



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Construcción Civil

**“Evaluación de un Aislante Térmico y Acústico, Fabricado con Envase de Tetra Pack y Rollo Libre de Lana de Vidrio.”**

Por

**Mario Andrés Lara Engelhardt.**

Tesis para optar al Grado de  
Licenciado en Ciencias de la Construcción y al  
Título de Ingeniero Constructor

**Profesor Guía: Alberto Moya Arredondo.**

2016.

## Agradecimientos

*Primero que todo quiero agradecer a mis padres Frieda Engelhardt A. y Juan Mario Lara I. por darme la posibilidad de estudiar lo que me gusta y en esforzarse cada vez más para financiar mi carrera.*

*Agradecer a mi profesor guía Alberto Moya A. por atenderme independientemente de su estrecha agenda por ser director de mi carrera.*

*Agradecer al Profesor Uriel Padilla y a Paz Romero por ayudarme en darle formato y redacción a mi tesis*

*Agradecer a Gastón Letelier y Madeline Arriagada por darme apoyo en el análisis de precio unitario y redacción de esta.*

*Ustedes han sido parte fundamental de este proceso, gracias por su apoyo brindado.*

# ÍNDICE

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>2</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>5</b>
<b>Lista de Ecuaciones.....</b>	<b>6</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Presentación del Tema.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Objetivos generales.....	12
1.2.2 Objetivos Particulares .....	12
<b>1.3 Alcances .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Metodología de investigación .....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Etapa 1.....	14
1.4.2 Etapa 2.....	14
1.4.3 Etapa 3.....	14
1.4.4 Etapa 4.....	14
1.4.5 Etapa 5.....	14
1.4.6 Etapa 6.....	14
<b>2 Descripción Térmica y Acústica de un Aislante.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Aislación térmica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Conductividad térmica.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Conducción .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Convección.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Radiación térmica .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Resistencia térmica .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7 Transmitancia térmica .....</b>	<b>18</b>
<b>2.8 Aislamiento acústico .....</b>	<b>19</b>
2.8.1 El sonido .....	20
2.8.1.1 Cualidades del sonido .....	21
2.8.2 Ondas sonoras.....	24
2.8.3 El ruido.....	26
<b>2.9 Confort térmico .....</b>	<b>28</b>
<b>2.10 Resumen del capítulo .....</b>	<b>29</b>
<b>3 Descripción de la Investigación .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Descripción .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Ensayo aislación térmica .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Ensayo aislación acústica.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4 Descripción del equipo.....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Tetra pack.....</b>	<b>38</b>
3.5.1 Reciclaje del tetra pack .....	38

3.5.2	Características del envase .....	39
<b>3.6</b>	<b>Lana de vidrio.....</b>	<b>40</b>
<b>3.7</b>	<b>Listado de conformidad.....</b>	<b>42</b>
<b>3.8</b>	<b>Construcción de prototipos .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>Presentación y Análisis de Resultados.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Generalidades .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Ensayo de aislación térmica .....</b>	<b>47</b>
4.2.1	Medición térmica de los prototipos .....	48
<b>4.3</b>	<b>Ensayo de aislación acústica.....</b>	<b>51</b>
4.3.1	Procedimientos del ensayo .....	51
4.3.2	Medición acústica primer prototipo .....	52
4.3.3	Medición acústica del segundo prototipo.....	54
4.3.4	Medición acústica del tercer prototipo. ....	56
4.3.5	Medición acústica de la lana de vidrio. ....	58
<b>4.4</b>	<b>Análisis de presupuesto.....</b>	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>Resumen de resultados.....</b>	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusión respecto a las propiedades térmicas .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2</b>	<b>Conclusión respecto a las propiedades acústicas.....</b>	<b>66</b>
<b>5.3</b>	<b>Conclusión respecto a costos .....</b>	<b>66</b>
<b>5.4</b>	<b>Conclusión respecto al reciclaje.....</b>	<b>67</b>
<b>5.5</b>	<b>Comentarios finales de los objetivos. ....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>71</b>
<b>7.1</b>	<b>Mapa de zonificación Quinta Región .....</b>	<b>71</b>
<b>7.2</b>	<b>Plano arquitectura vivienda social 50 m<sup>2</sup> .....</b>	<b>72</b>
<b>7.3</b>	<b>Tabla de datos transferencia de temperatura .....</b>	<b>73</b>
7.3.1	Tabla temperatura Capa Tetra pack.....	73
7.3.2	Tabla temperatura lana de vidrio .....	76
7.3.3	Tabla temperatura prototipo 1 .....	79
7.3.4	Tabla temperatura prototipo 2 .....	83
7.3.5	Tabla temperatura prototipo 3 .....	86

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Generación y valoración nacional por tipo de residuo.....	8
Figura 1.2 Capas del tetra pack .....	9
Figura 1.3 Diagrama de flujo de la investigación de un aislante térmico y acústico. .	13
Figura 2.1 Tipos de transferencia de calor en una vivienda. ....	16
Figura 2.2 Aislación acústica.....	20
Figura 2.3 Descripción longitud de onda. ....	24
Figura 2.4 Descripción periodo y longitud de onda. ....	25
Figura 2.5 Descripción amplitud. ....	25
Figura 2.6 Tipos de ruido .....	26
Figura 3.1 Prototipo 1, configuración del aislante.....	30
Figura 3.2 Prototipo 2, configuración del aislante.....	31
Figura 3.3 Prototipo 3, configuración del aislante.....	31
Figura 3.1 Cámara en donde se realizó la investigación.....	32
Figura 3.2 Software "PASCO CAPSTONE" .....	34
Figura 3.3 Fuente de sonido.....	35
Figura 3.4 Software "Audacity" .....	36
Figura 3.5 Equipo Xplorer GLX. ....	37
Figura 3.6 Dimensiones prototipos y ubicación sensor de temperatura .....	37
Figura 3.7 Cajas Tetra pack después del lavado. ....	38
Figura 3.8 Secado Tetra pack .....	38
Figura 3.9 Caja tetra pack lista para el pegado .....	39
Figura 3.10 Pie de metro para medir espesores. ....	40
Figura 3.11 Lana de vidrio de 40 mm de espesor. ....	41
Figura 3.12 Placas para el pegado de los prototipos .....	42
Figura 3.13 Capa de Tetra pack de 60x120 cm .....	43
Figura 3.14 Traslape de cajas para prototipos .....	44
Figura 3.15 Demostración y distribución de peso aplicado. ....	44
Figura 3.16 Prototipo terminado .....	45
Figura 4.1 Expresión grafica de los resultados de los prototipos y lana de vidrio según Xplorer.....	49
Figura 4.2 Gráfico de aislación acústica en el primer prototipo según receptor. ....	53
Figura 4.3 Grafico de aislación acústica en el segundo prototipo según receptor. ...	55
Figura 4.4 Grafico de aislación acústica en el tercer prototipo según receptor. ....	57
Figura 4.5 Gráfico de aislación acústica en a lana de vidrio según receptor.....	59
Figura 4.6 Gráfico resumen de aislación acústica de los prototipos y lana de vidrio ensayados.....	60
Figura 4.7 Gráfico resumen de costos con aislación térmica .....	64
Figura 4.8 Evaluación de desempeño .....	65

## Lista de Ecuaciones

Ecuación 2.1 Conductividad térmica .....	15
Ecuación 2.2 Resistencia térmica .....	17
Ecuación 2.3 Suma total de resistencia térmica.....	17
Ecuación 2.4 Resistencia térmica material compuesto .....	18
Ecuación 2.5 Transmitancia térmica .....	18
Ecuación 4.1 Diferencial de temperatura .....	34
Ecuación 4.2 Diferencial acústica.....	52

## Lista de Tablas

Tabla 2.1 Limites de transmitancia y resistencia térmica según por zonas.....	19
Tabla 2.2 Clasificación de ambientes según conforme a niveles sonoros .....	21
Tabla 2.3 Clasificación de frecuencias .....	22
Tabla 2.4 Valores de referencia para aislamiento .....	22
Tabla 2.5 Nivel de sonoridad de algunos fenómenos.....	23
Tabla 2.6 Clasificación de tipos de ruido .....	27
Tabla 2.7 Construcciones de uso habitacional .....	28
Tabla 3.1 Especificación técnica de las cajas tetra pack.....	40
Tabla 3.2 Especificación técnica lana de vidrio .....	41
Tabla 3.3 Listado de conformidad para la construcción de los prototipos. ....	46
Tabla 4.1 Detalle y comparación de prototipos con la lana de vidrio.....	50
Tabla 4.2 Aislación acústica para prototipo 1 según receptor .....	52
Tabla 4.3 Aislación acústica para prototipo 2 según receptor. ....	54
Tabla 4.4 Aislación acústica para prototipo 3 según receptor. ....	56
Tabla 4.5 Aislación acústica para lana de vidrio 40 mm de espesor según receptor. 58	
Tabla 4.6 Aislación acústica (dB) en determinadas frecuencias según receptor.....	61
Tabla 4.7 Costo de mano de obra por cada capa de tetra pack.....	62
Tabla 4.8 Precio unitarios de prototipos de superficie 0,5 mts <sup>2</sup> .....	62
Tabla 4.9 Costo unitario por prototipo. ....	63
Tabla 4.10 Resumen de resultados.....	64
Tabla 4.11 Parametros de comparacion de resultados finales.....	64
Tabla 4.12 Resumen de resultados respecto a parametros.....	64

# 1 Presentación del Tema

## 1.1 Planteamiento del problema

Una de las alertas que está presente en todo el mundo es el impacto ambiental. En los países más desarrollados es una problemática que hasta el día de hoy se ha tratado de disminuir, al igual que la climatización de las viviendas dentro de un proceso de bajo impacto para el medio ambiente, transformándose en un problema sustancial.

El problema ambiental es interpretar los deterioros del medio ambiente como fenómeno aislado, fortuitos pero inevitables en el curso de la vida. Los trastornos medioambientales se ven como accidentes, errores de cálculo o consecuencias de la ignorancia, la indiferencia, la irresponsabilidad o la negligencia humana. (Ramos, 1999). En el caso de Chile, las primeras tres ciudades en ser declaradas como Zonas Saturadas, situación donde se establecen la existencia y permanencia de material particulado (MP) que tiene un tamaño de  $2,5\mu\text{m}$ , son Temuco, Osorno y Santiago (Asenjo, 2011). Cabe mencionar que MP son partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrones. Por su tamaño, el MP10 es capaz de ingresar al sistema respiratorio del ser humano. Mientras menor sea el diámetro de estas partículas, mayor será el potencial daño a la salud.

Por otro lado, la climatización es el proceso por el cual en un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, pureza del aire y a veces presión, son exigidas para el bienestar de las personas, la conservación de productos, aplicaciones industriales y comerciales. ("Manual de instalaciones térmicas" CCHC, 2011)

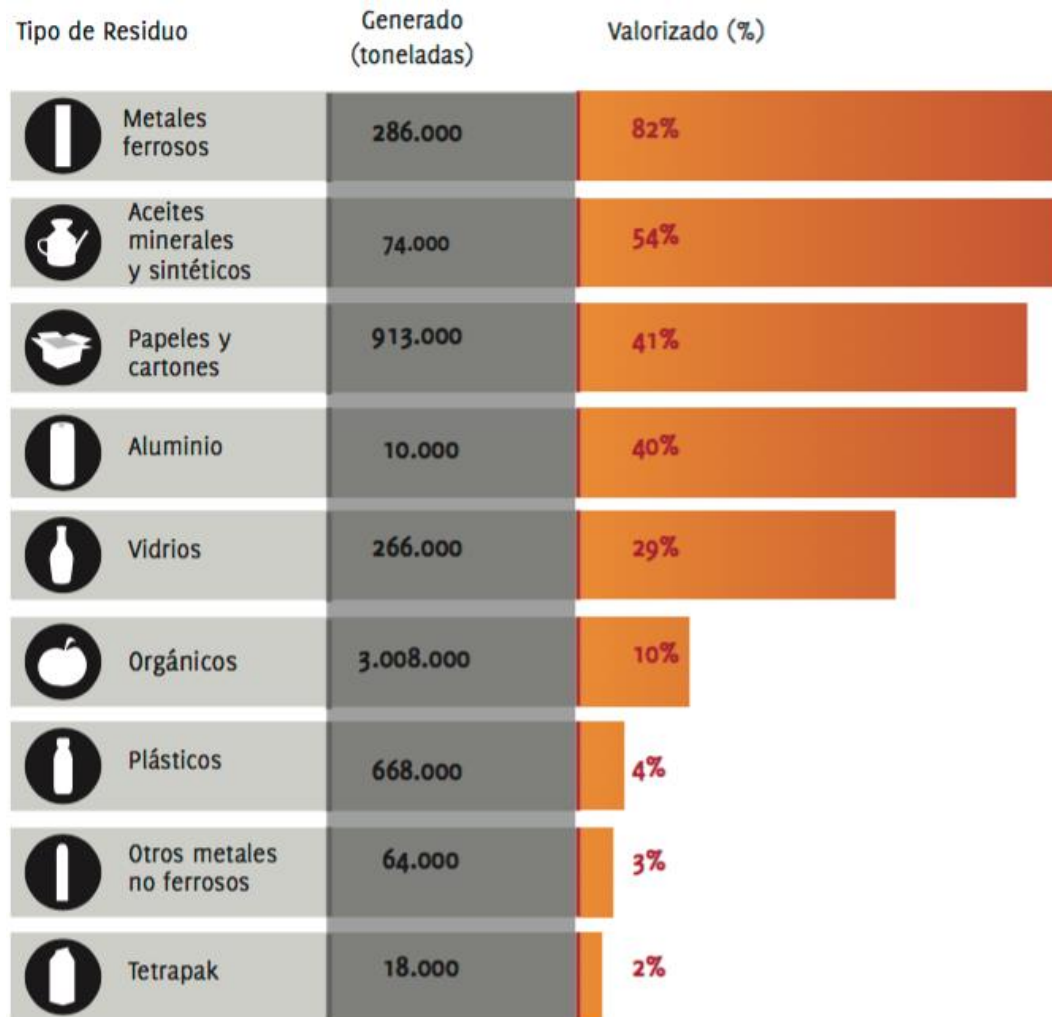
En los últimos años el consumo energético, el crecimiento de la población y la mayor industrialización, nos obligan a la búsqueda de nuevas fuentes de energía y una mayor eficiencia energética de los sistemas empleados para satisfacer la creciente demanda. Se están llevando a cabo muchas investigaciones para aprovechar las distintas formas de energía que tenemos al alcance y sus posibles combinaciones para obtener sistemas más eficientes que no hemos sido capaces de aprovechar. (Melián , 2009)

Por otra parte en más de 170 países, el envase tetra pack entregó 179.888 millones en el año 2014. (Tetra pack internacional S.A, 2015).

Según la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), en Chile hay 16,5 millones de toneladas que provocan los desechos sólidos, donde 6,5 millones provienen de los residuos municipales. En la Región de Valparaíso se han cuantificado 483.739 toneladas de residuos, situándose como la tercera región con mayor cantidad de residuos.

Los tipos de residuos que hemos estado mencionando corresponden a: metales ferrosos , aceites minerales y sintéticos, papeles y cartones, aluminio, vidrios, orgánicos, plásticos , otros metales no ferrosos y tetra pack.

**Figura 1.1** Generación y valoración nacional por tipo de residuo



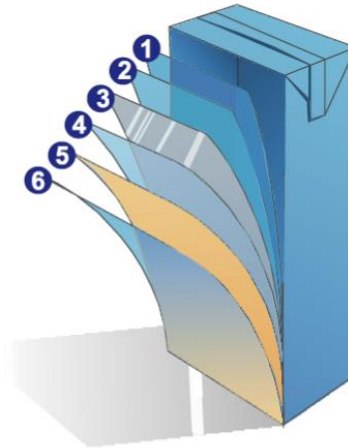
**Fuente:** Manejo de Residuos Sólidos en Chile, CONAMA, 2010a.

Con respecto al tetra pack, éste es un envase que sirve para el traslado de líquidos de una forma segura, que se han ocupado como material de construcción los que se han utilizado en paneles de aislantes térmicos de viviendas.

Está conformado de cartón, polietileno y aluminio (como se muestra la figura 1.1), es por esto que se puede reutilizar, ya que está compuesto por una lámina de polietileno que protege el alimento de la humedad externa, posee una cartulina que

le da estabilidad y resistencia y una capa de aluminio que crea una barrera contra el oxígeno, los aromas y la luz. La lámina de adhesión de polietileno es necesaria para el proceso de laminación y la lámina interna de polietileno impide la fuga del líquido. (Báez ,2013).

**Figura 1.2** Capas del tetra pack



	Nombre Capa	Función
1	Polietileno de baja densidad	Protege el producto de la humedad y el polvo exterior
2	Cartón	Rigidez al envase
3	Polietileno de baja densidad	Actúa como adhesivo
4	Aluminio	Protege el producto de la luz, oxígeno y los microorganismos
5	Polietileno de baja densidad	Actúa como adhesivo
6	Polietileno de baja densidad	Evita la migración de contaminantes del envase hacia el producto

**Fuente:** <http://daniel.faus.at/tag/bioconstruccion/>

En cuanto a la durabilidad, es el más resistente dentro de la gama de aglomerados existentes en el mercado, ya que está elaborado con plástico y aluminio, materiales no biodegradables.(Pérez, 2011). Al no ser biodegradables, precisamente su condición de descartables, ha originado el incremento de la basura en las ciudades, donde es mayor su consumo.(Soto et al, 2008).

Si bien, la biodegradabilidad es la capacidad de un producto ser degradado de manera natural, ya sea por la acción de bacterias, agua, luz, entre otros. Dado lo anterior, el tetra pack no cumple ese requisito, y es ahí donde se ve el reciclaje.(“Protege el medio ambiente jugando con tetra pack” Tetra pack, 2008)

Analizando sus componentes, el cartón provoca aislación acústica y térmica, las ventajas pueden ser varias. Por un lado el polietileno cumple múltiples funciones como protección contra la humedad ambiental y ser un eficiente aislante. Paralelamente, su componente de aluminio resulta ser un buen elemento como reflectante de ondas, del calor y de luz (García,2010). Mientras que el aluminio, aislante térmico, representa un buen comportamiento (Quiroa-Herrera et al., 2010), se transforman en excelentes tejuelas de material aislante para recubrir el interior de viviendas de emergencia, protegiéndolas del agua, del frío, del ruido y de la humedad (Fernando Gutiérrez Atala ,2010), por ende se contribuirá con la construcción a base de tetra pack porque son térmicas, es una causa que tiene doble significado ayuda a no contaminar y que las personas no pasen frío porque mantienen el calor. (Sánchez de Ruiz, 2012)

Si bien la lana de vidrio tiene múltiples aplicaciones, la más común es el aislamiento acústico y térmico ( Bender y Hellerstein, 2001),que puede ser aplicado para todos los componentes de un edificio como las viviendas, desde los cimientos, a la techumbre, conductos, hasta la tabiquería de éstas.(Fehr. , 2009).

Este fue inventado en 1938 por Russell Games Slayter de Owens-Corning como un material para ser utilizado como aislante. La lana de vidrio al estar constituido por un sinnúmero de diminutas celdas de aire estanco y su elasticidad provoca una alta resistencia de absorción de las ondas sonoras, la absorción aumenta con el espesor y también con la densidad, en donde permite absorciones sonoras muy altas. Se ha convertido en una marca registrada generalizada dentro de los materiales económicos, y a diferencia del polietileno, fue el más rentable. Se determinó que invertir dinero para mejorar los niveles de aislamiento en la casa del clima frío tiene mejores rendimientos que la del clima cálido.(Al-Sallal, 2002). Otra de las ventajas de este material en Chile, radica en su durabilidad, resistencia, no afecta a termitas, hidrorrepelente por lo que no es afectado por el contacto con el agua y la humedad, rapidez en la instalación y economía respecto de otras soluciones de cubiertas que posibiliten el paso de la luz.(Pizarro,2013). Otra cualidad importante tanto para la función de ser aislante, es para la salud, que no es un elemento cancerígeno para los humanos. (Agents Classified by the IARC Monographs, 2011). También es un producto fabricado a altas temperaturas fundiendo arenas con alto contenido de sílice más otros insumos, el resultado final es un producto fibroso de óptimas propiedades de aislamiento térmico y acústico , de elevada resiliencia y estabilidad dimensional.

Principalmente el año 2007 se incorporó la exigencia de aislación térmica para envolvente y pisos ventilados. En el caso de la envolvente se reglamentó la aislación para muros y ventanas.(“Manual de instalaciones térmicas” CCHC, 2011).

Esto conlleva a que una gran cantidad de personas se ven obligadas a instalar chimeneas, estufas y/o aires acondicionados, estas chimeneas, conocidas como “salamandras” son equipos de calefacción a leña en que la combustión ocurre sin ningún tipo de control. Son de baja eficiencia y generan altos niveles de emisión de contaminantes ,(SEREMI,2014). En la ciudad de Temuco se determinó que el 92%

del material particulado se genera por la combustión domiciliar que en este caso es la leña (Asenjo, 2011). Cabe destacar que en Osorno la comercialización de leña sobrepasa los 300 mil metros cúbicos anuales. En las ciudades de Los Ángeles, Chillán, Valdivia y Puerto Montt, más del 70% de los hogares son calefaccionados con este recurso. Las cifras son estimaciones, ya que la alta informalidad del negocio impide obtener cifras certeras.

