83. Las propiedades térmicas están en la tabla 2.6.

Rastrojos de maíz	
Ficha Técnica	
Densidad	135 Kg/m ³
Conductividad térmica	0,032(W/m·K)
Resistencia térmica	1,56 (m ² ·K/W)

Tabla 2.6.- Ficha técnica, aislador con fibra rastrojos de maíz.

Fuente: (Lavin, 2012)

2.4.4 Aislante espuma de poliuretano

La espuma de Poliuretano tiene una gran cantidad de los 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 Poliuretano lo convierten en un material en que el la onda de sonido puede ser absorbida. Esta absorción es por medio de la composición molecular que atrapa parte de la energía de la onda de sonido debilitando su intensidad(Espinoza, Estudio de Comportamiento Acústico en Panel Compuesto EPS.PUR.EPS, 2014).

Jorge Andrés Cataldo Espinoza ocupo un panel de espuma de poliuretano de 61x122 cm en donde sus propiedades térmicas están reflejadas en la tabla 2.7.

Ficha Técnica	
Densidad	28 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0,036 (W/m·K)
Resistencia térmica	1,38 (m ² ·K/W)

Tabla 2.7.- Ficha técnica, aislador espuma de poliuretano.

Fuente: (Espinoza, Estudio de Comportamiento Acústico en Panel Compuesto EPS.PUR.EPS, 2014)

2.4.5 Aislante Lana de vidrio

Es un producto compuesto con 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, es decir, posee un alto Coeficiente de Resistencia Térmica(Sonoflex).

Sonoflex ocupo un panel de dimensión de 120x60 cm con un espesor nominal de 50mm y sus propiedades térmicas son visualizadas en la tabla 2.8.

Ficha Técnica	
Densidad	32 (Kg/m ³)
Conductividad térmica	0,033 (W/m·K)
Resistencia térmica	1,5 (m ² ·K/W)

Tabla 2.8.- Ficha técnica, aislador Lana de vidrio.

Fuente: Sonoflex.

2.4.6 Aislante sistema poligyp

El sistema de revestimiento poligyp mejora la aislación térmica de los muros de hormigón de una vivienda ya sea nueva o antigua, está compuesto de una placa de yeso-cartón a la cual se le adhiere una placa de poliestireno expandido de 15 kg/m³, sistema que va desde 10 mm hasta 70 mm de espesor dependiendo de la zona geográfica en la que será empleada.

Su uso es en revestimiento de muros perimetrales de viviendas ya sea de hormigón armado o albañilería. Debido a sus características disminuye los puentes térmicos en los muros de las edificaciones.

Sus propiedades térmicas se muestran en la tabla 2.9:

Espesor de la placa de yeso-cartón(mm)	Espesor de la placa de poliestireno expandido(mm)	Peso (kg/m ²)	Resistencia Termica (m ² ·K/W)
10	10	7	0,2824
10	15	7,1	1,4043
10	20	7,2	0,5263
10	30	7,4	0,7702
10	40	7,6	1,0141
10	50	7,8	1,258
10	60	8	1,5019

Tabla 2.9.- Ficha técnica, Revestimiento sistema poligyp.

Fuente: Romeral.cl

Los materiales seleccionados para el uso de comparación con sus respectivas propiedades son aquellos con más uso en la construcción por lo que es de gran ayuda para comparar con los resultados del panel propuesto en base a yeso cartón, espuma de poliuretano y corcho.

2.5 Conductividad térmica

La norma Chilena NCH 853 of 91, define la conductividad termica a la capacidad de los elementos de transferir el movimiento cinético de sus moléculas o a elementos cercanos, es decir las moléculas pasan de su estado de inercia o reposo y adquieren un movimiento cinético provocado por aumento de temperatura.

La transferencia de calor se produce en mayor proporción en los materiales con alta conductividad térmica con respecto a aquellos con baja conductividad térmica. Los materiales con baja conductividad térmica se usan como aislante térmico.

El coeficiente de transmisión térmica, denominado en la norma como K_e se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

K_e = Coeficiente de transmisión térmica

ϕ = Potencia entregada

A = Area del elemento estudiado

T2= Temperatura de la zona afectada por la fuente calórica

T1= Temperatura de la zona que no está afectada por la fuente calórica.

(Ec. 2.1)

2.6 Resistencia térmica

Es la propiedad del material del elemento de oponerse al paso del calor. Ésta resistencia térmica depende de su conductividad térmica que tenga el material y su espesor, donde se ve expresado en la siguiente fórmula:

$$R: \frac{e}{\lambda} \left[\frac{m^2 \times k}{w} \right] \text{ (Ec. 2.2)}$$

Donde:

e: Espesor del material [m]

λ : Conductividad térmica del material [W/mK]

Por lo que al utilizar materiales con menor conductividad ósea mejor aislantes, se necesita tener un menor espesor.

En la tabla 2.10, se presentara un cuadro resumen de la conductividad y resistencia térmica de los distintos tipos de aislantes de fibra naturales y sintéticas propuestos en las investigaciones.

Aislantes de fibra natural	Conductividad térmica (W/m·K)	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
Celulosa	0,132	0,189
Corcho	0,045-0,050	0,44-0,40
Aislantes de fibra sintética		
Lana de vidrio	0,033	1,5
Espuma de poliuretano	0,036	1,38

Tabla 2.10.- Resumen de las propiedades térmicas de aislantes de fibras naturales y sintéticas.

Fuente: Elaboración propia

2.7 Transmitancia térmica

La transmitancia térmica se define como el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento (Reyna, 2014). Por lo tanto, su unidad en el Sistema Métrico Decimal es $W/(m^2 \cdot K)$, Watt por metro cuadrado por Kelvin.

Es 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.

$$U: \frac{1}{R} \left[\frac{W}{m^2 \times K} \right] \text{ (Ec. 2.3)}$$

R: Resistencia térmica total

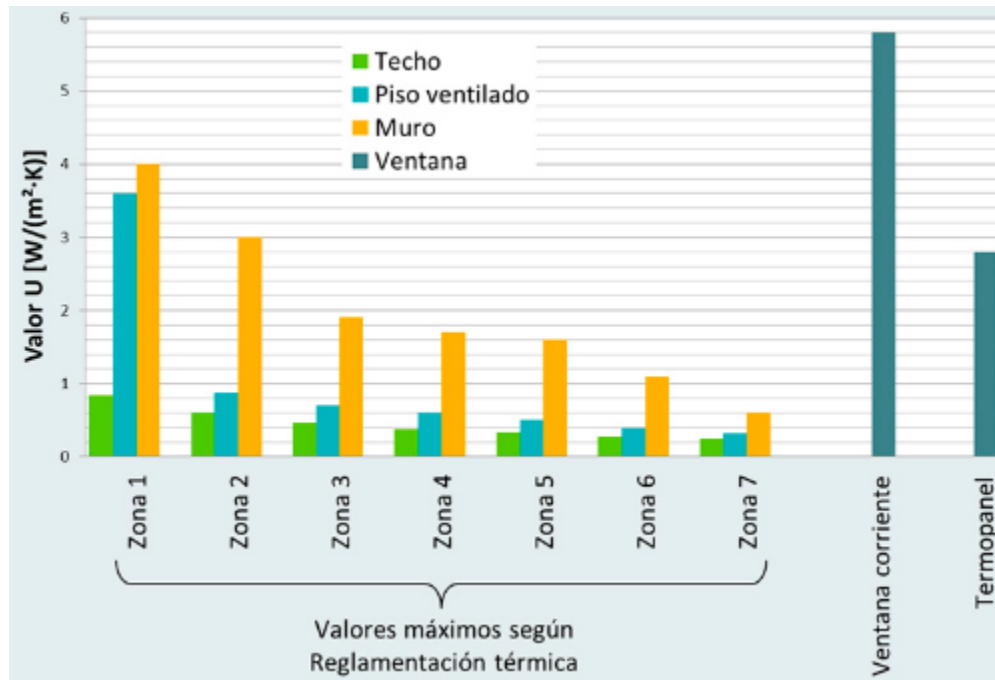


Figura 2.4.- Trasmisancia térmica según la reglamentación térmica chilena.

Fuente: MINVU

2.8 Confort térmico

Es una sensación de equilibrio de las personas con el ambiente térmico que lo rodea, o bien según la norma ISO7730 el “confort térmico es una condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico”.

Esto depende de varios parámetros externos, como la temperatura del aire, la velocidad del aire, humedad relativa entre otros. También otros influyentes serían la actividad física desarrollada por el individuo, cantidad de ropa o el propio metabolismo.

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

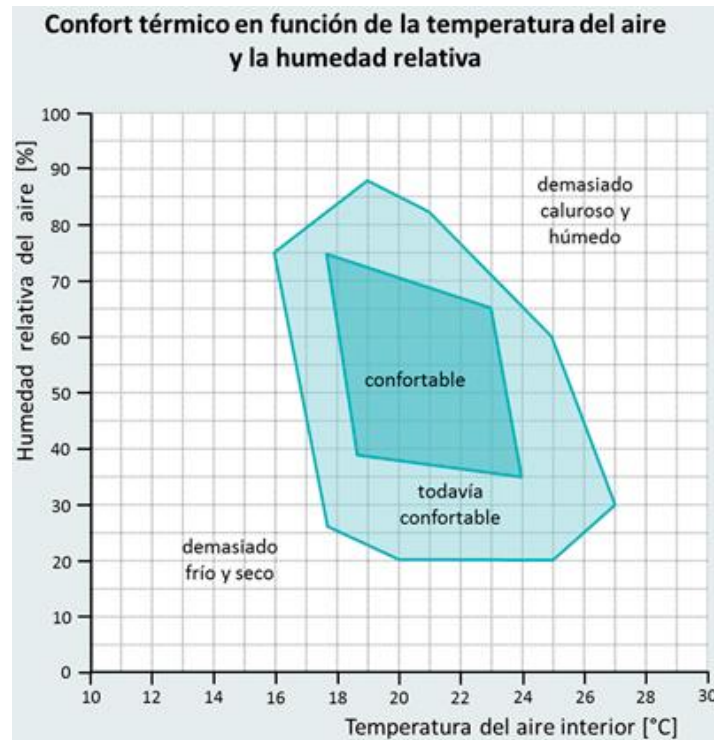


Figura 2.5.- Confort térmico

Fuente: arquitecturayenergia.cl

2.9 Acondicionamiento térmico en edificación

2.9.1 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). En una primera etapa que entró en aplicación en marzo de ese año, se definieron exigencias de transmitancia térmica máxima (o resistencia térmica total mínima) para el complejo de techumbre de viviendas, haciendo disminuir en forma significativa las pérdidas de calor a través de este elemento de la envolvente. Con ello se mejoró notoriamente el comportamiento térmico de las viviendas, en especial en períodos de invierno, con alto impacto en la vivienda social y sus ocupantes (CNE, 2009).

En una segunda etapa de esta Reglamentación Térmica, complementaria con la anterior y vigente desde inicios de 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).

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

Figura 2.6.- Zonas térmicas con su resistencia térmica.

Fuente: Artículo 4.1.10 reglamentación térmica.

Las 7 Zonas Térmicas se definieron en base al criterio de los Grados Día de Calefacción anuales, los que se estimaron para las diferentes regiones del país, haciendo uso de información meteorológica.

2.9.2 Concepto de Grados-día de calefacción y su relación con la Zonificación térmica de la RT

En concepto de Grados-Día (gd) de calefacción se representa en la figura, en la que la zona achurada corresponde a los gd de calefacción del lugar, en que se tienen las temperaturas medias diarias graficadas en la figura.

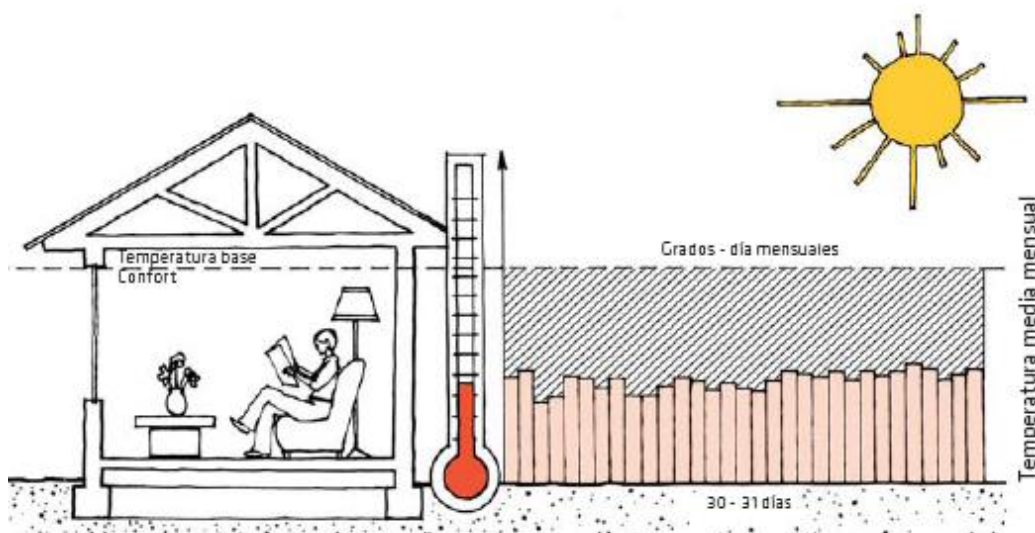


Figura 2.7.- Concepto grado-día

Fuente: Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica

Ello indica que los gd de calefacción están directamente relacionados con las demandas de energía que la vivienda requiere en el período considerado (en la figura se refiere al mes), para lograr la temperatura interior base.

En el caso de la zonificación térmica de la reglamentación térmica, para la estimación de los gd se tomó como base de temperatura interior 15°C, bajo el supuesto de que lo que resta para alcanzar confort de 18 a 20°C es aportado por las ganancias internas (personas, electrodomésticos, iluminación artificial y otros) y las ganancias solares. Para esta zonificación se determinaron grados-día anuales(CNE, 2009).

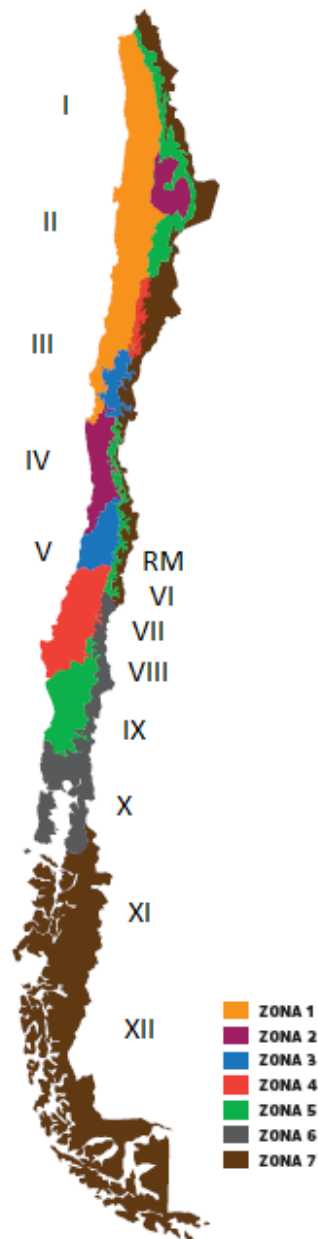


Figura 2.8.- Zonificación térmica de la RT
Fuente: Elaboración propia según mart.cl

2.10 Aislación acústica

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. Por lo tanto 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.J.P, 2012).

Materiales Acústicos del Mercado (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Espuma de poliuretano de 35 mm (Fonac)	0.11	0.14	0.36	0.82	0.90	0.97
Espuma de poliuretano de 50 mm (Fonac)	0.15	0.25	0.50	0.94	0.92	0.99
Espuma de poliuretano de 75 mm (Fonac)	0.17	0.44	0.99	1.00	1.00	1.00
Espuma de poliuretano de 35 mm (Sonex)	0.06	0.20	0.45	0.71	0.95	0.89
Espuma de poliuretano de 50 mm (Sonex)	0.07	0.32	0.72	0.88	0.97	1.00
Espuma de poliuretano de 75 mm (Sonex)	0.13	0.53	0.90	1.00	1.00	1.00
Lana de vidrio de 14 kg/m ³ y 25 mm de espesor	0.15	0.25	0.40	0.50	0.65	0.70
Lana de vidrio de 14 kg/m ³ y 50 mm de espesor	0.25	0.45	0.70	0.80	0.85	0.85
Lana de vidrio de 35 kg/m ³ y 25 mm de espesor	0.20	0.40	0.80	0.90	1.00	1.00
Lana de vidrio de 35 kg/m ³ y 50 mm de espesor	0.30	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00

Figura 2.9.- Coeficiente de absorción acústica de materiales aislantes.

Fuente: sonoflex.com

2.11 Propiedades de ondas sonoras

2.11.1 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).

2.11.2 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).

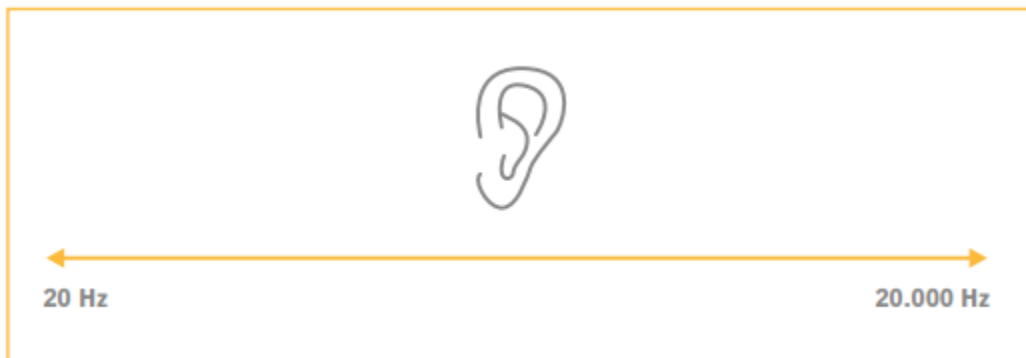


Figura 2.10.- Rango audible de frecuencias para oído humano.

Fuente: (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).

Según la Nch 2786 of 2002 se utilizaran las frecuencias de bandas de octavas (Hz), para el ensayo acústico que se ejercerá en el laboratorio de docencia ubicado en Playa ancha, Valparaíso.

2.12 Sonido

El sonido está producido 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).

La tabla 2.8 muestra las velocidades de propagación del sonido en distintos medios. Están han sido medidas en condiciones normales de presión 1 atmósfera con temperatura 20 y 25°C.

Estado	Medio	Velocidad (m/s)
Gaseoso	Aire (a 20°C)	340
	Hidrógeno (a 0°C)	1286
	Oxígeno (a 0°C)	317
	Helio (a 0°C)	972
Líquido	Agua (a 25°C)	1493
	Agua de mar (a 25°C)	1533
Sólido	Aluminio	5100
	Cobre	3560
	Hierro	5130
	Plomo	1322
	Caucho	54

Figura 2.11.- Velocidades de propagación del sonido.

Fuente: Sonen Acústica 2013.

2.9 Ruido

El ruido es sonido no deseado, y en la actualidad se encuentra entre los contaminantes más invasivos. El problema con el ruido no es únicamente que sea no deseado, sino también que afecta negativamente la salud y el bienestar humanos. El ruido ha sido estudiado desde diferentes puntos de vista en función de las lesiones que puede ocasionar tales como: alteraciones fisiológicas, psicológicas e incluso sociológicas, encontrándose entre ellas la hipoacusia, la depresión, el estrés, la irritabilidad ante la familia o la sociedad ((Casal, 1985)).

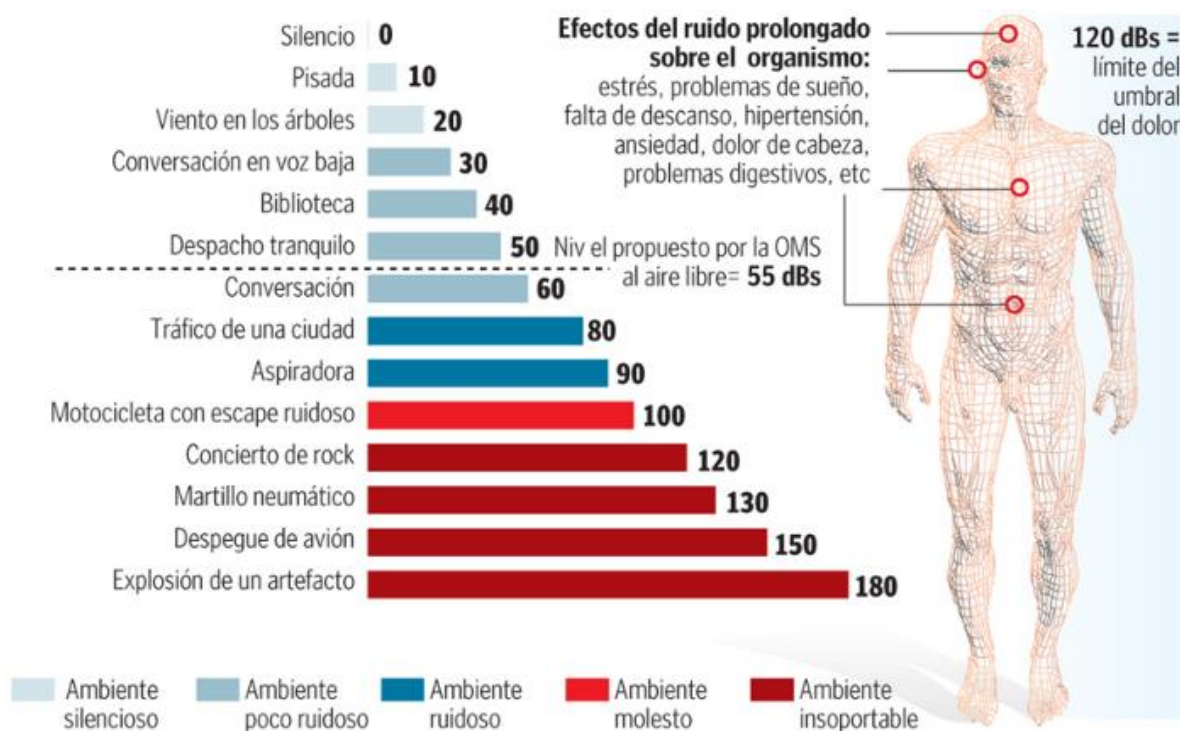


Figura 2.12.- Salud y niveles de ruido.

