



**Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil**

**Evaluación de las propiedades térmicas, acústicas y
mecánicas de un panel en base a yeso y perlita mineral
expandida**

**Por
David Castillo Espinoza**

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

Profesor Guía: Mauricio González

NOVIEMBRE, 2018

Agradecimientos:

Quisiera agradecer primeramente a Dios por permitirme culminar este proceso, a mi profesor guía, Sr. Mauricio González , por su siempre buena disposición de ayudarme y orientarme para perfeccionar cada aspecto involucrado en la investigación.

Emperatriz Villanueva, por su buena voluntad durante toda mi estadía en la carrera y ser la gran persona que es, sin duda la Escuela no sería lo mismo sin usted.

A mi familia. Mis Padres David y Verónica pilares fundamentales de mi formación, sin duda esto se lo dedico a ellos, mi hermano Jonathan futuro colega y gran apoyo en mi etapa estudiantil, los amo.

A mis profesores de universidad gracias por la sabiduría entregada, mis compañeros de carrera, mis compañeros de la vida, mis amigos. Estoy muy agradecido de haberlos conocido y haber compartido con ustedes este largo camino, ayudaron a hacer de esta una experiencia maravillosa.

Y finalmente a “Los Carechi FC”, cuantos campeonatos ganados y momentos inolvidables compartidos, los llevo en el corazón.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| | 1 |
| Agradecimientos: | 2 |
| Glosario | 6 |
| Lista de tablas | 7 |
| Lista de figuras | 8 |
| Resumen | 9 |
| Abstract | 10 |
| 1. Antecedentes generales | 11 |
| 1.1 Introducción. | 11 |
| 1.2 Planteamiento del Problema | 13 |
| 1.3 Objetivos | 16 |
| 1.3.1 Objetivo general | 16 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos. | 16 |
| 1.4 Alcances de la investigación | 17 |
| 1.5 Metodología de la investigación | 18 |
| 1.5.1 Recopilación de antecedentes | 18 |
| 1.5.2 Determinación de ensayos | 18 |
| 1.5.3 Diseño | 18 |
| 1.5.4 Fase Experimental | 18 |
| 1.5.5 Análisis de Resultados y Conclusiones | 18 |
| 2. Marco teórico | 21 |
| 2.1 Generalidades | 21 |
| 2.2. Aislante Térmico | 22 |
| 2.3 Transferencia de calor | 23 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.3.1 | Conducción..... | 24 |
| 2.3.2 | Radiación..... | 24 |
| 2.3.3 | Convección..... | 25 |
| 2.4 | Conductividad y Resistencia Térmica..... | 26 |
| 2.5 | Transmitancia térmica..... | 27 |
| 2.6 | Confort Térmico..... | 28 |
| 2.7 | Humedad..... | 29 |
| 2.8 | Humedad por condensación..... | 29 |
| 2.8.1 | Condensación intersticial..... | 30 |
| 2.8.2 | Condensación superficial..... | 30 |
| 2.9 | Resistencia al fuego..... | 31 |
| 2.10 | Acondicionamiento Acústico..... | 31 |
| 2.11 | Aislamiento Acústico..... | 31 |
| 2.12 | Agregados livianos..... | 34 |
| 2.12.1 | Perlita Mineral Expandida..... | 34 |
| 2.13 | El Yeso..... | 36 |
| 2.13.1 | Propiedades del Yeso..... | 37 |
| 2.13.2 | El Yeso en Chile..... | 39 |
| 2.14 | Flexión..... | 40 |
| 2.15 | Impacto..... | 40 |
| 2.16 | Absorción de humedad..... | 41 |
| 2.17 | Clasificación de los paneles..... | 41 |
| 2.18 | Grados de los paneles..... | 42 |
| 3. | Diseño experimental..... | 44 |
| 3.1 | Recopilación de materiales..... | 44 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.2 | Diseño del panel | 44 |
| 3.2.1 | Moldaje del panel | 44 |
| 3.2.2 | Confección del panel | 45 |
| 3.3 | Ensayos a realizar..... | 48 |
| 3.3.1 | Ensayos destructivos | 48 |
| 3.3.2 | Ensayos no destructivos | 53 |
| 3.4 | Estudio de costos..... | 58 |
| 4. | Presentación y análisis de resultados..... | 59 |
| 4.1 | Generalidades | 59 |
| 4.2 | Estudio de Densidad Aparente | 60 |
| 4.3 | Ensayo de Aislación Térmica..... | 60 |
| 4.3.1 | Ensayo de Aislación Térmica Muestra Patrón | 62 |
| 4.3.2 | Ensayo de Aislación Térmica “Panel en base a yeso y perlita mineral expandida” (25% Volumen). | 67 |
| 4.3.3 | Ensayo de Aislación Térmica “Panel en base a yeso y perlita mineral expandida” (50% Volumen) | 71 |
| 4.3.4 | Ensayo de Aislación Térmica “Panel en base a yeso y perlita mineral expandida” (75% Volumen). | 74 |
| 4.4 | Ensayo Acústico..... | 78 |
| 4.5 | Ensayo de Resistencia al impacto | 82 |
| 4.6 | Ensayo de Resistencia a la Flexión | 84 |
| 4.7 | Estudio de Costos..... | 86 |
| 4.7.1 | Análisis de Precios Unitarios muestra patrón..... | 87 |
| 4.7.2 | Análisis de Precios Unitarios muestra 25% perlita | 88 |
| 4.7.3 | Análisis de Precios Unitarios muestra 50% perlita | 89 |

| | |
|---|-----------|
| 4.7.3 Análisis de Precios Unitarios muestra 75% perlita | 90 |
| 5. Conclusiones y propuestas de futuras investigaciones..... | 91 |
| 5.1 Conclusiones | 91 |
| 5.2 Propuestas de Investigaciones Futuras..... | 94 |
| Bibliografía. | 95 |
| Anexos..... | 97 |

Glosario

Panel: componente prefabricado de un edificio, en el que la menor de sus dimensiones es a lo menos 10 veces superior a su espesor, manejable como una pieza que es posible montar con facilidad. Generalmente cuando se coloca vertical, su altura corresponde a la altura de piso a cielo.

Panel autosoportante: aquel destinado a resistir sólo su propio peso y sobrecargas ocasionales.

Conductividad térmica: es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(m \cdot K)$ (equivalente a $J/(m \cdot s \cdot K)$)

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1.- Cronograma..... | 20 |
| Tabla 2.1.- Clasificación de ambientes según niveles sonoros | 32 |
| Tabla 2.2.- Requisitos para construcciones de uso habitacional. | 33 |
| Tabla 2.3.- Valores del coeficiente de conductividad térmica del yeso en función de sus densidades..... | 38 |
| Tabla 2.4.- Valores del coeficiente de absorción acústica para diversos materiales | 38 |
| Tabla 2.5.- Carga de rotura y límite de proporcionalidad RC | 42 |
| Tabla 2.6.- Deformación admisible RC | 42 |
| Tabla 2.7.- Carga de rotura y límite de proporcionalidad RH..... | 43 |
| Tabla 2.8.- Deformación admisible RC..... | 43 |
| Tabla 2.9.- Carga de rotura y límite de proporcionalidad RT | 43 |
| Tabla 2.10.- Deformación admisible RT | 43 |
| Tabla 3.1.- Tipología de Paneles | 47 |
| Tabla 4.1.- Densidad aparente en paneles en base a Yeso y Perlita mineral expandida... .. | 60 |
| Tabla 4.2.- Temperaturas Panel Patrón. | 62 |
| Tabla 4.3.- Temperaturas muestra 25% Perlita mineral expandida..... | 67 |
| Tabla 4.4.- Temperaturas muestra 50% Perlita mineral expandida..... | 71 |
| Tabla 4.5.- Temperaturas muestra 75% Perlita mineral expandida..... | 74 |
| Tabla 4.6.- Medición de decibels con Ensayo Acústico..... | 78 |
| Tabla 4.7.- Índices de absorción Ensayo Acústico..... | 79 |
| Tabla 4.8.- Ensayo de resistencia al Impacto Paneles en base a Yeso y Perlita mineral expandida..... | 82 |
| Tabla 4.9.- Carga máxima y deformación de los paneles sometidos a Ensayo Flexión | 84 |
| Tabla 4.10.- Análisis de Precios Unitarios muestra Patrón (\$/m ²) | 87 |
| Tabla 4.11.- Análisis de Precios Unitarios muestra 25% perlita (\$/m ²) | 88 |
| Tabla 4.12.- Análisis de Precios Unitarios muestra 50% perlita (\$/m ²) | 89 |
| Tabla 4.13.- Análisis de Precios Unitarios muestra 75% perlita (\$/m ²) | 90 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1.1.- Metodología de la Investigación..... | 19 |
| Figura 2.1.- Encuesta sobre confort Térmico | 22 |
| Figura 2.2.- Tipos de transferencia de calor de una vivienda..... | 23 |
| Figura 2.3.- Transferencia de calor por Conducción..... | 24 |
| Figura 2.4.- Transferencia de calor por Radiación..... | 25 |
| Figura 2.5.- Transferencia de calor por Convección | 25 |
| Figura 2.6.- Aislamiento Acústico..... | 32 |
| Figura 2.7.- Perlita Expandida..... | 35 |
| Figura 2.8.- Ejemplo de Flexión Mecánica | 40 |
| Figura 3.1.- Molde utilizado para la confección de los paneles, en bruto y forrado. | 45 |
| Figura 3.2.- Indicaciones del fabricante para la elaboración de la pasta de yeso..... | 46 |
| Figura 3.3.- Panel dentro del molde | 47 |
| Figura 3.4.- Bola de acero. | 48 |
| Figura 3.5.- Ensayo de Impacto..... | 48 |
| Figura 3.6.- Elementos Ensayo Flexión. | 50 |
| Figura 3.7.- Maquina de prueba universal utilizada para el Ensayo de Flexión | 51 |
| Figura 3.8.- Vista frontal Maquina de prueba universal aplicando carga sobre panel. | 51 |
| Figura 3.9.- Micrómetro con dial utilizado para medir la deformación. | 52 |
| Figura 3.10.- Vista interior Cámara térmica..... | 54 |
| Figura 3.11.- Vista exterior Cámara térmica... .. | 55 |
| Figura 3.12.- Cámara térmica sellada | 55 |
| Figura 3.13.- Xplorer GLX con sensor de sonido y sonómetro | 57 |
| Figura 3.14.- Cámara con emisor de ruido | 57 |
| Figura 4.1.- Temperaturas simultáneas medidas durante el ensayo muestra patrón | 63 |
| Figura 4.2.- Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra patrón..... | 64 |
| Figura 4.3.- Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra 25% Perlita mineral expandida. | 68 |
| Figura 4.4.- Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra 50% Perlita mineral expandida. | 72 |
| Figura 4.5.- Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra 75% Perlita mineral expandida. | 75 |
| Figura 4.6.- Gráfico Diferencial Térmico (°C) v/s Tiempo (Min). | 77 |
| Figura 4.7.- Gráfico Índice de absorción (dB) v/s Frecuencia (Hz)..... | 81 |
| Figura 4.8.- Promedio de hendiduras registradas Ensayo de Impacto | 83 |
| Figura 4.9.- Carga Máxima Paneles Ensayo Flexión | 85 |
| Figura 4.10.- Deflexión central en la ruptura del panel Ensayo a Flexión..... | 85 |

Resumen

Este estudio presenta el desarrollo y evaluación de un nuevo tipo de sistema constructivo no estructural, para ser utilizado como tabiquería interior en edificaciones.

La investigación consistió en diseñar y evaluar un panel fabricado a base de yeso y perlita mineral expandida.

Se construyeron probetas con distintas dosificaciones de yeso-perlita para la realización de ensayos y se determinaron algunas propiedades físicas y mecánicas.