De acuerdo a lo anterior, la investigación se centraliza en la especialización de la climatización en donde se confeccionará un aislante con material base de tetra pack con lana de vidrio, con el objetivo de mejorarla aislación acústica y térmica en las viviendas.

La construcción de este aislante comprenderá los siguientes materiales y pasos: envase de tetra pack, pegamento para luego agregar el rollo de la lana de vidrio, pegamento y otro envase de tetra pack, el cual será evaluado como aislante acústico y térmico, logrando compararlo con un material de referencia conocido como lo es la lana de vidrio.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos generales**

- Evaluar una propuesta de un elemento aislante fabricado en base a envases de tetra pack y rollo libre de lana de vidrio.

### **1.2.2 Objetivos Particulares**

- Proponer tres configuraciones, llamadas prototipo uno dos y tres, en base a las propiedades térmicas y acústicas de sus componentes para evaluar su aplicabilidad conforme a las normas chilenas respectivas tanto térmicas como acústicas.
- Desarrollar un sistema de fabricación que permita la construcción artesanal de los prototipos.
- Evaluar térmica y acústicamente las tres configuraciones propuestas comparándolas con la lana de vidrio.

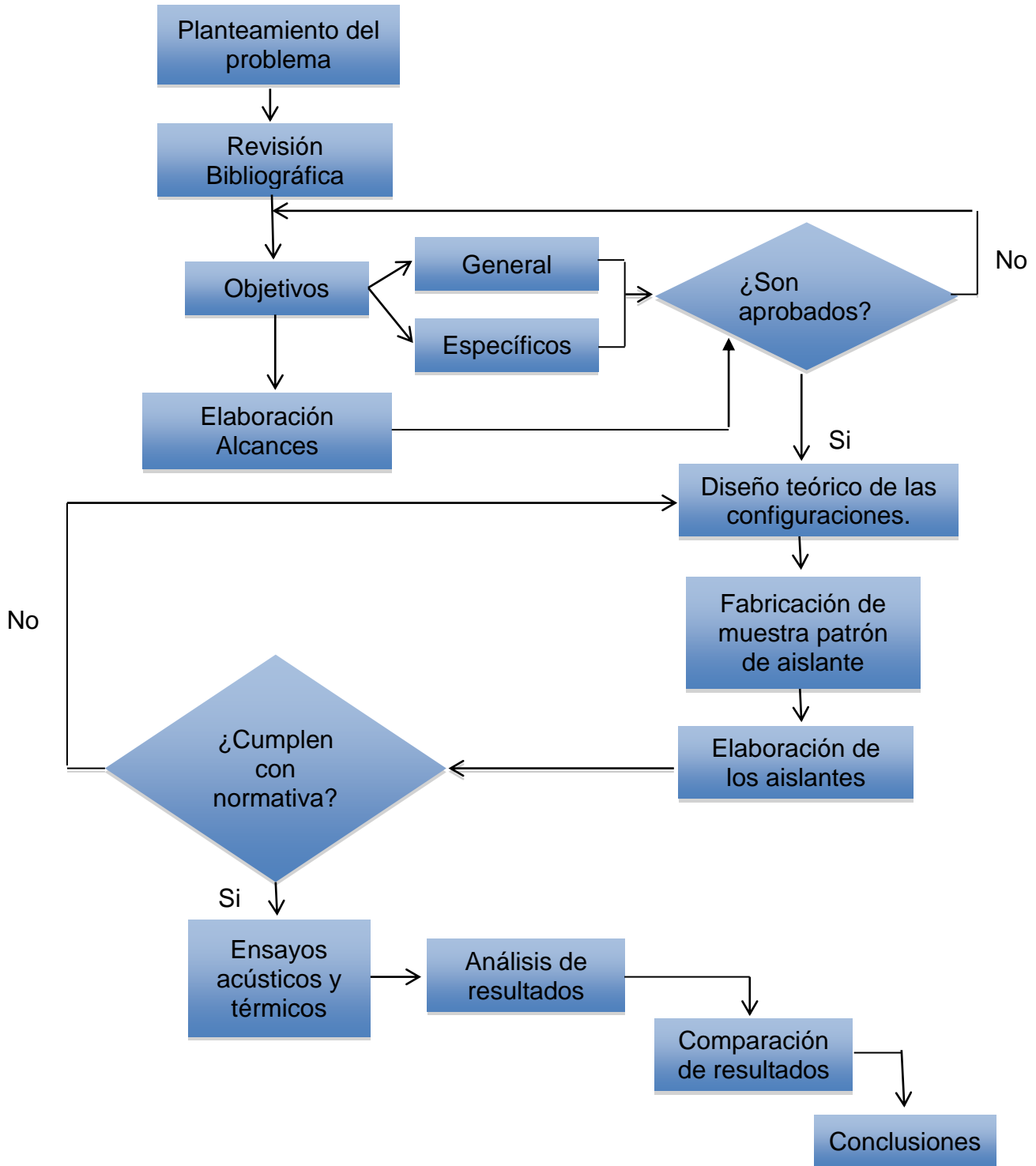
## **1.3 Alcances**

- La fabricación de los prototipos será en una dimensión de 100 x 50 cm y un espesor variable entre 40 – 50 mm, que se adapta a las cámaras existentes en los laboratorios de docencia, donde se realizarán los ensayos.
- Para la evaluación de propiedades acústicas se considerará la norma chilena NCH352 y NCH2786
- Para la evaluación de propiedades térmicas se considerará la norma chilena NCH851.

## **1.4 Metodología de investigación**

La figura 1.3 muestra la metodología que se empleó para la determinación de los elementos de los aislantes en la cual consta de las siguientes etapas:

**Figura 1.3** Diagrama de flujo de la investigación de un aislante térmico y acústico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

#### **1.4.1 Etapa 1**

Se realizó un estudio bibliográfico y se planteó un objetivo donde luego hubo reconocimiento de los materiales obteniendo información teórica en lo que respecta al aislamiento acústico y térmico en los materiales a emplear, es decir del tetra pack y rollo libre de lana de vidrio.

#### **1.4.2 Etapa 2**

Diseño teórico de las configuraciones de los elementos aislantes propuestos a evaluar, que permitió establecer características térmicas y acústicas acorde con la normativa nacional.

#### **1.4.3 Etapa 3**

Fabricación de los elementos aislantes diseñados teóricamente en cantidad suficiente de acuerdo a los ensayos y réplicas a realizar considerando que se puedan reutilizar en otros ensayos. Conforme a lo anterior se realizó primeramente los ensayos para determinar propiedades acústicas y los correspondientes a propiedades térmicas.

#### **1.4.4 Etapa 4**

Determinación de los ensayos a realizar que permitan caracterizar los elementos tanto térmica como acústicamente, en las configuraciones propuestas y en el material convencional referencial.

#### **1.4.5 Etapa 5**

Realización de los ensayos determinados en la etapa anterior, agrupándolos según su configuración.

#### **1.4.6 Etapa 6**

Análisis de resultados y su correlación con el material convencional seleccionado y obtención de conclusiones de la investigación.

## 2 Descripción Térmica y Acústica de un Aislante.

### 2.1 Aislación térmica

Desde el punto de vista de la aislación, una edificación “perfecta” es aquella en la que se equilibran las condiciones de aislamiento térmico con el costo de las instalaciones de climatización; ya sea el de la propia instalación o el de su mantenimiento.

El ahorro energético debe enfocarse desde la reducción del consumo, sin detrimento de la calidad de vida alcanzada. Dado lo anterior, es fundamental no malgastar energía y por tanto la acción de aislar resulta muy eficaz de cara a la consecución de este objetivo.

### 2.2 Conductividad térmica

Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras, se expresa en  $W/(M * K)$ . (NCH 853 Of. 91).

En cual se expresa de la siguiente forma:

$$K_e = \frac{\phi}{A(T_2 - T_1)}$$

(Ecuación 2.1)

En donde :

$\phi$  = Flujo de calor [ W \* m ]  
 A = Área de la sección transversal [ m<sup>2</sup> ]  
 $\Delta T$  = Diferencial Térmico [ °K ]

## 2.3 Conducción

Es el proceso de transmisión de calor de un cuerpo a otro por contacto directo de las moléculas. El flujo energético se dirige de la región más energética a la de menos energética, produciendo un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas.

## 2.4 Convección

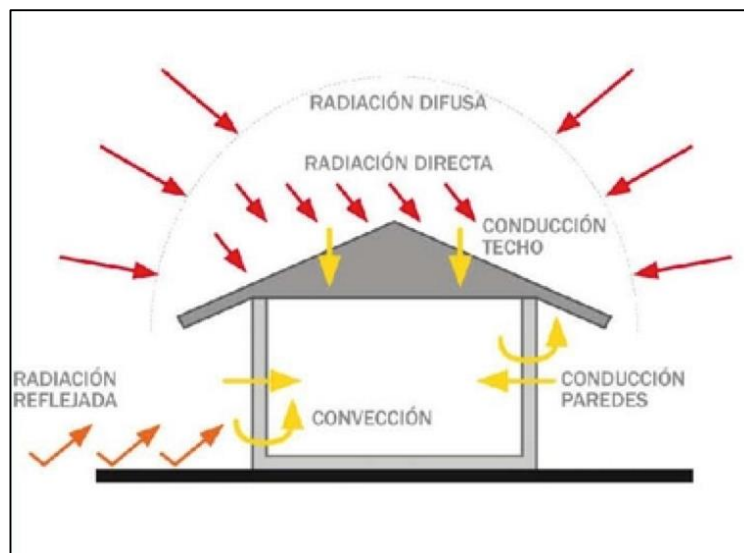
Es el mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en un fluido cuando una parte de éste se mezcla con otra debido a los movimientos de la masa del mismo, en pocas palabras es la transferencia de calor debido al movimiento de fluidos.

## 2.5 Radiación térmica

Es la onda electromagnética emitida por la superficie de un cuerpo excitado térmicamente. Esta radiación se emite en todas las direcciones y cuando incide sobre otro cuerpo, puede absorberse, transmitirse o reflejarse.

El proceso más importante en la transmisión de calor en la edificación, es la conducción a través de los distintos elementos que conforman el cerramiento de un edificio.

**Figura 2.1** Tipos de transferencia de calor en una vivienda.



**Fuente:** Manual Reacondicionamiento Térmico de vivienda en uso. Cristián Yañez.

## 2.6 Resistencia térmica

La resistencia térmica es la oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción (NCH 853, OF. 91).

$$R = \frac{e}{\lambda} \frac{[M^2 \cdot K]}{W}$$

(Ecuación 2.2)

En donde:

$e$  = Espesor del material [m]

$\lambda$  = Conductividad térmica del material [ W / m\*K ]

Según la norma chilena 853 OF. 91, podemos dividir la resistencia térmica en elementos simples y homogéneos.

Para elementos de caras planas y paralelas de espesor “ $e$ ”, conformado por un solo material de conductividad térmica, la resistencia térmica total queda dado por:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

(Ecuación 2.3)

En donde :

$e/\lambda$  = Resistencia térmica del material. [ M<sup>2</sup>\*K / W ]

$R_{si}$  = Resistencia Térmica de superficie al interior. [ M<sup>2</sup>\*K / W ]

$R_{se}$  = Resistencia Térmica de superficie al exterior. [ M<sup>2</sup>\*K / W ]

### Elementos compuestos

Para un elemento formado por una serie de capas o placas planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica total, queda dada por:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

(Ecuación 2.4)

En donde:

$\sum e/\lambda$  = Sumatoria de las resistencias térmicas de las capas que conforman el elemento.

### 2.7 Transmitancia térmica

La transmitancia térmica representa la cantidad de calor que atraviesa una superficie como una ventana por tiempo, por área y por diferencia de temperatura.

Por lo tanto, a menor valor de la transmitancia térmica, mejor aislada estará la estructura.

$$U = \frac{1}{R_T} \left[ \frac{W}{M^2 \cdot K} \right]$$

(Ecuación 2.5)

En donde:

$R_T$  = Resistencia térmica total [  $M^2 \cdot K / W$  ]

En los cuales según el artículo N° 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) establece la siguiente tabla:

**Tabla 2.1** Límites de transmitancia y resistencia térmica según por zonas

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> 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

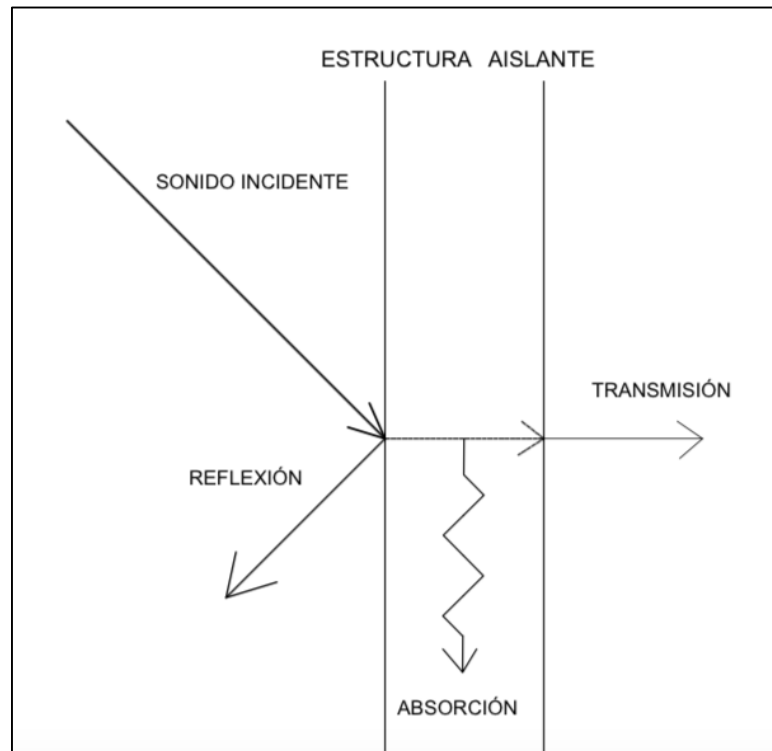
**Fuente:** Artículo N°4.1.10, OGUC.

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica (U) igual o menor, o una resistencia térmica total (Rt) igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo. En las cuales nos concentraremos en la Quinta Región. (Anexo 7.1)

## 2.8 Aislamiento acústico

Es la reducción de la transmisión del ruido entre dos locales o en general, entre un recinto y otro. (Texsa, 2009)

El objetivo del aislamiento acústico es impedir que los ruidos generados en un recinto se transmitan a los adyacentes y que los ruidos procedentes del exterior se transmitan al interior de un recinto, como también la absorción del sonido, se debe mayoritariamente a la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre las superficies, estas pueden ser absorbidas, reflejadas y otras transmitidas. Figura 2.2

**Figura 2.2** Aislación acústica

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

### 2.8.1 El sonido

El sonido es una sucesión de compresiones y rarefacciones del aire. Así como hicimos al analizar el diapasón, si nos ubicamos en un punto en el espacio (una posición fija) por el cual se propaga una onda sonora, veremos como la presión atmosférica aumenta y disminuye periódicamente. (Martin Rocamora, 2006). Esto es debido a la vibración que se produce por la presencia de las ondas acústicas, estas variaciones son detectadas por el oído en forma de sonido, las que viajan en forma de ondas.

Un elemento generador de sonido se le denomina fuente sonora. El sonido se genera cuando dicha fuente entra en vibración, la cual es transmitida a las partículas de aire adyacentes, las que a su vez las transmiten a partículas contiguas. (Carrión, 1998)

El nivel de presión de un sonido es igual a veinte veces el logaritmo base diez de la razón entre la raíz cuadrática media de la presión del sonido considerado y una presión que se toma como referencia la unidad de medida es en decibeles (dB).

Para una persona va de 0 a 120 dB. El nivel 0 es el mínimo nivel de presión acústica que el oído humano puede percibir. Se considera un nivel de 120 dB daños irreversibles en el sistema auditivo.

Conforme a los niveles sonoros se clasifican de la siguiente forma:

**Tabla 2.2** Clasificación de ambientes según conforme a niveles sonoros

<b>Clasificación de ambiente</b>	<b>Decibeles (dB)</b>
Muy tranquilo	30 o menos
Tranquilo	30 - 40
Moderadamente tranquilo	40 – 50
Ruidoso	50 – 60
Muy ruidoso	60 – 70
Insoportable	70 – 80
Inadmisible	Más de 80

**Fuente:** Nch352 Of.2000

### 2.8.1.1 Cualidades del sonido

Los sonidos se diferencian unos de otros por sus características fundamentales:

#### a) Intensidad Sonora

Se define como la energía transmitida por la onda sonora que atraviesa la unidad de superficie en cada unidad de tiempo.

Cuanto mayor sea la amplitud de la onda, mayor será su intensidad, por lo tanto el sonido se oirá más fuerte. En el sistema internacional (S.I) se mide en ( $J/m^2*s$ ) o ( $W/m^2$ )

#### b) Tono

Es la frecuencia con la que vibran las partículas del medio. Dicha frecuencia determina que un sonido sea agudo o grave según su valor que se muestra en la Tabla 2.2 y para entender de una mejor manera se indica en la Tabla 2.3 los valores de referencia de frecuencias en decibeles.

**Tabla 2.3** Clasificación de frecuencias

<b>Frecuencias</b>	<b>Rangos (Hz)</b>
Bajos (Graves)	20 – 500
Medias	500 – 2.000
Agudos	2.000 – 20.000

**Fuente:** Kogan, Pablo. (2004)

**Tabla 2.4** Valores de referencia para aislamiento

<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Valores de referencia (dB)</b>
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

**Fuente:** ISO 717-1:1996

A mayor número de vibraciones por segundo más agudo es el sonido, y a menor número de vibraciones más grave es el sonido.

El rango de audición para el oído humano está comprendido entre 20 – 20.000 Hz., límite mínimo y máximo respectivamente de percepción del sonido.

La mayor sensibilidad está comprendida normalmente entre las frecuencias de 1000 y 5000 Hz.

Aquellos procesos sonoros inferiores a los 20Hz, son llamados infrasonidos, y a los superiores a los 20.000Hz se llaman ultrasonidos. Normalmente estas frecuencias no pueden ser percibidas por las personas y por lo tanto no son considerados como fenómenos sonoros para los seres humanos.

Las frecuencias comunes más nocivas para el oído humano se encuentran entre las bandas de 2000 a 3000 Hz, debido a que cotidianamente se generan en industrias o centros comerciales. Esto demuestra que el oído humano presenta las mayores fallas en las frecuencias cercanas a los 4000 Hz, lo que amplía el rango de frecuencias comunes nocivas para el oído humano, el que va desde los 2000 hasta los 4000 Hz. (Moscoso, 2008)

#### c) Timbre

Calidad de los sonidos, que diferencia a los del mismo tono y depende de la forma y naturaleza de los elementos que entran en vibración. (RAE, 2015).

A través del timbre somos capaces de diferenciar dos sonidos de igual frecuencia fundamental o (tono), e intensidad. El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir la misma nota musical (frecuencia) producida por dos instrumentos musicales distintos, por los armónicos que acompañan al tono fundamental.

**Tabla 2.5** Nivel de sonoridad de algunos fenómenos

Nivel de sonido	Decibeles (dB)
Susurro	30
Conversación	60
Tráfico Urbano	90
Concierto de Rock	120
Reactor a 10 mts de distancia	150

**Fuente:** Kogan, Pablo. (2004)

### 2.8.2 Ondas sonoras

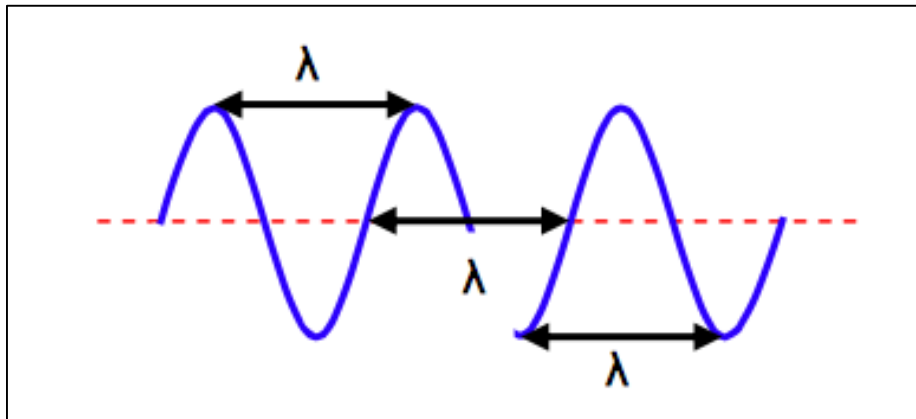
Estas son ondas longitudinales que se propagan en un medio material y se originan por vibraciones que provocan una fuente emisora.

Sus propiedades son las siguientes:

- Longitud de onda ( $\lambda$ )

Esta se define como la distancia que existe entre dos planos inmediatos de partículas del medio que estén en el mismo estado de movimiento. Es la velocidad de propagación de la onda dividida por la frecuencia, se mide en metros.