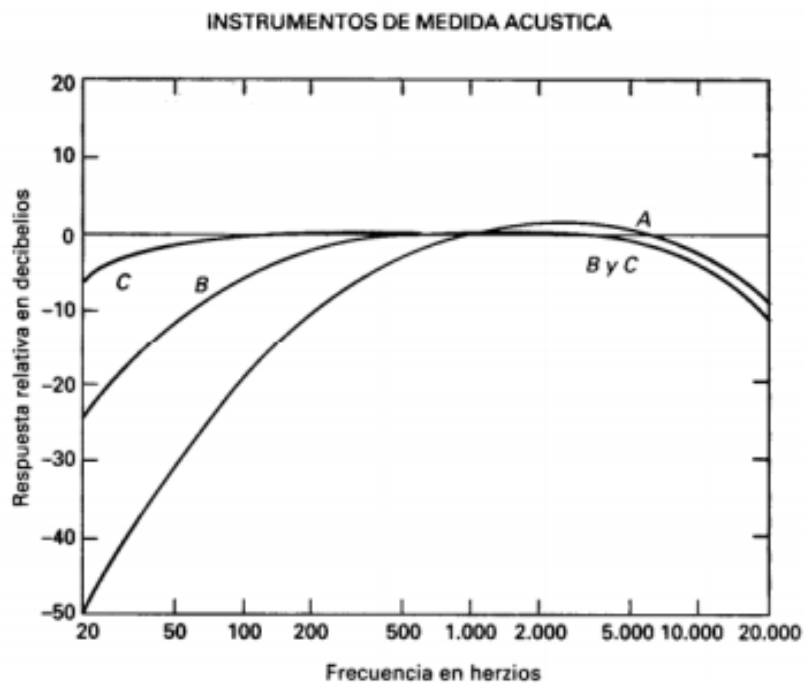
Fuente: Organización mundial de la salud.

2.10 Medición del campo sonoro

La percepción del sonido por el oído humano es un fenómeno complejo, que depende de la frecuencia y del nivel de presión sonora de la onda sonora.

El instrumento a utilizar es el sonómetro, donde permite conocer el nivel de presión acústica instantáneo o durante un periodo de tiempo. se utiliza un sistema de medición conveniente, las curvas de ponderación "A, B, C". La escala **A** está pensada como atenuación al oído cuando soporta niveles de presión sonora bajos (<55dB) a las distintas frecuencias. La escala **B** representa la atenuación para niveles intermedios (55-85 dB) y la **C** para altos (>85 dB). La **D** está pensada para muy altos niveles de presión sonora.

- Curva **A**, se aproxima a la curva de audición de baja sensibilidad.
- Curva **B**, se aproxima a la curva de audición de media sensibilidad.
- Curva **C**, se aproxima a la curva de audición de alta sensibilidad.



Figuras 2.13.- Respuesta de Frecuencias a las Distintas Redes de Ponderación.

Fuente: (Truax, 1999)

Curva de ponderación	Rango de Sonidos permitidos	Rango de (dB)
Curva A	Sonidos Débiles	< 55
Curva B	Sonidos Moderados	55 – 85
Curva C	Sonidos intensos	>85

Tablas 2.11.- Rango de sonidos permitidos

Fuente:(Truax, 1999)

2.11 Confort acústico

El confort acústico forma parte del confort ambiental; sin embargo, es uno de los temas todavía poco desarrollado. Aunque, en la mayoría de los textos de acústica no se hace referencia al mismo. El confort acústico se refiere a las sensaciones auditivas, tanto en contar con niveles sonoros adecuados (aspectos cuantitativos), como contar con una adecuada calidad sonora.

En cuanto a las contaminaciones, la acústica ha sido estudiado en gran envergadura ya que es uno de los principales factores de contaminación en el mundo, donde para fines de este estudio se plantea que <<la expresión contaminación acústica no solo tiene plena vigencia, si no que ha dado lugar a estudios para su conocimiento y delimitación, y a políticas y legislaciones para combatirlas>>(Garrido, 2003).

Marco Vitrubio fue la primera persona que realizo las primeras investigaciones acerca de la acústica arquitectónica de los diferentes teatros romanos, entre sus primeros desarrollos se encuentra el uso de vasijas de cobre colocadas en sitios estratégicos para que actuaran como resonadores y a su vez para redirigir el sonido(Antoni, 2001).

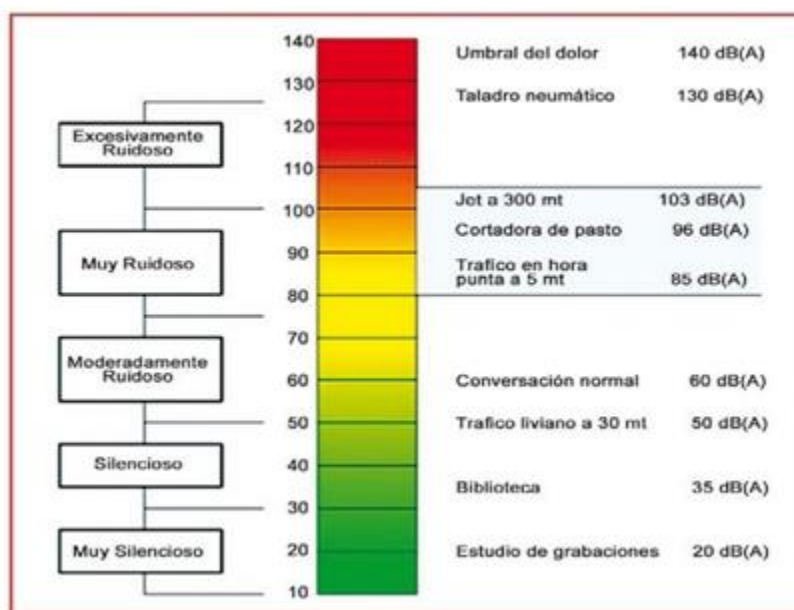


Figura 2.14.- Valores Confort Acústico (Fuente: (Acustec.cl, 2010)).

2.12 Acondicionamiento acústico

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

Los problemas acústicos en recintos de viviendas provienen de:

- Ruidos aéreo exterior
- Ruidos aéreo interior
- Ruido de impacto en muros y pisos
- Ruido por vibraciones en equipos

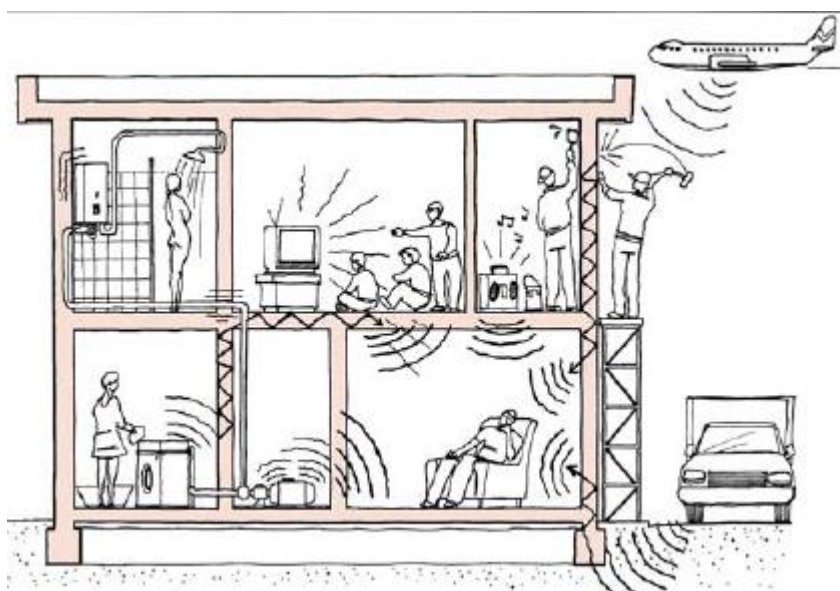


Figura 2.15.- Problema acústico en una vivienda
Fuente:(Minvu, 2009)

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

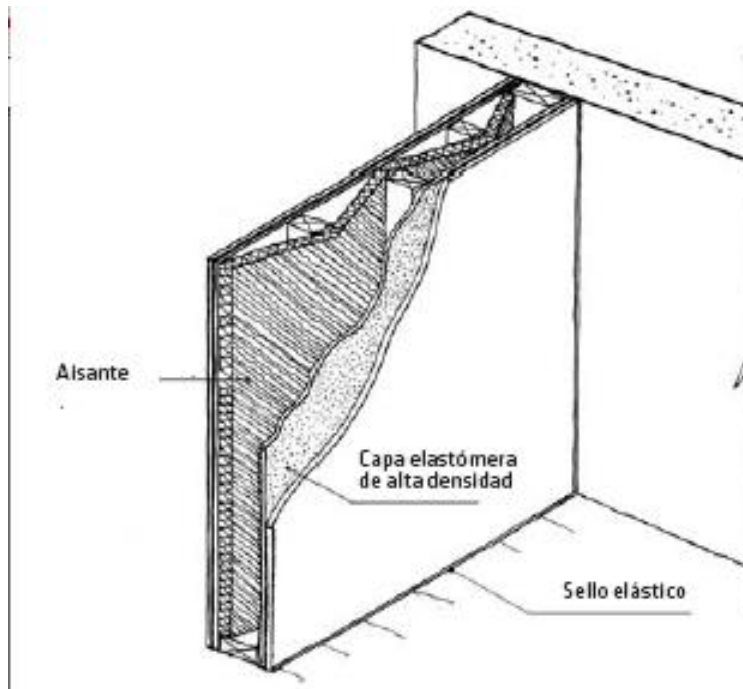


Figura 2.16.- Panel divisorio con aislamiento acústico.
Fuente: (Minvu, 2009)

La aislación acústica al ruido aéreo real medido en obra se encontraba muy por debajo de los requerimientos establecidos. Considerando un ruido exterior de 70 dB(A), la aislación acústica al ruido aéreo de las viviendas en estudio debe mejorarse entre 9 a 18 dB(A) con el fin de proporcionar 40 dB(A) de ruido interior durante el día, el cual es considerado un nivel satisfactorio (CNE, 2009).

El nivel de ruido resultante al interior de la vivienda depende del nivel de ruido exterior y de la capacidad aislante de su envolvente.

La envolvente la componen todos los elementos que se interponen entre el exterior e interior de la vivienda, vale decir: muros y elementos estructurales, ventanas, puertas, antepechos, tabiques al exterior, techumbres y losas de techo, etc.

La NCh 352 establece en la Tabla 1: "Construcciones de uso habitacional" los siguientes requisitos que debieran cumplir las construcciones de uso habitacional los siguientes los elementos:

Parámetro	Emisor	Receptor	NED, dB (A)	Requisitos dB (A)
A	Exterior	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	≤ 60 61-65 66-70 71-75 > 75	Aislación mínima: 20 25 30 35 NED-40
B	Vivienda contigua	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	n.a. ¹⁾	Aislación mínima: 45
C	Instalaciones sanitarias y mecánicas externas	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	n.a. ¹⁾	Nivel de ruido máximo: 40
D	Pasillo y escalera	Dormitorio o estar (recinto más expuesto)	n.a. ¹⁾	Aislación mínima: 30

Tabla 2.12.- Requisitos mínimos en construcciones de uso habitacional
Fuente: Nch 352 of 2000

2.13 Estudios de aislantes acústicos

En la Universidad Politécnica de Valencia, España, se realizó en el año 2008 un estudio de las características acústicas en una cámara acústica de diferentes materiales en la construcción. Entre los materiales que fueron ensayados fueron lana de vidrio y fibra de poliéster. Las dimensiones de las probetas ensayadas fueron de 30 x 30 cm, variando el espesor de las probetas, para así comprobar que masa tiene mayor aislación. Los resultados acústicos de las probetas de 1cm de espesor de lana de vidrio donde se pueden ver de manera gráfica en la figura 2.17.

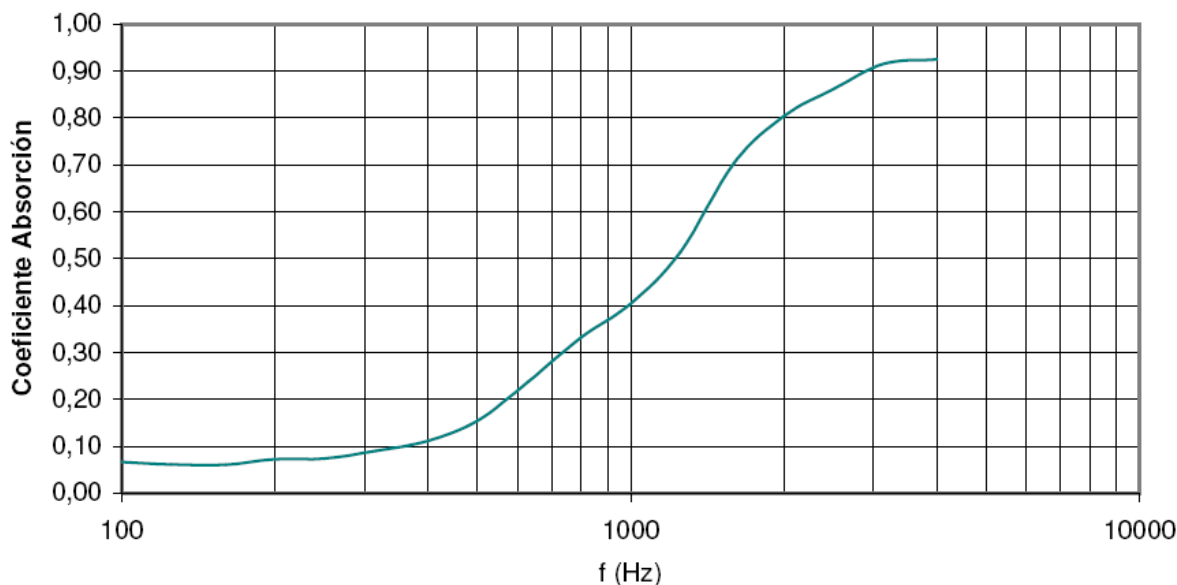


Figura 2.17.- Muestra de lana de vidrio 30x30x1 cm.
Fuente:(Sanchis, 2008).

Lana de vidrio		
Densidad (kg/m3)	espesor	Tipo
170	1	Fibroso

Tabla 2.13.- Característica de Lana de vidrio de 1mm
Fuente: Elaboración propia (Datos (Sanchis, 2008))

Los resultados de las probetas de 4 cm de espesor confeccionadas con lana de vidrio se pueden ver de una manera gráfica en la figura 2.18.

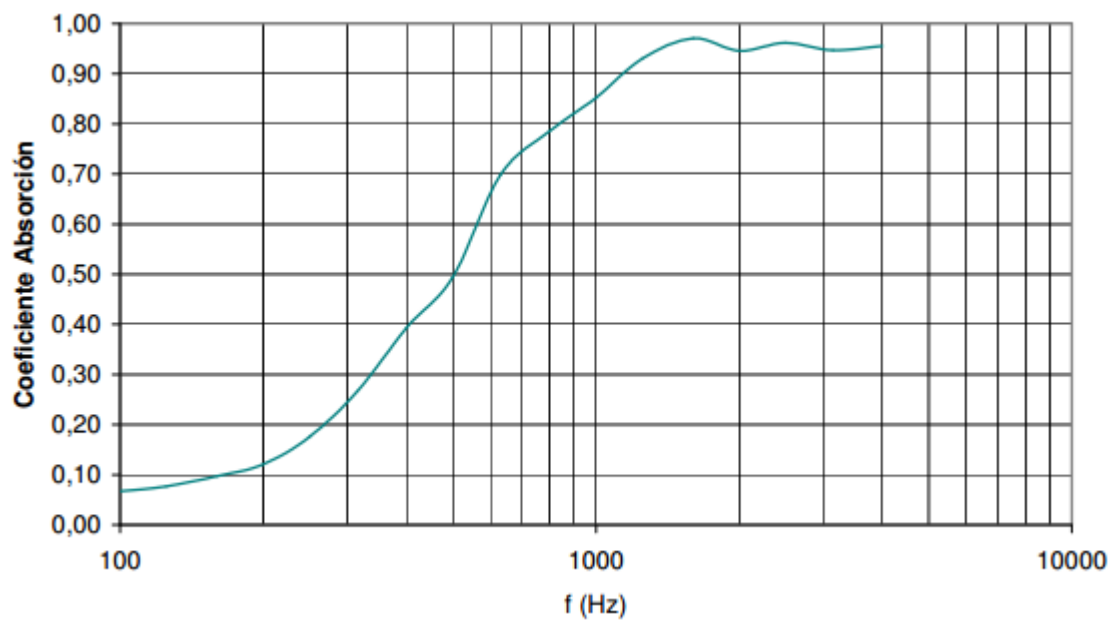


Figura 2.18.- Muestra de lana de vidrio 30x30x4 cm.
Fuente:(Sanchis, 2008).

Lana de vidrio		
Densidad (kg/m3)	espesor	Tipo
65	4	Fibroso

Tabla 2.14.- Característica de Lana de vidrio de 4mm
Fuente: Elaboración propia (Datos (Sanchis, 2008))

También se efectuó ensayos a fibras de poliéster donde al igual que a la lana mineral se ensayaron probetas de 3 cm de diferencia de espesor. Los resultados de la probeta de 1 cm de espesor se encuentran en la gráfica de la figura 2.19.

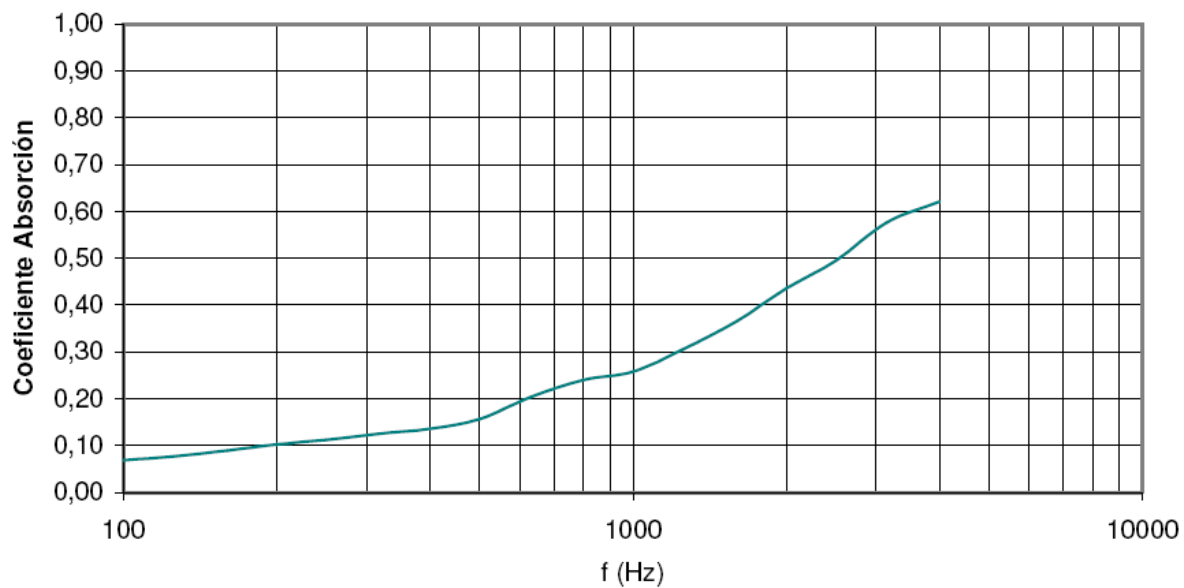


Figura 2.19.- Muestra de Fibra de poliéster 30x30x1 cm.
Fuente:(Sanchis, 2008).

Fibra de poliéster		
Densidad (kg/m3)	espesor	Tipo
40	1	Fibroso

Tabla 2.15.- Característica de fibra de poliéster de 1mm
Fuente: Elaboración propia (Datos (Sanchis, 2008))

Los resultados de la probeta de 4 cm de espesor confeccionadas con fibra de poliéster se pueden ver en la gráfica de la figura 2.20.

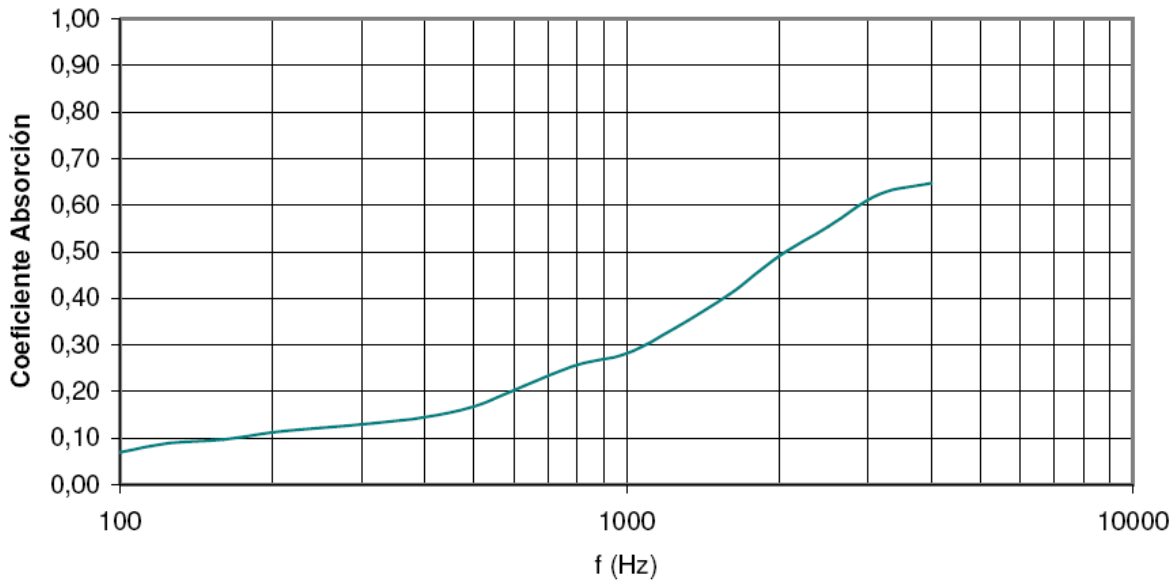


Figura 2.20.- Muestra de Fibra de poliéster 30x30x4 cm.
Fuente:(Sanchis, 2008).

Fibra de poliéster		
Densidad (kg/m3)	espesor	Tipo
70	4	Fibroso

Tabla 2.16.- Característica de fibra de poliéster de 4mm
Fuente: Elaboración propia (Datos (Sanchis, 2008))

Después de analizar las gráficas correspondientes a los diferentes espesores, en este estudio se pudo apreciar que existió un ligero aumento de aislación en las muestras cuando se aumentó el espesor del material. Así mismo el aislamiento de las muestras va en crecimiento conforme aumenta la frecuencia, obteniendo la mayor aislación entre los 1000 y 2000 Hz (Sanchis, 2008).

Dentro de esta investigación se determinaron limitaciones del equipo debido a sus dimensiones. Hay que recordar que los ensayos normalizados requieren recintos con volúmenes muy superiores de 10 m³. En donde se concluyó que estas limitaciones afectaban a las bajas frecuencias. Se ha establecido que los valores correspondientes a frecuencias inferiores a 100 Hz pueden no haber sido determinados correctamente(Sanchis, 2008).