La mayoría de los resultados fueron favorables, obteniendo que la dosificación con mayor cantidad de perlita añadida presento mejores resultados físicos, pero disminuyó las resistencias mecánicas, además se realizó un análisis de precio unitario para determinar el costo de fabricación. Finalmente se comparó con el sistema constructivo Isomur, obteniéndose una ventaja al lograr disminuir el peso respecto a éste, pero aún con aspectos a mejorar como la absorción acústica del elemento.

Es por lo anterior que se sugiere seguir perfeccionando el diseño de este sistema constructivo.

Abstract

This study presents the development and evaluation of a new type of non-structural constructive system, to be used as interior partitions in buildings.

The research consisted of designing and evaluating a panel made of gypsum and expanded mineral perlite.

Test specimens were constructed with different dosages of gypsum-perlite for the realization of tests and some physical and mechanical properties were determined.

Most of the results were favorable, obtaining that the dosage with the highest amount of perlite added presented better physical results, but the mechanical resistance decreased, and a unit price analysis was carried out to determine the manufacturing cost. Finally, it was compared with the Isomur constructive system, obtaining an advantage to achieve a reduction in weight with respect to it, but still with aspects to improve such as the acoustic absorption of the element.

It is for the foregoing that it is suggested to continue refining the design of this construction system.

1. Antecedentes generales

1.1 Introducción.

La sociedad en la que hoy vivimos incrementa cada día el uso de energías no renovables, con ello aumentan los niveles de contaminación y se abusa de los recursos existentes.

Es por ello que la edificación es protagonista en este sentido, en la actualidad la búsqueda de materiales que ayuden a disminuir el consumo excesivo de estos recursos se hace prioritario, por lo anterior se deben buscar soluciones a esta problemática, generando sistemas que reduzcan el impacto que produce el excesivo consumo de energía, incrementando y dando énfasis a la sustentabilidad y entregando a los usuarios viviendas de calidad que no comprometan al ambiente ni a las generaciones futuras. Debemos mejorar paulatinamente, contribuyendo al bienestar de toda una sociedad.

Si llegamos a analizar los procesos productivos de los elementos, compuestos y materiales de construcción, podemos encontrar puntos críticos y atacarlos buscando mejoras que permitan aumentar la eficacia, disminuir el uso de materias primas, minimizar el gasto de energías no renovables y disminuir los costos.

Chile cuenta con distintos subsidios habitacionales, entre los que destacan: subsidios habitacional rural, subsidio leasing habitacional, subsidio a la vivienda básica, además de un subsidio habitacional complementario que corresponde al programa de protección del patrimonio familiar, que entrega 50 UF por viviendas a las familias chilenas para mejorar el entorno y mejorar o ampliar la vivienda, que está dirigido a propietarios de viviendas cuyo valor de tasación no supere a 650 UF [MINVU 2010], para ello ,debemos ayudar y aportar ideas nuevas que promuevan la utilización de estos fondos en recursos que disminuyan consumo energético, que logren alcanzar los niveles de confort y habitabilidad necesarios y que permitan que la inversión contribuya al bienestar del medio ambiente.

En su constante proceso de innovación y considerando que actualmente se cuenta

con una creciente legislación y reglamento respecto a los requerimientos constructivos se han desarrollado productos que faciliten y mejoren los rendimientos actuales en la construcción de muros internos.

Gracias a la más alta tecnología en el proceso de fabricación y la utilización de excelentes materias primas, se puede obtener un producto de calidad garantizada. Nuevos sistemas como Covintec, Volcometal e Isomur han dado soluciones constructivas con grandes resultados y con ideas innovadoras en lo que respecta a la tabiquería tradicional como lo es la madera.

De esta inquietud de generar nuevas opciones en sistemas constructivos con mejores resultados y de proporcionar un confort doméstico de la mano de una eficiencia energética nace el presente estudio, en el que se plantea el análisis de una propuesta de un sistema constructivo constituido por perlita mineral expandida y yeso, el cual se propone ser utilizado como tabiquería interior y al cual se le realizaran estudios para determinar su eficiencia térmica y acústica, y así generar un pequeño aporte a la sustentabilidad buscada.

1.2 Planteamiento del Problema.

Como sociedad hemos tenido una excesiva dependencia de la energía y desafortunadamente no son renovables (Martínez, 2005).

Los países desarrollados se han caracterizado en estas últimas décadas por la constante búsqueda de eficacia y eficiencia en la utilización de sus recursos energéticos.

La sustentabilidad y la dependencia energética se han hecho factores claves, independiente del sector de la economía. Congruentemente, la industria de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes a nivel mundial, constituyendo al menos un décimo de la economía global.

El sector de la construcción y de la industria en general aportan significativamente en el deterioro de la naturaleza, el 25% de los residuos son residuos de construcción y demolición (Alarcón, 2005) y más del 70% de la energía mundial se mueve alrededor de este sector (Oteiza y Tenorio, 2007). Asimismo, los edificios utilizan al menos el 40% de la energía mundial y es responsable por al menos el 50% de las emisiones de CO₂ al ambiente (M. Santamouris, 2007).

Chile no está ajeno a esta realidad. El país ha ido presentando un crecimiento sostenido del consumo final de energía por habitante y una clara dependencia energética traducida en la mayor importación de energía primaria (CNE. Balance Energético, 2007). Chile importa las principales fuentes productoras de energía, es así como el 97% del petróleo que utilizamos viene desde el exterior, al igual que el 84% de carbón y el 78% de gas natural (CNE, 2007).

La escasez o el elevado costo de los recursos existentes hace que sea imprescindible la disminución de los gastos energéticos, conllevando a la búsqueda de opciones que nos permitan aminorar la actual crisis energética. Hace algunos años que Chile como país tomó a la eficiencia energética (EE) como uno de los caminos esenciales para reducir el constante crecimiento de la demanda energética, que ha alcanzado un 3,8% por año durante los últimos 10 años (Trebilcock, 2011). Estudios del PRIEN de la Universidad de Chile (2008) predicen que sin medidas de EE la demanda podría duplicarse en el período 2008-2018, mientras que con medidas de eficiencia energética la demanda podría reducirse en un 20% al final del período mencionado.

Según (Forcael, 2010) para poder alcanzar dicha eficiencia energética y la optimización del uso de recursos “no renovables”, se debe dar el primer paso como sociedad y desarrollar mejoras y propuestas que atiendan problemáticas como: envolventes térmicas e higrotérmicas, tasas de infiltración de aire, caudales mínimos de ventilación, ganancias solares, entre otros.

El aislamiento térmico de viviendas tiene como finalidad principal ahorrar energía de calefacción o de refrigeración para conseguir niveles adecuados de confort térmico. Es por ello que tanto (Gonzales, 2010) como (Pacheco, 2010) concuerdan en señalar que la aislación térmica en la construcción es un factor importante al momento de reducir gastos energéticos y solventar el nivel adecuado de habitabilidad en las viviendas que nos permita mejorar la calidad de vida de las personas.

Sin embargo, según (Encuesta INE, 2016), se determinó que la mitad de la población en Chile tiene un ingreso mensual promedio inferior a US\$ 350, donde el 20% de ellos están catalogados en situación de pobreza en el país. De estas personas, es casi nula la cantidad de ingresos económicos destinados a calefacción en la vivienda. Por ejemplo, personas que, en su mayoría, suelen habitar viviendas sociales que no fueron construidas con objetivos de calidad energético-ambiental, sino con objetivos claros de poder satisfacer la necesidad de vivienda para personas que carecían de ella. La vivienda social se ajusta a condicionantes económicas que establecen límites de calidad de la construcción, haciendo suponer que las condiciones a que son expuestos los habitantes se alejan de los estándares esperados de confort interior, permitiendo concluir, que son muchas familias que viven bajo la línea de la pobreza energética. (Wegertseder, 2014). Según el autor (Hong, 2009) este tipo de pobreza es causada por una combinación basado en bajos ingresos y altos costos de energía, además de la ausencia de eficiencia energética y/o mala calidad de la envolvente térmica de la vivienda.

En pocas palabras, la energía alternativa más económica es la que no se usa. Por este motivo, la eficiencia energética tiene como principal objetivo el de minimizar el consumo de recursos energéticos en distintos desempeños asociados a los edificios: climatización, iluminación, equipamiento, etc.

En Chile lo que se quiere es asegurar el ahorro de energía, por esto la construcción se basa principalmente en materiales con características aislantes, debido a las estaciones antárticas, se insiste que en el proceso constructivo de cualquier edificación o vivienda están

comprometidos tanto la resistencia mecánica como una buena aislación térmica, por lo que el uso de este sistema de paneles se acomoda perfectamente a estas condiciones. (Cansorio, 2005).

Es por las aseveraciones señaladas en los párrafos anteriores que surge la necesidad de estudiar e investigar elementos constructivos y/o arquitectónicos que demanden menos energía y cuyo ciclo de vida genere menos impacto en el ambiente. Por ello se pretende evaluar la factibilidad de utilizar un material como lo es la perlita mineral expandida, mezclado con yeso para la confección de un elemento de construcción ya sea para ser usado como panel o aislante. La perlita expandida es un excelente aislante térmico y acústico; Resiste el fuego, y es un material ultraligero (Talebali y Farzinpour, 2006). La Perlita se utiliza en la industria de la construcción, azulejos de aislamiento y hormigón como agregado, además es considerado el mejor aislante natural existente. (Abidi y col., 2016) informaron que la adición de perlita en los yesos lleva a un aumento en el aislamiento térmico. Además, es capaz de brindar una aislación térmica superior a todos los productos conocidos y logrando, en una sola operación, mejores resultados que un sistema de aislación de varias chapas o capas (Cooperación Internacional en Tecnologías Avanzadas C.I.T.A.)

Por lo tanto, esta investigación postula a una posible mejora en las condiciones de aislamiento térmico y acústico además de conformar un material que se ajuste a los parámetros exigido por las normas en tanto a las resistencias mecánicas. Para generar así un aporte a la eficiencia energética y al confort térmico adecuado en las viviendas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de un panel auto soportante elaborado en base a yeso y perlita mineral expandida para su uso en divisiones interiores en edificaciones.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar características térmicas, acústicas y mecánicas de cada configuración
- Establecer el costo de elaboración del panel en estudio.

1.4 Alcances de la investigación

-La investigación es experimental y será enfocada en la construcción del nuevo panel, utilizando para su fabricación yeso y perlita mineral expandida.

-Se contempla la construcción de elemento propuesto cuyas dimensiones serán de 50x50x5, 60x65x5 y 30x30x5 (cm) según cada ensayo a realizar.

-El yeso a utilizar en la confección del panel será yeso blanco.

-La proporción de yeso-perlita será de 25%, 50% y 75% de volumen de perlita respectivamente, determinado por el estudio anterior (López, 2013)

-Para la unión de los bloques del panel estos contarán con cantos machihembrados permitiendo formar una albañilería auto soportante no estructural

-Los ensayos fueron realizados en los laboratorios de Construcción de la Universidad de Valparaíso y en los Laboratorios de Hormigón y Asfalto de Viña del Mar.

1.5 Metodología de la investigación

1.5.1 Recopilación de antecedentes

El avance del estudio se llevará a cabo en 2 etapas. La primera correspondiente al planteamiento del problema y recopilación de antecedentes, donde se recopilarán antecedentes acerca de: características de los materiales a usar (yeso y perlita mineral expandida), usos de estos en el área de la construcción, búsqueda de normativas para realizar los ensayos y experiencias similares de paneles.

1.5.2 Determinación de ensayos

Una vez determinada la legislación vigente para paneles, se estudiarán los ensayos y se analizará la factibilidad de cada uno de ellos, para en su defecto diseñar alguno semejante que permita establecer parámetros comparativos frente a un material existente normalizado.

-El estudio de las propiedades de aislación térmica, se llevará a cabo tomando como referencia la Nch 851 of. 83 para el ensaye térmico.

-El estudio de las propiedades de aislación acústica, se llevará a cabo tomando como referencia la Nch 352 of. 2000 para el ensaye acústico.