**Figura 2.3** Descripción longitud de onda.



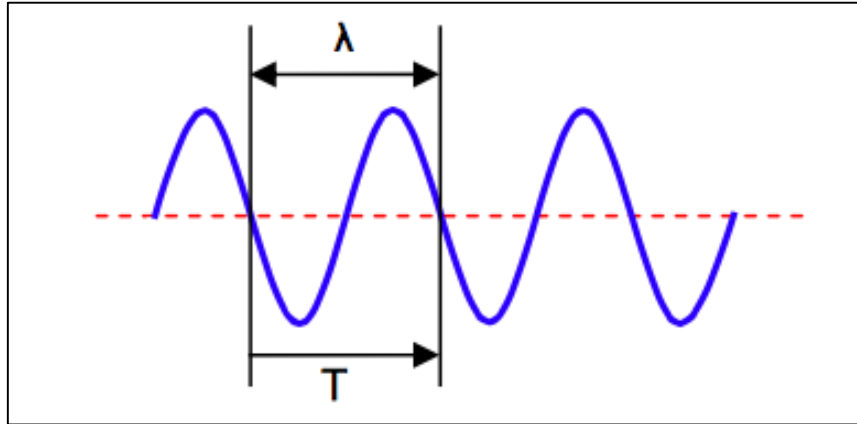
**Fuente:**

[http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas\\_de\\_las\\_ondas.pdf](http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas_de_las_ondas.pdf)

- Periodo (T)

Es el tiempo empleado que tarda la partícula vibrante en realizar una oscilación completa, en donde es medido en segundos.

**Figura 2.4** Descripción periodo y longitud de onda.



**Fuente:**

[http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas\\_de\\_las\\_ondas.pdf](http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas_de_las_ondas.pdf)

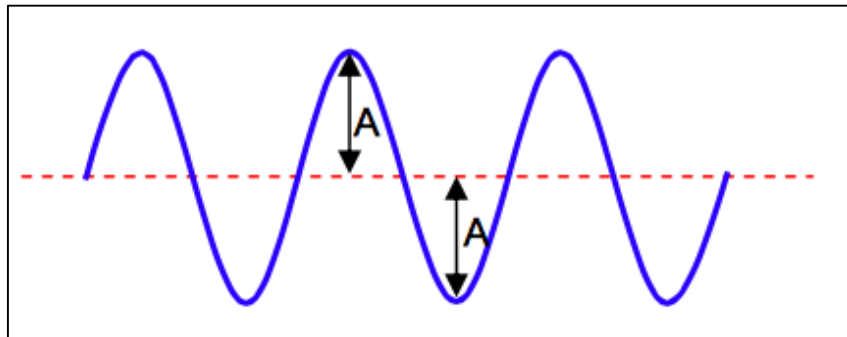
- Frecuencia ( $f$ )

Corresponde a la cantidad de oscilaciones que ocurre en un número de ciclos. Si la unidad de tiempo es segundos (s), la frecuencia se mide en Hertz (Hz).

- Amplitud ( $A$ )

Es una onda transversal, corresponde a la distancia máxima que se puede separar una partícula del medio de la oscila. Mientras mayor sea este valor más fuerte será la sensación de sonido que se percibe. Se mide en unidades de longitud.

**Figura 2.5** Descripción amplitud.



**Fuente:**

[http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas\\_de\\_las\\_ondas.pdf](http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas_de_las_ondas.pdf)

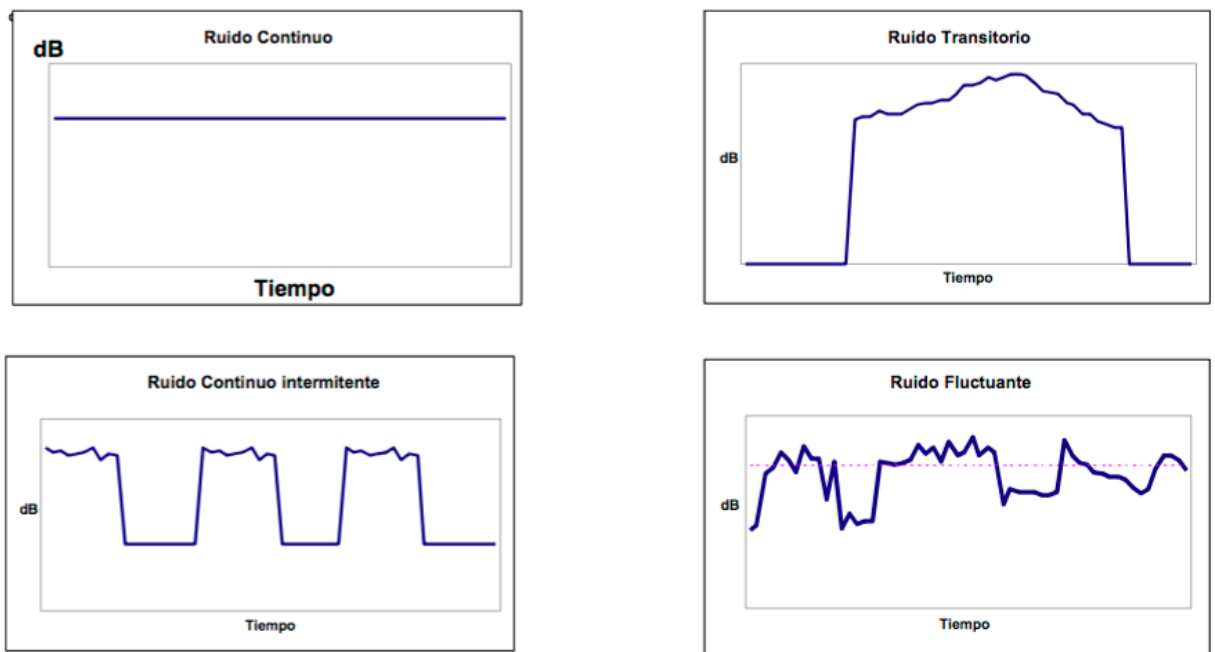
### 2.8.3 El ruido

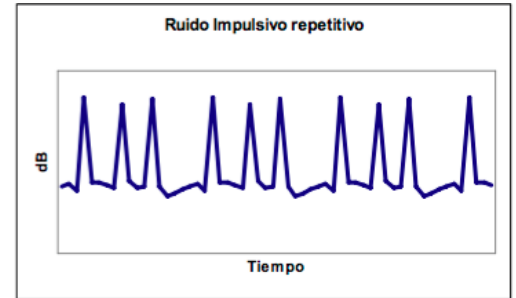
Es aquel sonido no deseado. Aquella emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído y provoca una sensación de molestia.

Sensación auditiva no deseada correspondiente generalmente a una variación aleatoria de la presión a lo largo del tiempo. Puede ser caracterizado por la frecuencia de los sonidos puros que la componen y por la amplitud de la presión acústica correspondiente a cada una de esas frecuencias, si estas últimas son muy numerosas, el ruido se caracterizará por la repartición de energía sonora en bandas de frecuencias contiguas, definiendo lo que se denomina espectro frecuencial del ruido.

Tipos de ruido:

**Figura 2.6** Tipos de ruido





**Fuente:** Ministerio de agricultura , alimentación y medio ambiente , Gobierno de España.

Según la NCh 352 Of. 2000 nos indica que los ensayos se deben realizar in situ y nos clasifica la aislación acústica en construcción de uso habitacional según los tipos de ruido:

**Tabla 2.6** Clasificación de tipos de ruido

Parámetro	Tipo de ruido
A	Ruido proveniente del medio ambiente exterior
B	Ruido proveniente de construcciones contiguas
C	Ruido proveniente de instalaciones sanitarias y mecánicas externas a la vivienda que se evalúa.
D	Ruido proveniente de áreas comunes.

**Fuente:** NCh. 352 Of.2000

En la siguiente tabla se mostrarán los requisitos mínimos que deben cumplir las construcciones de uso habitacional: de los métodos de ensayo que se deben utilizar para verificar su cumplimiento de la norma y recinto en el que se deben realizar las mediciones. (NCh. 352 Of.2000)

**Tabla 2.7** Construcciones de uso habitacional

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

Fuente: NCh. 352 Of.2000

Se deben cumplir todas estas condiciones para llevar a cabo las construcciones de uso habitacional y lograr un aislante con todos los requisitos pertinentes.

## 2.9 Confort térmico

Es aquello que produce bienestar y comodidad (RAE, 2015.), por lo tanto confort térmico es aquello que busca un reacondicionamiento térmico , una comodidad térmica por parte de los usuarios de una vivienda.

El cuerpo en una vivienda puede percibir calores a través de los muros y del mismo ambiente que se produce dentro de ésta.

Estas temperaturas pueden variar por distintos factores, ya sea por la temperatura del aire, temperatura de radiación de distintos elementos, humedad del aire y velocidad.

## 2.10 Resumen del capítulo

Las ecuaciones propuestas en los párrafos anteriores tienen como único fin el desarrollo de la investigación, en la cual se define la conductividad térmica ya que con ésta se puede analizar la resistencia térmica total en un material compuesto, por lo que es netamente influyente en la investigación y el logro de los objetivos propuestos.

También se definen los parámetros acústicos, tipos de ruido y configuración de ondas sonoras para poder analizar gráficamente los niveles de sonoridad de algunos fenómenos. Esto permite identificar qué niveles se encuentran en nuestra vida cotidiana y clasificarlos en ambientes según niveles sonoros (dB).

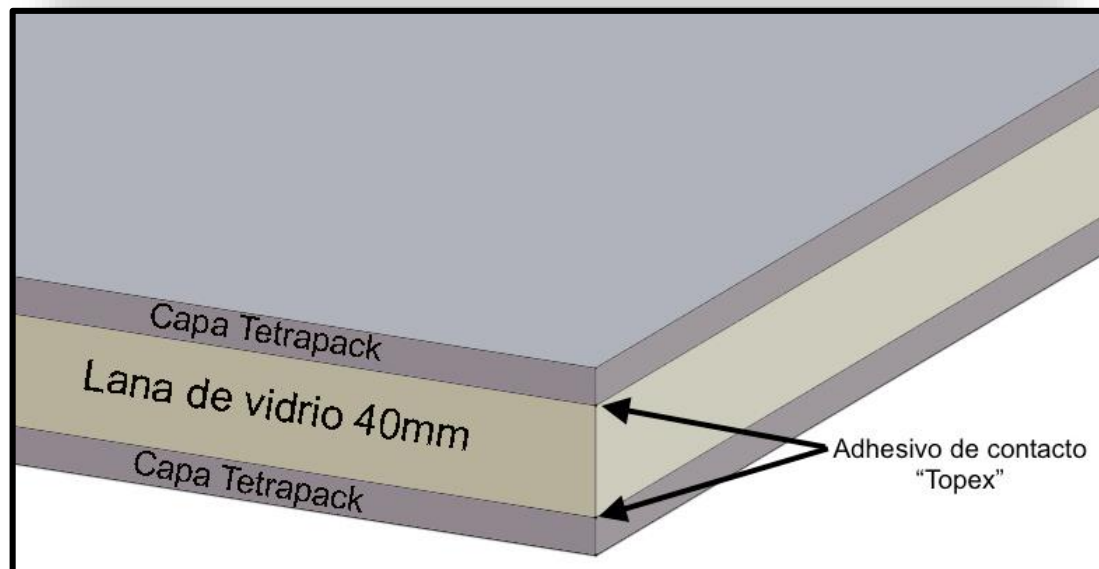
### 3 Descripción de la Investigación

#### 3.1 Descripción

Esta investigación trató en el desarrollo de prototipos de un aislante térmico y acústico, con material reciclado (tetra pack) y lana de vidrio, en donde el material reciclado tendrá un procedimiento de tratado. Luego, éstos serán pegados cuidadosamente en una prensa para que el adhesivo de contacto “Topex” a la lana de vidrio de 40 mm quede sin espacios vacíos en su interior y así lograr la uniformidad en el aislante.

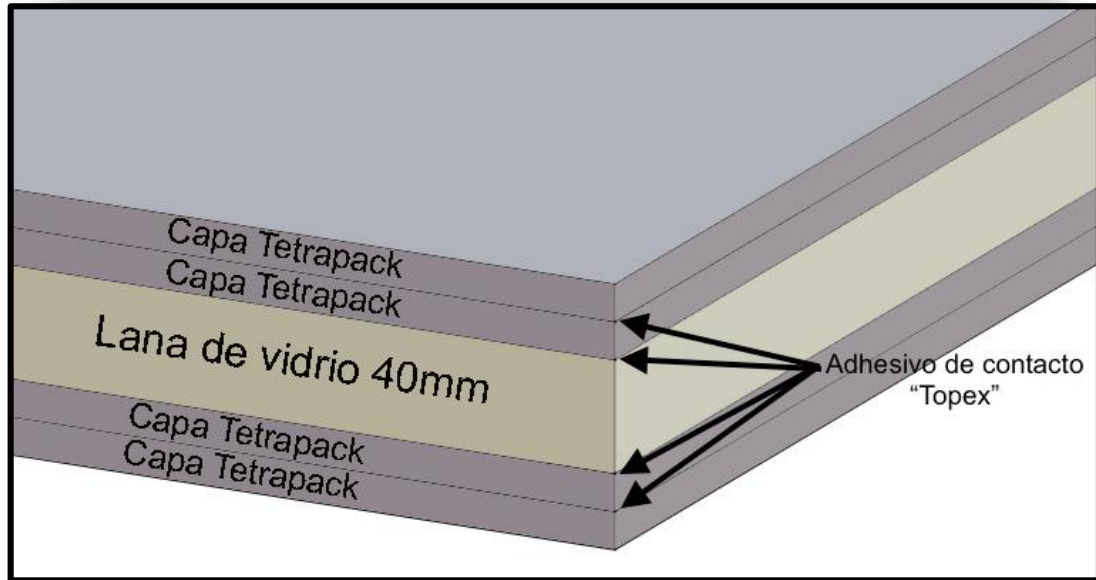
En las siguientes figuras se muestra el diseño de los prototipos a evaluar:

**Figura 3.1** Prototipo 1, configuración del aislante.



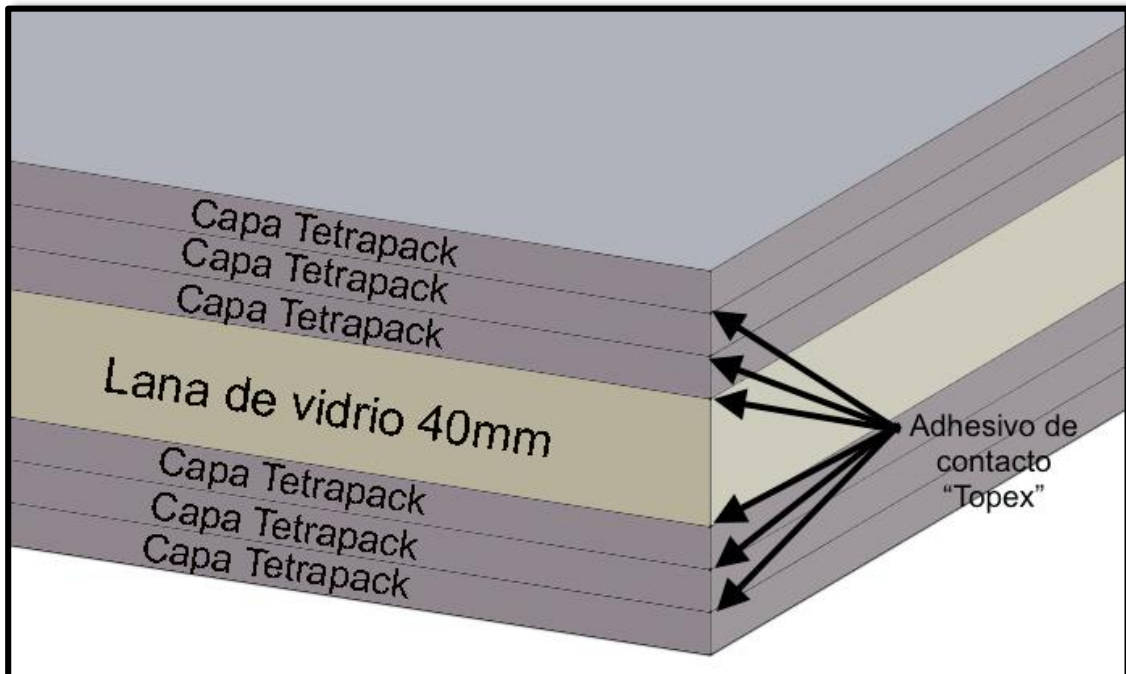
**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

**Figura 3.2** Prototipo 2, configuración del aislante.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

**Figura 3.3** Prototipo 3, configuración del aislante



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Esta investigación finalizará con una evaluación de sus componentes en comparación con la lana de vidrio.

### 3.2 Ensayo aislación térmica

La cámara térmica es un método muy útil para medir propiedades razonablemente representativas de distintos elementos constructivos a ensayar, que normalmente tenga caras planas y paralelas. (Nch 851 Of. 83)

El elemento a ensayar se tiene que poner verticalmente para dividir la cámara en 2 secciones. En una sección se pondrá la fuente de energía térmica producida por la potencia eléctrica de 3 ampolletas incandescentes de 70 Watts cada una. Esta potencia eléctrica producida, será disipada y convertida en energía térmica que se transmite en forma de calor, lo que generará una sección con mayor temperatura (lugar donde se encuentra la fuente de calor) y la otra sección de menor temperatura en donde están separados por el aislante a ensayar. Se producirá una diferencia estacionaria de temperaturas a través del aislante durante un periodo determinado de tiempo, lo que permitirá medir el flujo térmico y diferencias de temperaturas entre sus caras, logrando determinar resistencia térmica del material.

Las aristas y juntas del aislante en el interior de la cámara son cubiertas con material aislante, para hermetizar el sistema aislándolo por completo.

**Figura 3.4** Cámara en donde se realizó la investigación.



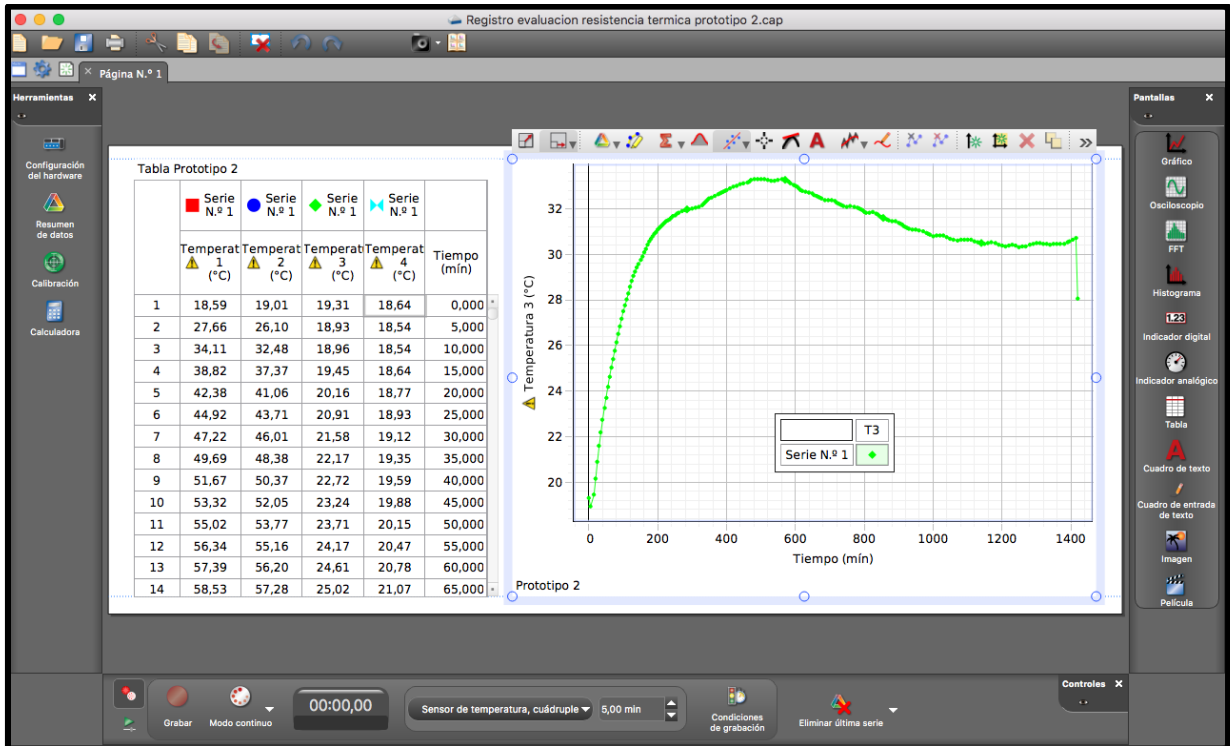


**Fuente:** Elaboración propia, 2016

Se evaluó bajo condiciones establecidas de la NCh 851 Of. 83, la cual indica el método para determinar experimentalmente las condiciones térmicas de un material, este modelo, propuesto en capítulos previos con una composición de lana de vidrio y capas de tetra pack, se medirán mediante una cámara térmica de medición.

Para el almacenaje de los datos se ocupó un software “PASCO CAPSTONE” (Figura 3.2), por medio del instrumento (Figura 3.3).