2.14 Resistencia al fuego

La resistencia al fuego cumple con la función de que una solución constructiva, tolere en el tiempo la acción del fuego, en donde mayor sea el tiempo de disponibilidad, será mejor la prevención para las personas al luchar contra el fuego.

La NCh 935/1 Of 97 tiene por objetivo, establecer las condiciones de ensayo y criterios que permiten determinar la resistencia al fuego, para los elementos de construcción en general, tanto de uso vertical, como también de forma horizontal, en los edificios, excepto para las puertas y ventanas (CORMA, 2007).

La resistencia al fuego, se define como el tiempo durante el cual, el elemento constructivo es capaz de generar una pantalla contra las llamas, sin sobrepasar la temperatura superficial de la cara no expuesta, de 150°C, según la norma.

2.14.1 Acondicionamiento Ignifugo

Para realizar un diseño adecuado de viviendas resistentes y seguras a la acción del fuego, se debe tener presentes los parámetros definidos en los siguientes documentos legales y normativos:

- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).
- Listado oficial de elementos de construcción resistentes al fuego (Ministerio de la Vivienda).
- Normas nacionales relacionadas y en vigencia.

En general, las viviendas de madera no presentan un criterio de seguridad que permita lograr un razonable y adecuado comportamiento frente al fuego. Para lograr este objetivo, y como punto de inicio para el diseño, se debe atender a dos métodos de protección para las estructuras:

- Protección pasiva
- Protección activa

A) Protección pasiva

La protección pasiva de las estructuras consiste en reducir el riesgo de incendio a través de la utilización de componentes, materiales y elementos de construcción, que por sus características y propiedades reducen la generación de gases y limitan la propagación del fuego, retardando su acción durante un determinado lapso. De esta forma, se busca tener el tiempo necesario para efectuar una rápida evacuación o salvamento de los ocupantes de la vivienda, antes del eventual colapso de la estructura (CORMA, 2007).

Los materiales utilizados en los elementos de construcción que conforman una vivienda deben proporcionar una resistencia adecuada a la acción del fuego, de manera que contengan el avance de las llamas dentro de ella, y hacia construcciones vecinas.

B) Protección activa

Consiste en utilizar sistemas que, conectados a sensores o dispositivos de detección, entran en funcionamiento automáticamente frente a determinados rangos de partículas y temperatura del aire, descargando agentes extintores de fuego como agua, gases, espumas o polvos químicos (CORMA, 2007).

Estos sistemas se proyectan normalmente en edificios públicos, comerciales, oficinas y viviendas de dos pisos de madera de gran superficie.

2.14.2 Listado oficial de elementos constructivos resistentes al fuego

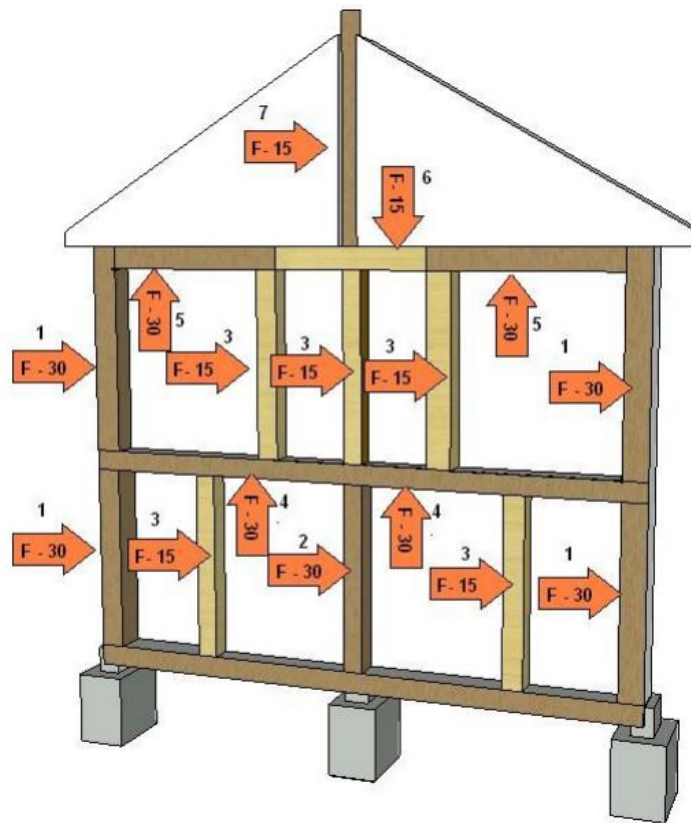
Corresponde a un listado de soluciones constructivas confeccionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, o por la entidad que éste determine, en el que se registran mediante valores representativos, las cualidades de los materiales, elementos y componentes utilizados en la construcción frente a la acción del fuego.

Donde se ejecuta la Nch 935 -1 of 1997 para ensayar los materiales y elementos de construcción para clasificar su resistencia al fuego de acuerdo a la siguiente tabla:

Clase F 0	duración	≥ 0	< 15
Clase F 15	duración	≥ 15	< 30
Clase F 30	duración	≥ 30	< 60
Clase F 60	duración	≥ 60	< 90
Clase F 90	duración	≥ 90	< 120
Clase F 120	duración	≥ 120	< 150
Clase F 150	duración	≥ 150	< 180
Clase F 180	duración	≥ 180	< 240
Clase F 240	duración	≥ 240	

Figura 2.21.- Clasificación resistencia al fuego.

Fuente: Nch 935 -1 of 1997



RESISTENCIA MINIMA RECOMENDADA PARA LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

1 TABIQUES SOPORTANTES PERIMETRALES	F - 30
2 TABIQUES SOPORTANTES INTERIORES	F - 30
3 TABIQUES AUTOSOPORTANTES	F - 15
4 ESTRUCTURA DE ENTREPISO	F - 30
5 CIELO RASO DE DORMITORIOS, ESTAR Y COCINA	F - 30
6 CIELO RASO DE PASILLOS Y BAÑOS	F - 15
7 TABIQUE DE BLOQUEO EN ENTRETECHO	F - 15

Figura 2.22.- Requerimiento mínimo de resistencia al fuego por tipo de elemento de construcción para viviendas.

Fuente: (CORMA, 2007)

A continuación se mostrará uno de las soluciones estructurales propuestas por el minvu que se determinó la resistencia al fuego de deba tener al ser utilizada como opción en una edificación.

Gyplac A – 60 mm

DESCRIPCION DE LA SOLUCION					
Elemento de construcción destinado a uso como muro divisorio de edificios, formado por una estructura metálica. Consta de cinco montantes verticales (pie-derechos), en perfiles de acero galvanizado tipo C, de 38 x 38 x 7 x 0,5 mm, distanciados entre ejes cada 0,55 m aproximadamente, y de dos soleras (Inferior y superior) de 40 x 20 x 0,5 mm. Esta estructuración está forrada por ambas caras con planchas de yeso-cartón Gyplac de Romeral, de 10 mm de espesor cada una. Las planchas están atornilladas a la estructura de acero. Tal configuración deja espacios libres en el interior del panel, los cuales están rellenos con lana mineral, cuya densidad media aparente es de 40 Kg/m ³ . El peso del elemento es de 101 kilogramos. Espesor total del elemento 60 mm.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL S.A.	233.451	IDIEM	24-03-98	F-15	2015

Figura 2.23.- Solución constructiva con la resistencia evaluada.

Fuente: (MINVU, Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y, 2014)

2.15 Elementos y materiales aislantes

2.15.1 Espuma de poliuretano

Hoy en día este material en Estados Unidos y Europa es altamente utilizado, donde la tendencia es en la instalación en el campo de la construcción, debido a sus propiedades de aislación térmica, que no se consigue con ningún otro material aislante ya que se debe a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de las celdas cerradas y rellena de aire. En Chile el poliuretano ha estado en utilización desde el año 2004. (Quiminet, 2011)

Además, no absorbe la humedad ambiental y prolonga la vida útil de los proyectos debido a su resistencia a la degradación biológica y a su capacidad de no dañarse por insectos y roedores.

En cuanto al comportamiento a altas temperaturas, el poliuretano, por ser un material termo endurecedor, en caso de fuego se endurece y carboniza, formando una costra protectora de los extractos internos de la espuma, que retarda la propagación del siniestro.

Este material a su vez tiene una densidad baja por lo que es muy ligero y resistente.

El poliuretano, en sus distintas presentaciones, se configura como una solución ideal de aislamiento por su muy baja conductividad térmica, que permite un mayor aislamiento con menor espesor de materiales, su facilidad de instalación, su fiabilidad y su durabilidad. El poliuretano aislante es una espuma rígida de celdas cerradas empleada en diversas aplicaciones en construcción tanto residencial como industrial. Este material se utiliza como aislante térmico en forma de espuma proyectada "in situ", por inyección, en forma de planchas en combinación con diversos revestimientos o en forma de panel sándwich. (Concha, 2016)

Los ejemplos de ubicaciones apropiadas para aplicar productos del aislamiento de espuma incluyen:

- Aislamiento de la losa o de la pared de los cimientos.
- Revestimiento exterior sobre los miembros de madera de apoyo de la pared.
- Formas en las cuales el concreto puede ser vertido.
- Como parte de un panel aislado estructural para las paredes y los techos.

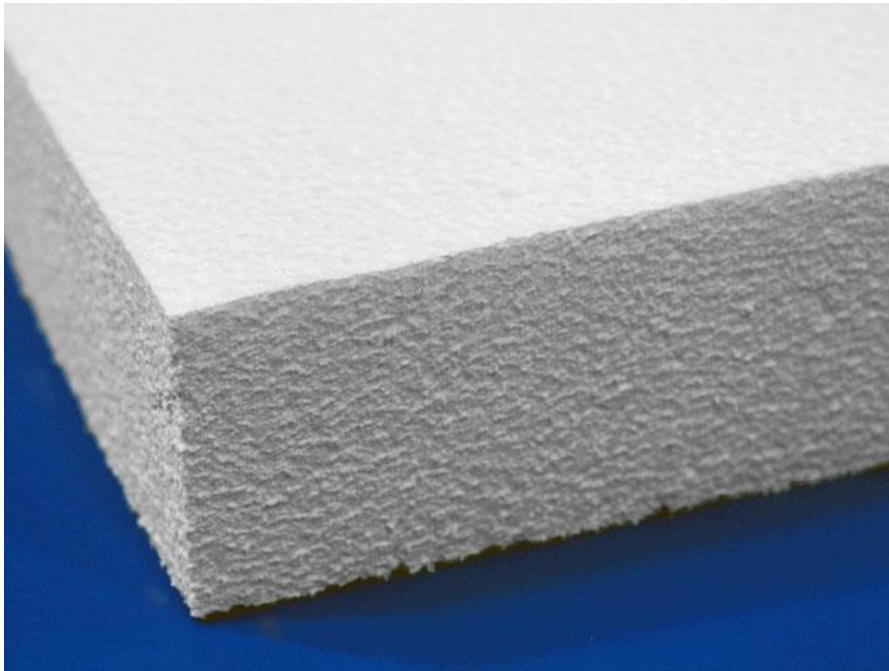


Figura 2.24.- Espuma de poliuretano

Fuente: mwmaterialsworld.com

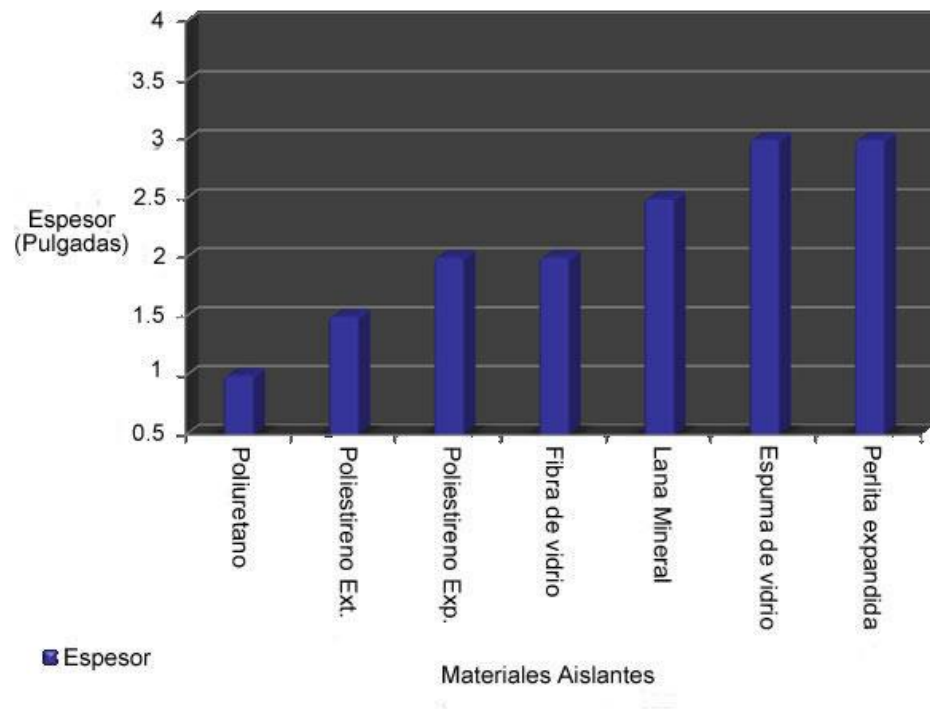


Figura 2.25.- Eficiencia térmica Espesor vs. Materiales aislantes
Fuente: (Quiminet, 2011)

Material	Factor K (*)
Poliuretano	0.021
Poliestireno Ext.	0.031
Poliestireno Exp.	0.036
Fibra de vidrio	0.036
Lana mineral	0.041
Espuma de vidrio	0.054
Perlita expandida	0.054

Tabla2.17.- Materiales aislantes y su conductividad térmica.
Fuente:(Quiminet, 2011)

Con un menor espesor la espuma de poliuretano tiene una menor conductividad térmica, siendo la más eficiente al colocarla en espacio pequeños.

2.15.2 Estudio de espuma de poliuretano

El año 2001 Cesar Díaz y Pedro Gonzales del Instituto de Ciencias de la Construcción de Madrid pusieron a prueba la espuma de poliuretano como aislamiento acústico de ruidos aéreos.

La metodología realizada para las pruebas fue con sonómetro y se realizaron mediciones en distintos sectores de una edificación del Instituto Eduardo Torroja y obtuvo los siguientes resultados expresados en la tabla 2.17 y figura 2.5. Este gráfico y tabla corresponde a las originales publicadas por el autor.

Frecuencia (Hz)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
100	26,9	32,1	33,5	38,1	30,6	37,3	39,4	40,2	34,0
125	32,3	33,5	34,3	37,4	34,9	34,3	39,2	38,8	34,4
160	28,5	31,5	32,3	31,8	34,7	40,5	41,8	37,0	31,5
200	30,7	35,2	34,7	37,4	35,8	38,5	43,1	38,3	32,4
250	31,6	33,5	34,8	36,8	35,3	40,1	43,1	41,2	30,7
315	27,6	33,9	34,6	38,0	36,6	42,9	42,9	41,6	32,6
400	32,4	39,5	39,4	40,8	40,7	46,6	47,1	42,8	29,6
500	36,7	43,7	43,0	45,8	44,7	49,5	51,1	43,0	27,6
630	38,4	46,5	47,0	49,5	47,7	53,0	53,2	43,8	25,8
800	39,2	48,5	48,7	52,0	49,6	53,8	54,5	44,4	25,9
1000	40,8	50,1	49,8	53,4	51,7	55,2	54,9	45,7	25,5
1250	42,5	51,3	51,3	54,1	51,8	55,1	55,6	46,1	27,3
1600	43,5	52,2	52,3	54,6	52,8	56,1	59,3	48,5	30,5
2000	44,6	54,3	54,1	55,9	52,0	58,0	58,9	51,4	33,6
2500	45,8	55,2	54,8	55,3	50,3	58,1	59,8	52,5	37,0
3150	45,9	56,4	55,1	53,9	48,8	59,5	61,9	54,7	39,2

Tabla 2.18.- Resultados de Mediciones Acústicas Estudio Instituto E. Torroja.

Fuente: Estudio Instituto Ciencias de la Construcción

Descripción

- S1. Manufactura de ladrillo.
- S2. Manufactura de ladrillo más dos centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de densidad 30 kg/m³.
- S3. Manufactura de ladrillo más tres centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.
- S4. Manufactura de ladrillo más cuatro centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.
- S5. Manufactura de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.
- S6. Manufactura de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de quince centímetros, más otra hoja de cartón yeso de un centímetro y medio fijado a perfiles metálicos.
- S7. Manufactura de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de quince centímetros con paneles de lana de roca incorporada de cuatro centímetros y densidad 100 kg/m³, más otra hoja de cartón yeso de un centímetro y medio soportada en perfiles metálicos.

- S8. Manufactura de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de cinco centímetros más panderete de cuatro centímetros más un centímetro y medio de enlucido de yeso por la cara vista.
- S9. Panderete de cuatro centímetros más un centímetro y medio de enlucido de yeso por la cara vista.

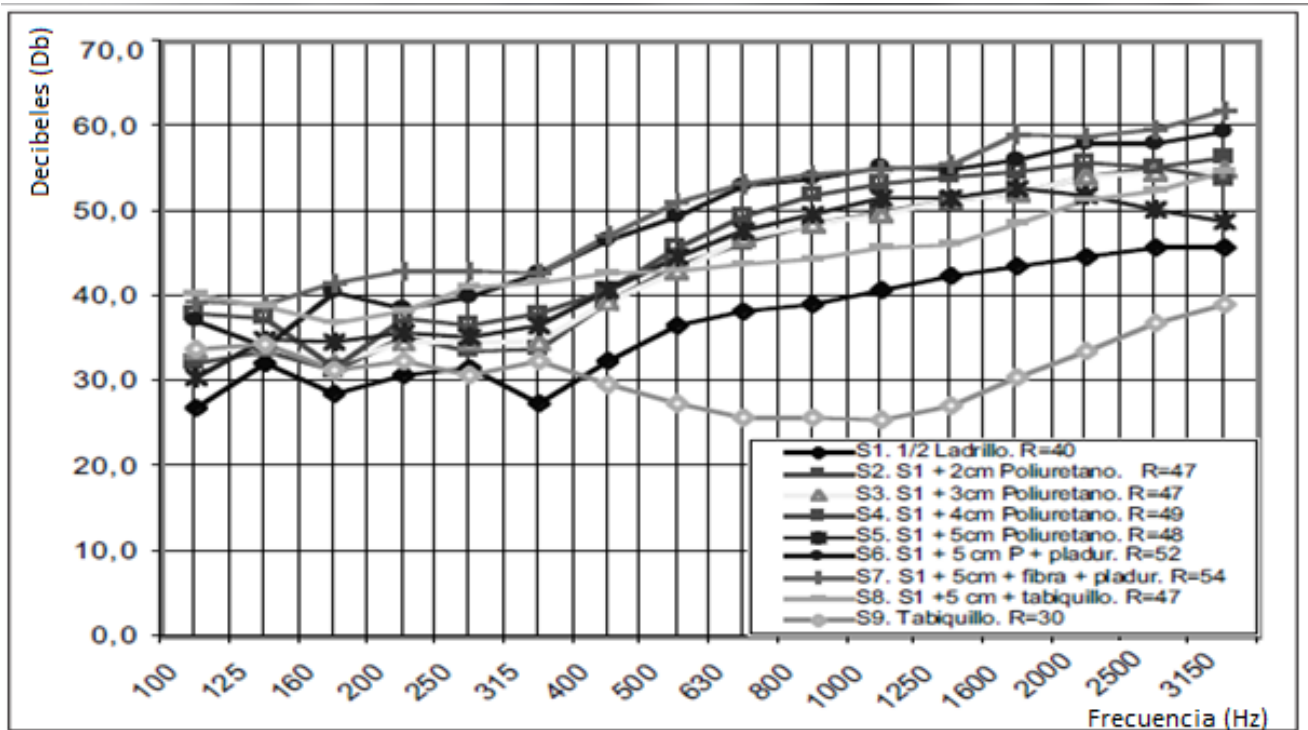


Figura 2.26.- Gráfico de Absorción Acústica en dB

(Fuente:(IETCC, 2001))

La espuma de poliuretano es relevante en la aislación de sonidos, es por ello que será utilizada como aislante y absorbente acústico dado sus prestaciones. Este estudio logra buenos datos de comportamientos acústicos los cuales son tomados en cuenta para el diseño tanto de la metodología de investigación, ensayos e interpretación de datos(Díaz Sanchidrián & Pedrero González, 2001).

Es por ello que por medio de esta experiencia la espuma de poliuretano al aumentar su espesor aumenta la capacidad de refracción y no tanta la de absorción por lo que el material si fuera utilizado en formas de alta densidad provocaría una refracción del sonido más que una absorción, por ello altas densidades evitan el traspaso de sonido pero con ello genera eco por lo que el sonido será refractado y no absorbido.(Díaz Sanchidrián & Pedrero González, 2001)

2.15.2 Yeso cartón

El yeso es un aglomerante que se obtiene de la deshidratación de la piedra yesera o alíjez, se deshidrata para hacer diferentes tipos de yesos y de nuevo se le añade agua para que fragüe y se transforme en material de construcción. El producto, el yeso, sigue siendo el mismo (Otero, 2005).

Una de las grandes ventajas y característica fundamental del yeso es su capacidad de aislamiento térmico. Este poder de aislamiento viene dado por su estructura porosa. Su coeficiente de penetración térmica (que está en función del coeficiente de conductividad térmica 0,038 w/mk, del calor específico y de la densidad) es muy bajo, similar al de los materiales considerados tradicionalmente como cálidos (madera, corcho, etc.) (Otero, 2005)

La placa de yeso-cartón es un elemento constructivo compuesto por yeso, aditivos y componentes especiales revestido en ambas caras con una lámina de cartón, es un elemento utilizado tanto en tabiques, como para revestimientos de espacios interiores.

Entre las propiedades del yeso cartón por lo que es utilizado para revestimiento es por su durabilidad y protección al fuego.

La reacción del yeso-cartón ante el fuego es de inercia total, es decir, completamente incombustible (A1). Hay que añadir que el yeso en esta reacción ante el fuego no emana gases tóxicos, sólo vapor de agua y deshidratado sigue funcionando.

	Densidad aparente (kg/m ³)	Conductividad termica(W/m•K)
Yeso Cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31

Tabla 2.19.- Propiedades térmicas del yeso cartón de diferentes densidades

Fuente: Nch853 Of 91

Es un material muy resistente al fuego; contiene un 20% de agua en su estructura que cuando se ve sometido a los efectos de un incendio, la evapora. Mientras el agua no está evaporada, la temperatura de la masa del yeso queda por debajo de los 140 °C.