-El estudio de las propiedades mecánicas, se llevará a cabo tomando como referencia la Nch 801 of 2003 para el ensaye a flexión, Nch 146 of. 2000 para el ensaye de impacto.

1.5.3 Diseño

Una vez establecidos los parámetros se procede a la aplicación de estos al diseño del panel, que debe estar acorde a la normativa.

Se harán ensayos preliminares, a menor escala, para determinar algunas dosificaciones y establecer la compatibilidad de los componentes, para la posterior ejecución a escala real.

1.5.4 Fase Experimental

Se llevará a cabo el diseño experimental del elemento constructivo, de forma artesanal, junto con las probetas necesarias para dar cumplimiento a los ensayos establecidos previamente.

1.5.5 Análisis de Resultados y Conclusiones

Con los datos obtenidos se dará paso al análisis y posteriores conclusiones acerca de la factibilidad técnica del panel.

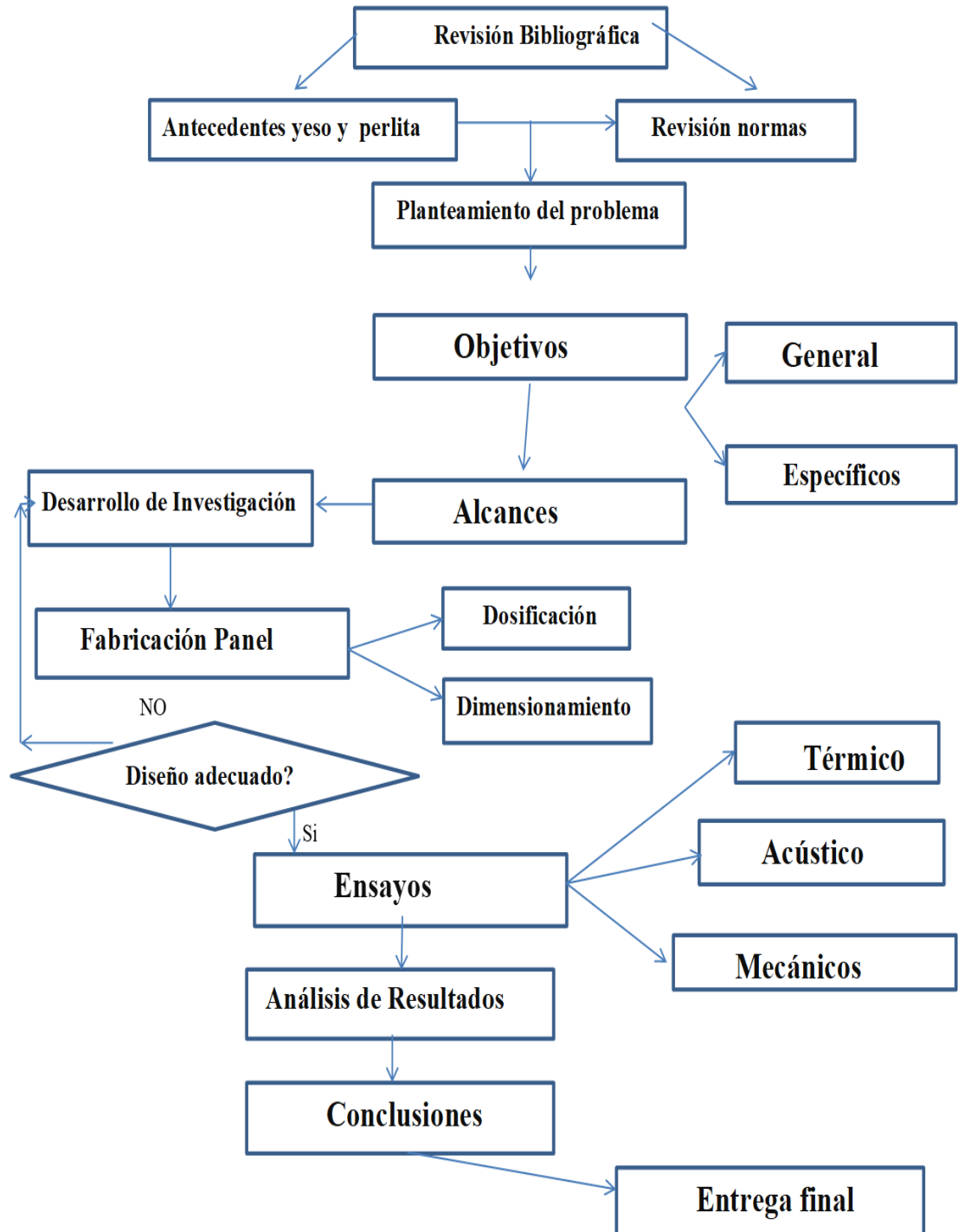


Figura 1.1 Metodología de la Investigación

Fuente: Elaboración Propia

1.6 Cronograma

| Actividad | Agosto 2017 | Septiembre 2017 | Octubre 2017 | Noviembre 2017 | Diciembre 2017 | Enero 2018 | Febrero 2018 | Marzo 2018 | Abril 2018 | Mayo 2018 | Junio 2018 | Julio 2018 |
|--|----------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Revisión Bibliográfica | | | | | | | | | | | | |
| Propuesta tesis | | | | | | | | | | | | |
| Planteamiento y Objetivos | | | | | | | | | | | | |
| Alcances y Metodología | | | | | | | | | | | | |
| Elaboración Marco Terórico | | | | | | | | | | | | |
| confeccion de molde | | | | | | | | | | | | |
| confeccion de paneles | | | | | | | | | | | | |
| Ensayo de muestras en laboratorio | | | | | | | | | | | | |
| Análisis de datos | | | | | | | | | | | | |
| Resultados | | | | | | | | | | | | |
| Correcciones | | | | | | | | | | | | |
| Entrega tesis | | | | | | | | | | | | |
| Presentación final de la investigación | | | | | | | | | | | | |

Tabla 1.1 Cronograma

Fuente: Elaboración Propia.

2. Marco teórico

2.1 Generalidades

Hemos vivido tiempos dramáticos construyendo miles y miles de casas que no son tales, por su incapacidad de albergar en medianas condiciones a cualquier familia chilena, las que más temprano que tarde, rechazarán las viviendas que hasta hoy se les construyen porque no les resultarán útiles ni satisfactorias para sus reales requerimientos y necesidades.

La demanda por consumo de energías por conceptos de lograr un confort térmico cada día es mayor. La despreocupación existente en cuanto al construir o habilitar viviendas, oficinas o edificios del sector público con soluciones que tomen en cuenta la necesidad de proveer temperaturas y ambientes confortables, provoca el sobreconsumo de energías tanto para lograr mantener niveles de calefacción adecuados como para refrigerar los espacios habitados.

Los edificios de oficina de Santiago normalmente presentan mayor demanda de energía de refrigeración que de calefacción. En esta ciudad, los problemas de sobrecalentamiento en recintos de estos edificios son muy recurrentes [Bustamante 2011].

En el año 2007, un estudio elaborado por Marcelo González, Ingeniero en Madera de la Universidad de Chile, mostró el nivel de aceptación del confort térmico de 45 familias encuestadas en la localidad de Buin respecto al bienestar habitacional. La información correspondiente a la encuesta mencionada se resume en la siguiente tabla, donde en una escala de 1 a 5, 1 = muy malo y 5 = muy bueno:

2.3 Transferencia de calor

La transferencia de calor es el paso de energía térmica de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen el equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

La cámara chilena de la construcción en el documento de estudio sostiene que la energía calórica se transmite desde las zonas de alta temperatura a las de baja temperatura, hasta lograr el equilibrio térmico caracterizado por una distribución uniforme de temperaturas. Se supone una situación típica en periodos fríos del año, el ambiente interior se encuentra más caliente que el exterior. La transferencia de calor puede ocurrir a través de los siguientes fenómenos: (Cámara Chilena de la Construcción 2017).

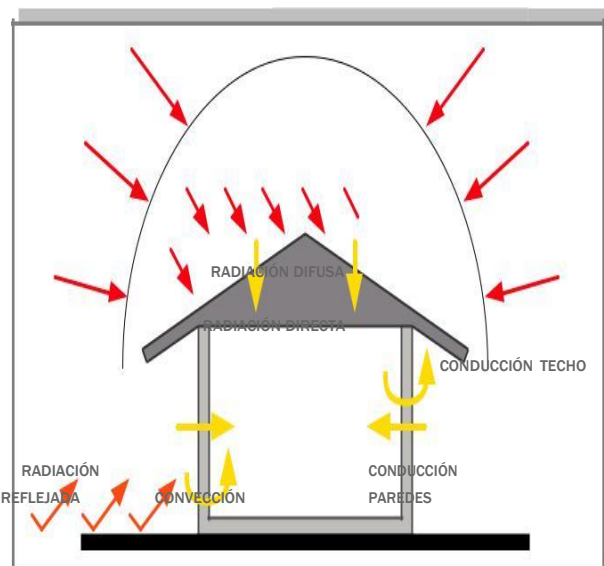


Figura 2.2: Tipos de Transferencia de calor de una vivienda

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción 2017

2.3.1 Conducción

Es el tipo de transferencia de energía térmica que se produce cuando dos elementos entran en contacto, donde la transferencia de calor fluye desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, hasta alcanzar un equilibrio entre estas. Esta conducción de energía térmica se ve regulada y depende de la conductividad térmica específica de cada uno de los elementos. (Cámara Chilena de la Construcción 2017).

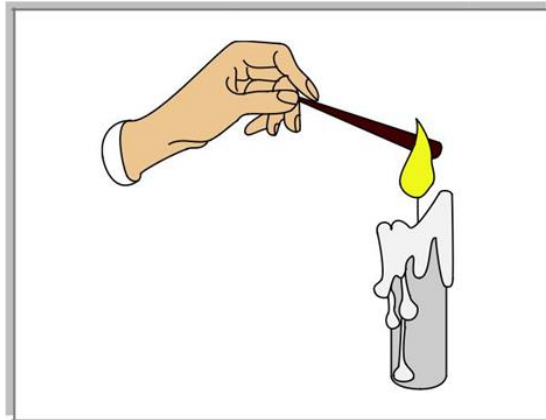


Figura 2.3: Transferencia de calor por conducción

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción 2017

2.3.2 Radiación

Consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o bien de un medio material. También es conocida como radiación calorífica, y la intensidad de la radiación electromagnética dependerá tanto de la temperatura como de la longitud de onda. (Cámara Chilena de la Construcción 2017).

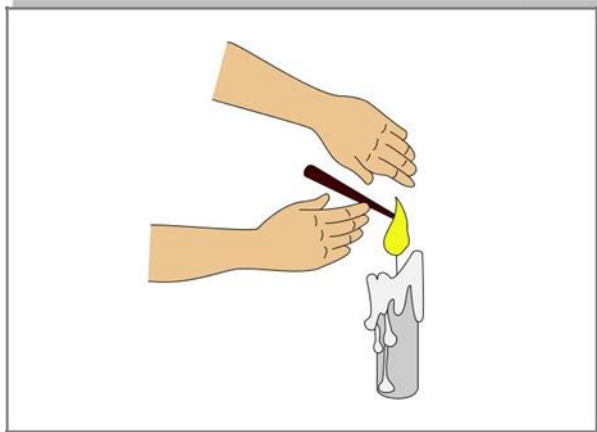


Figura 2.4 Transferencia de calor por radiación

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción 2017

2.3.3 Convección

Corresponde a la transferencia de calor que se produce por intermedio de un fluido (aire o agua) capaz de transportar el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Esto ocurre debido a que, los fluidos al calentarse, aumentan de volumen y por consecuencia disminuyen su densidad, y de esta forma ascienden desplazando al fluido que se encuentra en la parte superior a menor temperatura. (Cámara Chilena de la Construcción 2017).