Figura 3.5 Software "PASCO CAPSTONE"



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Se determinó un delta por cada temperatura obtenida por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta T = T \text{ interior} - T \text{ exterior}$$

(Ecuación 3.1)

### 3.3 Ensayo aislación acústica

Este ensayo consiste en ubicar una fuente sonora como requisitos mínimos a una distancia de 1,2 mts a la superficie del material a ensayar, según la NCh 2786 OF 2003, y en el lado opuesto a la misma distancia instalar una fuente receptora para la recepción de ondas sonoras. El sonido generado por la fuente debe ser estacionario y tener un espectro continuo, por el cual debe ser medido cada 30 segundos por frecuencia.

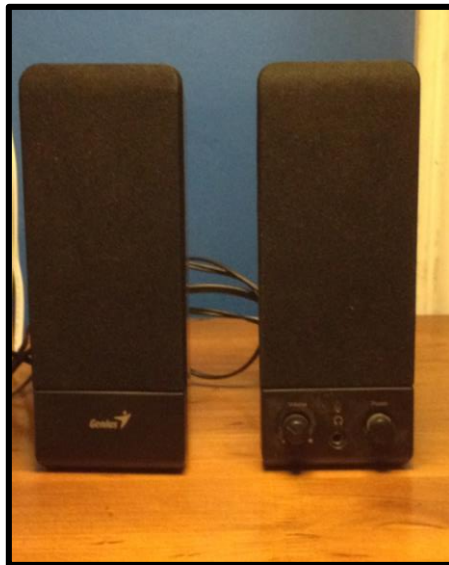
Los datos de recopilados serán medidos para distintos valores de frecuencia desde los 100 Hz. hasta los 5000 Hz. y luego realizar el análisis comparativo en relación de los prototipos.

Según la norma NCh 2786 Of.2002, establece las condiciones necesarias para realizar los ensayos de manera in situ en la cámara de los laboratorios de la Universidad de Valparaíso.

La cámara que cumple con todos los requisitos normativos es de dimensiones 120 x 300 cm, para esto se construyeron prototipos de 100x50 cm del mismo procedimiento que se construyeron para la evaluación térmica.

Para emitir el sonido de las frecuencias se utilizarán parlantes multimedia 2.0 como lo muestra a continuación:

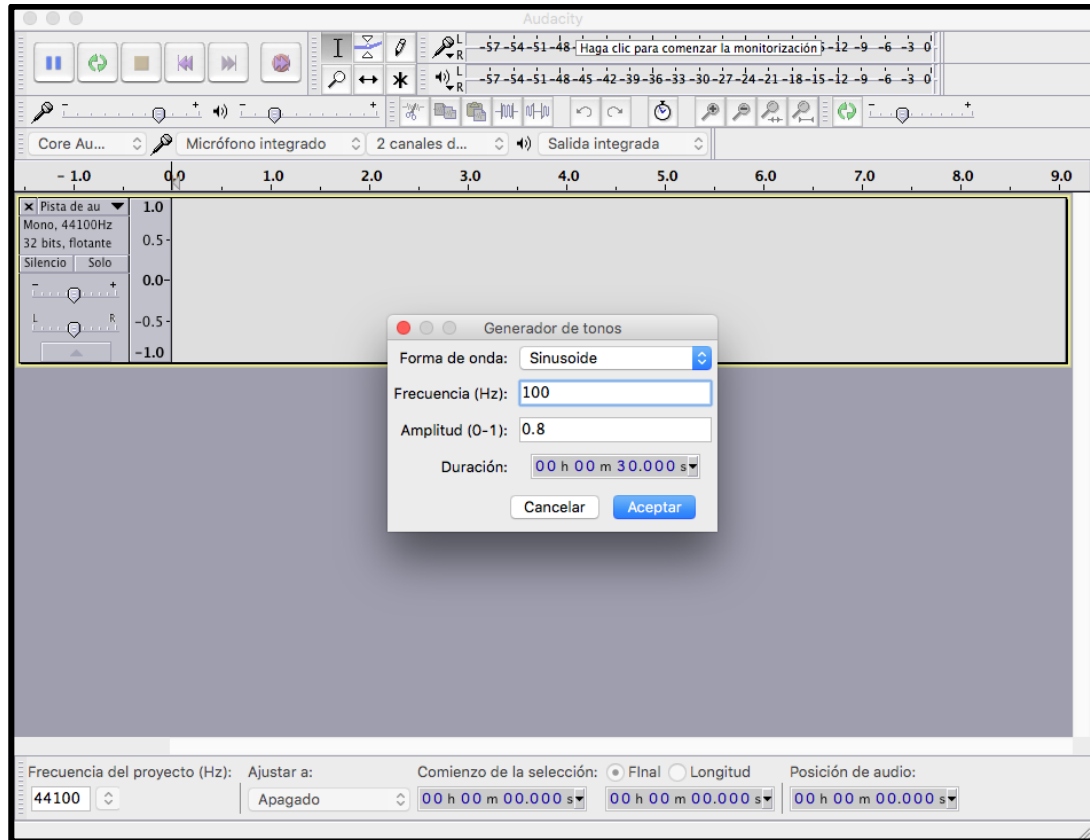
**Figura 3.6** Fuente de sonido



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Para emitir las frecuencias que la normativa chilena requiere se utilizará un software llamado “Audacity” el cual logra emitir la frecuencia que el operador disponga intermedio de parlantes multimedia 2.0 (Figura 3.3) que fueron previamente conectados a un computador.

**Figura 3.7** Software “Audacity”.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

### 3.4 Descripción del equipo

Para evaluar los prototipos se utilizará un instrumento llamado Xplorer GLX datalogger marca Pasco. Este instrumento nos permite registrar gráficos, tablas, datos y análisis.

Este equipo admite hasta cuatro sensores Pasport simultáneamente, además de dos sensores de temperatura, sonido y voltaje, conectadas directamente a los puertos correspondientes.

**Figura 3.8** Equipo Xplorer GLX.

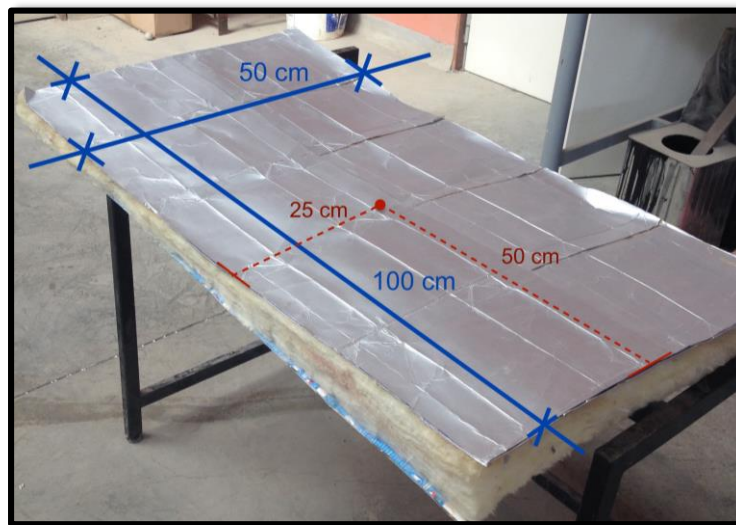


**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

- A. Adaptador para conectar los sensores de temperatura al instrumento.
- B. Sensor de nivel de sonidos que mide el nivel de sonido en decibeles.
- C. Equipo Xplorer GLX.
- D. Sensores de temperatura que mide la temperatura en Celsius.

En la figura 3.6 se puede visualizar las dimensiones del aislante evaluado con la ubicación de los sensores en el momento de ser evaluado.

**Figura 3.9** Dimensiones prototipos y ubicación sensor de temperatura



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

### 3.5 Tetra pack

#### 3.5.1 Reciclaje del tetra pack

Cada envase tetra pack será adquirido mediante una clasificación previa de reciclaje obteniendo solo este envase, luego el procedimiento artesanal consiste en:

1. Abrir totalmente un lado del envase para facilitar el enjuague de este.

**Figura 3.10** Cajas Tetra pack después del lavado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

2. Se desprende con totalidad el envase, y verificar su limpieza para luego dejar escurrir.

**Figura 3.11** Secado Tetra pack



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

3. Luego de que estén secos, recortar sus bordes para lograr uniformidad en los envases.

**Figura 3.12** Caja tetra pack lista para el pegado



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

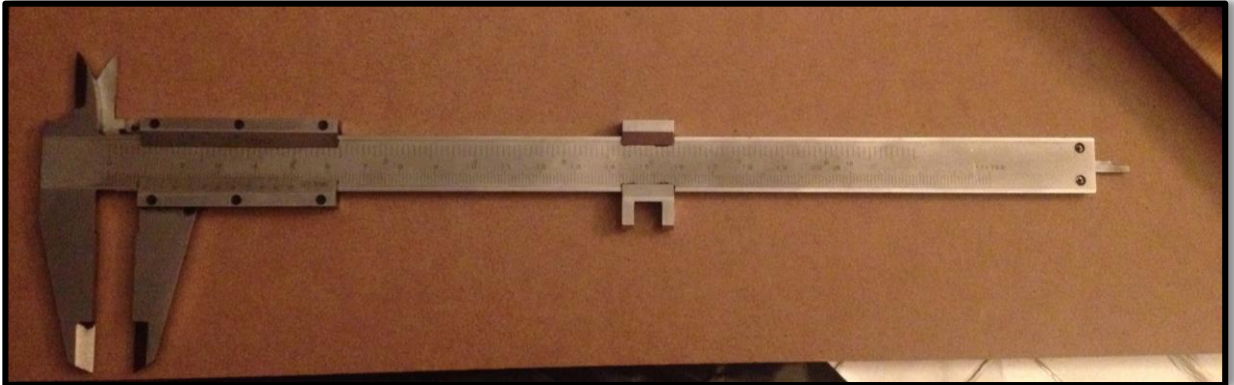
4. Proceder a realizar los prototipos propuestos en la investigación.

### 3.5.2 Características del envase

Para la selección del envase se realizará una clasificación según el tipo, luego los envases serán medidos con el instrumento pie de metro.

Este instrumento se utiliza para medir longitudes con lecturas en milímetros y en fracciones de pulgada.

Está compuesto por una regla fija que es donde están graduadas las escalas de medición ya sean métricas, en pulgadas o mistas. En ésta, también están formando el mismo cuerpo de puntas para medir diámetros interiores o anchos de acanaladuras, sobre esta regla fija desliza la regla móvil que lleva consigo la graduación correspondiente según las escalas de medición que tenga el pie de metro, el cual se ocupó uno de 0,05 mm de precisión.

**Figura 3.13** Pie de metro para medir espesores.

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Los envases que se van a ocupar para la realización de este aislante serán las tipo CL- B087-XX-XXXXXX, en donde se indica que CL es para producto en Chile, y el B087 es el número de diseño interno de la marca y diseño de ésta, que contiene las siguientes características:

**Tabla 3.1** Especificación técnica de las cajas tetra pack

Dimensiones	
Espesor	0,05 cm.
Largo	31,4 cm.
Ancho	20,7 cm.
Peso	24,2 grs.
Volumen	$3,26 \cdot 10^{-5} \text{ mt}^3$ .
Densidad Aparente	$742,33 \text{ Kg/m}^3$ .

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

### 3.6 Lana de vidrio

Se ocupará rollo libre de lana de vidrio, cuya dimensión será de 100 x 50 cm y 40 mm de espesor, su resistencia térmica es de  $R_{100} = 94 \text{ [ M}^2\text{*K / W ]}$ .

Ésta se estirará de tal manera de poder recortar los metros cuadrados que se necesiten para la evaluación del aislante.

**Tabla 3.2** Especificación técnica lana de vidrio

Dimensiones	
Espesor	4 cm
Largo	100 cm
Ancho	50 cm
Peso	235,2 grs
Volumen	0,0144 m <sup>3</sup>
Densidad Aparente	16,33 Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	0,0703 W/m*K
Resistencia térmica	0,5685 m <sup>2</sup> *K/W

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

**Figura 3.14** Lana de vidrio de 40 mm de espesor.

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

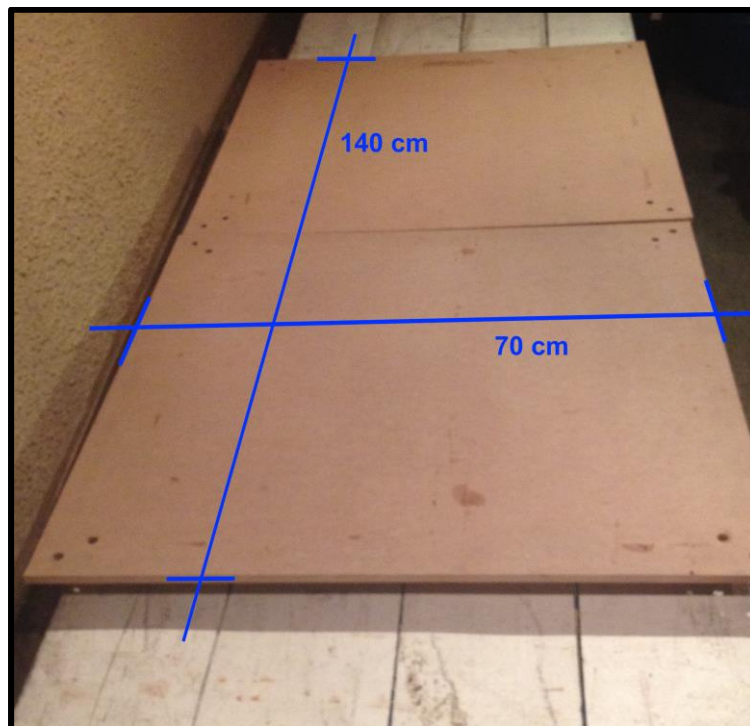
### 3.7 Listado de conformidad

En la construcción de los prototipos , se deben tomar en consideración los siguientes procedimientos y observaciones:

- A. Verificar limpieza del tetra pack , antes del pegado.
- B. Al realizar traslape en éste, verificar el cumplimiento del adhesivo.
- C. Al traslapar una capa de tetra pack con otra, deben estar intercaladas las uniones para cada junta.
- D. Al unir el tetra pack con la lana de vidrio, ésta debe ser presionada uniformemente, de tal manera de evitar vacíos en el interior de ésta.

Para el pegado se unieron dos planchas de madera “TRUPAN”, de dimensiones 70x70 cm, 9 mm de espesor y peso de 2,885 kg cada plancha, logrando cubrir la superficie total de los prototipos para su pegado que fueron de 100 x 50 cm.

**Figura 3.15** Placas para el pegado de los prototipos



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

### 3.8 Construcción de prototipos

Para la construcción de los prototipos se ocupará el envase con el aluminio hacia el exterior ya que son reflectores, estos son cada vez más utilizados en aplicaciones de energía solar concentrada, debido a sus propiedades ligeras, alta confortabilidad y ofrecer flexibilidad en el diseño. (FlorianSutter et al, 2012).

Tomando en cuenta lo anterior se establecieron los siguientes pasos:

1. Al finalizar la preparación del reciclaje de los envases tetra pack, , estas fueron pegadas una tras otra con el adhesivo de contacto "TOPEX", con un traslapo de 1 cm como máximo y llevando a cabo el listado de conformidad antes propuesto.
2. Luego de que se fueron pegando los envases, se estableció una distancia de 60 x 120 cm, como muestra la figura 3.10, luego se fue verificando la distancia con una huincha de medir, se marcaron y se cortaron con las medidas 100 x 50 cm ya que es lo que exige la cámara térmica en donde fue evaluado la resistencia térmica.

**Figura 3.16** Capa de Tetra pack de 60x120 cm



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

3. Una vez cortadas las cajas y adquiriendo las medidas necesarias, se determinó que los traslapes no fueran coincidiendo unos con otros, como

lo muestra la figura 3.11, dando así una mejor distribución de los envases en cada capa y logrando uniformidad en el espesor de esta.

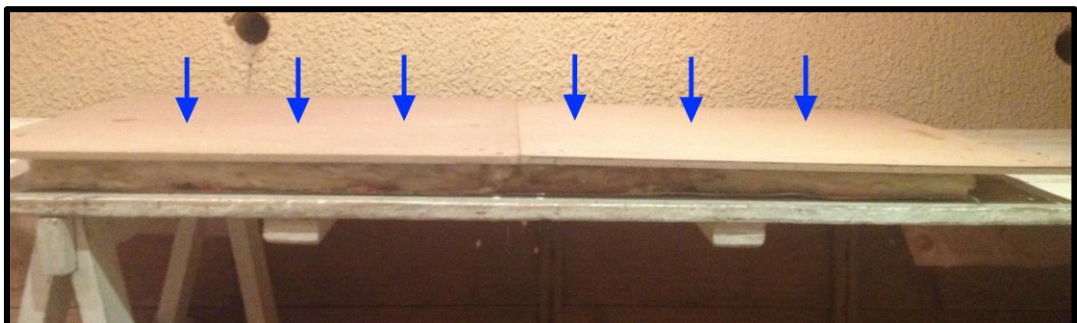
**Figura 3.17** Traslape de cajas para prototipos



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

4. Estas capas de tetra pack fueron pegadas una tras otra dependiendo de cada prototipo, para así pegarlas a la lana de vidrio por medio de la prensa (Figura 3.9) en donde se le agregaron 9.2 kg al peso propio de la tapa demostrado en la Figura 3.12, cabe mencionar que se le aplicaron separadores (2,15 cm) para respetar espesor de la lana de vidrio y no provocar deformación en ésta, dejando el aluminio hacia el exterior como lo muestra la Figura 3.13

**Figura 3.18** Demostración y distribución de peso aplicado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

**Figura 3.19** Prototipo terminado



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

A medida que se fueron construyendo los prototipos se fue desarrollando la siguiente tabla:

**Tabla 3.3** Listado de conformidad para la construcción de los prototipos.

Procedimientos	Cumple	No cumple	Observación
A. Verificar limpieza del tetra pack , antes del pegado.	SI		Independientemente si estuviese limpia o no, igual se frota con un paño de genero para mejorar la adherencia.
B. Al realizar traslape en este, verificar el cumplimiento del adhesivo.	SI		Si bien el adhesivo fue probado con anterioridad, en este punto se revisó que al secar no quedaran vacíos en éste.
C. Al traslapar una capa de tetra pack con otra, deben estar intercaladas las uniones para cada junta.	SI		Sin observaciones.
D. Al unir el tetra pack con la lana de vidrio, ésta debe ser presionada uniformemente, de tal manera de evitar vacíos en el interior de ésta.	SI		En el centro de los prototipos no se notaron vacíos, pero no así en las puntas ya que estas al ser trasladadas el mismo rose provoco separaciones pero que no influyeron en los resultados.

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

## **4 Presentación y Análisis de Resultados.**

### **4.1 Generalidades**

En este estudio se analizarán prototipos de aislantes con el fin de lograr un producto equilibrado y de buena calidad, que logre ser resistente térmicamente y a la vez acústicamente, logrando mejorar el confort térmico de las viviendas. Estos prototipos se construyeron con un mismo tipo de tetra pack para lograr uniformidad en la investigación y lana de vidrio.

Estos prototipos se llevaron a evaluaciones térmicas según la norma NCh 851 Of. 83, en el cual indica los procedimientos necesarios para la determinación de los coeficientes de transmisión térmica de un material mediante el método de la cámara térmica, para esto se ocupará tal cámara del laboratorio de la Universidad de Valparaíso, en donde en éste se pondrá tal prototipo y por medio de una fuente de calor se registrará la temperatura en cada una de sus caras para lograr obtener el diferencial de temperatura.

Para las evaluación acústica se toma de referencia la NCh 2786 Of. 2002, en donde se ocupará la misma cámara térmica, pero cambiando la fuente térmica por una fuente de sonido, en donde se evaluarán cada uno de los prototipos configurados y serán sometidos a esta evaluación.

### **4.2 Ensayo de aislación térmica**

En el siguiente análisis, por medio de los deltas obtenidos utilizando la ecuación 3.1 se logró comparar y visualizar con mayor facilidad la diferencia de los distintos materiales propuestos con los prototipos construidos.

Al realizar los ensayos por medio de la norma chilena NCh851 Of83 recomienda un rango cercano de 20°C temperatura ambiente en donde se evaluarán los prototipos.