Existen diferentes tipos de planchas de yeso-cartón las cuales están disponibles en placas estándar (ST) y las placas especiales como resistencia a la humedad (RH) y resistente al fuego (RF).

- Placas estándar (ST): se fabrican en diferentes largos, anchos y espesores y con borde biselado (BB) y borde rebajado (BR), están compuestas de un núcleo de yeso revestido en ambas caras por una lámina de cartón.

- Placa resistente a la humedad (RH): placa donde su núcleo de yeso tiene incorporado aditivos siliconados especiales que aumentan su resistencia a la humedad.
- Placa resistente al fuego (RF): placa de alta densidad de yeso cuyo núcleo contiene fibra de vidrio, lo cual aumenta su resistencia al fuego ya que las fibras de vidrio permiten retardar su colapso al someterlas al contacto con el fuego.

Hay distintos tipos de placas dependiendo de su característica, donde se presentan en la tabla 2.20.

Tipo		Espesor en mm.	Ancho en mm.	Largo en mm.	Tipo Borde Bisel./Reba.	Peso kg/m ²
Placa Standard	ST	8	1200	2400-3000	BB	6,5
	ST	10	1000-1200	2400-3000	BR	7,5
	ST	10	1200	2400-3000	BR	7,5
	ST	12,5	1200	2400-3000	BR	9,0
	ST	15	1200	2400-3000	BR	12
Duplex		25	600	2400-3000	BR	18
		30	600	2400	BR	24
Placa R.Humedad	RH	12,5	1200	2400-3000	BR	9,5
	RH	15	1200	2400-3000	BR	12,5
Placa R.Fuego	RF	12,5	1200	2400-3000	BR	11,5
	RF	15	1200	2400-3000	BR	13,5

Tabla 2.20.- Especificaciones técnicas de las placas de yeso-cartón.

Fuente: Knauf.cl

En este caso se ocupara el tipo de yeso cartón (ST) donde es una plancha compuesta por un núcleo de yeso y aditivos especiales, revestida en ambas caras por un cartón de alta resistencia de color gris. Se fabrica en diferentes espesores y largos (se ocupara de 10mm), con borde rebajado (para terminación con los productos Junta u otro tipo de junta invisible).

Las planchas de yeso cartón utilizadas cumplen con la Nch 146/1/2 Of. 2000 "Planchas o placas de yeso cartón – parte 1 - Requisitos". La Conductividad Térmica de las planchas es de 0.26 W/m°C.



Figura 2.27.- Yeso cartón

Fuente: Knauf.cl

2.15.3 Corcho

El corcho es un tejido vegetal formado por células, en forma de un poliedro regular de 14 caras, donde es obtenido de la corteza exterior del alcornoque.

Por supuesto, el corcho es un material ecológico renovable, éste permite fabricar paneles de corcho aglutinados con la propia resina del corcho, mediante un proceso de cocción.

Se puede utilizar como material de construcción por su gran capacidad como aislante térmico y alcanza propiedades aislantes muy altas ocupando espacios pequeños. Por su enorme número de células rellenas de un gas muy parecido al aire, encerrado sin posibilidad de moverse, junto con su bajo poder de absorción de humedad, cumple con precisión requerimiento para ser un aislante de inmejorable calidad.

Este material es imputrescible, por lo que es resistente a ambientes húmedos y a la vez es impermeable debido a su estructura química con presencia de suberina y ceroides, donde sus células son cerradas, que a su vez cierran el espacio sin discontinuidad que facilitarían la capilaridad(Melgarejo, 1995).

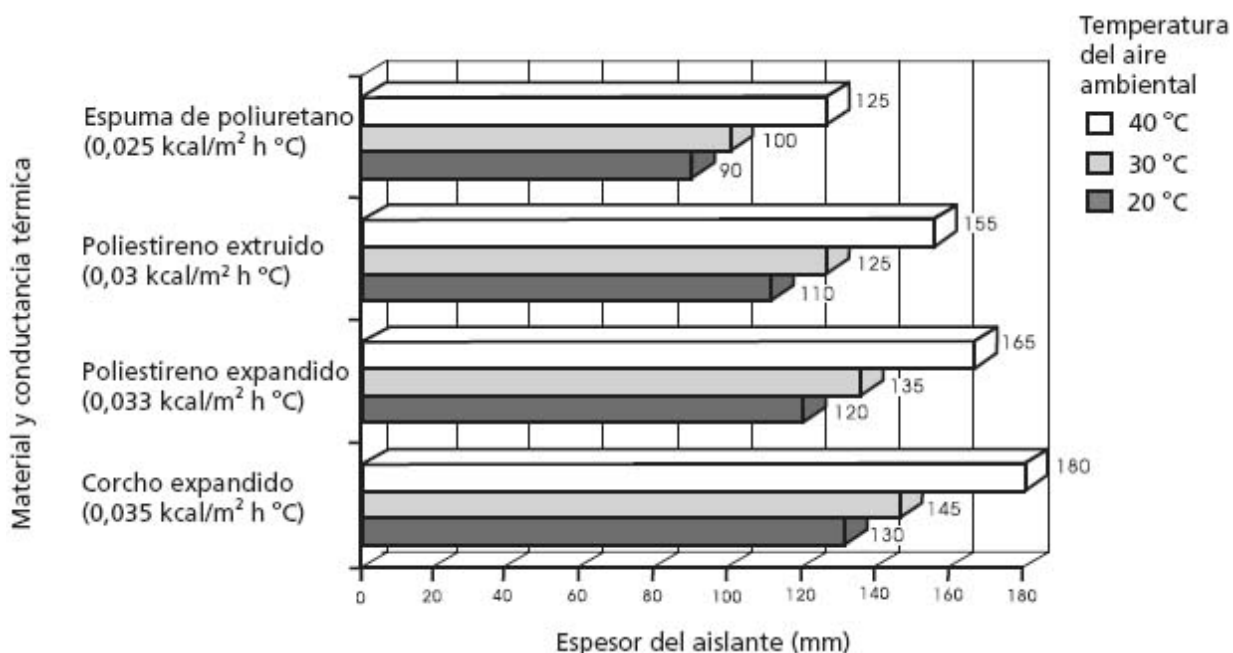


Figura 2.28.- Materiales y conductividad térmica vs espesor de material.

Fuente:(FOA, 2011)

En la figura 2.21 se muestra la Comparación de espesores típicos de aislamiento para cámaras frigoríficas y almacenes de hielo instalados en tierra con temperaturas ambientes medias de 20, 30 y 40 °C (espesores redondeados al múltiplo de 5 mm más cercano)

Es un material ligero debido a que el 88% de su volumen es aire. Tiene una comprensibilidad y elasticidad efectiva ya que tiene una capacidad de ser comprimido sin dilatación lateral.

El corcho está compuesto por células poliédricas muy unidas entre sí, prácticamente vacías en su interior y muy impermeables, su estructura se compone de pequeñas celdas que absorben muy bien el ruido, por lo cual es un muy buen aislante acústico(Melgarejo, 1995).

Tipo	Densidad (kg/m³)	Conductividad térmica (W m⁻¹ °C⁻¹)/(kcal h⁻¹ m⁻¹ °C⁻¹)
Granulado suelto y seco	115	0,052/0,0447
Granulado	86	0,048/0,041
Bloque de corcho expandido	130	0,04/0,344
Plancha de corcho expandido	150	0,043/0,037
Expandido, ligado con resinas o brea	100-150	0,043/0,037
Expandido, ligado con resinas o brea	150-250	0,048/0,041

Figura 2.29.- Densidad y conductividad térmica a 20-25 °C

Fuente:(Melgarejo, 1995)

Por último el corcho no puede considerarse como incombustible, si puede considerarse como un buen comportamiento ante el fuego, donde actúa como un retardante del fuego.



Figura 2.30.- Corcho aglomerado

Fuente: nauticexpo.es

Estos materiales a ocupar tienen grandes propiedades de aislamiento por lo que al ocuparlos en conjuntos favorecerán más aun a la aislación que es la problemática en cuestión.

En el comercio se encuentran varios paneles de aislamiento (aislapol, lana mineral, fibra de vidrio etc.), pero ninguna supera en propiedades aislantes ya sea térmica o acústica, ya que al utilizar la espuma de poliuretano estaríamos presente de vacíos en nuestro panel y como ya es de conocimiento mundial el vacío es el mejor aislante en el mundo. En el caso del corcho y el yeso tienen la buena adhesión a las fibras de otros materiales y buena resistencia al fuego, que no tienen los otros materiales como por ejemplo el polietileno (material usado frecuentemente como aislador), claramente estos 2 materiales tienen otras propiedades ya explicadas anteriormente.

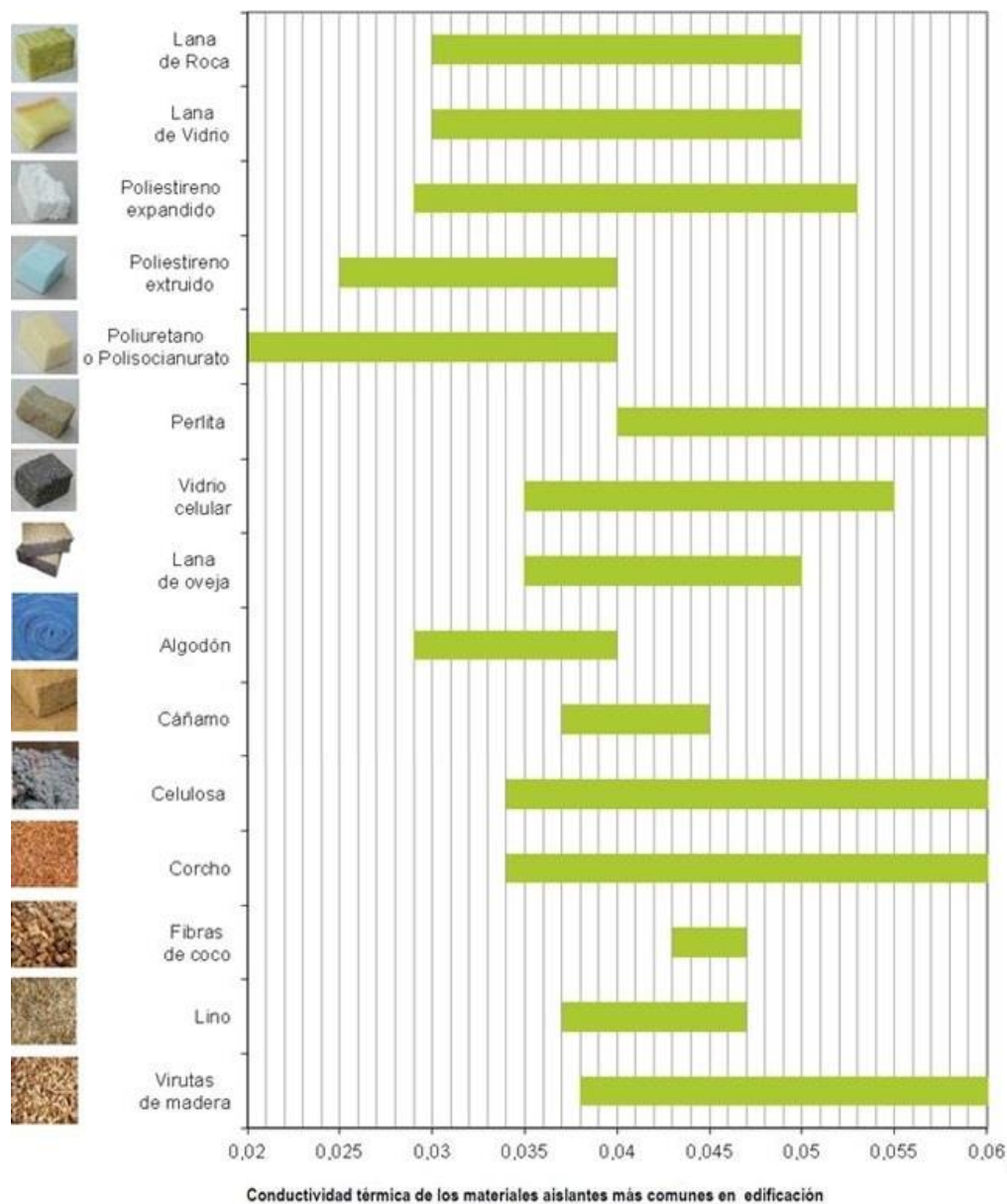


Figura 2.31.- Conductividad térmica de los materiales más comunes en edificación.

Fuente:((Mimbrea.com, 2005))

En la figura 2.31 se muestra una tabla que los materiales más aislantes (menor conductividad), se acercan más al lado izquierdo del gráfico.

Se ocupara una lámina de corcho de 10mm de espesor para conformar un panel por sus buenas propiedades termo-acústicas.

Dentro de todos los materiales mostrados el poliuretano es el mejor referente como aislante por lo que al utilizar el corcho y la espuma de poliuretano juntos se asegurara la baja conductividad térmica del panel por lo tanto un buen aislador.

2.15 Características de paneles prefabricados

La norma Nch806 Of 1971: Arquitectura y construcción-Paneles prefabricados-Clasificación y Requisitos donde clasifican a cada tipo de panel, señala:

2.15.1 Clase

Según tipo de paneles prefabricados entregados por la norma Nch 806 Of 1971 se determina analizando los materiales predominantes en la estructura del panel:

Clase A: Hormigón

Clase B: Cerámica

Clase C: Acero

Clase D: Aluminio

Clase E: Plástico

Clase G: Laminas de yeso

Clase H: Mixto

El panel es de clase H, ósea mixto ya que los materiales predominaste son yeso, corchó y poliuretano.

2.15.2 Tipo

Según los tipos de paneles prefabricados entregados por la norma Nch 806 Of 1971 el panel es de tipo I: Entramado con revestimiento y huecos, ya que posee revestimientos de yeso cartón en una cara.

2.15.3 Grado

Según la norma Nch 806 Of 1971, los paneles se clasifican según las características mecánicas exigidas, una vez obtenido los resultados de:

-NCh 801 Of. 2003: Elementos de construcción –Paneles-Ensayos de compresión.

-NCh 803 Of. 2003: Elementos de construcción –Paneles-Ensayos de flexión.

3 Capítulo III: Desarrollo experimental

3.1 Etapas experimentales

Del estudio a se obtendrán resultados de acuerdo a los diseños previos del panel artesanal y arrojarán resultados que certifiquen o refuten la factibilidad de elaborar este elemento de construcción. Por lo que se conformaran por este orden de etapas:

- Recopilación de materiales
- Confección de panel (probetas)
- Metodología de ensayos a efectuar
- Análisis y resultados
- Discusión de resultados
- Conclusiones

3.2 Recopilación de materiales

Las materias primas que se ocuparan para confeccionar el panel aislante, donde se recolectaran con anticipación para cuando llegue el momento o etapa de efectuar los ensayos no allá ningún inconveniente(Bermudez, 2014).

El acopio de los materiales se centró en el corcho ya que es un material difícil de obtención por lo que se efectuara la compra con una empresa experta en paneles de corcho. Luego la espuma de poliuretano donde es menos costoso y de mayor facilidad de obtención y por último se recopilara el yeso cartón a utilizar.

3.3 Panel general de fabricación

La fabricación del panel se efectuara de acuerdo a un molde artesanal constituido por una base de terciado estructural de 15mm, luego en esta base se colocaran 4 maderas de pino cepillado seco, donde 2 tendrán un largo de 50 cm y las otras de 109 cm para formar las paredes de este molde, de tal forma que al rellenar con el material no se escurra con tan facilidad.

Posterior al molde se pasara a la aplicación de la primera capa de yeso cartón, seguido de la primera capa de espuma de poliuretano y finalmente poner el panel de corcho.

Este proceso se efectuara 2 veces ya que este panel va hacer simétrico, para entender de mejor forma se mostrara a continuación a través de un esquema el detalle recién explicado.

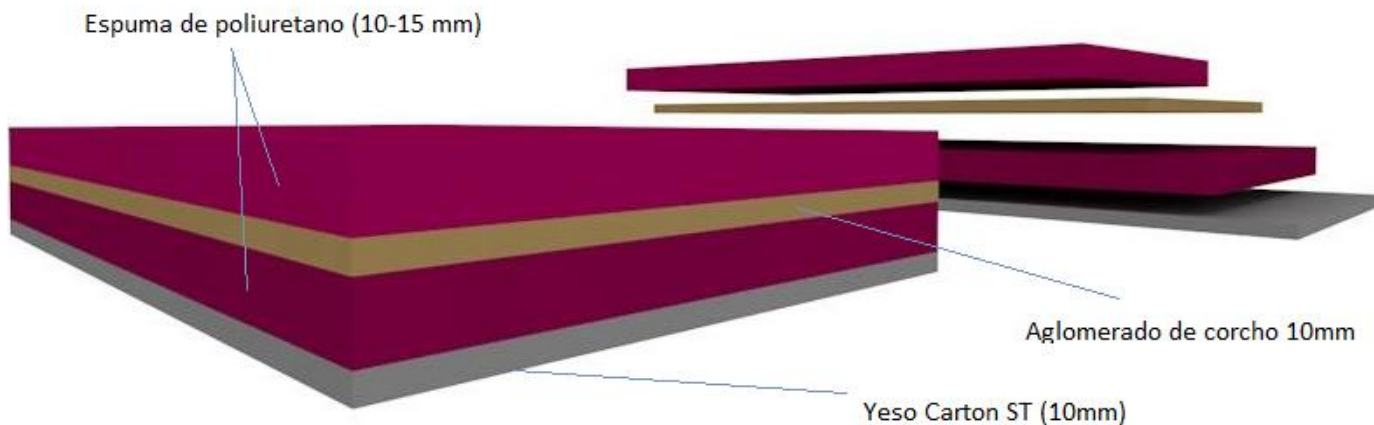


Figura 3.1.- Modelo del panel de aislación

Fuente: Elaboración propia

3.4 Dimensiones y cantidades de paneles

La dimensiones de los paneles a ensayar se establecieron de acuerdo a la a las prestaciones que tiene la cámara aislada en el laboratorio de la universidad, donde serán de 60cm de ancho, 60 cm de largo y con espesor variables de 4 y 5 cm.

	Ensayo Acústico	Ensayo térmico	Ensayos mecánicos	Ensayos Ignífugos	Total
Cantidad de probetas	6	6	18	3	33

Tabla 3.1.- Monto de probetas a ensayar.

Fuente: Elaboración propia

Se realizaran un total de 23paneles, para efectuar una mayor cantidad de ensayos, con la intención de respaldar las mediciones y no efectuar ningún atraso con el cronograma, donde cabe destacar que algunos ensayos por normas piden probetas mínimas a ensayar.

Con respecto a los espesores se establecieron de acuerdo a estudios, espesores de paneles en comercio y espesores que trabajan algunas empresas en el caso del panel de corcho.

La empresa Soudafoam ensayo distintos espesores de espuma de poliuretano ignifugas (Espuma Soudafoam FR), con la institución IDIEM (Investigación de desarrollo e Innovación de Estructuras y

Materiales), por lo que dio resultados a la resistencia al fuego de cada espesor ensayado donde se presentan en la tabla 3.2.

Espuma soudafoam	
Espesores (mm)	Resistencia al fuego
5	F15
10	F30
15	F40
20	F50
25	F50

Tabla 3.2.- Resistencia al Fuego Espuma SOUDALFOAM FR
Fuente: Elaboración propia (Datos SOUDAL.com)

Por lo que ocupar espesores de 10 y 15 mm de espesor mínimo de poliuretano se estará cumpliendo con las prestaciones mínimas ignífugas en una vivienda.

EL yeso cartón estándar de 10 mm de espesor tiene una resistencia al fuego de F15, ensayado por la institución IDIEM (investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales), por lo que también al ocupar este espesor como mínimo estaría cumpliendo los requisitos ignífugos que requiere la NCH 935 -1 of 1997.

Por lo tanto los espesores ocupados para esta investigación luego de verificar los espesores mínimos de acuerdo a estudios anteriores están demostrados en la tabla 3.3.

	Yeso cartón	Espuma de poliuretano	Corcho aglomerado	Espesor total
Panel I	10 mm	10 mm x 2	10 mm	40 mm
Panel II	10 mm	15 mm x 2	10 mm	50mm

Tabla 3.3.- Espesores de los tipos de paneles utilizados en estudio.
Fuente: Elaboración propia

3.5 Alternativa para zonas extremas del país

Las zonas extremas de nuestro planeta son lugares donde la intervención humana necesariamente se debe sustentar en condiciones difíciles. Esto se ha logrado utilizando las más avanzadas tecnologías disponibles y una buena edificación para que responda adecuadamente a las condiciones extremas de cada lugar.

Por lo que al utilizar un panel que aportara la aislación correcta a la envolvente de una edificación estaríamos aportando al confort de las personas junto con una eficiencia energética en zonas altiplánicas, Antártida y pre cordilleranas.

Para ello se calcularon las transmitancia y resistencia térmica de los paneles propuesto más 2 opciones de panel con menor y mayor espesor a los ejecutados en el laboratorio y se comparó con las prestaciones que exige la norma NCh 1079-2008 según la clasificación de zonas térmicas existentes por zona climática térmicas de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

	Yeso cartón	Espuma de poliuretano	Corcho aglomerado	Espesor total
Panel I	10 mm	10 mm x 2	5 mm	35 mm
Panel II	10 mm	10 mm x 2	10 mm	40 mm
Panel III	10 mm	15 mm x 2	10 mm	50mm
Panel IV	10 mm	20 mm x 2	10 mm	60 mm

Tabla 3.4.- Espesores de los paneles y su composición.
Fuente: Elaboración propia

Panel aislante e= 40mm		Panel aislante e= 50mm		Panel aislante e= 35mm		Panel aislante e= 60mm	
Rt Espuma P.	0,56	Rt Espuma P.	0,83	Rt Espuma P.	0,56	Rt Espuma P.	1,11
Rt Corcho	0,22	Rt Corcho	0,22	Rt Corcho	1,11	Rt Corcho	0,22
Rt Yeso cartón	0,05	Rt Yeso cartón	0,05	Rt Yeso cartón	0,05	Rt Yeso cartón	0,05
Rt Total	0,830	Rt Total	1,108	Rt Total	1,719	Rt Total	1,386
U total	1,20	U Total	0,90	U total	0,58	U Total	0,72

Tabla 3.5.- Calculo de las transmitancias y resistencia térmicas (Rt).
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la norma, Chile continental posee 9 zonas climáticas donde cada una está formada por una parte del territorio con características similares en cuanto sus variables meteorológicas. Los límites de cada zona y sus características climáticas se detallan en la norma aludida.

A continuación se explicaran las 9 zonas climáticas de acuerdo a la guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, MINVU.

Zona Norte Litoral: se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de la Ligua, ocupando la franja costera al lado occidental de la Cordillera de la Costa. Algunas ciudades de esta zona son: Arica, Iquique, Antofagasta, Tal Tal, La Serena, Coquimbo y Los Vilos.