Figura 2.5 Transferencia de calor por convección

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción 2017

2.4 Conductividad y Resistencia Térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales, la cual caracteriza la transferencia de calor de una partícula a otra a través del contacto entre ambas. De lo anterior se puede deducir que los materiales que presenten una mayor conductividad térmica serán aquellos que generarán mayores pérdidas de calor. En Chile la conductividad térmica de los materiales se obtiene experimentalmente por las normas Nch 850 Of 83 y Nch 851 Of 83.

La conductividad térmica de los materiales de caras planas y paralelas coplanares, se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

Donde:

λ : Conductividad térmica, W/ (m* K);

Φ : Potencia, (W)

e : Espesor promedio (m)

A : Área, m², de la placa de calentamiento

T₂, T₁ : Temperaturas de las caras caliente y fría, respectivamente en grados Kelvin.

(Referencia Nch 850 1983).

Clasificación conductividad térmica (Universidad del Bío Bío, 2000)

| Valor λ (w/m*°K) | Clasificación |
|--------------------------------|----------------------|
| $0.24 \leq \lambda \leq 0.038$ | Muy buenos aislantes |
| $0.038 < \lambda \leq 0.12$ | Buenos aislantes |
| $0.12 < \lambda \leq 0.46$ | Medianos aislantes |
| $0.46 < \lambda \leq 1.62$ | Malos aislantes |
| $\lambda > 1.62$ | Conductores |

La capacidad para transmitir calor por conducción de un material está inversamente relacionada con la resistencia que éste ofrece al paso del calor. Esta resistencia térmica depende de la conductividad térmica del material y su espesor, lo que se ve expresado en la siguiente fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda} \left[\frac{m^2 \times K}{W} \right]$$

Dónde:

e : espesor del material (m)

λ : conductividad térmica del material (W/mK)

En el caso de un elemento compuesto, la resistencia térmica total se puede determinar de la siguiente manera:

$$R_T = \sum \frac{e}{\lambda} \left[\frac{m^2 \times K}{W} \right]$$

Dónde:

e: espesor del material (m)

λ : conductividad térmica del material (W/mK)

(Referencia Nch849)

Se puede deducir que, al utilizar materiales con menores conductividades, es decir, mejores aislantes térmicos, se necesitará menores espesores, lo que implica soluciones constructivas que dejan mayores superficies libres para el uso de la vivienda.

2.5 Transmitancia térmica

Así como existe el concepto de resistencia térmica, su recíproco corresponde al concepto de Transmitancia térmica (U [W / m² · K]), el que expresa la cantidad de calor que se transmite a través de cierto elemento por unidad de tiempo y superficie, cuando entre los ambientes que separa el elemento existe una diferencia de un grado Kelvin de temperatura.

De la definición anterior se desprende que mientras mayor sea la transmitancia térmica de un elemento, mayor serán las pérdidas de calor a través del mismo, y en consecuencia, mayores serán los gastos de energía para calefacción.

La transmitancia térmica se determina según la siguiente fórmula:

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

Dónde:

RT : resistencia térmica total (m2K/W).

(Referencia Nch849)

2.6 Confort Térmico

Se define como el nivel de satisfacción que una persona tiene por el ambiente en el cual desarrolla sus actividades en el interior del hogar. Este confort térmico condiciona el diario vivir de una persona, ya que al realizar una actividad esta puede generar agrado de encontrarse en un nivel adecuado de confort térmico, o simplemente puede generar desagrado e incluso dificultar la realización de la actividad cuando no es posible tener el confort adecuado.

Para alcanzar un confort térmico adecuado necesitamos poner atención a diferentes variables las cuales son:

- Orientación de la vivienda
- Diseño arquitectónico
- Calidad de la construcción
- Calidad de las terminaciones
- Materiales y elementos constructivos utilizados
- Humedad ambiental
- Temperatura ambiente
- Zona geográfica en la que se emplaza la vivienda

Además de estos factores mencionados existen otros que también influyen en el confort térmico, por ejemplo la cantidad, calidad o materialidad de la vestimenta utilizada, la influencia del color en la habitación e incluso su decoración, el tipo de actividad, y la edad o

estado psicológico de la persona en un determinado momento, pero si todos estos factores, al trabajar en conjunto no permiten el logro de un nivel adecuado de confort térmico se ve en la necesidad de requerir a alternativas que solucionen esta problemática.

El confort térmico adecuado al interior de una vivienda está comprendido en el rango de 17-24 °C, que, agregado a la temperatura del cuerpo humano correspondiente a 37 °C, genera satisfacción y un equilibrio con la temperatura que lo envuelve. (Rodríguez, 2010).

2.7 Humedad

La Humedad en la Construcción es causa y efecto de diversas patologías en la edificación que disminuyen el confort y la salud de los usuarios a la vez que comprometen el estado del inmueble.

La humedad se convierte en patológica cuando aparece en forma indeseada, incontrolada y en proporciones superiores a las esperables en cualquier material o elemento constructivo.

Cuanto más contenido de humedad tienen los materiales de construcción, menor resistencia ofrece al paso del calor.

De las diferentes formas en que aparece la humedad, el fenómeno de condensación es un problema en las viviendas sociales. Dicho fenómeno se presenta de dos maneras; si se produce en las superficies interiores de los muros se denomina condensación superficial, y si ocurre dentro del mismo, se denomina condensación intersticial. (Martínez, 2005).

2.8 Humedad por condensación

La humedad por condensación es aquella que se produce en un determinado inmueble debido a una humedad excesiva en el ambiente, generándose, posteriormente, la condensación de la misma en las zonas más frías de los cerramientos.

La condensación varía según la temperatura ambiental, aumentando en los puntos más fríos de las viviendas, principalmente, en las fachadas, en las paredes exteriores y en las áreas no absorbentes de las casas, como los alicatados, los cristales de las ventanas y los

espejos. Esto trae consigo una serie de problemas que afectan tanto a nuestra vivienda como a nuestra propia salud.

Las consecuencias más comunes de la humedad por condensación son las típicas manchas oscuras en las paredes, vaho en los cristales y espejos, hongos, así como el mal olor que provoca la humedad. En un principio, puede parecer solo un problema estético para el inmueble, pero la presencia de moho y ácaros puede implicar serias amenazas para los enseres de la vivienda y para la salud de las personas que la habitan, agravando enfermedades como las alergias respiratorias y el asma. (Martínez, 2005).

2.8.1 Condensación intersticial

La condensación intersticial es un fenómeno de condensación que se produce en el interior de un material debido a una brusca caída de temperatura entre uno de sus lados y el otro. Este fenómeno es típico en la mayoría de los aislantes térmicos.

Esta condensación intersticial afecta en los materiales reduciendo su resistencia térmica y los deteriora, lo que produce una disminución en su vida útil.

Una de las formas de combatir este tipo de condensación es la de incorporar un aislante térmico al lado exterior de la envolvente, para así generar mayor temperatura, desplazando a la curva de temperatura envolvente y la curva de presiones de vapor por difusión y así no se vean superadas las presiones de vapor por saturación.

2.8.2 Condensación superficial

Condensación que se produce cuando un aire húmedo entra en contacto con una superficie de temperatura igual o inferior a la del rocío del aire, o cuando la temperatura del aire está saturada.

Esta se produce al existir una generación excesiva de vapor de agua dentro de las viviendas, y si los elementos que forman parte de la envolvente no están suficientemente aislados térmicamente.

2.9 Resistencia al fuego

La resistencia al fuego es el grupo de técnicas que nos permite examinar y clasificar a un conjunto de materiales, formando un elemento constructivo completo, en cuanto al cumplimiento de un cierto nivel de funciones estructurales y/o compartimentados dentro del inmueble en caso de incendio. La norma NCh 935/1 Of 84 tiene por objetivo establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego de los elementos de construcción, tanto de uso vertical como horizontal, a excepción de puertas y ventanas.

Para esta investigación este factor no será considerado debido al tipo de uso que se le dará al panel propuesto además de la gran resistencia al fuego que ya se ha comprobado que tienen los materiales utilizados en la confección de este.

2.10 Acondicionamiento Acústico

El ruido es un conjunto de sonidos inarticulados de diversa intensidad, desagradable y molesto al oído, y que puede producir un gran impacto negativo en la salud física y psíquica de las personas; en sus relaciones familiares y sociales; en el valor patrimonial de la vivienda afectada y en los derechos fundamentales a la intimidad. (Colonelli, P; Rodríguez, G., 2004).

2.11 Aislamiento Acústico

Las pérdidas por transmisión indican la capacidad de una pared para no transmitir las ondas sonoras. Estas pérdidas dependen sobre todo de su masa por unidad de área, su rigidez, y el amortiguamiento en el material. En las construcciones típicas, estas pérdidas varían entre 30 y 70 dB.

Cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo. Las presiones sonoras variables que actúan sobre él hacen que este vibre. Una parte de la energía vibratoria transportada por las ondas sonoras se transmite a través del obstáculo y pone en movimiento el aire situado del otro lado, generando sonido. Parte de la energía de las ondas sonoras se disipa dentro del mismo, reduciendo la energía irradiada al otro lado.

La energía del sonido que incide (E_i) se descompone en la energía reflejada al medio emisor (E_r) y la energía absorbida (E_a), es decir, la energía no reflejada. A su vez la energía

absorbida se distribuye en energía disipada en el material (E_d) y energía transmitida al medio receptor (E_t). (Wikipedia).

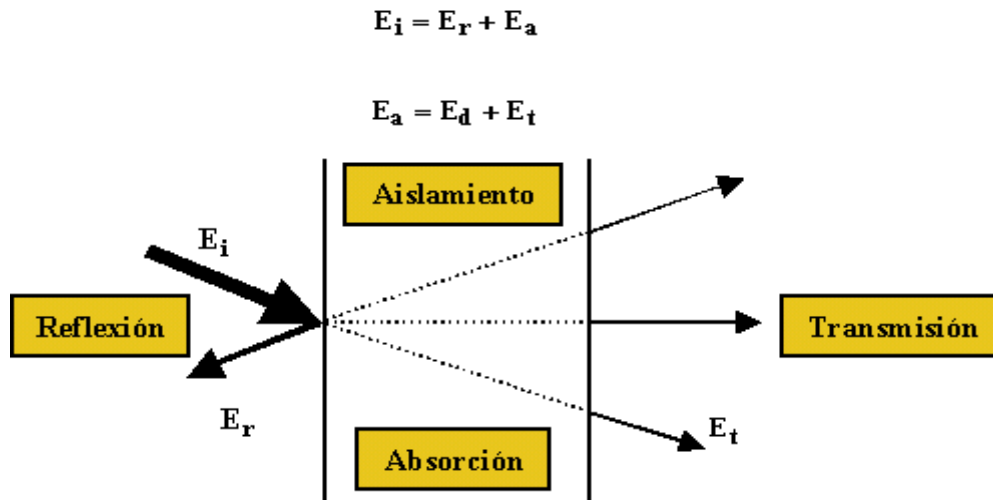


Figura 2.6 Aislamiento acústico

Fuente: Wikipedia.

La norma chilena NCh 352 of 2000 clasifica subjetivamente los ambientes según los niveles sonoros que presentan, asignando a cada uno de ellos un rango, como se indica a continuación:

Tabla 2.1.- Clasificación de ambientes según niveles sonoros

| Ambiente | Niveles sonoros (Rango) |
|-------------------------|-------------------------|
| Muy tranquilo | 30 dB o menos |
| Tranquilo | 30 – 40 dB |
| Moderadamente tranquilo | 40 – 50 dB |
| Ruidoso | 50 – 60 dB |
| Muy ruidoso | 60 – 70 dB |
| Insoportable | 70 – 80 dB |
| Inadmisible | Más de 80 dB |

Fuente: NCh 352 of 2000

Las aislaciones acústicas mínimas de las construcciones habitacionales se determinan por los siguientes tipos de ruidos:

- Ruido proveniente de medio ambiente exterior (A)
- Ruido proveniente de construcciones contiguas (B)
- Ruido proveniente de instalaciones sanitarias y mecánicas externas a la vivienda que se evalúa (C)
- Ruido proveniente de áreas comunes (D)

La siguiente Tabla indica las condiciones que deben cumplir las construcciones habitacionales. Los ruidos se representan mediante la letra asignada anteriormente. (NCh 352 Of.2000).