El desarrollo de esta experiencia llevó a cabo varios procedimientos para poder realizar esta evaluación, para evaluar se tomó en consideración la temperatura ambiente de la norma y en equilibrio, luego cada sensor de temperatura en el centro del prototipo por ambos lados, ya sea por el del lado de la fuente de calor que se le determino la temperatura 2 (T2) en las tablas adjuntas en el ANEXO 7.1 y por el sector frio se realizó lo mismo asignando la temperatura 3 (T3) en los sensores, luego en todas las juntas de la cámara

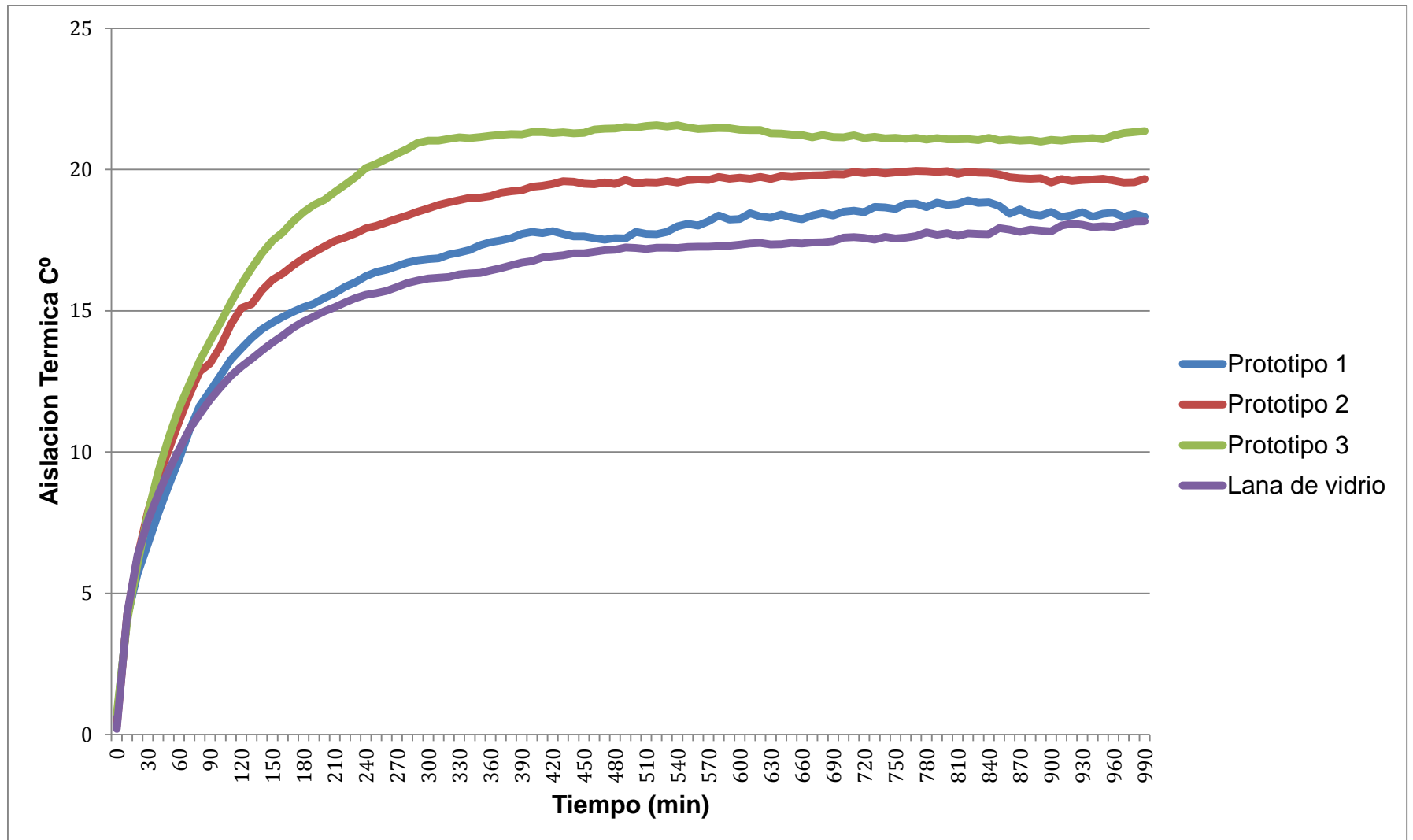
se adjunto lana mineral para hermetizar esta. Para finalizar el ensayo se deja evaluando 20 horas continuas aproximadamente, cabe destacar que son 8 horas continuas como requisito mínimo que recomienda la norma chilena Nch851 Of 83.

#### **4.2.1 Medición térmica de los prototipos**

Ésta corresponde a la medición obtenida en la cámara antes descrita para la obtención de datos térmicos.

Se logra visualizar las diferencia de temperaturas (delta T) que existen en el sector cálido de la fuente de calor con el frio en donde no existe esta fuente, para así comprender cual de los prototipos tiene mejor comportamiento para aislación térmica.

A continuación se aprecia en forma general la diferencia de temperaturas que existe de un sector con otro para la lana de vidrio y los 3 prototipos.

**Figura 4.1** Expresión grafica de los resultados de los prototipos y lana de vidrio según Xplorer.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Estos resultados permiten analizar el traspaso de calor que existe en cada prototipo mediante su diferencial térmico (Ec. 3.1), para esto fue necesario determinar el promedio aritmético ya que al alcanzar la temperatura máxima, (destacado en las tablas del ANEXO 8.1) éste se mantuvo y así logrando una recta. Cabe destacar que estos datos fueron obtenidos por el instrumento de medición Xplorer GLX.

Según la figura 4.3 se puede observar que el diferencial térmico que existe con la pura lana de vidrio, es la menor comparadas con los prototipos realizados en la investigación, la eficiencia de cada prototipo se puede determinar por la capacidad de aislamiento que contiene cada una de estas.

Si bien la conductividad térmica de la lana de vidrio es conocida actualmente ya que es un producto de fácil acceso y comerciable, en donde todos los elementos fueron ensayados de igual manera para comparar en las mismas condiciones cada uno de ellos.

En la tabla 4.1. se muestra en detalle la conductividad térmica, resistencia térmica y el diferencial de temperatura entre otros, de los elementos evaluados.

**Tabla 4.1** Detalle y comparación de prototipos con la lana de vidrio

Elemento	Espesor (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad Térmica (W/m*K)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> *K/W)	$\Delta T$ (°C)
<b>Lana de Vidrio</b>	0,0400	0,0200	16,33	0,0824	0,485	18°C
<b>Prototipo 1</b>	0,0407	0,0204	40,25	0,0837	0,486	19°C
<b>Prototipo 2</b>	0,0412	0,0206	67,38	0,0844	0,488	20°C
<b>Prototipo 3</b>	0,0430	0,0215	87,72	0,0876	0,491	21°C

**Fuente:** Elaboración propia ,2016.

Al evaluar las características aislantes que presenta la lana de vidrio, se puede determinar que el diferencial de temperatura llega a 18°C como elemento individual, si bien al adjuntar dos capas de tetra pack provocó un aumento de espesor en donde se produce un aumento de diferencial, ya que el espesor es un factor directo de la conductividad térmica y claramente de la resistencia térmica. Según la tabla 4.1 el prototipo 1 llega a tener un diferencial de 19°C, temperatura que aumenta en 1°C por cada etapa que se va adjuntando.

De acuerdo a la tabla 2.1 de las exigencias mínimas según la OGUC en la cual indica que la resistencia total en los muros en la zonificación 1 y 2 tienen que superar los 0,25 y 0,33  $m^2 \cdot K/W$  respectivamente, de acuerdo a la tabla 4.1 que muestra el detalle de resistencias totales, se demuestra que los prototipos son aptos para la mayoría de las ciudades de la quinta región (Anexo 7.1) que tienen valores 0,486 , 0,488 y 0,491  $m^2 \cdot K/W$ , para los prototipos 1, 2 y 3.

Por ende se puede determinar que las propiedades de la lana de vidrio provoca un gran aumento en el diferencial térmico del material, y las capas de tetra pack ya sea el cartón y el aluminio logran una influencia en este aislante. Al aumentar un grado por cada prototipo eso se debe al aumento de espesor provocado por las capas de aluminio y de cartón que se fueron adjuntando al aislante ensayado.

### **4.3 Ensayo de aislación acústica**

Los ensayos acústicos se realizaron bajo la norma chilena NCh 2786 Of2002 en donde se establecen frecuencias desde los 100Hz hasta los 5000Hz en intervalos establecidos que permite analizar con mayor exactitud los distintos tonos. Para la realización de este ensayo se establece cada banda de frecuencia emitida por un periodo de 30 segundos en las que fueron registradas en decibeles por el receptor.

Primero se evalúa en forma de campo libre para luego, cuando esté el elemento, saber la diferencia que existe y así lograr saber cuánto aísla el elemento.

#### **4.3.1 Procedimientos del ensayo**

Antes de ensayar se estableció una distancia mínima de separación entre ambas fuentes y el aislante a evaluar. En este caso se consideró una distancia de 1,2 metros desde la fuente emisora hacia el aislante (elemento que se evaluará) y la misma distancia de aquel elemento hacia el receptor, indicado en la NCh 2786 Of2003.

En primera instancia se evaluó la intensidad sonora en dB de cada frecuencia indicada dentro de la cámara mediante el receptor antes descrito, para así evaluar el espacio libre en donde la onda no se encuentre con superficies reflectantes o absorbentes en su camino. Para luego ensayar cada prototipo y elemento comparativo, que en este caso es la lana de vidrio, en

donde la diferencia con el campo libre es la resistencia acústica del elemento evaluado.

Esta diferencia será calculada de la siguiente forma:

$$\text{Aislación acústica} = \text{Campo libre (dB)} - \text{Elemento aislante (dB)}$$

(Ecuación 4.1)

#### 4.3.2 Medición acústica primer prototipo

Los ensayos acústicos para el primer prototipo de densidad aparente de  $40,25 \text{ Kg/m}^3$ , en donde se probó cada 30 segundos por frecuencia expresado en decibeles (dB), entregando un promedio dentro de los 30 segundos, una vez evaluados, los resultados que se encuentran en la tabla 4.3, indican la capacidad de aislación acústica de este aislante propuesto.

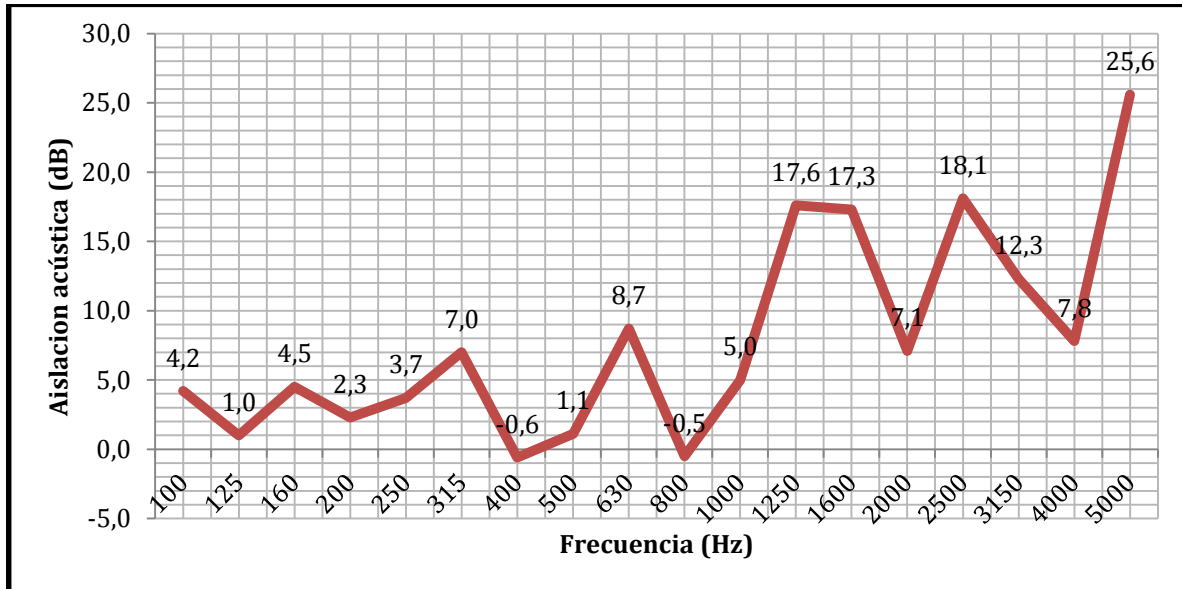
**Tabla 4.2** Aislación acústica para prototipo 1 según receptor

Frecuencia (HZ)	Campo libre (dB)	Prot. 1 (dB)	Aislación acústica (dB)
100	78,5	74,3	4,2
125	81,4	80,4	1,0
160	81,4	76,9	4,5
200	76,8	74,5	2,3
250	83,0	79,3	3,7
315	81,9	74,9	7,0
400	82,2	82,8	-0,6
500	82,4	81,3	1,1
630	86,1	77,4	8,7
800	88,4	88,9	-0,5
1000	87,2	82,2	5,0
1250	75,2	57,6	17,6
1600	88,9	71,6	17,3
2000	89,2	82,1	7,1
2500	88,6	70,5	18,1
3150	74,7	62,4	12,3
4000	78,3	70,5	7,8
5000	87,7	62,1	25,6

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico que se muestra a continuación se expresan los datos obtenidos, señalando la aislación acústica que existe en el primer prototipo por cada frecuencia.

**Figura 4.2** Gráfico de aislación acústica en el primer prototipo según receptor.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Luego de evaluar acústicamente el primer prototipo según los datos obtenidos y el gráfico en la figura 4.5, se puede determinar que este prototipo en las frecuencias bajas (sonidos graves) presenta una baja aislación, obteniendo hasta 1,0 dB en la frecuencia de 125 Hz.

Para las frecuencia 400 y 800 HZ ocurre un fenómeno llamado ondas estacionarias, lo que provocaría que a esa frecuencia se reflecte la onda y provoque dos movimientos ondulatorios armónicos de igual amplitud y frecuencia pero en distintas direcciones logrando anular el aislante.

El aislante para las frecuencias mas altas (sonidos agudos) 1250 Hz se puede ver en la figura 4.5 que alcanza 17.6 dB, logrando su mayor aislamiento de 25,6 dB en la frecuencia de 5000 Hz. Por lo tanto se puede concluir que este prototipo es eficiente para mayores frecuencias, sin embargo se debe tener en consideración que los datos obtenidos fueron medidos en condiciones controladas en la cámara de medición acústica.

### 4.3.3 Medición acústica del segundo prototipo

Los ensayos acústicos para el segundo prototipo de densidad aparente  $67,38 \text{ Kg/m}^3$ , en donde se probó con un intervalo de 30 segundos por frecuencia expresado en decibeles (dB) , entregando un promedio dentro de los 30 segundos ya evaluado, estos resultados que se encuentran en la tabla 4.4, indican la capacidad de aislación acústica de este aislante propuesto.

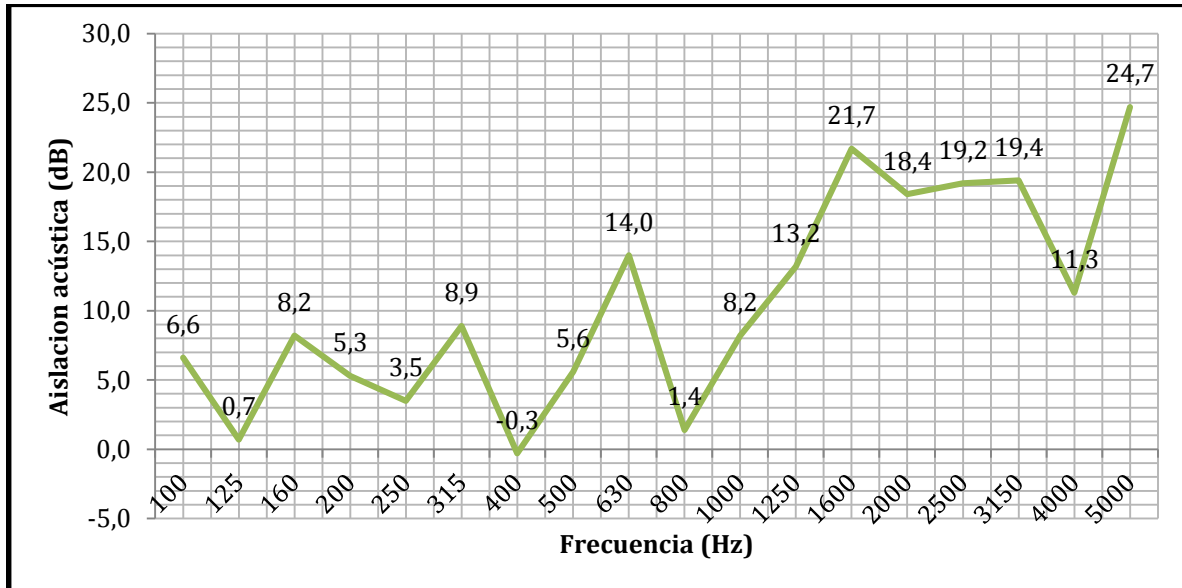
**Tabla 4.3** Aislación acústica para prototipo 2 según receptor.

Frecuencia (HZ)	Campo libre (dB)	Prot. 2 (dB)	Aislación acústica (dB)
100	78,5	71,9	6,6
125	81,4	80,7	0,7
160	81,4	73,2	8,2
200	76,8	71,5	5,3
250	83,0	79,5	3,5
315	81,9	73,0	8,9
400	82,2	82,5	-0,3
500	82,4	76,8	5,6
630	86,1	72,1	14,0
800	88,4	87,0	1,4
1000	87,2	79,0	8,2
1250	75,2	62,0	13,2
1600	88,9	67,2	21,7
2000	89,2	70,8	18,4
2500	88,6	69,4	19,2
3150	74,7	55,3	19,4
4000	78,3	67,0	11,3
5000	87,7	63,0	24,7

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico que se muestra a continuación se expresan los datos obtenidos, señalando la aislación acústica que existe en el segundo prototipo por cada frecuencia.

**Figura 4.3** Grafico de aislación acústica en el segundo prototipo según receptor.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Luego de evaluar acústicamente el primer prototipo según los datos obtenidos y el gráfico de figura 4.5, se puede determinar que este prototipo en las frecuencias bajas (sonidos graves) presenta baja aislación, obteniendo hasta 0,7 dB en la frecuencia de 125 Hz.

El aislante para las frecuencias mas altas (sonidos agudos) 1600 Hz se puede ver en la figura 4.6 que alcanza 21,7 dB, alcanzando su mayor aislamiento de 24,7 dB en la frecuencia de 5000 Hz. Por lo tanto, este prototipo es eficiente para mayores frecuencias, sin embargo se debe tener en consideración que los datos obtenidos fueron medidos en condiciones controladas en la cámara de medición acústica.

#### 4.3.4 Medición acústica del tercer prototipo.

Los ensayos acústicos para el tercer prototipo de densidad aparente  $87,72 \text{ Kg/m}^3$ , en donde se probó con un intervalo de 30 segundos por frecuencia expresado en decibeles (dB), entregando un promedio dentro de los 30 segundos ya evaluado, estos resultados que se encuentran en la tabla 4.5, indican la capacidad de aislación acústica de este aislante propuesto.

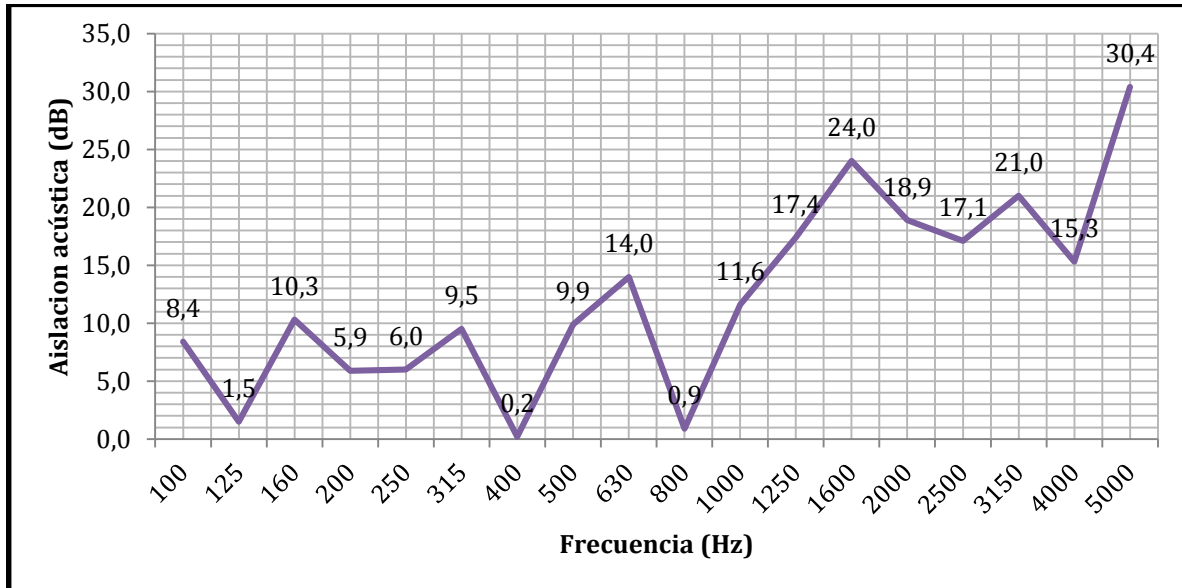
**Tabla 4.4** Aislación acústica para prototipo 3 según receptor.

Frecuencia (HZ)	Campo libre (dB)	Prot. 3 (dB)	Aislación acústica (dB)
100	78,5	70,1	8,4
125	81,4	79,9	1,5
160	81,4	71,1	10,3
200	76,8	70,9	5,9
250	83,0	77,0	6,0
315	81,9	72,4	9,5
400	82,2	82,0	0,2
500	82,4	72,5	9,9
630	86,1	72,1	14,0
800	88,4	87,5	0,9
1000	87,2	75,6	11,6
1250	75,2	57,8	17,4
1600	88,9	64,9	24,0
2000	89,2	70,3	18,9
2500	88,6	71,5	17,1
3150	74,7	53,7	21,0
4000	78,3	63,0	15,3
5000	87,7	57,3	30,4

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico que se muestra a continuación se expresan los datos obtenidos, señalando la aislación acústica que existe en el tercer prototipo por cada frecuencia.