Zona Norte Desértica: Ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes). Desde el límite con el Perú hasta el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro. A esta zona pertenece la ciudad de Calama.

Zona Norte Valles Transversales: Ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona Norte Litoral excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400m, desde el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro hasta el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca. A esta zona pertenecen las ciudades de Copiapó, Vallenar, Vicuña, Ovalle, Combarbalá e Illapel.

Zona Central Litoral: se ubica en la faja costera a continuación de la zona Norte Litoral desde el límite norte de la comuna de La Ligua hasta el límite norte de la comuna de Cobquecura. Ciudades de esta zona son Valparaíso, Viña del Mar, San Antonio y Constitución.

Zona Central Interior: se ubica en el valle central comprendido entre la zona Norte Litoral y la precordillera de los Andes por bajo los 1000m. Desde el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca hasta el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen. Ciudades de esta zona son: Santiago, Curicó, Talca y Chillán

Zona Sur Litoral: se ubica a continuación de la zona Central Litoral desde el límite norte de la comuna de Cobquecura hasta el límite sur de las comunas de Maullín, Calbuco y Puerto Montt. Ciudades de esta zona son Concepción, Valdivia y Puerto Montt.

Zona Sur Interior: se ubica a continuación de la zona Central Interior desde el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen, hasta el límite norte de las comunas de Maullín y Puerto Montt. Ciudades de esta zona son: Temuco, Villarrica y Osorno

Zona Sur Extremo: La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el Este. Ciudades de esta zona son: Ancud, Castro, Aysén, Coyhaique, Puerto Natales y Punta Arenas.

Zona Andina: Comprende la faja cordillerana y precordillerana mayor que 3000m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al sur de Puerto Montt. Ciudades de esta zona son: Potrerillos y El Teniente, entre otras.

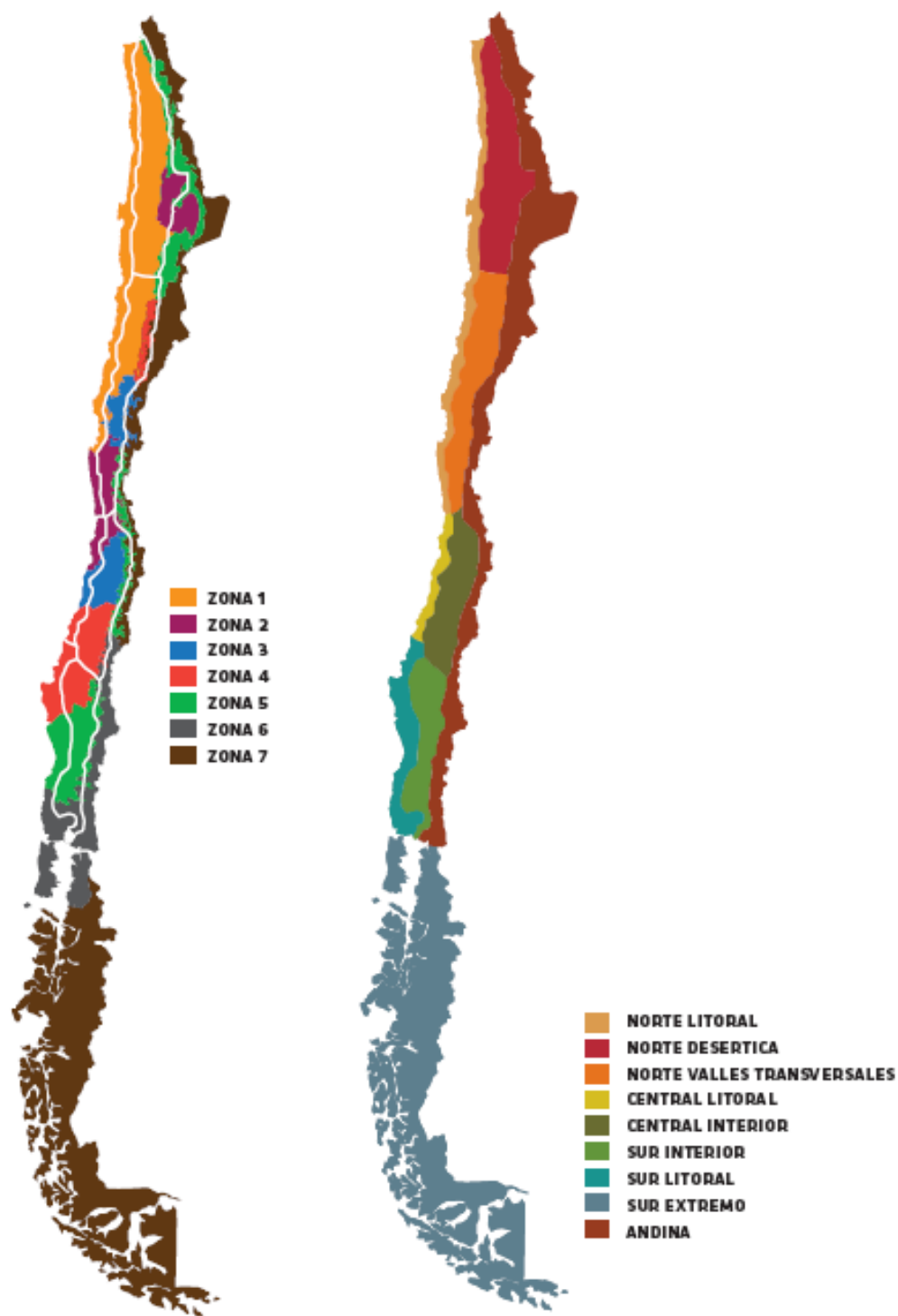


Figura 3.2.- Mapa de zonificación térmica (colores) y límites (líneas oscuras) de la zonificación climático habitacional de la NCh 1079.
Fuente: NCh1079-2008 Y MINVU

	Panel 35mm	Panel 40mm	Panel 50mm	Panel 60mm
Zona I	/	/	/	/
Zona II	/	/	/	/
Zona III	/	/	/	/
Zona IV	/	/	/	/
Zona V	/	/	/	/
Zona VI		/	/	/
Zona VII		/	/	

Tabla 3.6.- Cumplimiento de las prestaciones de las zonas térmicas.
Fuente: Elaboración propia

Los paneles cumplen con la gran mayoría de las zonas térmicas por lo que sería opción de usarlas en climas extremos como un aislador en el envoltorio de la vivienda.

Cabe señalar que los paneles de 30 y 60 mm de espesor no fueron evaluados termo-acústica y mecánicamente en esta investigación por lo que podría ser opción de futuras investigaciones.

3.6 Metodologías de ensayos

3.6.1 Ensayos y estudios

Los ensayos a proceder para el estudio del elemento en construcción y así llevar a cabo el análisis del panel de aislación en base a corcho, espuma de poliuretano y yeso son:

- Ensayo para la determinación de las propiedades de aislación térmica
- Ensayo de flexión
- Ensayo de compresión
- Ensayo para la determinación de propiedades acústicas
- Determinar la resistencia al fuego
- Estudio de densidades

3.6.2 Ensayo de aislación térmica

Para el proceso que con lleva la realización de este ensayo se regirán por 2 normas chilenas vigentes, las cuales son:

- NCh 851 Of 1983 Aislación Térmica –Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica: Esta norma establece los pasos a para realizar ensayos que determinan la Conductividad Térmica y la capacidad de Aislación Térmica de un determinado material o elemento constructivo.
- NCh 849 of 1987 Aislación Térmica –Transmisión Térmica –Terminología, Magnitudes, Unidades y Símbolos: Esta norma determina la terminología que se necesita utilizar en el estudio de Propiedades Térmicas, al igual que las Unidades correspondientes y los Símbolos necesarios que deben usarse al momento de analizar los resultados.

Para efectuar este ensayo, se utilizara una cámara aislada en cada una de sus caras, que se encuentra instalada en el laboratorio de docencia de la Universidad de Valparaíso, Las medidas de la cámara son 300 x60 cm de planta y una altura de 120cm, donde cabe señalar que las medida de altura requerida para realizar los estudios es de 60 cm por lo que las medidas del panel son ajustadas a ella. Está estructurada de madera y revestimiento de terciado estructural de 15mm, con aislación entregada con la colocación de polietileno expandido y lana de vidrio entre placas. Esta cámara funciona con una tapa removible para la mejorar al efectuar los ensayos.



Figura 3.3.- Cámara aislante termo-acústica

(Fuente: Elaboración propia)

En el interior de esta cámara, cuando se da comienzo al ensayo, se instalara el panel de forma vertical donde se buscara obtener la capacidad de conductividad térmica.

Se instala dentro de uno de los espacios generados al interior de la cámara una fuente de calor, que será 3 ampolletas distribuidas uniformemente dentro de la sección de la cámara, con el objetivo de entregar calor a una cara del aislante, la potencia de cada una de las ampolletas será de 100 W. Luego se montan dos sensores del equipo de medición utilizado, un sensor se ubica en el espacio que contiene las fuentes emisoras de calor, y el otro sensor, se ubica en el espacio que no contiene emisión de calor.

El objetivo del ensayo es fomentar la fuente de calor para que de esta forma medir cuanta temperatura tiene el panel en su cara que enfrenta la emisión de calor y observar cuanto calor atraviesa al panel.

Cabe señalar que este proceso se realizara con un panel (probeta) con medidas de 60 x 60 cm.

El elemento que disponen en el laboratorio de docencia es el XPLOER GLX, con él se procederá a medir y obtener datos, gráficos y análisis de este ensayo. Este instrumento contara con dos sensores de temperatura, sonido y voltaje (no se ejecutara).



Figura 3.4.- XPLORER GLX

(Fuente: Elaboración propia)

3.6.3 Ensayo resistencia a la flexión

Consiste en determinar la resistencia y comportamiento a la flexión de paneles que conformaran parte de un muro dentro de la construcción, para ver si es factible a la resistencia de cargas verticales que son aplicadas en edificaciones y observar si la estructura y propiedades del panel son adecuadas.

Este ensayo se registrá de acuerdo a lo especificado en la Nch 803 Of 2003 Elementos de construcción –Paneles-Ensayo de flexión.

El ensayo consiste en someter a paneles de ensayo en posicionamiento horizontal a cargas verticales, transversales a su plano. Estas cargas van aumentando en un 10% hasta producirse la falla. Según lo indicado en la Nch 803 of 2003, se deberá tener una cantidad de 3 paneles para realizar este ensayo ya que es un panel simétrico.

Los datos a tomar en cuenta al realizar este ensayo son:

- Carga aplicada
- Deformación: se mide con el deformometro, equipo disponible en la docencia de la Universidad de Valparaíso.
- Deformación Residual: Se mide con el defomometro, corresponde a la deformación no elástica.

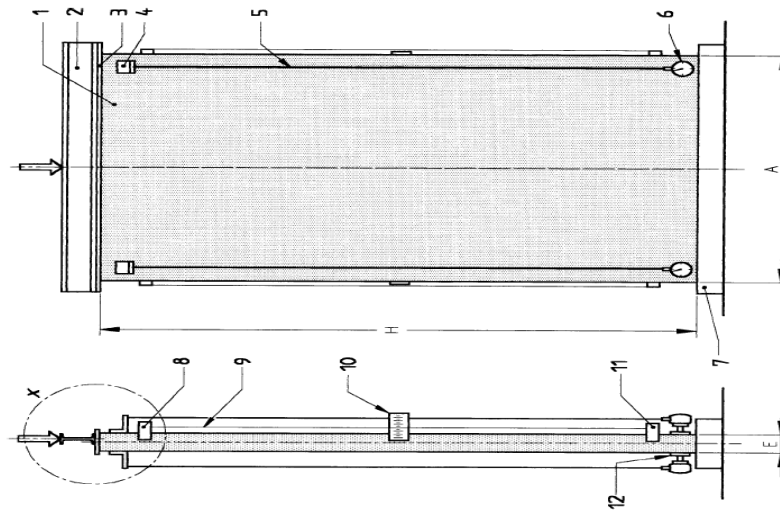
3.6.4 Ensayo a la compresión

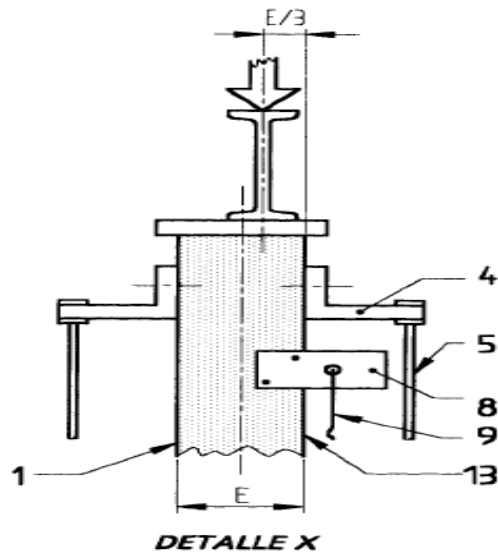
Se considerara una probeta de 50 x 100 cm donde se ubicara de forma vertical para realizar el ensayo. Se efectúa este ensayo para verificar cuanto se deforma el panel y así observar su estructura y propiedades cumplan con las cargas admisibles y reales para ser aplicada en la edificación.

Este se regirá por la Nch 801 of 2003: Elementos de construcción-Paneles-Ensayos de compresión.

Se deberá aplicar una carga la cual se mantiene 5 minutos, así se medirá en este lapso la deformación. Luego se libera la carga para dar paso a medir su carga residual.

Luego se aplicara nuevamente una carga que poseerá un incremento de un 10% respecto a la carga inicial. Éste procedimiento se realizara hasta llegar a la rotura del panel, adquiriendo así la información requerida que será la carga máxima que puede resistir el elemento de construcción.





- 1 Panel de ensayo (cara exterior)
- 2 Perfil de carga
- 3 Placa de acero
- 4 Soporte superior del compresómetro
- 5 Varilla del compresómetro
- 6 Micrómetro con dial del compresómetro
- 7 Soporte base
- 8 Abrazadera superior del deflectómetro
- 9 Alambre del deflectómetro
- 10 Espejo de referencia del deflectómetro
- 11 Abrazadera inferior del deflectómetro
- 12 Soporte inferior del compresómetro
- 13 Panel de ensayo (cara interior)

Figura 3.5.- Elementos de construcción-Paneles-Ensayos de compresión.

(Fuente: Nch 801 of 2003)

3.6.5 Ensayo de aislación acústica

Para este ensayo se tomara 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 para el ensayo de los elementos de construcción un área de 10 m² pero adecuándose a los recursos disponibles en la escuela en ensayo se realizara en la misma cámara para el ensayo de las propiedades térmicas.

El ensayo consiste en colocar una fuente emisora de sonido a una distancia de 1,2 mt de la superficie del material a ensayar y lado opuesto colocar una fuente receptora a la misma distancia de 1,2 mt desde la superficie .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.

Se ocuparan los siguientes instrumentos:

1- Parlantes multimedia fugitel soun core KHF 700 con una potencia máxima de salida de 16W, un rango de frecuencia de 50Hz-18KHz.

2- Xplorer GLX conectado a un sensor de sonido PS-2109 que registra rangos desde los 30 dB hasta los 110db.

Cabe señalar que la Nch 352 establece los requisitos acústicos mínimos que deben cumplir las construcciones de uso habitacionales.

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 3.7.- Requisitos mínimos para construcciones de uso habitacional

Nuestro estudio se centrara en el parámetro A, donde la aislación mínima para una vivienda seria de 20 db o menor para una emisión de 60 db y en el caso máx de aislación seria de 40 db para una emisión de sonido mayor a 75 db.

Para los demás parámetro las viviendas deben tener una aislación min de 45 db.

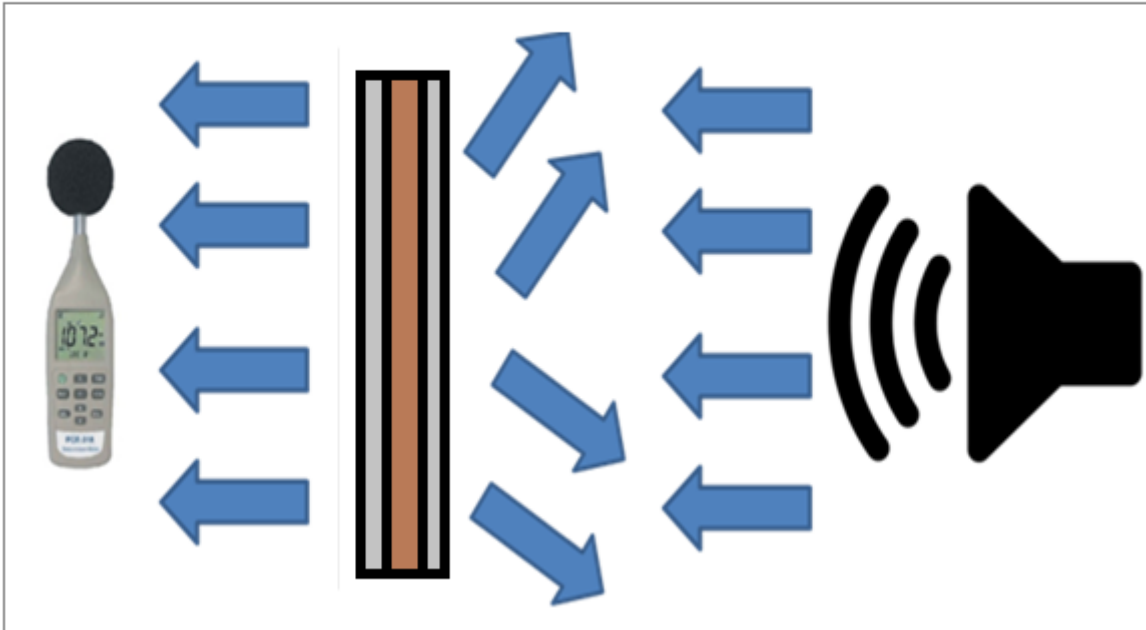


Figura 3.6.- Utilización correcta del sonómetro

(Fuente: Elaboración propia)

3.6.6 Resistencia ignifuga

Para la realización de este ensayo se ha seguido la Norma española UNE 23-725-90. Dicha norma define un método de ensayo de reacción al fuego aplicable a los materiales de cualquier espesor, con el fin de contribuir a su clasificación en lo que se concierne a su comportamiento frente al fuego como materiales de construcción. El ensayo consiste en someter las probetas a la radiación de una fuente de calor constante y provocar eventualmente la inflamación de los gases desprendidos y la caída de gotas inflamadas o no.

El equipo de medición es un termómetro infrarrojo digital modelo DTS-010. Con un rango de medición de -50° a 550° Celsius y una precisión de +/- 5° Celsius.



Figura 3.7.- Termometro infrarrojo digital.

Fuente: pce-iberica.es

Las probetas se instalan a una distancia de 8 cm del borde inferior de la boquilla del soplete. Se pone en funcionamiento el soplete aumentando la temperatura paulatinamente hasta alcanzar en la boquilla de este una temperatura de $300^{\circ} \pm 50^{\circ}$ Celsius. Una vez llegados a la temperatura deseada se ha dispuesto el cronómetro a tiempo 0. Cada vez que la muestra se inflama, el soplete se debe disminuir su potencia. Al apagarse la llama se vuelve a poner en la potencia de ensayo se repite el proceso tantas veces como ha sido necesario durante los 5 minutos del ensayo.

Tener en cuenta estos parámetros al ejercer este ensayo:

- La caída de gotas inflamadas o no.
- Los tiempos en los que se producen las diversas inflamaciones (duración y longitud de llama)
- Las inflamaciones no se han considerado como efectivas si no persistían durante al menos 3 segundos.
- La emisión y características de los humos. Además de la pérdida de masa por la combustión.
- Para su mejor clasificación se tomara en cuenta la clasificación Europea de reacción al fuego de los materiales según RD 312/2005 y la Norma UNE-EN 13501 EUROCLASES.

Las clases son A1, A2, B, C, D, E, F que se definen con la siguiente nomenclatura:

A1: No Combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego

A2: No Combustible. Sin contribución en grado menor al fuego

B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego

C: Combustible. Contribución limitada al fuego

D: Combustible. Contribución media al fuego

E: Combustible. Contribución alta al fuego

F: Sin clasificar

Los elementos de construcción, una vez sometidos al ensayo de resistencia al fuego, se clasifican del siguiente modo:

- No resistente : duración inferior a 15 minutos
- Clase F 15 duración entre 15 y 29 minutos
- Clase F 30 duración entre 30 y 59 minutos
- Clase F 60 duración entre 60 y 89 minutos
- Clase F 90 duración entre 90 y 119 minutos
- Clase F 120 duración entre 120 y 149 minutos
- Clase F 150 duración entre 150 y 179 minutos
- Clase F 180 duración entre 180 y 239 minutos
- Clase F 240 duración superior a 240 minutos

Según la norma NCh 935/1 - OF 84 Prevención de incendio en edificios Ensayo de resistencia al fuego Parte 1: Elementos de construcción en general.

3.6.7 Estudio de densidades

Se realizara el estudio de la densidad aparente del panel, donde esta densidad va a ser promedio entre 5 paneles contruidos y medidos en laboratorio. Ésta densidad aparente será el resultado de la división entre el peso (kg) de cada plancha, y el volumen total (m³), sin descontar el volumen de vacios que hay en el interior por lo que será de gran importancia cual será el panel menos pesado. El cálculo se efectuara con la siguiente fórmula:

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

Donde:

ρ : Corresponde al valor de la Densidad Aparente expresado en [kg/ m³]

m : Corresponde al peso de la muestra expresada en [kg]

V : Corresponde al volumen de la muestra expresado en [m³]

(Ec 3.1)

3.7 Confección de panel

Se dio comienzo al proceso con la compra de los terciados de 15mm, donde hubo un proceso de cortado en el mismo establecimiento (Homecenter Sodimac), al igual que los maderas de pino cepillados donde se efectuó los cortes a medidas explicadas anteriormente (capítulo II).

Luego se empezó con el armado de este “molde”, con la utilización de herramientas como martillo, clavos, huincha etc.



Figura 3.8.- Procesos de molde

Fuente: Elaboración Propia.

Se dio paso a marcar las medidas de los espesores en las caras perimetrales interiores del molde a través de un plumón con la ayuda de una regla.

Junto con este proceso se aplicó desmoldante (cavedesmol – eco) a través de una brocha, para evitar que los materiales se adhieran a este molde y facilitar el desarme sin ningún problema.

Antes de empezar con el proceso de relleno, se efectuó un molde de 13 x 30 x 4cm y se marcó con los mismos espesores propuesto para ver la interacción de los materiales y observar si se vinculaban entre sí, donde fue un éxito como resultado, por lo que se descartó el uso de algún pegamento entre cada capa de material.