Tabla 2.2.- Requisitos para construcciones de uso habitacional.

| Parámetro | Emisor | Receptor | NED, dBA | Requisitos | Método de ensayo |
|-----------|---|--|--|--|-----------------------|
| A | Exterior | Dormitorios o estar (recintos más expuestos) | ≤ 60 61-65 66-70 71-75 > 75 | Aislación min. 20 25 30 35 NED-40 | NF S31-057 |
| B | Viviendas contiguas | Dormitorios o estar (recintos más expuestos) | No aplicable | Aislación min. 45 | NF S31-057 |
| C | Instalaciones sanitarias y mecánicas externas | Dormitorios o estar (recintos más expuestos) | No aplicable | Nivel de ruido máx. 40 | Según 6.3 de la norma |
| D | Pasillo y escalera | Dormitorios o estar (recintos más expuestos) | No aplicable | Aislación min. 30 | NF S31-057 |

Fuente Nch 352 of 2000.

2.12 Agregados livianos

La densidad de los agregados livianos depende tanto de su procedencia como de su composición.

Estos pueden clasificarse en dos grupos: agregados naturales los cuales provienen de yacimientos minerales y que son utilizados después de diversas operaciones de trituración y clasificación. Y aquellos agregados artificiales, los cuales derivan de una transformación térmica, de distintos productos minerales utilizados solo o en mezclas, y en donde interviene el hombre.

Los agregados livianos otorgan ciertas propiedades específicas al incorporarse en materiales compuestos (Maturana, 2005), que son, por ejemplo:

- Conductividad térmica: debido a su baja densidad los agregados livianos son de baja conductividad térmica y por ende son buenos aislantes.
- Aislante acústico: las cavidades dentro de los agregados livianos permiten amortiguar las vibraciones producidas por ondas sonoras.
- Trabajabilidad: debido a la baja densidad de los agregados es mucho más fácil su manipulación.
- Resistencia al fuego: los agregados livianos poseen gran resistencia a altas temperaturas
- Adherencia: debido a la rugosidad de la superficie de los agregados livianos, se genera adherencia entre la pasta y el agregado.

2.12.1 Perlita Mineral Expandida

El termino Perlita no corresponde a una denominación comercial, sino a un término genérico usado para la designación de un mineral no metálico, definido como un vidrio volcánico de formación natural.

Es una roca volcánica vítrea de color blanco brillante, altamente poroso, frágil y liviano, como se aprecia en la siguiente figura, la cual contiene en su núcleo agua cristalizada en proporciones de 3 a 6 %, la cual no se elimina por simple secado sino solamente a la temperatura de fusión, provocando que esta se expanda considerablemente. El material que finalmente se obtiene presenta partículas y nódulos de forma peleada; de allí su nombre.



Figura 2.7 Perlita Expandida

Fuente: Perlite Institute

Este material una vez extraído de yacimientos es llevado a las plantas de tratamiento, donde se elimina todas las impurezas que podría tener, se limpia y se pasa a molinos chancadores. Terminado esto se coloca en hornos verticales alimentados de forma continua. Estos hornos se encuentran a una temperatura de 1000°C lo que produce un cambio en su estado físico-químico, ya que el agua en su interior se evapora rápidamente produciendo un aumento de 15 a 20 veces su volumen inicial, finalmente se obtiene este material, cuya densidad oscila entre 30 a 150 kg/m^3 (Minke, 2001).

De origen volcánico este árido es un mineral formado principalmente por silicatos presentes en la mayor parte de la corteza terrestre. Su fuente de materia prima es muy abundante. Sus usos son muy variados. Es muy utilizada en la agricultura y horticultura debido a que es químicamente neutra y estéril, para modificar los suelos reduciendo su firmeza y facilitando el drenaje de agua y la retención de humedad. (Lascano, 2011)

No aporta enfermedades ni plagas, ni tampoco absorbe agua.

Dado que su origen es inorgánico, no se descomponen y son inalterables ante un agente químico y físico.

La perlita mineral expandida es considerada el mejor aislante mineral existente, con una conductividad térmica de $0,072\text{ [W/m }^{\circ}\text{K]}$.

Se dice que más del 50% de perlita expandida se utiliza en todo el mundo en la industria de la construcción. Debido a su baja densidad y precio relativamente bajo, han aparecido muchas aplicaciones comerciales en Europa y Estados Unidos. (Perlite Insitute, 2012)

En el mundo existen actualmente once plantas de producción y cuatro yacimientos de perlita expandida, señaladas a continuación:

- Plantas: Barcelona (España); Escondido, California (EE.UU); Green River, Wyoming (EE.UU); Hassle (Reino Unido); La Porte, Texas (EE.UU); Milán (Italia); Quincy, Florida (EE.UU); Vicksburg, Michigan (EE.UU); Wissemborg (Francia); Youngsville. Carolina del Norte (EE.UU); Santiago (Chile).

-Yacimientos: Dikili (Turquía); No Agua, Nuevo México (EE.UU); Superior, Arizona (EE.UU); Laguna del Maule, Talca (Chile).

Para esta investigación el material fue obtenido en la comuna de Valparaíso, pero consultado su origen resulto provenir de la fábrica ubicada en la comuna de Pudahuel de la Región Metropolitana.

2.13 El Yeso

El yeso ha sido conocido y utilizado desde la más remota antigüedad, principalmente en países de clima seco. Su origen puede ser de Oriente Medio. También los egipcios utilizaron el yeso con gran profusión como muestra se puede apreciar en la pirámide de Keops, luego lo utilizaron los griegos, romanos y posteriormente el pueblo árabe. El yeso es protagonista en el rubro de la construcción hace cientos de años, esto a pesar de su elevado costo de fabricación, proceso que se abarata en el siglo 20 debido al mejoramiento de los sistemas de fabricación. Llamamos yeso de construcción al producto pulverulento procedente de la cocción de la piedra de yeso o aljez (origen mineral), que una vez mezclado con agua, en determinadas proporciones, es capaz de fraguar en contacto con el aire. El aljez, o sulfato de calcio dihidrato, tiene 2 moléculas de agua débilmente unidas al sulfato de calcio, y mediante un pequeño incremento de temperatura (entre 150°C y 180°C) se desprende el agua en forma de vapor quedando el sulfato de calcio con 1/2 molécula de agua solamente, obteniéndose un producto denominado sulfato de calcio hemihidrato, o simplemente semihidrato, de fórmula

química $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Al sulfato de calcio hemihidrato molido a polvo se le denomina yeso.

2.13.1 Propiedades del Yeso

En construcción debido a sus excelentes propiedades bioclimáticas, de aislamiento y regulación higrométrica, mecánica y estética se utiliza en guarnecidos, enlucidos, prefabricados y relieves arquitectónicos, generando bienestar y comodidad. El alabastro, variedad micro-cristalina del yeso, con una textura especial confiere a este material su brillo.

Esencial como agente retardante en la producción de cemento. En agricultura mejora las tierras de cultivo, sirve de abono y es buen desalinizador.

Provee protección contra el fuego, ya que es completamente incombustible y resistente al fuego. La correcta utilización del yeso en construcciones puede ayudar a evitar la propagación del fuego. Además, debido a sus buenas propiedades térmicas se utiliza en los revestimientos interiores de las edificaciones, donde puede aumentar en un 35% la capacidad de aislamiento térmico frente a construcciones no revestidas.

El yeso, además de permitir modelados y reforzar estructuras, es un aislante térmico ideal. A mayor densidad, mayor aislamiento térmico en la construcción. También el acabado, más rugoso o más liso, juega un papel fundamental en esta propiedad de aislación.

El yeso absorbe muy poco calor, por lo que permite un mayor provecho de las fuentes térmicas en el hogar. Es por eso que es el material preponderante para los acabados interiores, además de que es liso, fácil de colocar, y permite una vista única.

Su absorción acústica no es tan buena como la de otros materiales, aunque combinado con materiales naturales y sintéticos se puede aumentar esta capacidad. Una propiedad en la que sí se destaca es la de absorber la humedad, de la estructura y del ambiente, para almacenarla y luego liberarla cuando la humedad del ambiente sea más baja de lo

habitual. Esto mejora las condiciones de vida del hogar, y ayuda también a mantener en mejor estado a los demás materiales, muebles y componentes del hogar.

En cuanto al coeficiente de conductividad térmica del yeso (medida indirecta de la resistencia térmica de un material, es decir a menor coeficiente mayor aislamiento térmico), comentar que varía dependiendo de la densidad y humedad de los revestimientos. Así en productos ligeros de yeso celular se alcanzan valores que suponen un extraordinario poder de aislamiento térmico, mientras que en yesos más densos se obtienen valores que lo sitúan en un buen puesto con respecto a otros materiales.

| TIPO DE YESO | DENSIDAD (KG/M³) | COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M °C) |
|--------------------------------|--|--|
| Enlucido de yeso | 800 | 0,300 |
| Enlucido de yeso y perlita | 570 | 0.180 |
| Enlucido de yeso y vermiculita | 600 | 0,163 |

Tabla 2.3: Valores del coeficiente de conductividad térmica del yeso en función de sus densidades

La influencia de los revestimientos de yeso, en cuanto al aislamiento ante el ruido aéreo, no es apreciable. En cuanto al coeficiente de absorción acústica del yeso, comentar que es muy bajo, pero se puede mejorar actuando en la superficie del yeso mediante tratamientos como la micro-fisuración superficial del material, para de esta forma conseguir que la energía sonora se atenúe a medida en que la onda penetra por el yeso.

| MATERIAL | COEFICIENTE MEDIO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA |
|-----------------|--|
| Hormigón | 0.015 |
| Cemento | 0.020 |
| Yeso | 0.020 |
| Madera | 0.030/0.100 |
| Ladrillo | 0.032 |
| Corcho | 0.160 |

Tabla 2.4 Valores del coeficiente de absorción acústica para diversos materiales.

2.13.2 El Yeso en Chile

La producción de yeso en el país proviene de las Regiones II, IV y Metropolitana y su incremento demuestra el notable crecimiento de la demanda del sector construcción. La producción de yeso calcinado, que constituye una fracción de la producción nacional proviene sólo de la Región Metropolitana. La producción de yeso se realiza ligada a la producción de carbonato de calcio y a la industria del cemento. Los depósitos de yeso poseen su génesis en sedimentos evaporíticos de edad Jurásica ubicados entre las Regiones II y VII con leyes entre 80 y 92% (Gajardo 1998); otras manifestaciones se han desarrollado durante el Cretácico Inferior, ubicándose geográficamente en la Cordillera de la Costa y Precordillera de las Regiones II y IV (leyes entre 65 y 88%) y finalmente los de edad Terciario Superior-Cuaternario, correspondiendo a las Regiones I a III en secuencias marinas y continentales. Los yacimientos más importantes corresponden a los de la Región Metropolitana al sureste de Santiago y de las Regiones II y IV, destinada principalmente a la fabricación de cemento y cerámica, y en una menor proporción a la agricultura. La mina El Volcán es quien suministra la producción más importante, siguiéndole la de la Compañía Minera Romeral. Cierta relevancia posee también la producción proveniente de los yacimientos de Mantos Verdes (Antofagasta) y Pinti (IV Región). En términos generales se considera que la producción del yeso se encuentra ligada a los ciclos económicos, es decir cuando la actividad de la construcción crece la producción de este mineral la acompaña.

2.14 Flexión

Se le llama así al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector. (Wikipedia).