**Figura 4.4** Grafico de aislación acústica en el tercer prototipo según receptor.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Luego de evaluar acústicamente el primer prototipo según los datos obtenidos y el gráfico de la figura 4.5, se puede determinar que este prototipo en las frecuencias bajas (sonidos graves) presenta baja aislación, obteniendo hasta 1,5 dB en la frecuencia de 125 Hz.

El aislante para las frecuencias mas altas (sonidos agudos) 1600 Hz se puede ver en la figura 4.7 que alcanza 24,0 dB, alcanzando su mayor aislamiento de 30,4 dB en la frecuencia de 5000 Hz. Por lo tanto, este prototipo es eficiente para mayores frecuencias, sin embargo se debe tener en consideración que los datos obtenidos fueron medidos en condiciones controladas en la cámara de medición acústica.

#### 4.3.5 Medición acústica de la lana de vidrio.

Luego de evaluar los prototipos , se obtuvieron los datos sobre la lana de vidrio que es el elemento a comparar con los prototipos en la tabla 4.6, que indican la capacidad de aislación acústica que contiene ésta.

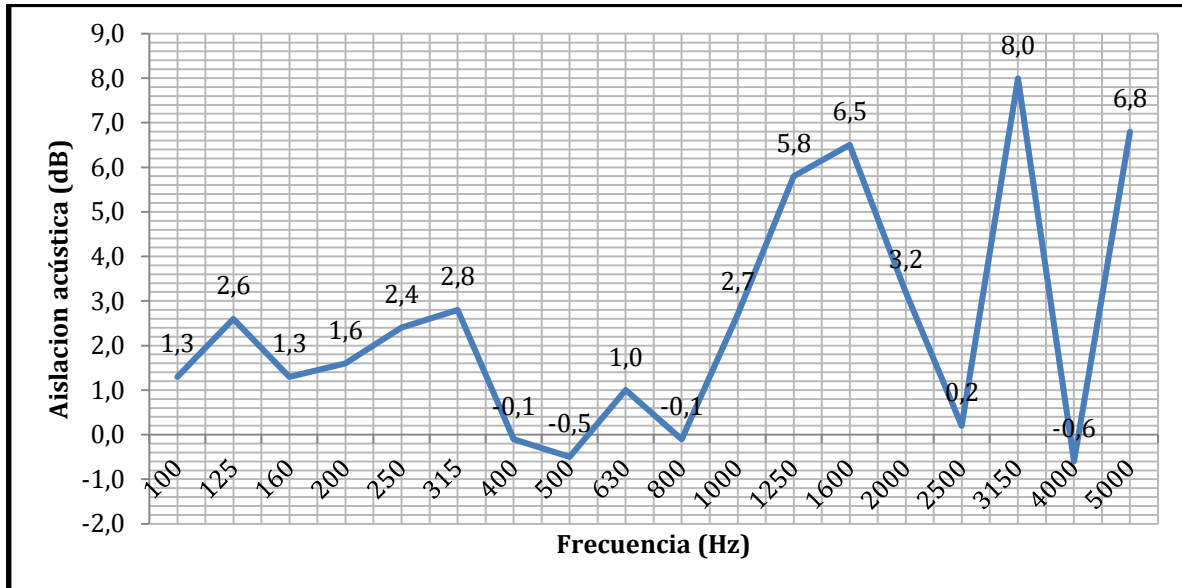
**Tabla 4.5** Aislación acústica para lana de vidrio 40 mm de espesor según receptor.

Frecuencia (HZ)	Campo libre (dB)	Lana de Vidrio (dB)	Aislación acústica (dB)
100	78,5	77,2	1,3
125	81,4	78,8	2,6
160	81,4	80,1	1,3
200	76,8	75,2	1,6
250	83,0	80,6	2,4
315	81,9	79,1	2,8
400	82,2	82,3	-0,1
500	82,4	82,9	-0,5
630	86,1	85,1	1,0
800	88,4	88,5	-0,1
1000	87,2	84,5	2,7
1250	75,2	69,4	5,8
1600	88,9	82,4	6,5
2000	89,2	86,0	3,2
2500	88,6	88,4	0,2
3150	74,7	66,7	8,0
4000	78,3	78,9	-0,6
5000	87,7	80,9	6,8

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico que se muestra a continuación se expresan los datos obtenidos, señalando la aislación acústica que existe en la lana de vidrio por cada frecuencia.

**Figura 4.5** Gráfico de aislación acústica en a lana de vidrio según receptor.

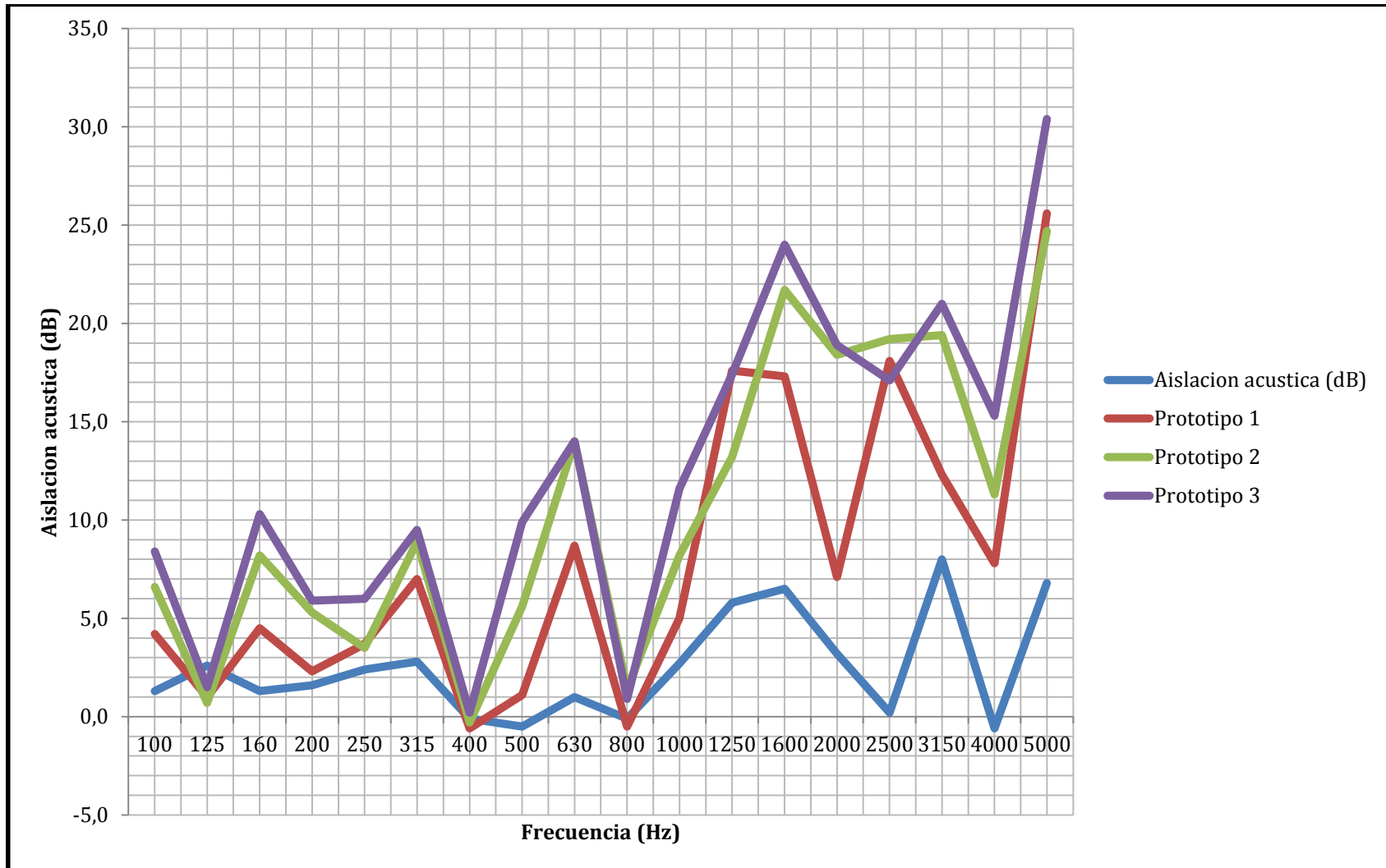


**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Luego de evaluar acústicamente el primer prototipo según los datos obtenidos y el gráfico en la figura 4.8, en donde este prototipo en las frecuencias bajas (sonidos graves) presenta baja aislación, obteniendo hasta 1,3 dB en la frecuencia de 100 y 160 Hz.

El aislante para las frecuencias más altas (sonidos agudos) a los 3150 Hz logra su máximo, por lo tanto su comportamiento para frecuencias más altas no logra superar los 8,0 dB. Lo señalado anteriormente provoca que este prototipo no es eficiente para mayores frecuencias, sin embargo se debe tener en consideración que los datos obtenidos fueron medidos en condiciones controladas en la cámara de medición acústica.

**Figura 4.6** Gráfico resumen de aislación acústica de los prototipos y lana de vidrio ensayados.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el gráfico de la Figura 4.9, se logra visualizar que en las frecuencias de 400 y 800 Hz. hay puntos de inflexión, en donde se indica con anterioridad que el comportamiento contra las frecuencias bajas de los prototipos y de la lana de vidrio es menor.

Para las frecuencias mayores (sonidos agudos), se puede apreciar que el tercer prototipo alcanza mayores magnitudes sobre los 800 Hz, con respecto a los demás prototipos logrando ser el más eficiente, llegando a su máxima aislación acústica en la frecuencia 5000 Hz en 30,4 dB, y por lo tanto aumenta en 5 decibeles respecto al segundo prototipo. En términos generales, estos prototipos son utilizados en zonas industriales y también en zonas centrales de alto flujo de vehículos, tal como se indica en el capítulo 2.8.1.1.

El comportamiento de la lana de vidrio en los prototipos provoca que las ondas sonoras de mayor frecuencias penetren en ella y se amortigüen, provocando que las ondas sonoras sean absorbidas.

Para lograr entender de una mejor manera se tomaran las frecuencias en un intervalo que el oído humano logre captar, que es entre los 2000 Hz a 4000 Hz, y para definir las frecuencias bajas y medias se tomaran la frecuencia 250 Hz y 1000 Hz, para ello se elaboro la siguiente tabla:

**Tabla 4.6** Aislación acústica (dB) en determinadas frecuencias según receptor.

Elemento	Frecuencia (Hz)					
	250 Hz	1000 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz
Lana de vidrio	2,4 dB	2,7 dB	3,2 dB	0,2 dB	8,0 dB	(-)0,6 dB
Prototipo 1	3,7 dB	5 dB	7,1 dB	18,1 dB	12,3 dB	7,8 dB
Prototipo 2	3,5 dB	8,2 dB	18,4 dB	19,2 dB	19,4 dB	11,3 dB
Prototipo 3	6 dB	11,6 dB	18,9 dB	17,1 dB	21 dB	15,3 dB

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Cabe señalar que el comportamiento de los prototipos uno, dos y tres en la aislación acústica se ve afectada por la masa de ésta, ya que el tercer prototipo es de mayor densidad comparado con el resto de los prototipos y es el que mejor actúa como aislante acústico y que tiene mejor comportamiento en las frecuencias que puede captar el oído humano.

#### 4.4 Análisis de presupuesto.

Para comenzar con el análisis se considera un pago mensual de \$250.000 que corresponde al sueldo mínimo vigente, a este sueldo mínimo se le agrega el 60% por las leyes sociales por lo tanto el costo mensual asciende a \$400.000. Si calculamos el costo por hora, considerando una jornada laboral de 45 horas semanales, obtenemos un costo de \$8.888 por hora.

Para una mejor producción de los prototipos se considera un operario, uno se dedicará a la preparación del envase tetra pack que consiste en su clasificación, lavado, corte y pegado de los envases logrando una rápida fabricación.

Para determinar el costo del operario se considera que en una hora se preparan 40 envases aproximadamente y cada capa tiene 12 cajas por ende el valor es \$2.666, y en el pegado son 20 minutos aproximadamente (considerando la clasificación, lavado y corte) por cada capa por el cual tiene un valor de \$2.962. Por lo tanto, cada capa de tetra pack tiene un costo de \$5.626 valor empresa.

**Tabla 4.7** Costo de mano de obra por cada capa de tetra pack

Elemento	Valor por capa	Nº de capa	Total
Prototipo 1	\$5.626	2	\$11.252
Prototipo 2	\$5.626	4	\$22.504
Prototipo 3	\$5.626	6	\$33.756

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

En la tabla 4.7 se puede apreciar de una forma mas explicita el valor de cada prototipo según el numero de capas que tiene cada uno de estos.

Para continuar el análisis de costos se elaboro la siguiente tabla con el precio unitario en cada producto de superficie 100x50 cm.

**Tabla 4.8** Precio unitarios de prototipos de superficie 0,5 mts<sup>2</sup>

Elemento	Lana de vidrio	Adhesivo de contacto	Tetra pack	Total
Prototipo 1	\$693	\$1.230	\$14	\$1.937
Prototipo 2	\$693	\$2.460	\$28	\$3.181
Prototipo 3	\$693	\$3.690	\$42	\$4.425

**Fuente:** Elaboración propia, 2016. En base a datos obtenidos de mercado actual.

Cabe determinar que no se pudo obtener precio al por mayor, por el cual estos son precios de ventas para cualquier persona que compra por unidad, por ende para una mayor producción de este prototipo se tiene que

considerar el valor de venta al por mayor ya que disminuiría el costo del prototipo.

**Tabla 4.9** Costo unitario por prototipo.

Elemento	M. Obra + L. Soc.	Materiales e insumos	Total
Prototipo 1	\$ 11.252	\$ 1.937	\$13.189
Prototipo 2	\$ 22.504	\$ 3.181	\$25.685
Prototipo 3	\$ 33.756	\$ 4.425	\$38.181
Lana de Vidrio	\$ 1.185	\$ 693	\$ 1.878

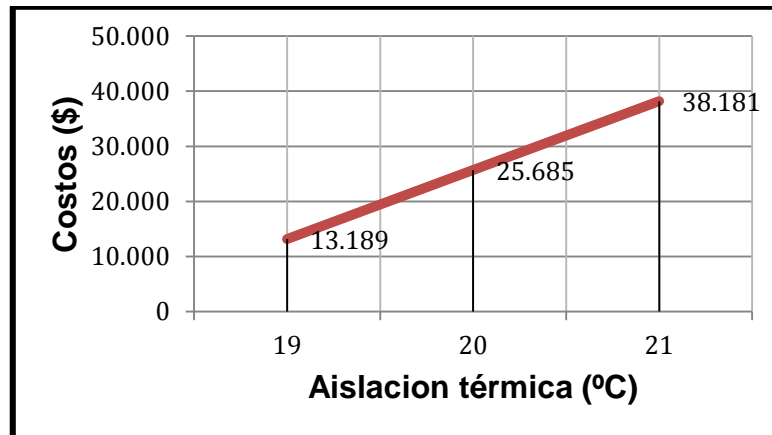
**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

De la información entregada en la tabla 4.10 de los costos totales de cada prototipo y la tabla 4.7 de la aislación acústica en determinadas frecuencias se puede determinar que a pesar de que el prototipo tres es el más caro ya sea por los elementos que contiene, es el prototipo que mejor actúa frente a la aislación térmica y acústica, obteniendo en los ensayos acústicos un promedio de 18,1 dB en las frecuencias entre los 2000 Hz y 4000 Hz, mientras que los prototipos uno, dos y la lana de vidrio, alcanzan un promedio de 11,3 dB , 17 dB y 2,7 respectivamente.

Entre los resultados obtenidos en los ensayos térmicos al aumentar capas de tetra pack para los prototipos uno, dos y tres, ello provoca una mayor resistencia térmica. Con resultados experimentales que varían de 18°C a 21°C. Por lo anterior, el tercer prototipo (Figura 1.3) presentó mejor comportamiento frente a una fuente de energía logrando un diferencial de temperatura de 21°C en comparación con el aislante patrón que es la lana de vidrio que logro como resultado 18°C.

De acuerdo a los datos obtenidos en el ensayo térmico y tomando en consideración los costos totales se realiza el siguiente grafico que muestra cuanto sube el precio respecto a la aislación térmica que contiene el prototipo 1, 2 y 3.

**Figura 4.7** Gráfico resumen de costos con aislación térmica



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

#### 4.5 Resumen de resultados.

**Tabla 4.10** Resumen de resultados

Elemento	Aislación Acústica (dB)	Aislación Térmica (°C)	Costo (\$)
Prototipo 1	11,3	19	\$13.189
Prototipo 2	17	20	\$25.685
Prototipo 3	18,1	21	\$38.181
Lana de Vidrio 40 mm.	2,7	18	\$ 1.818

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Para una mejor interpretación de estos datos, se establecieron parámetros (Tabla 4.11) para una mejor evaluación de los prototipos respecto a las normas correspondientes, donde se aprecia el nivel uno que es el menos óptimo y nueve el nivel mejor catalogado según la tabla.

**Tabla 4.11** Parámetros de comparación de resultados finales

	Nivel	Resistencia Térmica (R100)	Resistencia Acústica (dB)	Costos
Menos Óptimo ↓ Más Óptimo	1	34	0	\$40.000
	2	36	5	\$35.000
	3	38	10	\$30.000
	4	40	15	\$25.000
	5	42	20	\$20.000
	6	44	25	\$15.000
	7	46	30	\$10.000
	8	48	35	\$ 5.000
	9	50	40	\$ 1.000

**Fuente:** Elaboración propia, 2016. En base a NCH352 y Art. N° 4.1.10 de la OGUC.

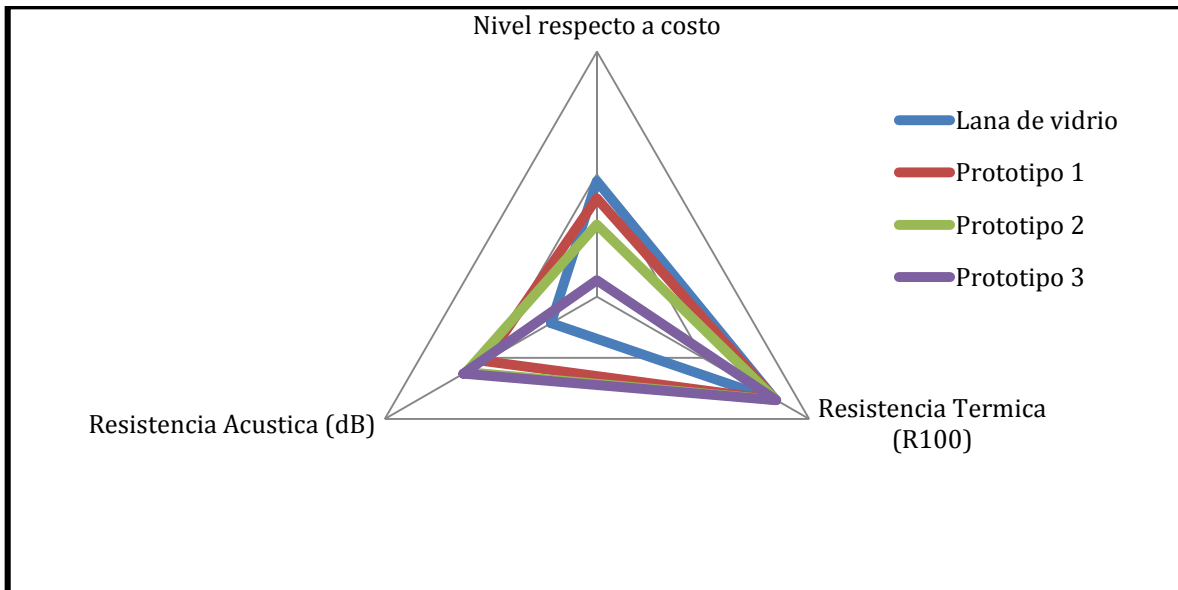
Luego de elaborar los parámetros en donde se establecerán los elementos evaluados, se realizó una interpolación para determinar el nivel respecto al costo y así mantener sus respectivas proporciones de los costos respecto a la resistencia térmica y acústica.

**Tabla 4.12** Resumen de resultados respecto a parámetros

Elementos	Nivel respecto al costo	Resistencia Térmica (R100)	Resistencia Acústica (dB)
Lana de Vidrio	8,80	48,5	2,7
Prototipo 1	6,36	48,6	11,3
Prototipo 2	3,87	48,8	17,0
Prototipo 3	1,36	49,1	18,1

De los resultados indicados en la tabla 4.12, se puede concluir que el prototipo 3 con mayor espesor y costo, genero una mayor aislación acústica y aislación térmica que los demás prototipos, opuestamente el elemento patrón que genero menor aislación acústica y térmica. Entre los aislantes propuestos se presentó el siguiente gráfico (Figura 4.8) en donde indica el análisis de resultados que expresa el desempeño de cada uno de estos.