Figura 3.9.- Molde de prueba

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 3.10.- Resultado de molde

Fuente: Elaboración Propia

Al observar que no se generó ningún problema en la interacción de los materiales se dio paso al relleno de los moldes oficiales a utilizar en esta investigación.

Se empezó con la colocación de la primera capa de yeso (5mm) donde se efectuó la mezcla en un bowl donde se utilizó 3 kg por 2 Lt de agua fría, así se obtuvo una yeso adecuado y bien húmedo para facilitar la dispersión rápida dentro del molde.

Luego se puso en curso a la colocación de la espuma de poliuretano ignífuga (Soudafoam FR) (15-10mm), junto con ello se coloca la lámina de corcho (10mm), se ejerció fuerza en toda la superficie para evitar expansión fuera de los 15 o 10 mm estipulados para la espuma.

Seguidamente se colocó la segunda capa de espuma de poliuretano, donde se aplicó y luego de la expansión se pasó al proceso de sacado de material sobrante para llegar a los espesores esperados a través de un cuchillo cartonero y luego de una holgura de una semana se dio al proceso de desmoldar.



Figura 3.11.-Instalacion 2da capa de Espuma P.

Fuente: Elaboración Propia.

PROCESO		CONFECCIONAMIENTO DEL PANEL		
			Espesor	
			Panel de 40 mm	Panel de 50 mm
	YESO CARTON		10 mm	10 mm
	ESPUMA DE POLIURETANO (1 CAPA)		10 mm	15 mm
	LAMINA DE CORCHO		10 mm	10 mm
	ESPUMA DE POLIURETANO (2 CAPA)		10 mm	15 mm

Figura 3.12.- Explotado de la confección del panel.

Fuente: Elaboración Propia.

4 Capítulo IV: Presentación de análisis y resultado

4.1 Preliminar

En este capítulo se conocerán el resultado y los análisis obtenidos de las pruebas realizadas en los ensayos ejecutados en el laboratorio de la Universidad de Valparaíso en el sector de Playa Ancha. Con el objetivo de evaluar el asilamiento termo-acústico, propiedades mecánicas y la resistencia ignífuga.

Por lo que luego se dará paso a analizar y concluir los resultados obtenidos y verificar si cumplen con los requisitos normalizados y explicados en capítulos anteriores.

Los ensayos y estudios serán efectuados en el orden siguiente:

- Ensayo de densidades aparentes.
- Análisis de costos.
- Ensayo de aislación térmica.
- Ensayo de aislación acústica.
- Ensayo de compresión.

4.2 Densidades aparentes

La densidad resulta de mediciones de los materiales seleccionados anteriormente, los cuales se pesaron y se midieron entregando resultados expresados en la siguiente tabla.

			espesor 50 mm	
Materiales	Densidad de cada material	kg	m3	kg/m3
Yeso cartón	187	2,7	0,0144	187,5
Lamina de corcho	190	2,7	0,0144	187,5
Espuma de poliuretano	25	0,36	0,0144	25
			Total densidad	400

Tabla 4.1.- Densidad aparente del panel de espesor de 50mm.
Fuente: Elaboración propia

			espesor 40 mm	
Peso de cada material	Densidad de cada material	kg	m3	kg/m3
Yeso cartón	187	2,7	0,018	150
Lamina de corcho	190	2,7	0,018	150
Espuma de poliuretano	25	0,36	0,018	20
			Total densidad	320

Tabla 4.2.- Densidad aparente del panel de espesor de 40mm.
Fuente: Elaboración propia

Se efectuó el cálculo de las densidades aparentes de cada panel para verificar cuanto vario su densidad al cambiar el espesor de la espuma de poliuretano, en el cual las medidas del panel son de 60x 60 x 4cm y de 60 x 60 x 5cm.

Hay una relación muy estrecha entre la densidad de un material aislante y su coeficiente de conductividad térmica (K). Si la densidad de los materiales es baja, las celdas de aire son de gran tamaño, lo que implica un coeficiente de conductividad relativamente alto. A medida que se aumenta la densidad, se reduce el tamaño de las cámaras de aire hasta llegar a la situación normal, momento en que se alcanza el valor mínimo del coeficiente de conductividad térmica.

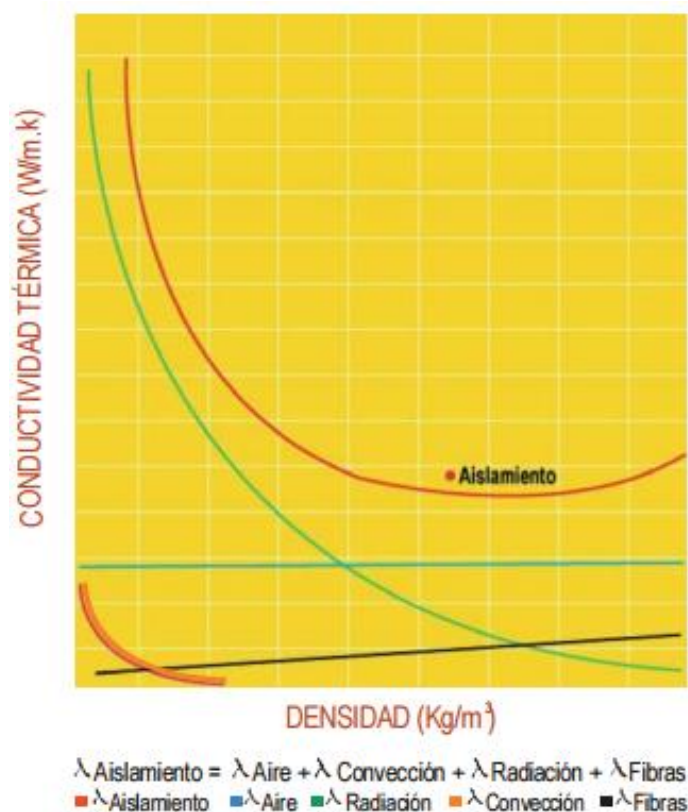


Figura 4.1.- Densidades aparentes vs conductividad termica

Fuente: safe-energy.cl

4.3 Análisis de costos del elemento

Además de tener información sobre las propiedades térmicas y mecánicas del elemento en estudio, necesitamos saber si es efectivo construirlo enfocándose a los costos asociados, es por esto que es necesario conocer el costo directo involucrado en la fabricación del elemento en estudio.

Durante todo el proceso de ensayos de laboratorios, se llevará a cabo un control que permitirá realizar un análisis de los costos asociados a la construcción del aislante, tomándose datos de los siguientes aspectos:

- Costo de elaboración del molde.
- Costo de materiales.

Una vez teniendo en cuenta todos estos costos asociados, se determinará un costo (\$/m²), el cual será comparado con el costo (\$/m²) de los aislantes de uso común como la lana mineral y lana de vidrio el cual son utilizado de manera abundante en la construcción actualmente, determinando así cual posee un costo directo menor, añadiendo un nuevo parámetro de comparación.

Para determinar el costo de fabricación del aislante propuesto es necesario considerar el valor de los materiales a utilizar, además de la mano de obra empleada. Sin embargo, para este caso no se tomara en cuenta el valor de la mano de obra, ya que es un proceso artesanal por lo que no se puede comparar con uno industrializado.

El costo de los materiales empleados: se utilizaron tablonces de pino cepillado seco de 2 x3" x 3,20 m para el perímetro, plancha de terciado de 15mm y clavos de 3".

El desglose que muestra el análisis de los precios relacionados a la materia prima necesaria para la confección del aislante estudiado se muestra en la siguiente tabla:

Costo material panel concluido (\$/m ²)				
Material	Unidad	Cantidad	P.U	Total
Molde	Un	1	4.300	4.300
Lamina de Corcho	Un	1	6.800	6.800
Espuma poliuretano	Un	1	4.300	4.300
Yeso cartón	Un	1	6.000	6.000
Total (\$/m ²)				21.400

Tabla 4.3.- Costo del panel tipo propuesto.
Fuente: Elaboración propia

De esta manera, el valor entregado a la materia prima por cada m² de aislante elaborado equivale a un total 21.400 pesos por m².

Costo material materiales a comparar (\$/m ²)				
Material	Unidad	Cantidad	P.U	Total (\$/m ²)
Lana mineral	Un	1	4.705	4.705
Lana de vidrio	Un	1	3.735	3.735
Poligyp	Un	1	7.999	7.999
Volcapol	Un	1	7.550	7.550

Tabla 4.4.- Costo de materiales aislantes en el mercado.
Fuente: Elaboración propia

Sin tomar en cuenta el valor de la mano de obra del aislante propuesto este tiene un valor mayor a los aislantes comerciales. Por tratarse de un proceso artesanal no se le pueden asignar costos de mano de obra. Además el costo se vería reducido del aislante propuesto ya que el molde se puede reutilizar ya que no existe un mayor desgaste de este por lo que el costo sin incluir el molde sería de 17.100 pesos.

4.4 Ensayo para la determinación de las propiedades térmicas

Para determinar si el panel propuesto de espuma de poliuretano, corcho y yeso cartón poseen propiedades térmicas se efectuarán los ensayos para 3 tipos de paneles:

- 2 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 10mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 10mm.
- 2 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 15mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 15mm.
- 2 paneles constituidos por yeso cartón de 10 mm, poliestireno expandido de 30 mm (panel en comercio).



Figura 4.2.- Camara aislante a utilizar.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.3.- Camara aislante con panel ensayado.

Fuente: Elaboración Propia

Para cada uno de los casos mencionados, se entregarán resultados que muestren la conductividad propia de cada elemento, mediante la aplicación de calor en una cara, y la medición de la cantidad de calor que logra atravesar el panel y es medida en la cara opuesta, en una cámara que no contiene emisión de calor.

4.4.1 Ensayo de aislación térmica en paneles con espesor de 40 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 10mm de espesor)

Dentro de esta cámara se instaló una fuente calórica y se instalaron dos sensores. Un sensor capturó la temperatura en la cara del panel que enfrenta la fuente emisora de calor dentro de la cámara térmica, denominado T1. Un segundo sensor capturó la temperatura que enfrenta el espacio de la cámara térmica sin la fuente emisora de calor, denominada T2. El área del panel instalado en la cámara térmica es de 0,36 m². El ensayo se realizó en 1 hora, entregando los resultados que se muestran adjuntos en la tabla a continuación.

Los resultados reflejados en dicha tabla corresponden a las mediciones de temperaturas por cada 1 minuto de ensayo, se arrojaban 3 datos llegando a tener 188 datos, donde los valores de las temperaturas corresponden al promedio obtenido luego de cada 5 minutos de ensayo.

Panel propuesto (e=40 mm)			
Tiempo (s)	Temperatura1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	$\Delta T = T1 - T2$ (°C)
300	24,9	24,7	0,2
600	26,4	24,7	1,7
900	27,9	24,7	3,2
1200	29,4	24,7	4,7
1500	30,9	24,7	6,2
1800	32,4	24,8	7,6
2100	33,9	25	8,9
2400	35,4	25,2	10,2
2700	36,9	25,5	11,4
3000	38,4	25,8	12,6
3300	39,9	26,2	13,7
3600	41,4	26,7	14,7
Promedio	33,2	25,2	7,9

Tabla 4.5.- Resultados ensayo I aislación térmica
Fuente: Elaboración propia

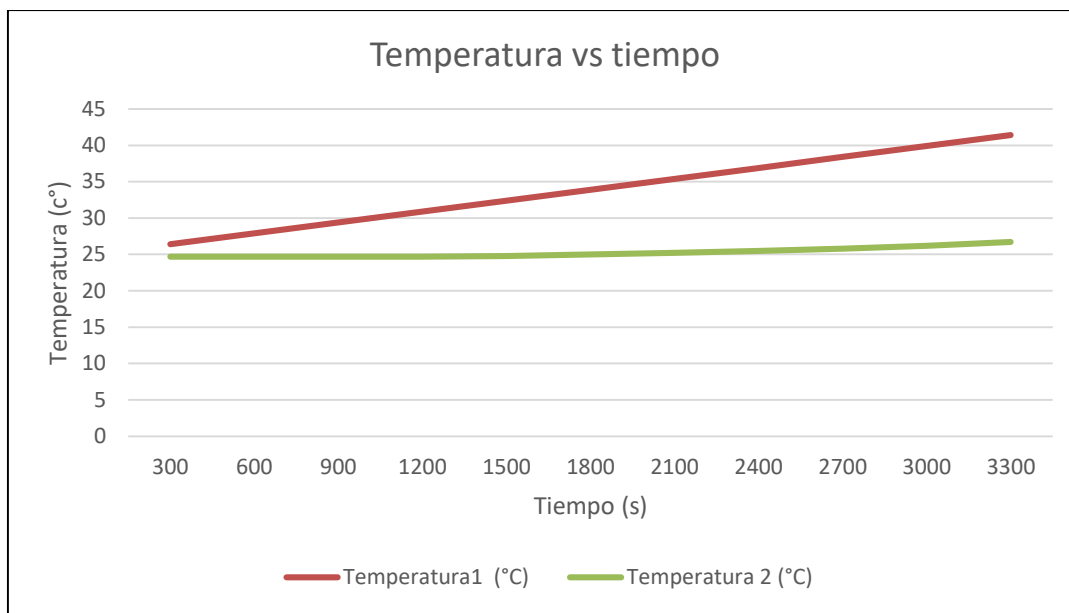


Figura 4.4.- Grafico I Temperatura V/S Tiempo

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- -T1 Temperatura de la cara que enfrenta la fuente emisora de calor.
- -T2 Temperatura la cara no enfrenta la fuente emisora de calor.

El grafico muestra que en un principio el espacio de la cámara donde se encuentra la fuente de calor tiene una temperatura 1 de 24,09 °C y al final de la prueba este alcanza 41,04 °C y que la cara que no enfrenta la fuente de calor solo alcanza 26,07 grados en el mismo periodo. Esto muestra que efectivamente la propuesta posee propiedades de aislación térmica que no son menores, entregando diferenciales de temperatura entre ambas caras que mantienen un promedio de 7,9 °C, por lo que es necesario analizar el elementos con mayor espesor de espuma de poliuretano para poder efectuar las comparaciones correspondientes y así verificar cual es el más eficaz al momento de aislar las temperaturas.

4.4.2 Ensayo de aislación térmica en paneles con espesor de 50 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 15mm de espesor)

Dentro de esta cámara se instaló una fuente calórica como y se instalaron dos sensores. Un sensor capturó la temperatura en la cara del panel que enfrenta el espacio de la cámara térmica que no cuenta con una fuente emisora de calor, denominado T2. Un segundo sensor capturó la temperatura que enfrenta el espacio de la cámara térmica que cuenta la fuente emisora de calor, denominada T1. El área del panel instalado en la cámara térmica es de 0,36 m². El ensayo se realizó en 1 hora, entregando los resultados que se muestran adjuntos en la tabla a continuación.

Los resultados reflejados en dicha tabla corresponden a las mediciones de temperaturas por cada 1 minuto de ensayo, se arrojaban 3 datos llegando a tener 188 datos, donde los valores de las temperaturas corresponden al promedio obtenido luego de cada 5 minutos de ensayo.

Panel propuesto (e=50 mm)			
Tiempo (s)	Temperatura1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	$\Delta T = T1 - T2$ (°C)
300	27,5	25,62	1,88
600	29	25,7	3,3
900	30,5	25,7	4,8
1200	32	25,7	6,3
1500	33,5	25,7	7,8
1800	35	25,7	9,3
2100	36,5	25,7	10,8
2400	38	25,7	12,3
2700	39,5	25,8	13,7
3000	41	25,9	15,1
3300	42,5	26,1	16,4
3600	44	26,4	17,6
Promedio	35,75	25,81	9,94

Tabla 4.6.- Resultados ensayo II aislación térmica
Fuente: Elaboración propia

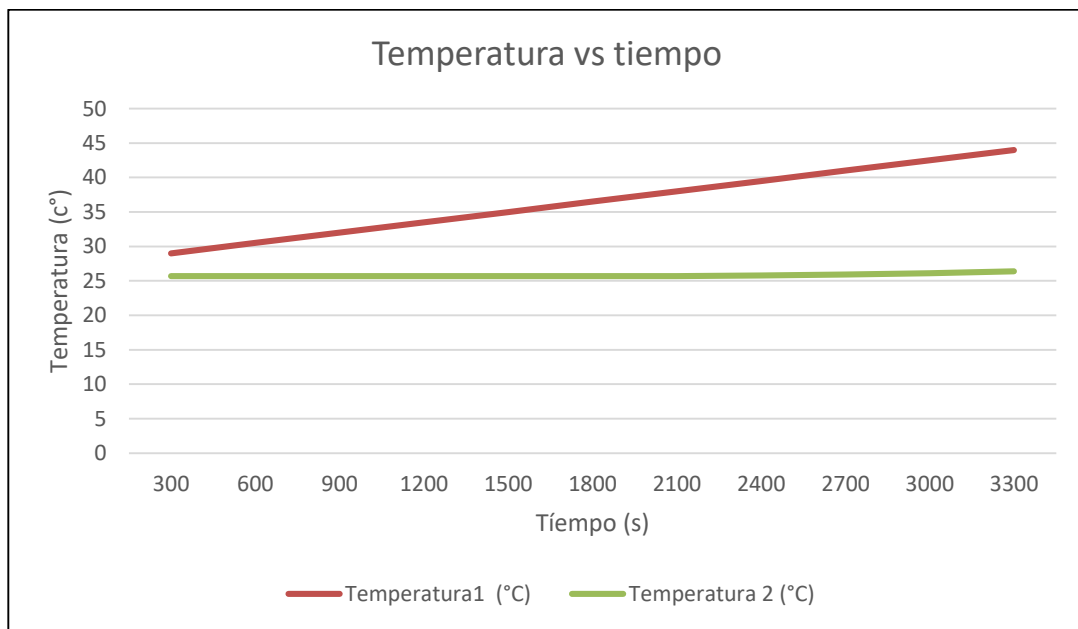


Figura 4.5.- Grafico II Temperatura V/S Tiempo
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- -T1 Temperatura de la cara que enfrenta la fuente emisora de calor.
- -T2 Temperatura la cara no enfrenta la fuente emisora de calor

El grafico muestra que en un principio el espacio de la cámara donde se encuentra la fuente de calor tiene una temperatura 1 de 27,05 °C y al final de la prueba este alcanza 44 °C y que la cara que no enfrenta la fuente de calor solo alcanza 26,04 grados en el mismo instante. Esto muestra que efectivamente la propuesta posee propiedades de aislación térmica que no son mucha mayores al panel evaluado anteriormente, entregando diferenciales de temperatura entre ambas caras que mantienen un promedio de 9,94 °C.

Para las mismas condiciones de medición mirando los resultados nos entrega que el aislante que tiene un espesor de 15mm de espuma de poliuretano es más aislante térmico.

4.4.3 Ensayo de aislación térmica en paneles de volcapol de 40 mm de espesor

Dentro de esta cámara se instaló una fuente calórica como y se instalaron dos sensores. Un sensor capturó la temperatura en la cara del panel que enfrenta el espacio de la cámara térmica que no cuenta con una fuente emisora de calor, denominado T2. Un segundo sensor capturó la temperatura que enfrenta el espacio de la cámara térmica que cuenta la fuente emisora de calor, denominada T1. El área del panel instalado en la cámara térmica es de 0,36 m². El ensayo se realizó en 1 hora, entregando los resultados que se muestran adjuntos en la tabla a continuación.

Los resultados reflejados en dicha tabla corresponden a las mediciones de temperaturas por cada 1 minuto de ensayo, se arrojaban 3 datos llegando a tener 188 datos, donde los valores de las temperaturas corresponden al promedio obtenido luego de cada 5 minutos de ensayo.

Volcapol (e=40 mm)			
Tiempo (s)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2(°C)	$\Delta T = T1 - T2$ (°C)
300	24,1	22,2	1,9
600	27,2	22,3	5,0
900	29,5	22,5	7,0
1200	31,4	22,8	8,5
1500	32,9	23,3	9,6
1800	34,4	23,7	10,7
2100	35,9	24,2	11,7
2400	37,2	24,7	12,5
2700	38,6	25,2	13,4
3000	39,9	25,8	14,1
3300	40,9	26,3	14,6
3600	42,0	26,8	15,3
Promedio	34,5	24,1	10,4

Tabla 4.7.- Resultados ensayo III aislación térmica
Fuente: Elaboración propia

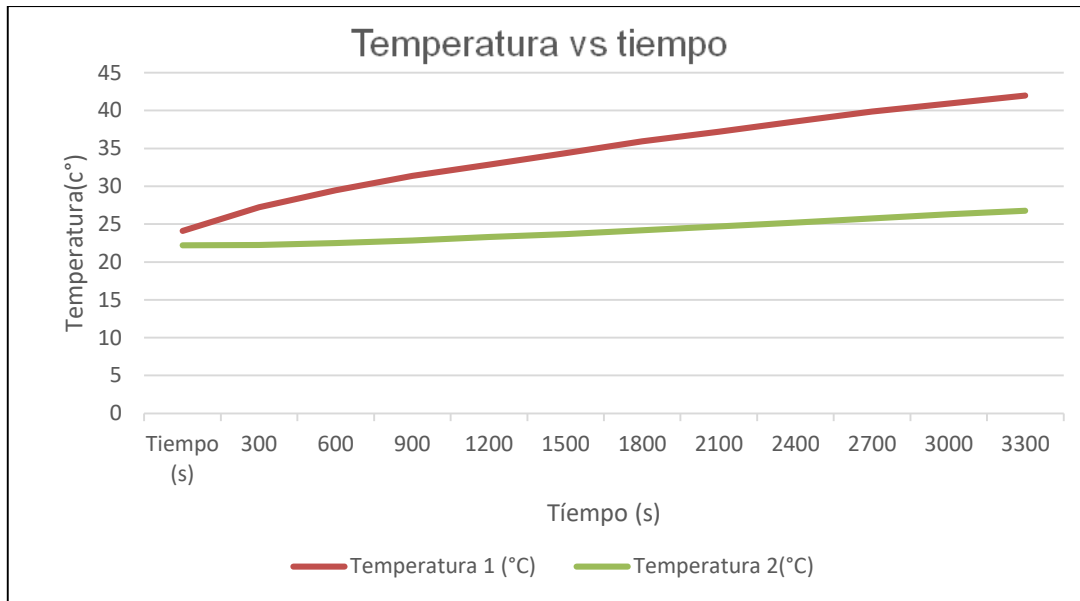


Figura 4.6.- Grafico III Temperatura V/S Tiempo
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- -T1 Temperatura de la cara que enfrenta la fuente emisora de calor.
- -T2 Temperatura la cara no enfrenta la fuente emisora de calor

El grafico muestra que en un principio el espacio de la cámara donde se encuentra la fuente de calor tiene una temperatura 1 de 24,01 °C y al final de la prueba este alcanza 42 °C y que la cara que no enfrenta la fuente de calor solo alcanza 26,08 grados en el mismo instante. Esto muestra que efectivamente la propuesta posee propiedades de aislación térmica que no son mucha mayores al panel evaluado anteriormente, entregando diferenciales de temperatura entre ambas caras que mantienen un promedio de 10,04 °C.