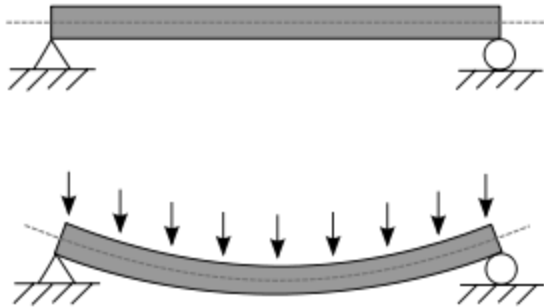


Figura 2.8 Ejemplo de Flexión Mecánica

Fuente: Wikipedia

Para esta investigación se tomará como referencia la Nch 801 of 2003 para el ensaye a Flexión.

2.15 Impacto

Esta resistencia al impacto es la capacidad que tiene un material de absorber golpes y energía sin romperse. La tenacidad del material dependerá tanto de la temperatura como de la forma de este.

Para esta investigación se tomará como referencia la Nch 146 of. 2000 para el ensaye de impacto. (Nch 146 of. 2000).

2.16 Absorción de humedad

La absorción de la humedad es la capacidad del material a absorber humedad del entorno (aire, agua). El grado de absorción de humedad depende del tipo de plástico y de las condiciones del entorno como son la temperatura, humedad y el tiempo de contacto. Esto puede influenciar en las propiedades de material como son la estabilidad dimensional, resistencia mecánica y las propiedades eléctricas. Para esta investigación este factor no será considerado debido a que los paneles serán utilizados como paramento separador al interior de la vivienda.

2.17 Clasificación de los paneles

Los paneles prefabricados se clasificarán, según su forma de elaboración en los tipos siguientes (referencia Nch806 Of71):

- *Tipo I* : Entramados, con revestimiento despiezado y huecos.
- *Tipo II* : Entramados, con revestimiento despiezado y rellenos.
- *Tipo III* : Entramados, con revestimiento de láminas y huecos.
- *Tipo IV* : Entramados, con revestimiento de láminas y rellenos.
- *Tipo V* : Monolíticos revestidos por una o ambas caras.
- *Tipo VI* : Monolíticos sin revestimiento.
- *Tipo VII* : Mixtos.

Para esta investigación el panel clasificaría como *Tipo VII* : Mixtos, Debido al uso del yeso en conjunto con la perlita.

2.18 Grados de los paneles

Los paneles se clasificarán de acuerdo con las características mecánicas que se exigen según se señala en a), b), c). Los grados se designarán con las iniciales que se indican y el número correspondiente.

- a) Resistencia a la compresión, RC: Los paneles se clasificarán, según su resistencia a la compresión, en los grados y sub-grados que se indican.

Tabla 2.5.- Carga de rotura y límite de proporcionalidad RC.

| Grado RC | Carga de rotura Kg/ml | Límite de proporcionalidad Kg/ml |
|----------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 1000 a 3000 | mínimo 500 |
| 2 | 3000 a 8000 | mínimo 1500 |
| 3 | 8000 ó más | mínimo 4000 |

Tabla 2.6.- Deformación admisible RC.

| Sub-grado RC | Deformación admisible (1) mm |
|-----------------|---------------------------------|
| a | 14 a 21 |
| b | 7 a 14 |
| c | 7 o menos |

La deformación considerada es la flecha del panel bajo carga en el límite de proporcionalidad.

- b) Resistencia a las cargas horizontales, RH: Los paneles se clasificarán, de acuerdo a su comportamiento bajo cargas horizontales, en los grados y sub-grados que se indican.

Tabla 2.7.- Carga de rotura y límite de proporcionalidad RH.

| Grado RH | Carga de rotura Kg/ml | Límite de proporcionalidad Kg/ml |
|----------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 500 a 1000 | mínimo 250 |
| 2 | 1001 a 2000 | mínimo 500 |
| 3 | 2001 ó más | mínimo 1000 |

Tabla 2.8.- Deformación admisible RH.

| Sub-grado RH | Deformación admisible (2) mm |
|-----------------|---------------------------------|
| a | 30 a 40 |
| b | 15 a 30 |
| c | 15 o menos |

(1) La deformación considerada es la deformación bajo carga en el límite de proporcionalidad

- c) Resistencia a las cargas transversales (flexión), RT: Los paneles se clasificarán, de acuerdo a su comportamiento bajo cargas horizontales, en los grados y sub-grados que se indican.

Tabla 2.9.- Carga de rotura y límite de proporcionalidad RT.

| Grado RT | Carga de rotura Kg/ml | Límite de proporcionalidad Kg/ml |
|----------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 500 a 1000 | mínimo 250 |
| 2 | 1000 a 1500 | mínimo 500 |
| 3 | 1500 o más | mínimo 1000 |

Tabla 2.10.- Deformación admisible RT.

| Sub-grado RT | Deformación admisible (3) mm |
|-----------------|---------------------------------|
| a | 50 a 100 |
| b | 25 a 50 |
| c | 25 o menos |

3. Diseño experimental

3.1 Recopilación de materiales

Corresponde a una etapa previa, en la que se identificaron los materiales que son necesarios para confeccionar el panel, y se recolectaron paulatinamente para contar con ellos al momento de comenzar con la etapa de ensayos en laboratorio.

La recolección de los materiales se centró básicamente en la perlita expandida, que corresponde al elemento más complicado de obtener dentro de la propuesta.

La perlita mineral expandida se vende en sacos de 100 litros en la comuna de Pudahuel en Santiago proviniendo de esta el origen de la perlita.

Los materiales que durante esta etapa no fueron adquiridos, son materiales de los que se tiene acceso rápidamente, tales como el yeso y el agua.

3.2 Diseño del panel

3.2.1 Moldaje del panel

El moldaje a utilizar para la fabricación de los paneles corresponde a elaboración propia y se compone por una base de una plancha maciza 15mm de espesor. Para los bordes se utilizó unos listones de madera de pino de 1x2 pulgadas fijados a la base con tornillos Drywall punta fina #6 x 1 5/8. Para facilitar el descimbre del panel y evitar que la mezcla se pegue a la madera, se propone forrar el molde con bolsas de basura tradicional 90x70cm (polietileno de alta densidad), fijándolas con engrapadora a la madera.



Figura 3.1: Molde utilizado para la confección de paneles, en bruto y forrado.

Fuente: Elaboración Propia.

Las medidas internas del moldaje serán de 50 cm de largo, 50 cm de ancho y 5 cm de espesor.

3.2.2 Confección del panel

Para la fabricación de los paneles se utiliza como material principal la perlita mineral expandida mezclado con yeso. El yeso utilizado se prepara según las indicaciones del fabricante.

El procedimiento para la elaboración de los prototipos es el siguiente:

- 1) Etapa de dosificación: Para la mezcla de yeso se seguirán las recomendaciones del fabricante, las cuales consisten en mezclar 0.7 litros de agua por cada kilogramo de yeso blanco.



Figura 3.2: Indicaciones del fabricante para la elaboración de la pasta de yeso.

Fuente: Yeso espuma Romeral

- 2) Etapa de mezclado: La perlita expandida se añade en la cantidad especificada, luego se incorpora al agua destinada para formar la pasta de yeso. Una vez inmersa la perlita en el agua, se espolvorea el yeso por toda la superficie, siguiendo el procedimiento detallado por el fabricante. La cantidad de perlita añadida dependerá del panel que se requiera, obteniendo así muestras con 25%, 50% y 75% de perlita expandida añadida. La muestra patrón tendrá un 0% de perlita expandida.
- 3) Etapa de moldeado: Teniendo una mezcla homogénea se procede a introducirla en los moldes. Observación: Debido al reducido tiempo que tarda el yeso en fraguar, este procedimiento se debe hacer rápido y de manera asertiva. Una vez inmersa en el molde la mezcla se acomoda por simple movimiento sin requerir compactación.
- 4) Etapa de desmolde: Una vez lleno el moldaje se esperarán 3 días para desmoldar la muestra. Luego de esto se comienza con el proceso de secado, el cual consiste en disponerlos verticalmente con separadores de 5 cm entre cada panel.
- 5) Finalmente, para la realización de los ensayos térmicos y mecánicos la norma nos señala que es prudente esperar entre 21 y 31 días a partir de la fecha de elaboración.

3.2.3 Tipología de Paneles

Como se mencionó anteriormente los tipos de paneles a ensayar en esta investigación estarán dados según la cantidad de perlita expandida por panel, fabricando para su comparación térmica y mecánica tres tipos de paneles.

Lo anteriormente señalado se expone en la tabla siguiente:

Tabla 3.1 Tipos de paneles.

Fuente: Elaboración Propia

| | Cantidad | Dimensiones según Ensayos (cm) | | | % Perlita | % Yeso |
|---------------------|----------|--------------------------------|---------|---------|-----------|--------|
| | | Acústico y Térmico | Impacto | Flexión | | |
| Patrón | 3 | 65x60x5 | 30x30x5 | 50x50x5 | 0 | 100 |
| Muestra N° 1 | 3 | 65x60x5 | 30x30x5 | 50x50x5 | 25 | 75 |
| Muestra N° 2 | 3 | 65x60x5 | 30x30x5 | 50x50x5 | 50 | 50 |
| Muestra N° 3 | 3 | 65x60x5 | 30x30x5 | 50x50x5 | 75 | 25 |



Figura 3.3: Panel dentro del molde

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Ensayos a realizar

Dentro de los ensayos, se identifican dos grupos, estos son los destructivos y no destructivos. Donde los no destructivos se subdividen en ensayos de aislación acústica, térmica y absorción de humedad. Dentro de los ensayos destructivos, se encuentra los ensayos de flexión e impacto.

Una vez realizado los ensayos se procederá al análisis de resultados y se establecerán las conclusiones.

3.3.1 Ensayos destructivos

3.3.1.1 Ensayo de resistencia al impacto

Para realizar este ensayo se toma como referencia la Nch 146 of 2000.

En este ensayo se requiere de una bola de acero (Figura 3.3), la cual está normalizada, su diámetro es de 50mm y su masa es de 530 gramos. La bola se debe dejar caer desde una altura de 50 cms, medida a partir de la base o parte inferior de la bola.

El tamaño de la probeta debe ser de 30x30 cms, sobre los paneles, se harán dos impactos y se medirán las hendiduras provocadas por la bola, determinando así un promedio de ambas.



Figura 3.4.- Bola de acero

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 3.5 Ensayo de Impacto

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.2 Ensayo de resistencia a la flexión

Para realizar este ensayo se tomó la Nch 803 of 2003 “Elementos de construcción-Paneles-Ensayo Flexión”. Esta norma establece los métodos de ensayo para determinar el comportamiento y resistencia a la flexión de paneles.

La finalidad de este ensayo es determinar cuáles son las cargas que soporta el panel propuesto, formado por perlita mineral expandida y yeso, al someterse a esfuerzos de flexión, para así poder determinar su Grado RT y Subgrado RT según lo establecido en la Norma NCh803 of 2003.

Las variables a evaluar son la carga aplicada medida en pascales (Pa) y la deformación generada producto de esta carga, medida con un deformómetro. Los ensayos son realizados hasta que falle el elemento y una vez ocurrido esto se lleva hasta la rotura. La carga se aplica a intervalos de 20 pascales.

El micrómetro utilizado para medir la deformación tiene una graduación de 0,01 mm. El procedimiento en este ensayo es el mismo para todos los paneles. La carga se incrementa a intervalos de 20 pascales manteniéndola aplicada durante cinco minutos. Transcurrido ese tiempo se vuelve a la posición inicial y se aplica la carga nuevamente, llevándola al siguiente intervalo. Se registran las mediciones respecto a todas las cargas, según lo señalado en la norma con el fin de obtener la deflexión e interpretar datos concluyentes con ello.

Para la interpretación de los datos se realizará una gráfica que establezca la relación carga/deflexión con el cual se puede inferir las propiedades de resistencia mecánica y estructural del panel en servicio.

Los resultados corresponderán al promedio de tres paneles por cada configuración puesto que corresponde a un panel de medidas simétricas.

Componentes del ensayo a la flexión.