**Figura 4.8** Evaluación de desempeño



**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

Analizando el gráfico se puede determinar que el prototipo tres representa una mayor área que la muestra patrón, lo que significa que tiene un mayor desempeño.

## **5 Conclusiones**

### **5.1 Conclusión respecto a las propiedades térmicas**

Al realizar los ensayos térmico se analizó el comportamiento térmico de los prototipos uno, dos y tres, entre los resultados obtenidos, al aumentar capas de tetra pack ello provoca una mayor resistencia térmica. Con resultados experimentales que varían de 18°C a 21°C, dado que las ondas térmicas se van atenuando al aumentar el espesor. Por lo anterior, el tercer prototipo presentó mejor comportamiento frente a una fuente de energía térmica producida, logrando un diferencial de temperatura de 21°C en comparación con el aislante patrón que es la lana de vidrio que logro como resultado 18°C.

Por otro lado los resultados de transmitancia térmica según la OGUC está permitido para la todo el sector de la quinta región exceptuando a las ciudades de Rinconada , Los Andes y Calle Larga. (Anexo 7.1)

### **5.2 Conclusión respecto a las propiedades acústicas**

Al examinar los prototipos en los ensayos acústicos, se demostró que para frecuencias bajas no se presentan mejoras significativas dado los resultados (tabla 4.6) de los prototipos en comparación con la muestra patrón, pero no así para las frecuencias altas, en donde se observó que a medida que iba incrementando el espesor de estos prototipos, se adquiere un mejor comportamiento como aislante acústico en donde los prototipos uno, dos y tres lograron un promedio de 11,3 (dB), 17 (dB) y 18,1 (dB) respectivamente en donde el patrón alcanzo 2,7(dB). Por lo tanto, el tercer prototipo logra una mejora en la frecuencias altas cuyas diferencias de resultados obtenidos de los prototipos uno dos y tres fueron de un 22% frente a la lana de vidrio que es el elemento de comparación.

### **5.3 Conclusión respecto a costos**

Se puede concluir de la investigación que los prototipos al aumentar cada grado Celsius tiene un costo de \$12.496 incluyendo mano de obra (Cap. 4.6), y como aislante acústico aumentando de 2,7 dB a 18,1 dB, donde según se indica en la tabla 2.1 del capítulo 2.8.1 que un ambiente ruidoso se presenta en un intervalo de 50 dB a 60 dB por lo tanto el prototipo 3 logra de un ambiente ruidoso disminuir a un ambiente moderadamente tranquilo de intervalo de 40 dB a 50 dB o hasta un ambiente tranquilo que oscila de 30 dB a 40 dB, por el cual los prototipos presentan bondades térmicas y acústicas para ser utilizado como material aislante de la construcción.

#### **5.4 Conclusión respecto al reciclaje**

De acuerdo de que en Chile hay 6,5 millones de toneladas que provocan los desechos sólidos municipales, donde los tipos de residuos mencionados con anterioridad corresponden a: tetra pack , cartón, plásticos, entre otros. Este elemento aislante provocaría un aumento en el reciclaje del tetra pack y disminución en residuos municipales que registran 18.000 toneladas que equivalen a 15.490.533 m<sup>2</sup>, 7.754.266 m<sup>2</sup> y 5.163.511 m<sup>2</sup> para el prototipo uno, dos y tres respectivamente. Donde una vivienda social de 50 m<sup>2</sup> (Anexo 6.2) que ocupa aproximadamente 90 m<sup>2</sup> de aislante para muros de tabiquería, traduciéndose para el prototipo uno 172.117 casas, prototipo dos 86.158 casas y para el tercer prototipo 57.372 casas.

#### **5.5 Comentarios finales de los objetivos.**

Los prototipos uno, dos y tres que se llevaron a cabo, cumpliendo su aplicabilidad conforme a cada una de las normas chilenas NCH851, NCH352, NCH2786 y el Artículo N°4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

De acuerdo al proceso realizado en la construcción de los prototipos se logro llevar a cabo un desarrollo de sistema de fabricación que permitieron facilitar los procesos de construcción y ahorro de material, en donde llevaría a cabo su industrialización del aislante propuesto.

Concluyendo así que los beneficios que presenta la fabricación tanto ambiental como de aislante se logra crear una mejora al producto patrón al agregar tetra pack, si bien los resultados térmicos no tuvieron una notoria variación, este presenta un aumento considerable respecto a la evaluación de ensayo acústico, por consiguiente se logra una similitud en el aislante tanto térmica como acústicamente.

## 6 Bibliografía

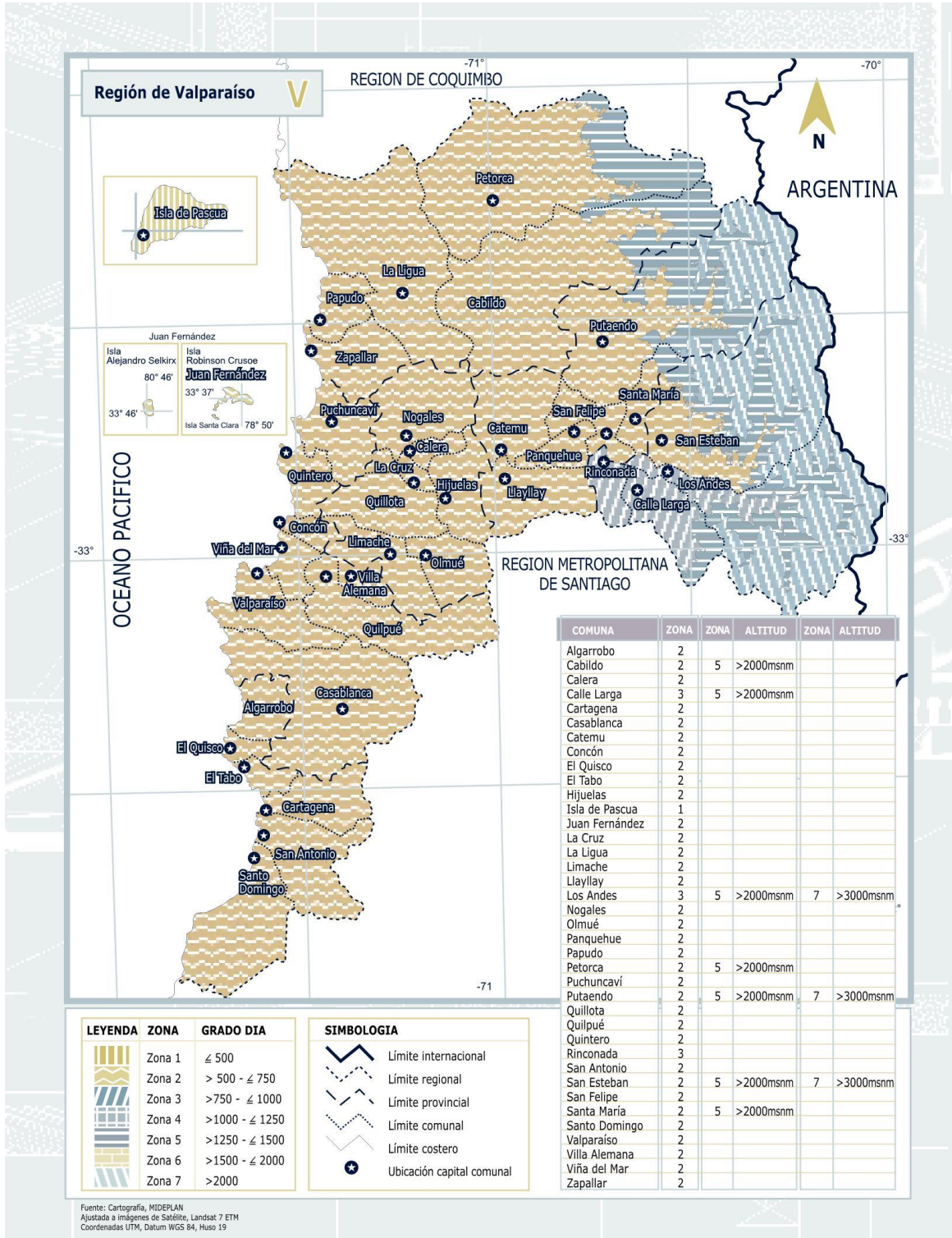
- "Aislamiento acústico y aire acondicionado en conductos textiles". (2015). Recuperado el 3 de octubre de 2015, de <http://es.slideshare.net/cuauhjazzplayer/aislamiento-acustico-15331764>
- "Protege el Medio Jugando con Tetra Pack." (2008 йил 6-septiembre). From [http://www.fev.org.ar/uploads/2/0/8/5/20850604/cuadernillo\\_docente\\_protege\\_medio\\_ambiente.pdf](http://www.fev.org.ar/uploads/2/0/8/5/20850604/cuadernillo_docente_protege_medio_ambiente.pdf).
- "Agents Classified by the IARC Monographs, V. 1.–1. (2011). "La lana de vidrio no presenta ninguna evidencia de aumento en el riesgo de cáncer." Vivienda.
- "Agents Classified by the IARC Monographs, V. 1.–1. (2011). La lana de vidrio no presenta ninguna evidencia de aumento en el riesgo de cáncer. Vivienda .
- Agriculture, C. o. (2015). University of Kentucky,BAE Residential Energy. Recuperado el 3 de octubre de 2015, de "Capitulo 5 Aislamiento: Materiales y Técnicas": <http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/>
- Atala, F. G. (2010). <http://www.ucsc.cl/blogs-academicos/tejuelas-de-tetra-pack-ayudar-no-cuesta-nada/>. From ucsc.
- Atala, F. G. (2010). <http://www.ucsc.cl/blogs-academicos/tejuelas-de-tetra-pack-ayudar-no-cuesta-nada/>. Obtenido de ucsc.
- Azqueta, P. E. (2000). "Las Condensaciones de Humedad en la Contruccion".
- Contrucción, C. C. (2008). "Manual de Instalaciones Térmicas" . Santiago.
- Contrucción, C. C. (s.f.). Manual de Moldajes .
- Direccion del trabajo Gobierno de Chile. (2015). Recuperado el 7 de septiembre de 2015, de <http://www.dt.gob.cl/consultas/1613/w3-propertyvalue-22104.html>  
Edificacion, M. d. ChovAcustic.
- EDILTEC. (2015). Notas tecnicas. Recuperado el 2015 de octubre de 15, de <http://spain.ediltec.com/es/notetecniche.php>
- Hellerstein, J. B. (2001). "VIDRIO, CERAMICA Y MATERIALES AFINES". Barcelona: Chantal Dufresne, BA.

- Jonathan P. Hellerstein, J. B. (2005). "Vidrio, cerámica y materiales afines". Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo .
- Juan Tejela Juez, T. S. (2010). "Técnicas de aislamiento térmico y acústico".
- Melián, A. M. (2009). "Diseño y Calculo de una istalacion para climatizacion mediante suelo radiante y acs en una vivienda unifamiliar". En Universidad Carlos III de Madrid, tesis de grado.
- Musso, P. K. (2004). Analisis de la eficiencia de la ponderacion "A" para evaluar efectos del ruido en el ser humano. Valdivia, Chile.
- Norma Chilena Oficial NCh2786 Of 2002 . En (Aislación acústica - Medición de Aislación acústica en contruccionen y elemento de construcción - Mediciones en laboratorio de laailación acústica área de elementos de construcción).
- Norma Chilena Oficial NCh352 Of2000. En (Aislación acústica - Contruccionen de uso habitacional - requisitos mínimos y ensayos).
- Norma Chilena Oficial NCh851 Of83 . En (Aislación térmica - Determinación de coeficientes de trasmisión térmica por el método de la cámara térmica).
- Pak, T. (s.f.). Protege al Medio Ambiente jugando con Tetra Pak. Obtenido de [http://www.fev.org.ar/uploads/2/0/8/5/20850604/cuadernillo\\_docente\\_protege\\_medio\\_ambiente.pdf](http://www.fev.org.ar/uploads/2/0/8/5/20850604/cuadernillo_docente_protege_medio_ambiente.pdf)
- Pizarro, C. R. (31 de mayo de 2013). Fibra de vidrio y policarbonato. El Mercurio .
- Pólito, L. P. (2011). "Materiales ecologicos para la contrucción de viviendas", Universidad Veracruzana, tesis de grado.
- Quiroa Herrera, J. A., Vecchia, F., & Castañeda Nolasco, G. (2010). "Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak®, láminas de fibrocemento y teja de barro". Ingenieria,Universidad Autónoma de Yucatán, Mexico.
- Ramos, J. R. (1999). "La contaminación ambiental". Lima: UNMSM.
- Renewable Energy. (2003). El Sevier , Pág. 603-611.
- Romero, J. V. (2011). Universidad Politecnica de Velencia."Diseño y Construcción de una Cámara de Trasmisión Acústica a Escala".titulo de grado.

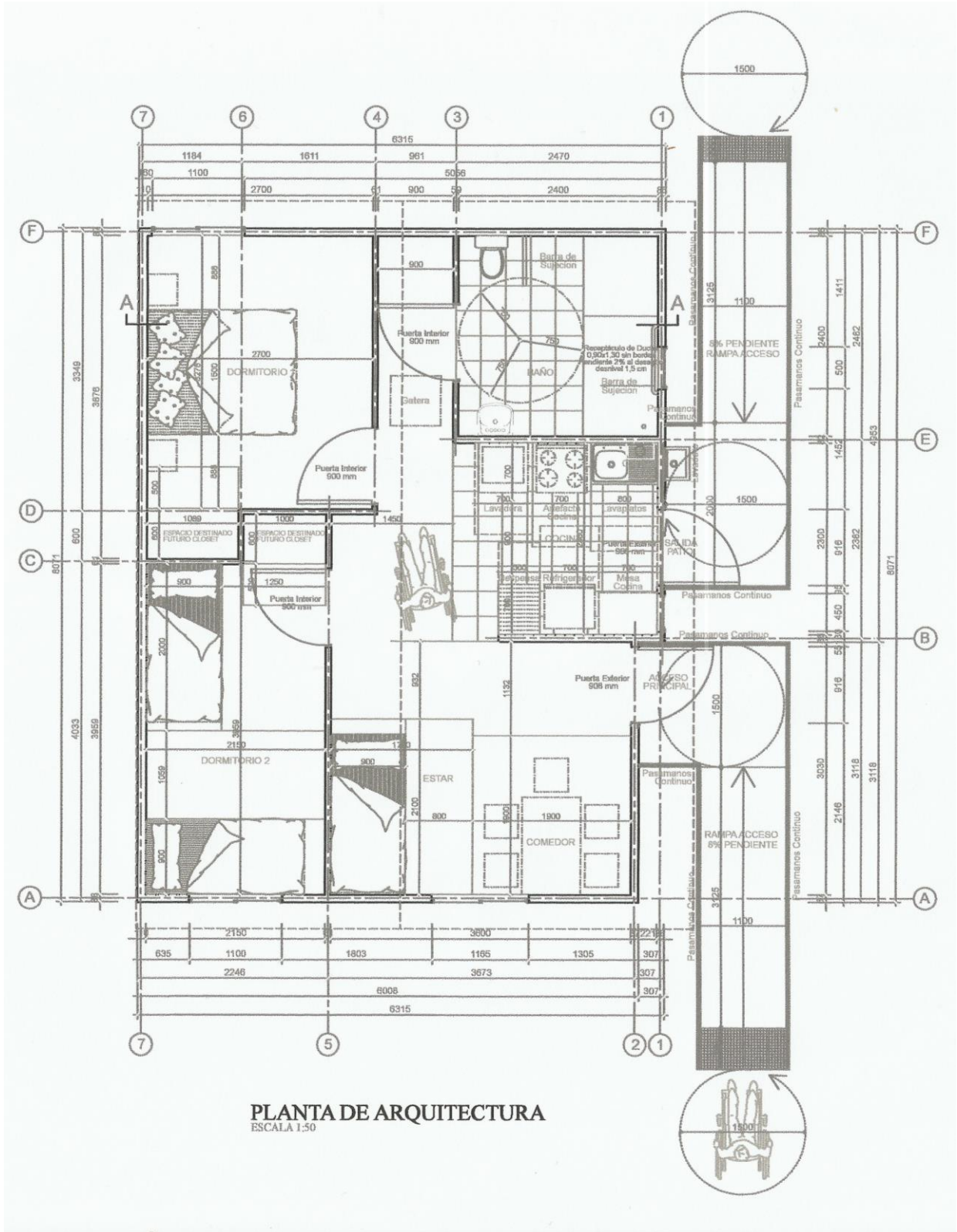
- Salinas, J. P. (3 de julio de 2013). Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización. Obtenido de <http://www.frioycalor.cl/118/tema4.html>
- Soto, J. J., Gordillo, R. O., & Salas, C. L. (2008). "Producción de Pulpa de Cartón" . Lima.
- Soto, J. J., Gordillo, R. O., & Salas, C. L. (2008). Producción de Pulpa de Cartón . Lima.

# 7 Anexos

## 7.1 Mapa de zonificación Quinta Región



7.2 Plano arquitectura vivienda social 50 m<sup>2</sup>



### 7.3 Tabla de datos transferencia de temperatura

#### 7.3.1 Tabla temperatura Capa Tetra pack

Nº Datos	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Tiempo (min)	$\Delta T$ CT(°C)
1	17,58	17,66	0	-0,08
2	31,65	23,95	10	7,7
3	37,37	27,27	20	10,1
4	40,32	29,16	30	11,16
5	43,64	30,98	40	12,66
6	46,18	32,58	50	13,6
7	47,83	33,88	60	13,95
8	50,01	35,09	70	14,92
9	52,22	36,53	80	15,69
10	53,7	37,71	90	15,99
11	54,03	38,21	100	15,82
12	55,41	39,09	110	16,32
13	56,68	39,85	120	16,83
14	56,98	40,35	130	16,63
15	58,28	41,15	140	17,13
16	58,41	41,51	150	16,9
17	58,59	41,69	160	16,9
18	59,14	42,11	170	17,03
19	59,17	42,3	180	16,87
20	60,06	42,78	190	17,28
21	60,42	43,12	200	17,3
22	60,42	43,17	210	17,25
23	61,04	43,56	220	17,48
24	60,94	43,71	230	17,23
25	61,18	43,86	240	17,32
26	61,45	44,1	250	17,35
27	61,15	44,08	260	17,07
28	61,64	44,32	270	17,32
29	61,83	44,52	280	17,31
30	61,64	44,48	290	17,16
31	62,06	44,74	300	17,32
32	62,12	44,91	310	17,21
33	61,85	44,79	320	17,06
34	62,37	45,08	330	17,29

35	62,53	45,22	340	17,31
36	61,83	45,04	350	16,79
37	62,11	45,18	360	16,93
38	62,52	45,4	370	17,12
39	62,37	45,44	380	16,93
40	62,58	45,5	390	17,08
41	62,93	45,72	400	17,21
42	62,71	45,77	410	16,94
43	62,92	45,8	420	17,12
44	63,22	45,99	430	17,23
45	62,82	45,89	440	16,93
46	62,83	45,85	450	16,98
47	63,3	46,1	460	17,2
48	63,67	46,27	470	17,4
49	63,78	46,38	480	17,4
50	63,74	46,38	490	17,36
51	64,31	46,65	500	17,66
52	64,01	46,62	510	17,39
53	64,3	46,67	520	17,63
54	64,31	46,75	530	17,56
55	63,83	46,6	540	17,23
56	63,32	46,28	550	17,04
57	63,55	46,35	560	17,2
58	62,8	46	570	16,8
59	63,21	46,1	580	17,11
60	63,25	46,08	590	17,17
61	62,6	45,83	600	16,77
62	63	45,86	610	17,14
63	63,07	45,9	620	17,17
64	62,8	45,7	630	17,1
65	63,03	45,77	640	17,26
66	62,69	45,68	650	17,01
67	62,85	45,63	660	17,22
68	62,92	45,65	670	17,27
69	62,62	45,53	680	17,09
70	63,09	45,66	690	17,43
71	63,12	45,7	700	17,42
72	62,64	45,42	710	17,22
73	62,88	45,53	720	17,35
74	62,73	45,49	730	17,24
75	62,84	45,41	740	17,43

76	63,18	45,61	750	17,57
77	62,77	45,37	760	17,4
78	63,05	45,5	770	17,55
79	62,51	45,26	780	17,25
80	62,57	45,21	790	17,36
81	62,55	45,23	800	17,32
82	61,83	44,82	810	17,01
83	62,32	45,03	820	17,29
84	62,12	44,95	830	17,17
85	62,1	44,85	840	17,25
86	62,39	44,98	850	17,41
87	61,79	44,71	860	17,08
88	62,19	44,87	870	17,32
89	62,38	44,97	880	17,41
90	62,21	44,79	890	17,42
91	62,51	44,96	900	17,55
92	61,9	44,66	910	17,24
93	62,13	44,78	920	17,35
94	61,91	44,69	930	17,22
95	61,87	44,55	940	17,32
96	62,32	44,77	950	17,55
97	61,92	44,64	960	17,28
98	62,02	44,61	970	17,41
99	62,33	44,73	980	17,6
100	61,7	44,45	990	17,25
101	62,19	44,65	1000	17,54
102	61,96	44,58	1010	17,38
103	62,04	44,54	1020	17,5
104	62,25	44,65	1030	17,6
105	61,61	44,34	1040	17,27
106	62,1	44,53	1050	17,57
107	61,64	44,36	1060	17,28
108	61,91	44,43	1070	17,48
109	61,85	44,44	1080	17,41
110	61,6	44,23	1090	17,37
111	62	44,42	1100	17,58
112	61,5	44,23	1110	17,27
113	61,8	44,32	1120	17,48
114	61,61	44,26	1130	17,35
115	61,47	44,1	1140	17,37
116	61,7	44,2	1150	17,5