- **Cumplimiento de las zonas térmicas de los paneles propuestos**

- R_t = Espesor del material (m) / Conductividad térmica (W/m K)

-Transmitancia Térmica. (U) = $1/R_t$ Total

- Resistencia Térmica Total (m^2k/w) = R_t espuma de p. + R_t yeso cartón + R_t corcho

Se calcularon las resistencias térmicas total y su transmitancia térmica de cada panel, para verificar si cumplen las zonas térmicas con los espesores que estoy estableciendo. Luego verificar de acuerdo con la reglamentación térmica si cumplen las transmitancia y resistencia de cada zona térmica del país.

Materiales	Espesores (m)		Conductividad térmica (W/m K)
	e= 40mm	e= 50mm	
Espuma de P. (x2)	0,01	0,015	0,036
L.Corcho	0,01	0,01	0,045
Yeso cartón	0,01	0,01	0,19
Muro H.A	0,015	0,01	1,63
Resistencia Térmica (m²k/w)			
Panel aislante e= 50mm			
Rt Espuma de poliuretano	0,83		
Rt Lamina de Corcho	0,22		
Rt Yeso cartón	0,05		
Rt Muro H.A	0,01		
Resistencia Térmica Total	1,12		
Panel aislante e= 40mm			
Rt Espuma de poliuretano	0,56		
Rt Lamina de Corcho	0,22		
Rt Yeso cartón	0,05		
Rt Muro H.A	0,01		
Resistencia Térmica Total	0,84		
Transmitancia Térmica (w/m²k)			
Panel aislante e= 50mm			
U Total	0,89		
Panel aislante e= 40mm			
U total	1,19		

Tabla 4.8.- Zonificación térmica de la RT de paneles propuestos.
Fuente: Elaboración propia

Se observó luego de efectuar los cálculos que en el panel artesanal de espesor de 40mm no cumple con la resistencia y transmitancia térmica de la zona 7, por lo que la mejor opción sería utilizar un panel de 50 mm.

4.5 Ensayo para la determinación de las propiedades acústicas.

Para determinar si el panel propuesto de espuma de poliuretano, corcho y yeso cartón poseen propiedades acústicas se efectuaron los ensayos para 2 tipos de paneles:

- 2 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 10mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 10mm.
- 2 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 15mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 15mm.
- 2 paneles constituidos por yeso cartón de 10 mm, poliestireno expandido de 30 mm (panel en comercio).

Se utilizó la misma cámara aisladora utilizada en el ensayo térmico para la realización de este ensayo, donde se utilizó un woofer Logitech para la emisión del sonido, los cuales fueron instalados en un extremo de la cámara a 1,20m del panel. En el otro extremo de la cámara a 1,20 m se instaló el Xplorer GLX, con su respectivo sensor de sonido.

La NCh 2786 establece que la distancia ideal entre los parlantes y el aislante a ensayar debe ser de 1,2mts y establece los rangos de frecuencia que se deben utilizar, para poder realizar los ensayos acústicos.



Figura 4.7.- Camara aislante y Xplorer GLX.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.8.- Camara aislante y fuente de sonido.

Fuente: Elaboración Propia

Las frecuencias a emitir corresponden a bandas de octava, las cuales van desde los 100 Hz hasta los 5000 Hz. Estas fueron generadas mediante un software llamado “Audacity”, instalado en el ordenador y se transmitieron por periodos de tiempo de 30 segundos, los datos de estas frecuencias fueron registradas ocupando el software “PASCO Caspone”.

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

Tabla 4.9.- Frecuencias de octavas

Fuente: Nch 2786 of 2002

Se mide la intensidad sonora dentro de la cámara sin paneles en su interior, luego se instala los 2 tipos aislantes propuesto en su interior y luego el panel de volcapol o poligyp. Con los datos obtenidos, se establecerán parámetros comparativos de aislación acústica, para determinar las propiedades acústicas de los aislantes. Los datos registrados en el ensayo acústico se pueden observar en la siguiente tabla.

frecuencia (Hz)	Decibeles registrados por el sonometro dentro de la camara con fuente de sonido				Diferencial acustico		
	Sin Panel	Panel 40mm	Panel 50mm	Volcapol (40mm)	P. de 40mm	P. de 50mm	P.volcapol
100	95,2	80	79,4	80	15,2	15,8	15,2
125	102,8	87,9	86,9	88,5	14,9	15,9	14,3
160	85,1	83,4	82,6	83,4	1,7	2,5	1,7
200	93,1	70	70	70	23,1	23,1	23,1
250	91,9	77,8	73,8	75,9	14,1	18,1	16
315	100,1	80,6	80,3	76	19,5	19,8	24,1
400	103,3	81,5	81,4	82,3	21,8	21,9	21
500	110,6	86,6	85,7	87,3	24	24,9	23,3
630	99,8	86,8	86,2	90,6	13	13,6	9,2
800	94,4	79,3	77,2	76,5	15,1	17,2	17,9
1000	85,4	70	70	70	15,4	15,4	15,4
1250	97	70	70	70	27	27	27
1600	88,8	71,6	71	81,8	17,2	17,8	7
2000	91,7	71,1	70,3	70	20,6	21,4	21,7
2500	97,3	77,8	77,2	84	19,5	20,1	13,3
3150	77	70	70	70	7	7	7
4000	95,3	78,1	78,3	78,5	17,2	17	16,8
5000	94,3	70	70	70	24,3	24,3	24,3

Tabla 4.10.- Datos ensayo de aislación acústica
Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en los datos de la tabla 4.9 los paneles propuestos, reducen la fuerza de la energía sonora emitida en las distintas frecuencias, es decir se aprecia una considerable reducción acústica más aun en el panel de 50mm de espesor, donde se ocupó 10mm mas de espuma de poliuretano .También se puede observar que no existen grandes diferencias en el comportamiento de reducción sonora entre los aislante artesanales y el aislante industrial.

En el gráfico de la figura 4.9 podemos apreciar el buen comportamiento a la aislación de los distintos paneles que se ensayaron en la cámara aislante.

El campo audible de decibeles para una persona va de 0 a 120 dB. El nivel 0 es el mínimo nivel de Presión Acústica que el odio humano percibe. Se considera un nivel de 120 dB produce daños irreversibles en el sistema auditivo(K, 2013).

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

- Muy Bajo: 10 – 30
- Bajo: 30 - 55
- Ruidoso: 55 – 75
- Ruido Fuerte: 75 – 100
- Ruido Insoportable: > 100
- El umbral de dolor: < 140

La banda de audición se divide en tres regiones:

- Frecuencia bajas o graves: 20 – 400 Hz
- Frecuencia medias: 400 – 1600 Hz
- Frecuencias altas o agudos: 1600 – 20000 Hz

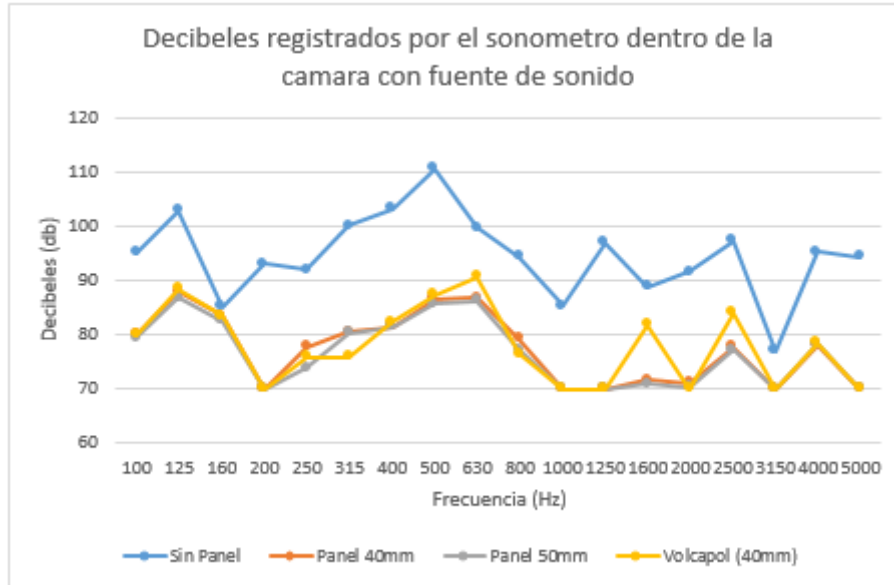


Figura 4.9.- Decibels V/S Frecuencia
Fuente: Elaboración propia.

Se observa claramente que los 3 tipos de panel aisladores tiene un buen comportamiento en la reducción sonora y en algunas frecuencias los aislantes artesanales actúan de mejor forma que el panel industrial.

También se graficó el diferencial acústico para observar de mejor forma cuanto aíslan dependiendo la frecuencia de las bandas octavas para cada uno de los distintos tipos de panel ensayados en la cámara aisladora, se observan en el grafico 4.10:

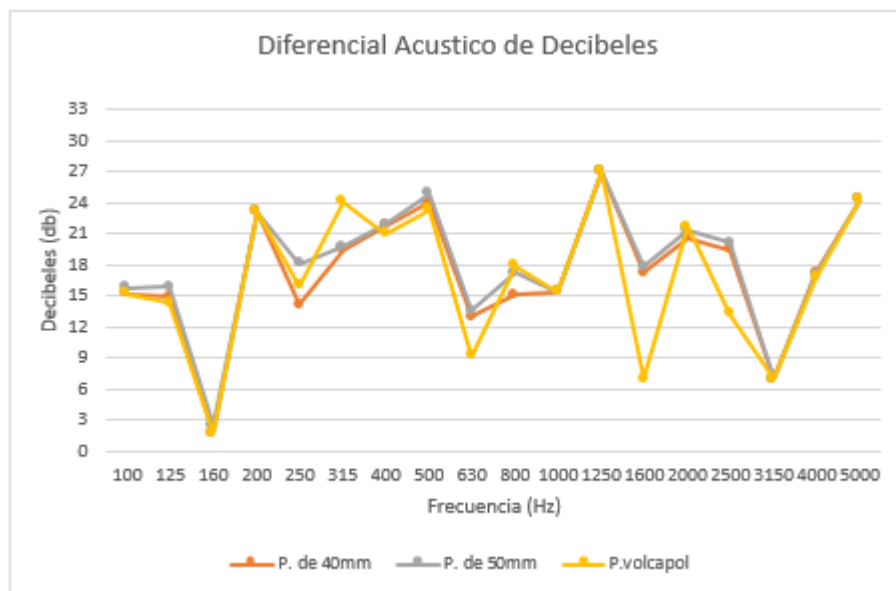


Figura 4.10.- Diferencial de decibels V/S Frecuencia
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.10 se muestra de mejor forma como el panel en estudio actúa de mejor forma en la aislación en las distintas frecuencias ejecutadas en comparación con el panel industrial (Volcapol).

La Universidad austral de Chile realizó un estudio de las zonas en Santiago que tienen mayor nivel de ruido o por el contrario unos menores índices de contaminación, para ello generaron un Mapa de Ruido donde se aprecian las mayores fuentes sonoras y consigo la contaminación acústica. Cabe señalar que este estudio es pionero en Latinoamérica ya que considera una superficie aproximada de 1.000 km², pero donde el 70% de Santiago es Ruidoso((MMA), 2012).

Cabe destacar que el estudio representa el ruido que es generado por el tránsito vehicular durante el periodo del día, por lo que no considera las fuentes fijas.

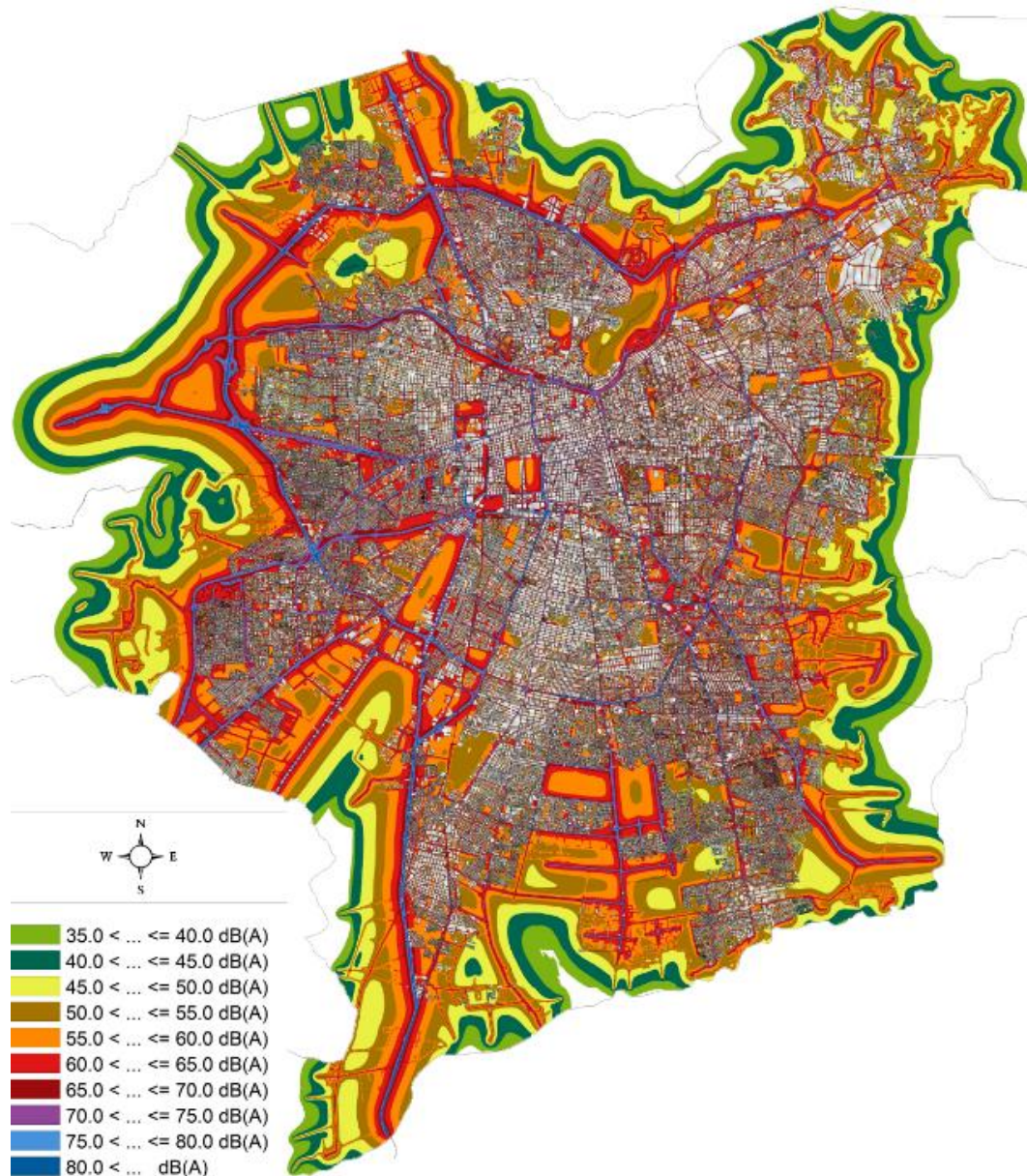


Figura 4.11.- Decibels en Santiago de Chile.
Fuente: Elaboración propia((MMA), 2012).

Finalmente los mapas de ruido son una herramienta fundamental en la gestión en control de ruido ambiental, ya que permiten evidenciar la presencia y magnitud del ruido, así como su distribución y la extensión de las áreas afectadas, permitiendo orientar la toma de decisión en diferentes ámbitos, destacando el ordenamiento territorial, aislamiento acústico en viviendas, elaboración de normativa ambiental, prevención de conflictos acústicos y educación y sensibilización((MMA), 2012). Por lo que nuestro panel podría ser una alternativa para mejorar a disminuir el impacto ambiental y en las ciudades de Chile.

4.6 Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión

El propósito del ensayo es determinar cuáles son las cargas que soportara el panel propuesto cuando esté instalado en el envoltorio interior de la vivienda, al someterse a esfuerzo de flexión y luego así determinar su grado y subgrado RT(resistencia a las cargas transversales).

Este ensayo se ejecutó según la Nch 803 of 2003 y a la vez se utilizó la Nch 806 of 1971 para ver la clasificación de los paneles según su resistencia mecánica.

Grado RT	Carga de rotura kg/ml	Límite de proporcionalidad kg/ml
1	500 a 1 000	mínimo 250
2	1 000 a 1 500	mínimo 500
3	1 500 ó más	mínimo 1 000

Subgrado RT	Deformación admisible ³⁾ mm
a	50 a 100
b	25 a 50
c	25 ó menos

Fuente: Nch 806 of 1971

Para determinar si el panel propuesto de espuma de poliuretano, corcho y yeso cartón poseen propiedades mecánicas se efectuarán los ensayos para 3 tipos de paneles:

- 3 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 10mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 10mm.
- 3 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 15mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 15mm.

- 3 paneles constituidos por yeso cartón de 10 mm, poliestireno expandido de 30 mm (panel en comercio).

4.6.1 Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión en paneles con espesor de 40 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 10mm de espesor)

Se procedió a instalar de forma horizontal según lo explicado anteriormente en el capítulo III, para luego proceder a poner de forma correcta los apoyos y los rodillos con las platinas metálicas para aplicar de mejor forma las cargas uniformemente en todo el largo del panel.

Se colocó un dial para verificar la deformación cada vez que aumentase la carga puntual.



Figura 4.12.- Ensayo de flexión panel 40mm de espesor

Fuente: Elaboración propia.

Este ensayo se efectuó en 5 paneles de dimensiones de 60X60 cm y los resultados de cada probeta ejecutada fueron promediados para obtener una tabla resumen con la carga aplicada con su respectiva deformación.

Panel propuesto e=40mm	
Carga aplicada (kg)	Deformación (mm)
150	3,1
200	7,1
250	12,7
300	18,5
350	18,5
400	18,5
450	20,6
500	20,6
550	20,6
600	21,9
650	21,9
700	22,5
750	25,2
800	25,2
850	25,2
900	25,2
950	25,2
1000	25,2

Tabla 4.11.- Datos ensayo de flexión panel 40 mm
Fuente: Elaboración propia

En esta tabla están los promedios de la medición de las cargas y su deformación de las 5 probetas representativas de los paneles artesanales.

La carga se fue aumentando gradualmente y se anotó la deformación cada 50 kg luego de los 150 kg ya que antes no se efectuó ninguna deformación por lo que tiene una gran resistencia mecánica bajo los 150 kg .Al aumentar las carga se observó que la deformación fue aumentando hasta llegar a una deformación constantes luego de los 750 kg donde se originó una ruptura interior del panel por lo que se llegó hasta los 1000 kg para finalizar el ensayo.

Luego se observó que el panel volvió a su estado original gracias a la elasticidad del panel aislante por lo que se interpreta que la lámina de corcho ayudo en esta propiedad y la gran resistencia de la espuma de poliuretano.

Este cumple con la norma Nch 803 of 2003 ya que logra la resistencia mínima requerida de 500kg, por lo que este panel tendría un Grado RT 1 y Sub grado RT b, ya que tiene una deformación admisible de 25 a 50 mm.

4.6.2 Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión en paneles con espesor de 50 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 15mm de espesor)

Las condiciones y equipamiento para este panel fueron las mismas que los ensayos del panel anterior, solo que cuenta con 10 mm más de espuma de poliuretano.

El resultado de las cargas y deformaciones de las 5 probetas están promediadas en esta tabla de resultados resumidos a continuación.

Panel propuesto e=50mm	
Carga aplicada (kg)	Deformación (mm)
150	2,8
200	6,6
250	11,9
300	18,2
350	18,2
400	21,6
450	21,6
500	21,6
550	21,6
600	22,8
650	22,8
700	24,8
750	24,8
800	24,8
850	26,3
900	26,3
950	26,3
1000	26,3

Tabla 4.12.- Datos ensayo de flexión panel 50 mm

Fuente: Elaboración propia

La carga se fue aumentando gradualmente y se anotó la deformación cada 50 kg luego de los 150 kg ya que antes no se efectuó ninguna deformación por lo que tiene una gran resistencia mecánica bajo los 150 kg .Al aumentar las carga se observó que la deformación fue aumentando hasta llegar a una deformación constantes luego de los 850 kg donde se originó una ruptura interior del panel por lo que se llegó hasta los 1000 kg para finalizar el ensayo.

Luego se observó que el panel volvió a su estado original gracias a la elasticidad del panel aislante por lo que se interpreta que la lámina de corcho ayudo en esta propiedad y la gran resistencia de la espuma de poliuretano.



Figura 4.13.- Ensayo de flexión panel 50mm de espesor
Fuente: Elaboración propia.

Este cumple con la norma Nch 803 of 2003 ya que logra la resistencia mínima requerida de 500kg, por lo que este panel tendría un Grado RT 1 y Sub grado RT b, ya que tiene una deformación admisible de 25 a 50 mm al igual que el otro panel propuesto.

4.6.3 Ensayo mecánico para la resistencia a la flexión en paneles de volcapol de 40 mm de espesor.

Al igual que los ensayos térmicos y acústicos se ejecutó el ensayo a los paneles volcapol o poligyp para ver cómo reaccionan ante cargas y observar en cual grado de resistencia se encuentran, por lo que las condiciones y equipamiento para este panel fueron las mismas que los ensayos de los paneles anteriores.

El resultado de las cargas y deformaciones de las 5 probetas están promediadas en esta tabla de resultados resumidos a continuación.

Panel Volcapol e=40mm	
Carga aplicada (kg/ml)	Deformación (mm)
150	2,6
200	7,6
250	12,8
300	12,8
350	12,8
400	17,9
450	17,9
500	17,9
550	17,9
600	20,5
650	20,5
700	20,5
750	20,5
800	20,5
850	20,5
900	20,5
950	20,5
1000	20,5

Tabla 4.13.- Datos ensayo de flexión panel 40 mm

Fuente: Elaboración propia

La carga se fue aumentando gradualmente y se anotó la deformación cada 50 kg luego de los 150 kg ya que antes no se efectuó ninguna deformación por lo que tiene una gran resistencia mecánica bajo los 150 kg al igual que los paneles artesanales .Al aumentar las carga se observó que la deformación fue aumentando hasta llegar a una deformación constantes luego de los 650 kg donde cabe señalar que se originó una ruptura del panel al pasar de los 600 kg a los 650 kg por lo que se siguió el ensayo hasta llegar a los 1000 kg.



Figura 4.14.- Ensayo de flexión panel volcapol
Fuente: Elaboración propia.