Para visualizar de mejor forma los elementos ocupados para el ensayo se demuestran en la siguiente figura obtenida de la normativa actual.

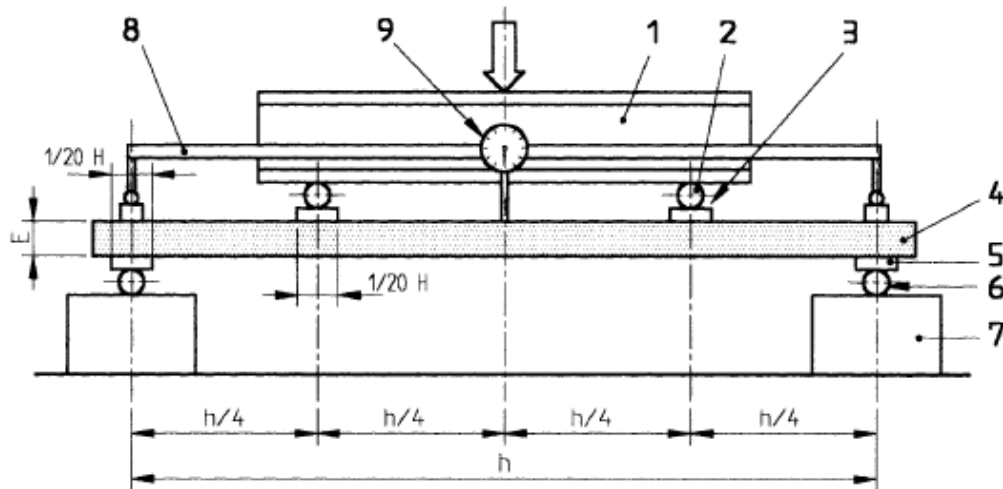


Figura 3.6: Elementos ensayo flexión.

1. Perfil de carga
2. Rodillo de carga
3. Placa de carga
4. Panel de ensayo
5. Placa de Apoyo
6. Rodillo de apoyo
7. Base
8. Marco
9. Micrómetro con dial.



Figura 3.7: Máquina de prueba universal utilizada para ensayo de Flexión.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 3.8: Vista frontal. Máquina de prueba universal aplicando carga sobre panel.

Fuente: Elaboración Propia

La máquina para este ensayo debe ser capaz de producir cargas verticales con un dispositivo adecuado para controlar la velocidad de aplicación de la carga, en este caso un deformómetro graduado en 0,01mm.



Figura 3.9: Micrómetro con dial utilizado para medir la deformación.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Ensayos no destructivos

3.3.2.1 Ensayo térmico

Se deberá determinar la conductividad térmica según NCh 850 Of.2000, en probetas de medidas 60x65 con espesor de 5cms.

Se deberá preparar de cada configuración, 3 muestras de cara plana y paralelas, cubriendo completamente la unidad de calentamiento y cuyos espesores en ningún punto, tengan diferencias superiores a 2%.

Para analizar el aislamiento térmico, al igual que el aislamiento acústico, se debe instalar el panel de forma vertical, de una dimensión variable, en el medio de una habitación (cámara térmica) y de esta manera con la ayuda del Xplorer GLX, se puede obtener la diferencia de temperatura y decibeles, en el caso de aislamiento acústico, entre ambas divisiones.

Metodología para la determinación de propiedades de aislación térmica

Para realizar este ensayo se tiene la referencia de dos normas chilenas vigentes, las cuales se nombran a continuación:

NCh 851 of 1983 Aislación Térmica – Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica: Esta norma se utiliza para seguir los pasos indicados al momento de realizar ensayos que determinan la Conductividad Térmica y la capacidad de Aislación Térmica de un determinado material o elemento constructivo.

Norma Chilena NCh 849 of 1987 Aislación Térmica – Transmisión Térmica – Terminología, Magnitudes, Unidades y Símbolos: Esta norma es determina la terminología que se necesita utilizar en el estudio de Propiedades Térmicas, al igual que las Unidades correspondientes y los Símbolos necesarios que deben usarse al momento de analizar los resultados en la etapa posterior al ensayo en Laboratorio.

Este ensayo, al tomar como referencia la norma NCh 851, permite obtener resultados en probetas razonablemente significativas de los elementos constructivos, mediante el análisis dentro de una cámara térmica, por lo que es ideal para este estudio.

Para realizar este ensayo, está construida en las dependencias de los laboratorios de hormigón una cámara térmica a escala, que se encuentra aislada completamente en cada una de sus caras. Esta cámara fue construida con estructura de madera y revestimiento de terciado estructural de 15mm, con aislación entregada con la colocación de poliestireno expandido y lana de vidrio entre placas. El techo de esta cámara funciona como tapa removible, la que al taparse para efectuar los ensayos y al agregarse en las aristas del cierre lana de vidrio adicional, aísla por completo el interior de la cámara mencionada.

Dentro de esta cámara, al momento de comenzar a efectuarse el ensayo, se instala de manera vertical el panel o elemento del cual se busca obtener su capacidad de conductividad térmica, el cuál debe tener la misma dimensión de la distancia interior libre entregada por la cámara, creando dos espacios divididos dentro de la misma cámara, los cuales no tienen puentes de transferencia debido a la unión hermética generada.



Figura 3.10 Vista interior Cámara Térmica

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se instala dentro de uno de los espacios generados al interior de la cámara una fuente de calor, luego se montan dos sensores del equipo de medición utilizado, uno en cada cara del panel estudiado, por lo tanto, un sensor se ubica en el espacio que contiene las fuentes emisoras de calor, y el otro sensor, se ubica en el espacio que no contiene emisión de calor alguna.



Figura 3.11 Vista exterior Cámara térmica

Fuente: Elaboración Propia



Figura 3.12 Cámara térmica sellada

Fuente: Elaboración Propia

En este ensayo, la fuente de calor seleccionada corresponde a 3 ampollitas instaladas de manera uniforme dentro de la sección de la cámara con el objetivo de entregar calor a la cara del panel, cada una de ellas con una potencia de 100 W.

El objetivo del ensayo es encender la fuente de calor, para, de esta forma, medir cuanta temperatura tiene el panel en su cara que enfrenta la emisión de calor, y observar

mediante el segundo sensor cuanto calor atraviesa al panel y llega hasta el extremo que no tiene fuente emisora de calor.

Este proceso se realiza con un panel escala 1:1, con medidas 65x60cm.

El elemento de medición utilizado corresponde al Xplorer GLX, el cual se encuentra disponible dentro del equipamiento de los laboratorios de docencia

a) Temperatura al interior de la cámara: Para poder determinar la temperatura, dentro de la cámara térmica, se deberá instalar un sensor en la cara del panel que recibe el calor de la fuente (ampolletas) y otro sensor en la cara del panel. De esta manera se podrá determinar las diferencias de temperatura y, por ende, la transferencia de calor que pasa por medio del panel por unidad de tiempo.

b) Diferencia de temperatura al exterior de la cámara: Se deberán colocar sensores en las caras que se encuentran al exterior de la cámara, donde en el interior se encuentra la fuente de calor, para comprobar la cantidad de calor que se pierde hacia el exterior comparándolo con la transferencia que pasa por la probeta al interior de la cámara, de esta forma se medirán todos los tipos de paneles.

3.3.2.2 Ensayo acústico

Este ensayo es de elaboración propia al igual que el ensayo térmico. Se creó con la misma finalidad de establecer un patrón de comparación con un elemento normado.

Para el ensayo acústico se usará la misma cámara térmica que se utilizó para el ensayo térmico.

Las mediciones se realizarán por medio de un sonómetro y también por medio del Xplorer GLX (Figura 3.5) de Pasco, con el sensor de sonido se registrarán los dB(A).

. Por medio de un generador de frecuencia llamado Multisine, se reproducirá un sonido para medir la intensidad sin placas divisorias y con placas divisorias. Se emiten frecuencias de los 125 hasta los 5000 decibeles, para así poder determinar el índice de absorción de decibeles de los paneles.

Los datos se tabularán y graficarán para su posterior análisis.



Figura 3.13.- Xplorer GLX con sensor de sonido y sonómetro.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.14.-Camara con emisor de ruido

Fuente: Elaboración propia.

La prueba o ensayo de aislamiento acústica consiste en ubicar el elemento a ensayar en el vano de un muro que divide a dos recintos acústicamente aislados. Por medio de un generador de frecuencia llamado Multisine, se reproducirá un sonido para medir la intensidad sin panel divisorias y con panel divisorias. Se emiten frecuencias de los 125 hasta los 5000 decibeles, para así poder determinar el índice de absorción de decibeles de los paneles.

Mediante un decibelímetro de precisión, se mide el nivel sonoro transmitido al otro recinto, antes y después de instalar el elemento. La diferencia de los niveles sonoros constituye la aislación acústica bruta del elemento bajo ensayo.

3.4 Estudio de costos

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

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

- Cantidad de yeso agregado por m² de panel (kilogramos)
- Cantidad de perlita expandida por m² de panel (kilogramos)
- Rendimiento de la mano de obra, expresados en m² confeccionados por día
- Valor estimado de remuneración por mano de obra en construcción de paneles

Una vez teniendo en cuenta todos estos costos asociados, se determinará un costo por panel (\$/m²), el cual será comparado con el costo (\$/m²) de un tabique conformado por estructuras de madera, lana de vidrio y planchas de yeso cartón, el cual es utilizado de manera abundante en la construcción actual, determinando así cual posee un costo directo menor de fabricación, añadiendo un nuevo parámetro de comparación.

4. Presentación y análisis de resultados

4.1 Generalidades

En el presente capítulo se expondrán los resultados que se obtuvieron al realizar los ensayos térmicos, mecánicos y acústicos realizados en los laboratorios de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Valparaíso. Se estudian todos los datos arrojados por las mediciones, poniendo énfasis en aquellos aspectos que nos permitan obtener una respuesta referida a la eficiencia energética que presenta el elemento propuesto de esta investigación, a fin de clarificar el potencial de éste.

. La presentación de resultados se hace mediante tablas y gráficos, lo que nos permite determinar la relación y los parámetros (variables) necesarios para obtener las conclusiones de esta investigación.

La caracterización de datos se realiza considerando los siguientes aspectos:

- Ensayo de aislación térmica.
- Ensayo de resistencia al impacto (mecánico)
- Ensayo de flexión (mecánico).
- Ensayo acústico.
- Estudio de Densidad Aparente
- Estudio de costos

4.2 Estudio de Densidad Aparente

Para determinar la densidad aparente de los prototipos se pesaron las muestras con el fin de conocer su masa y con ello establecer un promedio por cada configuración. Cabe señalar que cada promedio se obtiene de 3 mediciones aleatorias por cada tipología mientras que para determinar las densidades se divide la masa por el volumen de cada elemento.

El volumen de cada elemento corresponde al alto (50 cm) por su largo (50 cm) y su espesor (5cm).

| MUESTRA | DENSIDAD APARENTE | | Densidad (kg/m ³) |
|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | Peso (kg) | Volumen (m ³) | |
| Panel Patrón | 11,25 | 0,0125 | 900 |
| Panel 25% perlita | 9,704 | 0,0125 | 776,32 |
| Panel 50% perlita | 7,869 | 0,0125 | 629,52 |
| Panel 75% perlita | 6,457 | 0,0125 | 516,56 |

Tabla 4.1 Densidad aparente en paneles en base a Yeso y Perlita mineral expandida.

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Ensayo de Aislación Térmica

Ensayo realizado según lo descrito en la norma NCh 851 of 1983. Para determinar si el panel propuesto conformado por yeso y perlita mineral expandida posee propiedades térmicas superiores a elementos similares, se contrasta su desempeño respecto a una muestra patrón, que para este caso corresponde a un panel conformado solamente por yeso blanco, el cual posee las mismas dimensiones que los elementos con perlita.