117	61,06	43,95	1160	17,11
118	61,2	43,96	1170	17,24
119	61,42	44,01	1180	17,41
120	60,98	43,83	1190	17,15
121	61,26	43,92	1200	17,34
122	61,39	43,96	1210	17,43
123	61,27	43,98	1220	17,29
124	61,22	43,85	1230	17,37
125	61,41	43,96	1240	17,45
126	61,03	43,88	1250	17,15
127	61,27	43,87	1260	17,4
128	60,93	43,86	1270	17,07
129	60,36	43,57	1280	16,79
130	60,48	43,56	1290	16,92
131	60,78	43,73	1300	17,05
132	60,4	43,59	1310	16,81
133	61,01	43,86	1320	17,15
134	61,59	44,18	1330	17,41
135	61,37	44,11	1340	17,26
136	62,05	44,52	1350	17,53
137	61,68	44,45	1360	17,23
138	62,17	44,7	1370	17,47

PROM $\Delta T =$	17,3
-------------------	------

### 7.3.2 Tabla temperatura lana de vidrio

Nº Datos	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Tiempo (min)	$\Delta T$ LV (°C)
1	23,39	23,19	0	0,2
2	27,83	23,56	10	4,27
3	30,36	24,02	20	6,34
4	31,95	24,39	30	7,56
5	33,22	24,72	40	8,5
6	34,41	25,06	50	9,35
7	35,51	25,42	60	10,09

8	36,57	25,77	70	10,8
9	37,45	26,11	80	11,34
10	38,28	26,43	90	11,85
11	39,02	26,72	100	12,3
12	39,73	27,03	110	12,7
13	40,31	27,29	120	13,02
14	40,85	27,55	130	13,3
15	41,39	27,8	140	13,59
16	41,91	28,03	150	13,88
17	42,38	28,25	160	14,13
18	42,87	28,47	170	14,4
19	43,29	28,67	180	14,62
20	43,65	28,85	190	14,8
21	44	29,02	200	14,98
22	44,3	29,17	210	15,13
23	44,62	29,32	220	15,3
24	44,91	29,46	230	15,45
25	45,14	29,58	240	15,56
26	45,31	29,68	250	15,63
27	45,47	29,76	260	15,71
28	45,69	29,85	270	15,84
29	45,91	29,93	280	15,98
30	46,06	29,99	290	16,07
31	46,18	30,04	300	16,14
32	46,23	30,06	310	16,17
33	46,28	30,08	320	16,2
34	46,38	30,09	330	16,29
35	46,41	30,09	340	16,32
36	46,42	30,08	350	16,34
37	46,5	30,07	360	16,43
38	46,56	30,05	370	16,51
39	46,65	30,04	380	16,61
40	46,74	30,03	390	16,71
41	46,76	30	400	16,76
42	46,86	29,98	410	16,88
43	46,88	29,95	420	16,93
44	46,88	29,92	430	16,96
45	46,92	29,88	440	17,04
46	46,87	29,83	450	17,04
47	46,88	29,79	460	17,09
48	46,89	29,75	470	17,14

49	46,87	29,71	480	17,16
50	46,91	29,67	490	17,24
51	46,82	29,6	500	17,22
52	46,73	29,54	510	17,19
53	46,72	29,49	520	17,23
54	46,66	29,43	530	17,23
55	46,6	29,38	540	17,22
56	46,58	29,32	550	17,26
57	46,54	29,27	560	17,27
58	46,5	29,23	570	17,27
59	46,46	29,17	580	17,29
60	46,42	29,12	590	17,3
61	46,42	29,08	600	17,34
62	46,42	29,04	610	17,38
63	46,4	29	620	17,4
64	46,3	28,95	630	17,35
65	46,26	28,9	640	17,36
66	46,25	28,85	650	17,4
67	46,2	28,82	660	17,38
68	46,19	28,77	670	17,42
69	46,17	28,74	680	17,43
70	46,16	28,7	690	17,46
71	46,26	28,67	700	17,59
72	46,27	28,66	710	17,61
73	46,18	28,6	720	17,58
74	46,06	28,54	730	17,52
75	46,13	28,51	740	17,62
76	46,01	28,45	750	17,56
77	46,01	28,42	760	17,59
78	46,02	28,38	770	17,64
79	46,15	28,37	780	17,78
80	46,03	28,33	790	17,7
81	46,03	28,28	800	17,75
82	45,87	28,22	810	17,65
83	45,93	28,19	820	17,74
84	45,86	28,14	830	17,72
85	45,8	28,09	840	17,71
86	46,04	28,11	850	17,93
87	45,95	28,08	860	17,87
88	45,81	28,02	870	17,79
89	45,87	28	880	17,87

90	45,81	27,97	890	17,84
91	45,75	27,94	900	17,81
92	45,96	27,94	910	18,02
93	46,05	27,96	920	18,09
94	45,97	27,93	930	18,04
95	45,85	27,89	940	17,96
96	45,87	27,88	950	17,99
97	45,84	27,87	960	17,97
98	45,92	27,86	970	18,06
99	46,06	27,9	980	18,16
100	46,08	27,91	990	18,17
101	46,16	27,93	1000	18,23
102	46,24	27,97	1010	18,27
103	46,4	28	1020	18,4
104	46,59	28,06	1030	18,53
105	46,81	28,13	1040	18,68
106	46,99	28,2	1050	18,79
107	47,11	28,26	1060	18,85

PROM  $\Delta T = 17,7$

### 7.3.3 Tabla temperatura prototipo 1

Nº Datos	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Tiempo (min)	$\Delta T$ P1(°C)
1	19,15	18,59	0	0,56
2	22,79	18,64	10	4,15
3	24,81	19,12	20	5,69
4	26,42	19,68	30	6,74
5	27,93	20,11	40	7,82
6	29,19	20,37	50	8,82
7	30,3	20,56	60	9,74
8	31,55	20,79	70	10,76
9	32,72	21,09	80	11,63
10	33,6	21,44	90	12,16
11	34,5	21,78	100	12,72
12	35,43	22,16	110	13,27
13	36,2	22,54	120	13,66

14	36,94	22,9	130	14,04
15	37,6	23,25	140	14,35
16	38,15	23,57	150	14,58
17	38,66	23,87	160	14,79
18	39,13	24,16	170	14,97
19	39,56	24,43	180	15,13
20	39,95	24,7	190	15,25
21	40,4	24,94	200	15,46
22	40,8	25,17	210	15,63
23	41,26	25,41	220	15,85
24	41,64	25,63	230	16,01
25	42,07	25,85	240	16,22
26	42,43	26,05	250	16,38
27	42,7	26,24	260	16,46
28	43,02	26,44	270	16,58
29	43,33	26,62	280	16,71
30	43,58	26,79	290	16,79
31	43,79	26,96	300	16,83
32	43,98	27,12	310	16,86
33	44,26	27,27	320	16,99
34	44,49	27,43	330	17,06
35	44,73	27,58	340	17,15
36	45,05	27,73	350	17,32
37	45,31	27,88	360	17,43
38	45,51	28,02	370	17,49
39	45,72	28,15	380	17,57
40	46	28,28	390	17,72
41	46,2	28,41	400	17,79
42	46,28	28,53	410	17,75
43	46,45	28,63	420	17,82
44	46,45	28,73	430	17,72
45	46,45	28,82	440	17,63
46	46,52	28,89	450	17,63
47	46,54	28,97	460	17,57
48	46,56	29,04	470	17,52
49	46,67	29,1	480	17,57
50	46,72	29,16	490	17,56
51	47,01	29,22	500	17,79
52	47,01	29,29	510	17,72
53	47,04	29,33	520	17,71
54	47,16	29,37	530	17,79

55	47,41	29,42	540	17,99
56	47,55	29,47	550	18,08
57	47,52	29,5	560	18,02
58	47,69	29,52	570	18,17
59	47,92	29,55	580	18,37
60	47,79	29,56	590	18,23
61	47,8	29,55	600	18,25
62	48	29,55	610	18,45
63	47,88	29,54	620	18,34
64	47,8	29,51	630	18,29
65	47,88	29,47	640	18,41
66	47,73	29,43	650	18,3
67	47,61	29,37	660	18,24
68	47,69	29,32	670	18,37
69	47,74	29,29	680	18,45
70	47,6	29,23	690	18,37
71	47,68	29,17	700	18,51
72	47,65	29,11	710	18,54
73	47,53	29,04	720	18,49
74	47,66	28,98	730	18,68
75	47,59	28,93	740	18,66
76	47,47	28,86	750	18,61
77	47,57	28,79	760	18,78
78	47,52	28,73	770	18,79
79	47,33	28,66	780	18,67
80	47,42	28,59	790	18,83
81	47,29	28,54	800	18,75
82	47,24	28,46	810	18,78
83	47,32	28,41	820	18,91
84	47,17	28,35	830	18,82
85	47,12	28,28	840	18,84
86	46,91	28,2	850	18,71
87	46,55	28,11	860	18,44
88	46,61	28,02	870	18,59
89	46,36	27,94	880	18,42
90	46,22	27,85	890	18,37
91	46,28	27,78	900	18,5
92	46,04	27,72	910	18,32
93	46,02	27,64	920	18,38
94	46,07	27,58	930	18,49
95	45,85	27,52	940	18,33

96	45,89	27,45	950	18,44
97	45,87	27,4	960	18,47
98	45,68	27,35	970	18,33
99	45,72	27,29	980	18,43
100	45,59	27,26	990	18,33
101	45,53	27,19	1000	18,34
102	45,64	27,16	1010	18,48
103	45,47	27,12	1020	18,35
104	45,5	27,07	1030	18,43
105	45,39	27,04	1040	18,35
106	45,32	26,99	1050	18,33
107	45,43	26,96	1060	18,47
108	45,33	26,94	1070	18,39
109	45,31	26,89	1080	18,42
110	45,26	26,87	1090	18,39
111	45,16	26,84	1100	18,32
112	45,24	26,81	1110	18,43
113	45,11	26,79	1120	18,32
114	45,14	26,75	1130	18,39
115	45,18	26,74	1140	18,44
116	45,09	26,72	1150	18,37
117	45,07	26,7	1160	18,37
118	45,14	26,67	1170	18,47
119	44,92	26,64	1180	18,28
120	45,07	26,62	1190	18,45
121	45,08	26,62	1200	18,46
122	44,86	26,59	1210	18,27
123	44,98	26,57	1220	18,41
124	44,94	26,55	1230	18,39
125	44,91	26,52	1240	18,39
126	45,13	26,51	1250	18,62
127	45,26	26,51	1260	18,75
128	45,16	26,53	1270	18,63
129	45,22	26,5	1280	18,72
130	45,18	26,5	1290	18,68
131	45,19	26,49	1300	18,7
132	45,27	26,49	1310	18,78
133	45	26,46	1320	18,54
134	45,12	26,46	1330	18,66
135	44,94	26,46	1340	18,48
136	44,9	26,43	1350	18,47

137	44,82	26,42	1360	18,4
138	44,86	26,42	1370	18,44
139	45,09	26,43	1380	18,66
140	45,13	26,46	1390	18,67
141	45,24	26,47	1400	18,77
142	45,26	26,5	1410	18,76

<b>PROM <math>\Delta T</math> =</b>	<b>18,5</b>
-------------------------------------	-------------

### 7.3.4 Tabla temperatura prototipo 2

NºDatos	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Tiempo (min)	$\Delta T$ P2 (°C)
1	24,06	23,76	0	0,3
2	26,96	22,73	10	4,23
3	28,93	22,65	20	6,28
4	30,67	22,8	30	7,87
5	32,04	22,98	40	9,06
6	33,25	23,16	50	10,09
7	34,47	23,39	60	11,08
8	35,65	23,63	70	12,02
9	36,68	23,83	80	12,85
10	37,22	24,08	90	13,14
11	38,05	24,31	100	13,74
12	39,04	24,52	110	14,52
13	39,82	24,72	120	15,1
14	40,15	24,92	130	15,23
15	40,86	25,14	140	15,72
16	41,47	25,37	150	16,1
17	41,92	25,6	160	16,32
18	42,41	25,8	170	16,61
19	42,85	25,99	180	16,86
20	43,24	26,17	190	17,07
21	43,6	26,32	200	17,28
22	43,91	26,44	210	17,47
23	44,14	26,54	220	17,6
24	44,36	26,62	230	17,74
25	44,59	26,67	240	17,92
26	44,73	26,72	250	18,01

27	44,88	26,75	260	18,13
28	45,04	26,78	270	18,26
29	45,17	26,8	280	18,37
30	45,32	26,81	290	18,51
31	45,43	26,81	300	18,62
32	45,56	26,81	310	18,75
33	45,65	26,81	320	18,84
34	45,72	26,8	330	18,92
35	45,79	26,79	340	19
36	45,81	26,8	350	19,01
37	45,84	26,78	360	19,06
38	45,92	26,74	370	19,18
39	45,93	26,7	380	19,23
40	45,93	26,66	390	19,27
41	46,01	26,62	400	19,39
42	46,01	26,58	410	19,43
43	46,03	26,54	420	19,49
44	46,09	26,5	430	19,59
45	46,03	26,46	440	19,57
46	45,9	26,4	450	19,5
47	45,82	26,34	460	19,48
48	45,82	26,28	470	19,54
49	45,72	26,23	480	19,49
50	45,8	26,17	490	19,63
51	45,63	26,12	500	19,51
52	45,62	26,07	510	19,55
53	45,56	26,02	520	19,54
54	45,57	25,97	530	19,6
55	45,46	25,92	540	19,54
56	45,49	25,87	550	19,62
57	45,48	25,83	560	19,65
58	45,42	25,79	570	19,63
59	45,49	25,75	580	19,74
60	45,39	25,71	590	19,68
61	45,38	25,67	600	19,71
62	45,32	25,64	610	19,68
63	45,34	25,6	620	19,74
64	45,24	25,57	630	19,67
65	45,3	25,53	640	19,77
66	45,24	25,5	650	19,74
67	45,24	25,47	660	19,77

68	45,23	25,44	670	19,79
69	45,21	25,41	680	19,8
70	45,22	25,38	690	19,84
71	45,18	25,35	700	19,83
72	45,25	25,33	710	19,92
73	45,17	25,3	720	19,87
74	45,19	25,28	730	19,91
75	45,12	25,26	740	19,86
76	45,13	25,23	750	19,9
77	45,15	25,22	760	19,93
78	45,14	25,19	770	19,95
79	45,12	25,18	780	19,94
80	45,08	25,16	790	19,92
81	45,08	25,14	800	19,94
82	44,98	25,13	810	19,85
83	45,04	25,11	820	19,93
84	44,98	25,09	830	19,89
85	44,96	25,08	840	19,88
86	44,89	25,06	850	19,83
87	44,76	25,03	860	19,73
88	44,7	25,01	870	19,69
89	44,67	24,99	880	19,68
90	44,67	24,98	890	19,69
91	44,5	24,96	900	19,54
92	44,62	24,95	910	19,67
93	44,55	24,95	920	19,6
94	44,57	24,94	930	19,63
95	44,59	24,94	940	19,65
96	44,62	24,94	950	19,68
97	44,57	24,96	960	19,61
98	44,51	24,97	970	19,54
99	44,53	24,98	980	19,55
100	44,67	25	990	19,67
101	44,9	25,03	1000	19,87
102	44,95	25,09	1010	19,86
103	44,94	25,13	1020	19,81
104	44,89	25,16	1030	19,73
105	44,96	25,2	1040	19,76
106	44,95	25,25	1050	19,7
107	44,89	25,29	1060	19,6
108	44,92	25,34	1070	19,58

109	44,88	25,38	1080	19,5
110	44,98	25,43	1090	19,55

<b>PROM <math>\Delta T =</math></b>	<b>19,8</b>
-------------------------------------	-------------

### 7.3.5 Tabla temperatura prototipo 3

Nº Datos	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Tiempo (min)	$\Delta T$ P3 (°C)
1	27,18	26,43	0	0,75
2	29,55	25,55	10	4
3	31,12	25,1	20	6,02
4	32,79	24,98	30	7,81
5	34,31	25,03	40	9,28
6	35,69	25,18	50	10,51
7	36,94	25,38	60	11,56
8	37,99	25,59	70	12,4
9	39	25,77	80	13,23
10	39,85	25,93	90	13,92
11	40,67	26,08	100	14,59
12	41,51	26,21	110	15,3
13	42,28	26,34	120	15,94
14	42,93	26,42	130	16,51
15	43,53	26,49	140	17,04
16	44,1	26,62	150	17,48
17	44,56	26,78	160	17,78
18	45,07	26,9	170	18,17
19	45,52	27,03	180	18,49
20	45,9	27,15	190	18,75
21	46,19	27,26	200	18,93
22	46,56	27,36	210	19,2
23	46,9	27,44	220	19,46
24	47,24	27,51	230	19,73
25	47,63	27,58	240	20,05
26	47,87	27,67	250	20,2

27	48,12	27,74	260	20,38
28	48,36	27,8	270	20,56
29	48,58	27,85	280	20,73
30	48,84	27,9	290	20,94
31	48,93	27,91	300	21,02
32	48,95	27,93	310	21,02
33	49,05	27,96	320	21,09
34	49,12	27,98	330	21,14
35	49,11	28	340	21,11
36	49,15	28	350	21,15
37	49,18	27,99	360	21,19
38	49,19	27,96	370	21,23
39	49,2	27,94	380	21,26
40	49,15	27,9	390	21,25
41	49,2	27,87	400	21,33
42	49,16	27,83	410	21,33
43	49,07	27,78	420	21,29
44	49,05	27,73	430	21,32
45	48,96	27,68	440	21,28
46	48,93	27,63	450	21,3
47	48,99	27,57	460	21,42
48	48,95	27,51	470	21,44
49	48,91	27,46	480	21,45
50	48,91	27,4	490	21,51
51	48,84	27,35	500	21,49
52	48,83	27,29	510	21,54
53	48,8	27,23	520	21,57
54	48,7	27,18	530	21,52
55	48,68	27,11	540	21,57
56	48,55	27,06	550	21,49
57	48,42	26,99	560	21,43
58	48,38	26,93	570	21,45
59	48,33	26,86	580	21,47
60	48,27	26,81	590	21,46
61	48,16	26,75	600	21,41
62	48,08	26,68	610	21,4
63	48,02	26,62	620	21,4
64	47,84	26,56	630	21,28
65	47,77	26,5	640	21,27
66	47,67	26,43	650	21,24
67	47,59	26,37	660	21,22

68	47,45	26,31	670	21,14
69	47,46	26,24	680	21,22
70	47,33	26,18	690	21,15
71	47,27	26,13	700	21,14
72	47,27	26,06	710	21,21
73	47,12	26,01	720	21,11
74	47,11	25,95	730	21,16
75	46,99	25,89	740	21,1
76	46,95	25,83	750	21,12
77	46,86	25,77	760	21,09
78	46,83	25,71	770	21,12
79	46,72	25,66	780	21,06
80	46,71	25,6	790	21,11
81	46,61	25,54	800	21,07
82	46,56	25,49	810	21,07
83	46,51	25,43	820	21,08
84	46,42	25,38	830	21,04
85	46,45	25,33	840	21,12
86	46,31	25,28	850	21,03
87	46,29	25,23	860	21,06
88	46,2	25,18	870	21,02
89	46,17	25,13	880	21,04
90	46,07	25,08	890	20,99
91	46,08	25,03	900	21,05
92	46	24,98	910	21,02
93	46,02	24,95	920	21,07
94	45,99	24,9	930	21,09
95	45,97	24,86	940	21,11
96	45,9	24,83	950	21,07
97	45,98	24,78	960	21,2
98	46,04	24,75	970	21,29
99	46,05	24,72	980	21,33
100	46,06	24,7	990	21,36
101	46	24,69	1000	21,31
102	46,03	24,67	1010	21,36
103	45,87	24,66	1020	21,21
104	45,92	24,64	1030	21,28
105	45,86	24,64	1040	21,22
106	45,88	24,63	1050	21,25
107	45,83	24,64	1060	21,19
108	45,82	24,66	1070	21,16

109	45,77	24,69	1080	21,08
110	45,99	24,73	1090	21,26
111	46,17	24,79	1100	21,38
112	46,22	24,86	1110	21,36
113	46,37	24,96	1120	21,41
114	46,49	25,02	1130	21,47
115	46,62	25,13	1140	21,49
116	46,59	25,23	1150	21,36
117	46,65	25,33	1160	21,32
118	46,73	25,44	1170	21,29
119	46,77	25,55	1180	21,22

<b>PROM <math>\Delta T =</math></b>	<b>21,2</b>
-------------------------------------	-------------