Este cumple con la norma Nch 803 of 2003 ya que logra la resistencia mínima requerida de 500kg, por lo que este panel tendría un Grado RT 1 y Sub grado RT c, ya que tiene una deformación admisible de 25mm menos.

4.7 Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión.

El propósito del ensayo es determinar cuáles son las cargas que soportara el panel propuesto cuando esté instalado en el envoltorio interior de la vivienda, al someterse a esfuerzo de compresión y luego así determinar su grado y subgrado RC.

Este ensayo se ejecutó según la Nch 801 of 2003 y a la vez se utilizó la Nch 806 of 1971 para ver la clasificación de los paneles según su resistencia mecánica.

Grado RC	Carga de rotura kg/ml	Límite de proporcionalidad kg/ml
1	1 000 a 3 000	mínimo 500
2	3 000 a 8 000	mínimo 1 500
3	8 000 ó más	mínimo 4 000

Subgrado RC	Deformación admisible ¹⁾ mm
a	14 a 21
b	7 a 14
c	7 ó menos

Fuente: Nch 806 of 1971

Para determinar si el panel propuesto de espuma de poliuretano, corcho y yeso cartón poseen propiedades mecánicas se efectuaron los ensayos para 3 tipos de paneles:

- 5 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 10mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 10mm.
- 5 paneles constituido por yeso cartón de 10mm, espuma de poliuretano 15mm, lamina de corcho 10mm y finalmente espuma de poliuretano de 15mm.
- 5 paneles constituidos por yeso cartón de 10 mm, poliestireno expandido de 30 mm (panel en comercio).

4.7.1 Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión en paneles con espesor de 40 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 10mm de espesor)

El ensayo se ejecuta teniendo el elemento a estudiar de forma vertical y someter la carga de compresión de forma centrada, donde se fija con una platina a lo ancho del panel para que no se produzca deslizamiento.



Figura 4.15.- Ensayo de compresión panel 40 mm
Fuente: Elaboración propia.

Se realizó con 5 probetas por panel con dimensiones de 48x36cm, donde se observó la carga aplicada con la deformación que iba generando a medida que se aumentaba la carga centrada.

Al igual que el ensayo de flexión se ocupó un dial para medir la deformación del panel.

Panel propuesto e=40mm	
Carga aplicada (kg/ml)	Deformación (mm)
150	0,1
200	1,3
250	2,7
300	3,4
350	4
400	4,5
450	5,1
500	5,7
550	6,4
600	7,7
650	10,2
700	12,7
750	13,9
800	15,6
850	16,8
900	18,1
950	18,1
1000	20,4

Tabla 4.14.- Datos ensayo de compresión panel 40 mm
Fuente: Elaboración propia

Se generó esta tabla luego de haber sacado los promedios de las deformaciones de las 5 probetas por cada carga aplicada.

Al igual que el ensayo de flexión el panel artesanal tubo buenas reacción a la deformación ya que se produjo un quiebre de la estructura luego de los 1000 kg por lo que el dial marco una deformación constantes luego de la ruptura.

Al momento de detener el ensayo el panel aislante vuelve a tu estado original por lo que la elasticidad al igual que en el ensayo de flexión es de gran importancia ya que no pierde sus dimensiones y propiedades.

Este panel logra cumplir con la norma ya que cumple con la mínima carga (1000kg) sin presentar ninguna falla. Este aislante tiene un grado RC 1 Y sub grado RC a, ya que se observa una deformación admisible de 14 a 21 mm.

4.7.2 Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión en paneles con espesor de 50 mm (2 capas de espuma de poliuretano de 15mm de espesor)

Las medidas de las probetas, condiciones y equipos a utilizar son los mismos que en el ensayo de compresión anterior, cambiando solo el espesor donde se aumentó en 10 mm la espuma de poliuretano.



Figura 4.16.- Ensayo de compresión panel 50 mm
Fuente: Elaboración propia.

Al igual que todos los datos se promediaron las deformaciones por cada carga aplicada de las 5 probetas de este panel de 50mm de espesor total.

Panel propuesto e=50mm	
Carga aplicada (kg/ml)	Deformación (mm)
150	0,3
200	1,3
250	2,3
300	2,7
350	3,4
400	3,9
450	4,5
500	5,4
550	6,1
600	7,4
650	9,7
700	10,5
750	13,2
800	15,4
850	16,1
900	18,6
950	18,6
1000	19,8

Tabla 4.15.- Datos ensayo de compresión panel 50 mm
Fuente: Elaboración propia

Como se observa al tener un mayor espesor este panel artesanal tiene a tener una deformación menor a la misma carga de 1000 kg que el panel anterior de 40 mm de espesor.

Cabe destacar que al dejar de ensayar el panel tomo su estado original al igual que el panel anterior y reaccionando de la misma forma que en el ensayo de flexión por lo que no pierda la función de la elasticidad.

Este panel logra cumplir con la norma ya que la mínima carga aplicada al momento de producirse la falla debe ser de 1000 kg, donde este panel genera su ruptura luego de pasar los 1100 kg con una deformación constante de 19mm. Por lo que este aislante según la norma 806 of 1971 tiene un grado RC 1 y Sub grado RC a, ya que cuenta con una deformación admisible de 14 a 21mm.

4.7.3 Ensayo mecánico para la resistencia a la compresión en paneles de Volcapol de 40 mm de espesor.

Al igual que los ensayos térmicos y acústicos se ejecutó el ensayo a los paneles volcapol o poligyp para ver cómo reaccionan ante cargas y observar en cual grado de resistencia se encuentran a la compresión, por lo que las condiciones y equipamiento para este panel fueron las mismas que los ensayos de los paneles anteriores.



Figura 4.17.- Ensayo de compresión panel volcapol
Fuente: Elaboración propia.

El resultado de las cargas y deformaciones de las 5 probetas están promediadas en esta tabla de resultados resumidos a continuación.

Panel Volcapol e=40mm	
Carga aplicada (kg/ml)	Deformación (mm)
150	1,2
200	2,1
250	3,5
300	5,2
350	7,7
400	13,7
450	16,4
500	18,6
550	20,2
600	20,2
650	20,2
700	20,2
750	20,2
800	20,7
850	20,7
900	20,7
950	20,7
1000	20,7

Tabla 4.16.- Datos ensayo de compresión panel volcapol
Fuente: Elaboración propia

El panel industrial utilizado generó una deformación constante luego de pasar los 800 kg, donde comparando con los aislantes artesanales tiende a una mayor deformación.

Este panel logra cumplir con la norma ya que la mínima carga aplicada al momento de producirse la falla debe ser de 500 kg como, límite de proporcionalidad, donde este panel tiene falla luego de pasar los 800 kg con una deformación constante de 20,7mm. Por lo que este aislante según la norma 806 of 1971 tiene un grado RC 1 y Sub grado RC a, ya que cuenta con una deformación admisible de 14 a 21mm.

4.8 Ensayo de resistencia al fuego

Para evaluar las cualidades ignífugas y además si estas son superiores al aislante de uso común se realizaron ensayos a los 2 paneles artesanales y al industrial, bajo las mismas condiciones para obtener datos que fueron comparados además de su clasificación.

Se usó como referencia la Norma Española UNE 23-725-90. Para su clasificación se realizó con la clasificación Europea de reacción al fuego de los materiales según RD 312/2005 y la Norma UNE-EN 13501. EUROCLASES.

Las clases son A1, A2, B, C, D, E, F que se definen de esta forma:

A1: No Combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego

A2: No Combustible. Sin contribución en grado menor al fuego

B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego

C: Combustible. Contribución limitada al fuego

D: Combustible. Contribución media al fuego

E: Combustible. Contribución alta al fuego

F: Sin clasificar

Se da comienzo al ensayo una vez que la llama proveniente del soplete alcance una temperatura de 300°C donde se procese a colocar las probetas con dimensiones de 50 x 9 cm a una distancia de 3 cm de la boquilla del soplete. Luego de ello se da paso a colocar el cronometro por 5 minutos que dura el ensayo segunda la norma española.

También existe una clasificación de carácter obligatorio en la mayoría de clases a pesar de que alguna de ellas pueda quedar exenta de clasificación adicional. Los conceptos a considerar son: - opacidad de los humos, s (smoke) con denominación s1, s2, s3, para baja, media o alta opacidad de humos (incorpora los conceptos de velocidad de propagación y producción total de humos). - caída de gotas o partículas inflamadas, d (drop) con denominación d0, d1, d2, para nula, media o alta caída de gotas o partículas inflamadas.



Figura 4.18.- Ensayo ignifugo paneles propuestos
Fuente: Elaboración propia.

Al ensayar los paneles propuestos no existió aparición de llama luego de terminar el ensayo a los 5 min pero al tratarse de un material combustible su clasificación es con la letra b, también se clasificará con un valor S1 por la baja producción de humo y propagación del fuego ya que la lámina de corcho actúa como corta fuego.

Con respecto a la caída de gotas o partículas inflamadas estos paneles propuestos tienen una clasificación de d0 por la inexistencia de caídas de gotas.

Entonces su clasificación final de las 2 propuestas tanto como la de 50mm de espesor como las de 40 mm sería B-s1, d0 por lo que tendrían la capacidad de ser utilizados en aislamiento térmico o para acondicionamiento acústico, para edificaciones protegidas contra el fuego.



Figura 4.19.- Ensayo ignifugo paneles volcapol
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo fue ejecutado con las mismas condiciones descritas en el proceso anterior, pero ahora se ensayó el panel existente en el comercio (Volcapol o Poligyp)

Al ensayar los paneles existió aparición de llama luego de terminar el ensayo a los 5 min pero al tratarse de un material combustible media al fuego su clasificación es con la letra D, también se clasificará con un valor S3 por la alta producción de humo y propagación del fuego ya que el poliestireno expandido no tiene resistencia al fuego por lo que se propaga en segundos.

Con respecto a la caída de gotas o partículas inflamadas estos paneles propuestos tienen una clasificación de d0 por la inexistencia de caídas de gotas.

Entonces su clasificación final sería B-s3, d0 por lo que tendrían la capacidad de ser utilizados en aislamiento térmico o para acondicionamiento acústico, para edificaciones protegidas contra el fuego.

5 Capítulo V: Conclusiones y Propuestas de futuros estudios

5.1 Conclusiones

El yeso cartón junto a la aislador conformado por la espuma de poliuretano y corcho que generaron este panel en estudio tuvieron buenos resultados en los ensayos para una posible solución al aporte a la eficiencia energética junto a una buena mejora a aumentar los m^2 de la vivienda al interior ya que al no tener necesidad de tener un gran espesor para tener una buena aislación con el exterior.

Con estos ensayos se logró obtener el comportamiento termo-acústico, mecánico (compresión y flexión) e ignífugo por lo que se da cumplimiento al objetivo general de esta investigación, gracias a las experiencias desarrolladas en el laboratorio. Por el lado del comportamiento térmico se encontró un diferencial térmico, donde se interpreta la oposición del traspaso del calor y también se observó la efectividad como aislante en las frecuencias generadas ya sea alta y bajas en la cámara aisladora ya que nunca se efectuó nivel de db mayor a los db efectuado por la emisora de sonido sin utilizar ningún panel en el interior de la cámara.

También el buen comportamiento mecánico que se obtuvieron de los aislantes propuestos, donde se verifico la gran resistencia mecánica tanto como la flexión como la compresión al someterse a cargas altas.

Pero por otro lado nace la necesidad de observar la mejora de los paneles al variar o eliminar materiales. Y así obtener una propuesta más económica sin perder sus propiedades termo-acústicas. Por lo que al usar un material que se utilice en el perímetro interior de la vivienda en vez de optar por un muro de hormigón armado de mayor espesor puede disminuir el costo de montaje y a la vez el costo de material.

5.1.1 Respecto con la aislación térmica

Luego de efectuar los ensayos en el laboratorio, se determinó la gran eficiencia térmica de los paneles propuestos, donde la capacidad de retener el calor en un ambiente determinado y tener una buena aislación con respecto al elemento comparado, contribuye al ahorro energético, ya que se producen menores pérdidas de calor, por lo que obliga a un menor uso de energías no renovables y disponer a la ayuda de encontrar un confort térmico adecuado a las personas.

Los paneles propuestos al tener un diferencial térmico promedio $9,9^{\circ}C$ y teniendo en cuenta que el panel volcapol o poligyp tiene un $10,4^{\circ}C$ se destaca la gran capacidad térmica al impedir el paso del flujo calórico o bien una gran capacidad de aislar las temperaturas ya que al proponer un panel tipo artesanal y que de resultado a $1^{\circ}C$ menor a un panel industrializado.

Al efectuar el uso de estos paneles no solo ayudara a la aislación térmica sino que también se efectuara una mejora en el aumento del m^2 del espacio interior que va a tener la vivienda, ya que, no se necesitara un espesor mayor para llegar a la aislación normada por lo que no será necesario incluir un muro de hormigón de gran espesor ya se compensara con el panel aislador.

5.1.2 Respetto con la aislación acústica

Con respecto a la aislación acústica, luego de los datos obtenidos de los ensayos en el laboratorio se concluye que el los 2 paneles propuestos, tiene un mayor índice de aislación acústica en los distintas frecuencias establecidas.

Los paneles presentaron en todas las frecuencias tanto como altas que bajas una buena aislación, en cuanto el volcapol o poligyp tuvo incidencia en las frecuencias bajas (100 a 200 Hz), pero llegando a las frecuencias altas con su máxima aislación al igual que los paneles artesanales, pero teniendo una irregularidad en la frecuencia de 2500 Hz de la banda de tercio octava. Por lo que el panel tiene unas buenas propiedades acústicas de acuerdo a la comparación del panel industrial que ya fue evaluado por la Nch 2786 of 2002.

Por lo que al efectuar la instalación de estos paneles en el envoltente de la vivienda expuesta a un ruido de tráfico o bien urbano (65 y 70 db), tomando como ejemplo ciudades de la Región De Valparaíso y ayudar a mejorar el confort acústico al interior de la vivienda mediante la capacidad de la aislación acústica.

5.1.3 Respetto a las propiedades mecánicas

Se logró obtener buenos resultados, teniendo en consideración que los materiales ocupados son muy ligeros. Al ocupar un material elástico como es el corcho y a la vez una material rígido y liviano como es la espuma de poliuretano dio forma a un panel con gran resistencia tanto a los esfuerzos de flexión como a la compresión llegando a pasar los 900 kg sin tener ninguna falla o grieta y por la gran elasticidad del panel ayudo a tener una resistencia aun mayor a lo pensado antes de efectuar los ensayos.

Por lo que los paneles artesanales como industriales cumplieron con las normas vigentes (Nch 803 of 2003, Nch 801 of 2003 y Nch 806 of 1971).

5.1.4 Respetto a los costos asociados

Los costos asociados a la fabricación de esta solución constructiva se puede concluir que el costo es el doble que los utilizados en el comercio, ya que se emplearon materiales costos para una mejora en prestaciones termo-acústicas como mecánicas.

El propósito de mejorar el confort de las personas y ayudar a la eficiencia energética tendrá que ser compensado monetariamente, pero a la vez también ahorrando de mejor manera al utilizar menos calefacción y refrigeración. Por lo que importante considerar este producto como un futuro elemento de construcción.

5.1.5 Respecto a objetivos

Los objetivos establecidos al principio de esta investigación cumplieron de manera conforme. En el objetivo general se logró mediante la experiencia que se ejecutó en el laboratorio de la docencia, donde se determinaron las propiedades de aislación térmicas y acústicas del elemento propuesto obteniendo buenos resultados y no lejanos a propuestas ya establecidas en el comercio.

También se satisficieron las propiedades mecánicas que posee el elemento al momento de ser sometido a esfuerzos de compresión y flexión por lo que además se cumplió con objetivos específicos.

5.1.6 Respecto a la hipótesis

El Panel Compuesto formado por Corcho, Espuma de Poliuretano y Yeso cartón presentará prestaciones de aislación termo-acústica y mecánicas para ser aplicado en el perímetro interior de construcciones del tipo habitacional

Los resultados y análisis realizados en el laboratorio de docencia validan la hipótesis planteada, ya que el panel de construcción logro tener buenas prestaciones de aislación, mecánicas e ignifugas.

Este panel al haber presentado una cualidades de aislación puede ser generado como una alternativa para uso perimetral interior de una edificación, para entregar de mejor forma un confort y así lograr una mejor calidad de vida junto a la eficiencia energética.

La estructuración del panel compuesto junto a las características de cada material utilizado, originó un buen resultado para cada una de las prestaciones que debe cumplir un material aislante en la construcción, por ello que al ser colocado en el envolvente interior de la vivienda, generaría la posibilidad de disminuir el espesor perimetral de la edificación (muro) por lo que aumentaría los m² de la vivienda en su interior.

5.2 Futuras investigaciones

Se alude a futuras investigaciones para un estudio posterior para mejorar esta propuesta, otras opciones para una mejora en su eficiencia como aislante o bien un uso de aplicación distinta.

- Evaluar la resistencia al impacto
- Proponer la reducción de materiales para abaratar costos totales de los paneles y además buscar distintos procesos constructivos para un mayor rendimiento y optimizar tiempos.
- Evaluar solo con una capa de espuma de poliuretano junto con la lámina de corcho.
- Evaluar utilización del panel como elemento constructivo horizontal.

5.3 Bibliografía

Ministerio de energía. (2011). *CRECIMIENTO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA ECONOMÍA NACIONAL*.

(IDAE), I. p. (2007). *Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable*.

803, N. (2003). *Elementos de construcción –Paneles-Ensayo de flexión*.

Acustec.cl. (2010). *confort acústico*.

Antoni, I. (2001). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL ABSORBENTE CON MATERIALES DE RESIDUO SÓLIDO*.

Astudillo, A. (2013). *Gasto en energía de hogares sube hasta 55% en invierno*.

Balance Nacional de Energía . (2013). *SISTEMA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS*.

Bermudez, F. M. (2014). *Evaluacion de las propiedades termo acusticas y mecanicas de un panel en base a papel de diario y yeso con corcho*.

Blender, M. (2012). *Envolverte termica "Una promesa tramposa", Ministerio de Obras Publicas (MOP)*.

Cardenas.J.P. (2012). *Estudio a viviendas en Temuco arrojo graves falencias en el sistema de aislacion termo-acustica*.

Carrión, A. (1998). *Diseño acústico*.

Casal, E. R. (1985). *CONTAMINACIÓN ACÚSTICA:EFECTOS SOBRE PARAMETROS FISICOS Y PSICOLOGICOS*.

Casls-tres. (2001). *Crisis ambiental:producto de la industrializacion*.

Chovacustic. (2016). *Manual de aislamineto acustico en la edificacion*.

CNE. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*.

Concha, S. (2016). *SOUDAL;Revista EMB Construcción*.

CORMA. (2007). *Corporacion Chilena de la madera;Manual de construccion de viviendas en madera*.

Cuchi, A. (2010). *Cambio global españa:La imprescindible reconversion del sector frente al reto de la sostenibilidad*.

Delannoy, J. *Doctor en ingenieria acustica* .

- Díaz Sanchidrián, C., & Pedrero González, A. (2001). *Mediciones in situ del aislamiento acústico al ruido aéreo y de impacto entre locales superpuestos.*
- Ecork. (2010). *Láminas de corcho portugués, grano pequeño 0,5/1mm.*
- Emol. (2016). *Consumo de energía aumenta 18% en la época invernal aunque hay formas de amortiguarlo.*
- Espinoza, J. C. (2014). *el comportamiento acústico en panel compuesto EPS.PUR.EPS (Poliestireno Expandido, Espuma Poliuretano, Poliestireno Expandido).*
- Espinoza, J. C. (2014). *Estudio de Comportamiento Acústico en Panel Compuesto EPS.PUR.EPS.*
- ETSA. *Ficha tecnica Poliestireno Expandido ,Envases Termoaislantes.*
- FOA. (2011). *TIPOS DE REVESTIMIENTO PROTECTOR PARA BODEGAS DE PESCADO Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES AISLANTES.*
- Garrido, B. S. (2003). *Historia de la Ley, Nº 19.300, Bases del Medio Ambiente.*
- Gonzales. (2010). *Evaluacion termica y acustica de un panel fabricado a base de papel de diario y PET reciclado.*
- González, M. I. (2015). *Consumo eléctrico se cuadruplicó en 20 años.*
- IETCC. (2001). *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.*
- INN. (2003). *Medicion de aislacion acustica en construcciones y elementos de construccion-Mediciones en laboratorio de la aislacion acustica aerea de elementos de construccion.*
- Jose Pedro Campos (director ejecutivo del instituto de laconstruccion). (2012).
- Larrea, R. (2008). *Nuevas tecnicas activas orientadas a la eficiencia energetica.*
- Lavin, F. E. (2012). *DESARROLLO DE AISLANTES TÉRMICOS EMPLEANDO RASTROJOS DE MAÍZ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS;UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO.*
- Martinez, J. (2005). *Los sistemas estructurales en la arquitectura contemporanea.*
- 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.
- Mesa, P. V. (2015). *Evaluación Técnica de un Aislante Térmico a Base de Fibra de Papel Reciclado.*

- Ministerio De Energia. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*.
- Minvu. (2013). *Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social*.
- Minvu. (2009). *Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social*.
- MINVU. (2014). *Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y*.
- MINVU. (2007). *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica*.
- 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*.
- Otero, A. V. (2005). *Escuela Politecnica Superior de Avila ;Ingenieria de Obras Publicas;Ciencias y Tecnología De Los Materiales*.
- Quiminet. (2011). *El poliuretano, la mejor solución para el aislamiento térmico*.
- Ramirez. (2012). *"Conceptos de aislacion termica" Universidad Francisco De Paula Santander*.
- Reyna, M. (2014). *Propiedades Térmicas de los Materiales*.
- Robles, L. V. (2007). *USO DE FIBRAS DE PAPEL PERIÓDICO, CAL HIDRATADA YALUMBRE, EN LA ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO*.
- Romero, A. (2015). *Comisión Nacional de Energía (CNE) "Gasto energetico asociado al crecimiento economico"*.
- Rybczynski. (1992). *Cap 1 El confort en el reacondicionamineto bioclimatico*.
- S.Cardenas. (2010). *"Diseño acustico de un salon de clases" instituto politecnico nacional,Escuela Superior de Ingenieria Mecanica y Electrica, Mexico,tesis de grado*.
- Salvo, D. (2010). *Evaluacion de las propiedades termicas y mecanicas de elemnetos de construccion en base a papel de diario y yeso*.
- Sanchis, E. J. (2008). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA;MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN Y CARACTERIZACION DE MATERIALES PARA USO EN ACUSTICA ARQUITECTONICA*.
- Sonoflex. *Ficha tecnica Lana mineral, Sonoflex Chile Ltda*.
- Truax, B. (1999). *MANUAL PARA LA ECOLOGÍA ACÚSTICA*.