Para cada panel propuesto se entregan resultados que muestran la conductividad del elemento. Para esto se utiliza una fuente emisora de energía (para esta experiencia se ocuparon tres ampollas de 100 watts cada una), midiendo la cantidad de calor que logra atravesar el panel hacia la cara opuesta (cara fría).

Los paneles en la cámara térmica se mantuvieron durante 1 hora llegando a temperaturas aproximadas de 40°C en el compartimento donde se encuentra la fuente de calor

La toma de datos con el instrumento de medición Xplorer nos entrega dos datos por segundo, obteniendo 72000 datos aproximados por sensor, por ello, se decidió tomar datos cada 5 minutos. Los datos son trabajados utilizando el software PASCO Capstone proporcionado por la empresa fabricante del instrumento Xplorer.

Con el fin de que las mediciones fueran fidedignas y correlativas, se trata de igualar condiciones durante todos los procesos de medición, esto es que comiencen desde una temperatura similar y se sellan los agujeros existentes con lana mineral a fin de evitar cualquier potencial puente térmico.

Con los datos de cada ensayo obtenemos el diferencial de temperatura, para cada panel (temperatura 1 y temperatura 2), con el cual se puede obtener el cociente de transmisión térmica.

A continuación, se analizarán los datos obtenidos para cada uno de los paneles partiendo por la muestra patrón y continuando con la muestra 1 (25% volumen de perlita mineral expandida), muestra 2 (50% volumen de perlita mineral expandida) y muestra 3 (75% volumen de perlita mineral expandida). También se realizará una comparación de los diferenciales tomando todos los paneles, para analizar la influencia y resistencia que genera cada uno ante el aumento de temperaturas.

Para poder evaluar el comportamiento térmico de los paneles construidos en base a yeso y perlita mineral, se contrastaron los gráficos de temperaturas en la cara del panel que recibe la fuente de calor y la cara del panel que se encuentra en el compartimiento frío, además se compararon las temperaturas en el compartimento de la fuente de calor y la temperatura ambiente al exterior de la cámara. Todo esto se realizó para las tres configuraciones con perlita expandida, comparando los gráficos obtenidos con la muestra patrón, en la cual se utilizó un panel fabricado de yeso, esto permite determinar qué tan eficiente es el yeso mezclado con perlita mineral expandida como aislante térmico.

4.3.1 Ensayo de Aislación Térmica Muestra Patrón

La muestra patrón se compone únicamente de yeso disponiéndolo, para el ensayo, en el centro de la cámara térmica, evaluándolo durante una hora.

La tabla 4.2 muestra los promedios de datos obtenidos según como se explicó en el capítulo anterior. En esta tabla se muestran las temperaturas tomadas al panel patrón en estudio, una en la cara donde se encuentra la fuente de calor (temperatura 1) y la otra en la cara opuesta o compartimento frío (temperatura 2). También se tomaron la temperatura ambiente del compartimento caliente (temperatura 4) y la temperatura ambiente del compartimento frío (temperatura 3).

La tabla 4.2 también muestra los diferenciales de temperatura del panel patrón (T1-T2) y el diferencial de temperatura de la temperatura ambiente al interior del compartimento caliente y la temperatura ambiente del compartimento frío (T4-T3).

| Temperatura | T1 (°C) | T2 (°C) | ΔT (T1-T2) | T3 (°C) | T4 (°C) | ΔT (T4-T3) |
|--------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| Mínima | 20,69 | 20,07 | 0,62 | 20,54 | 21,54 | 1,00 |
| Máxima | 29,02 | 22,00 | 7,02 | 22,84 | 36,95 | 14,11 |
| Media | 25,93 | 20,74 | 5,19 | 21,46 | 32,35 | 10,89 |

Tabla 4.2 Temperaturas Panel Patrón.

Fuente: Elaboración Propia

| Temperaturas cámara caliente muestra patrón | | |
|---|---|---|
| | ■ Serie N.º 1 | ▼ Serie N.º 1 |
| | ⚠ Temperatura 1: Cara Caliente Panel (°C) | ⚠ Temperatura 4: Ambiente Cámara Caliente: (°C) |
| 1 | 20,69 | 21,55 |
| 2 | 20,69 | 21,55 |
| 3 | 20,69 | 21,55 |
| 4 | 20,69 | 21,55 |
| 5 | 20,69 | 21,55 |
| Min. | 20,69 | 21,54 |
| Máx. | 29,02 | 36,95 |
| Media | 25,93 | 32,35 |

| Temperaturas cámara fría muestra patrón | | |
|---|---------------------------------------|---|
| | ◆ Serie N.º 1 | ✧ Serie N.º 1 |
| | ⚠ Temperatura 2: Cara fría Panel (°C) | ⚠ Temperatura 3: Ambiental Cámara Fría (°C) |
| 1 | 20,08 | 20,60 |
| 2 | 20,09 | 20,59 |
| 3 | 20,08 | 20,59 |
| 4 | 20,09 | 20,60 |
| 5 | 20,08 | 20,60 |
| Min. | 20,07 | 20,54 |
| Máx. | 22,00 | 22,84 |
| Media | 20,74 | 21,46 |

Figura 4.1 Temperaturas simultáneas medidas durante el ensayo muestra patrón

Fuente: Elaboración Propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos se llevarán los datos de la tabla 4.1 a un Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) que se muestra en las siguientes figuras:

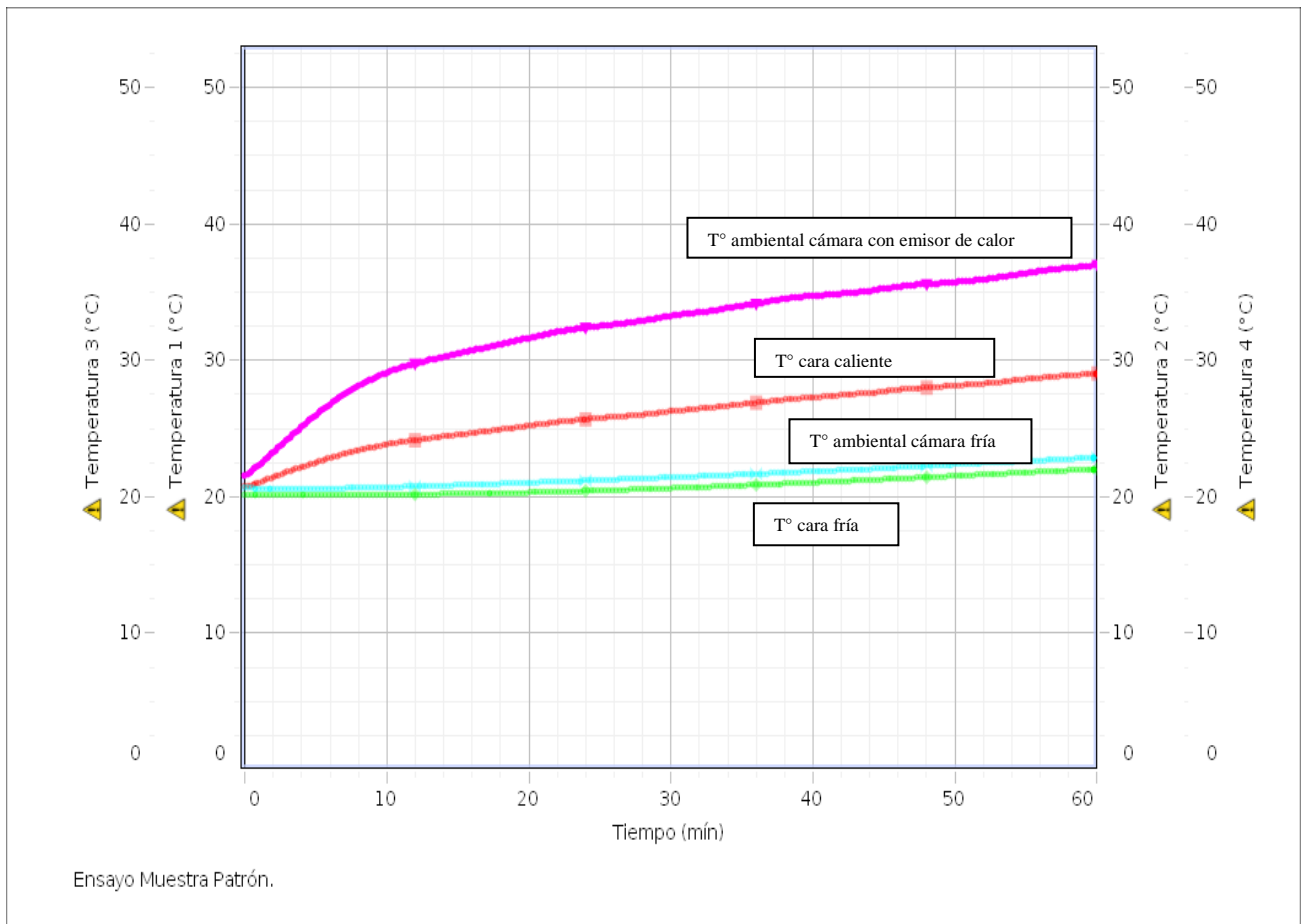


Figura 4.2 Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra Patrón.

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica indica el comportamiento térmico del elemento muestra patrón (solamente yeso), donde:

- Temperatura 1: Color Rojo. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel.
- Temperatura 2: Color Verde. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel.
- Temperatura 3: Color Calipso. Expresa la temperatura ambiental de la cámara que no cuenta con emisor de calor (cámara fría).
- Temperatura 4: Color Morado. Expresa la temperatura ambiental de la cámara caliente.

La información entregada por el gráfico nos muestra que inicialmente la temperatura es similar para todos los sensores. Transcurrido un par de minutos comienzan a mostrarse ciertas diferencias térmicas, tanto en la cara de los paneles como en las temperaturas ambientales respectivas. La cara que se encuentra expuesta a la fuente emisora de calor eleva su temperatura hasta los 29,02 °C en una hora, mientras que la cara del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 22°C en el mismo intervalo de tiempo. La diferencia de 7,02° nos da un temprano indicio de que el panel posee propiedades térmicas no menores.

Las temperaturas ambientales de ambos lados de la cámara advierten una diferencia aún mayor, logrando una temperatura diferencial promedio de 10,89°C. Con la diferencia de 7,02° equivalente a 280,17°K podemos obtener las propiedades térmicas del elemento, tales como, la conductividad térmica, resistencia térmica y transmitancia térmica como se muestra a continuación:

$$\lambda = \frac{\phi * e}{2 A (T_2 - T_1)}$$

Donde:

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W / m*°K)

ϕ = Potencia entregada (W)

e = espesor probeta (m)

A = Área de la sección atravesada por el calor (m²)

T₂, T₁= Temperatura de la cara fría y caliente. (°K)

Fuente: Nch 851.Of 83

$$\lambda = 300 * 0,05 / 2 * (0,65 * 0,6) * (280,17) = 0,0686 \text{ (W / m*°K)}$$

El coeficiente de conductividad térmica de la muestra patrón corresponde a $\lambda = 0,0686$ (W/m*°K), de aquí se pueden obtener los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica determinados por:

$$R = e / \lambda \text{ (m}^2\text{*°K / W)}$$

$$R = 0,05 / 0,0686 = 0,728 \text{ (m}^2\text{*°K / W)}$$

Luego determinamos el valor de la transmitancia térmica (U) encontrando el cociente entre 1 y el valor de la resistencia térmica (R). Obteniendo:

$$U = 1 / 0,728 = 1,37 \text{ (W/m}^2\text{*K)}$$

Con ello se observa una resistencia al paso del calor gracias al elemento ensayado, apreciando así que la muestra patrón ya presenta indicios de aislación térmica.

4.3.2 Ensayo de Aislación Térmica “Panel en base a yeso y perlita mineral expandida” (25% Volumen).

La tabla 4.3 muestra los datos obtenidos según se explicó en el capítulo anterior. Los datos se expresan de la misma forma que en la tabla 4.2 del presente capítulo, pero con la muestra 1 que contiene 25% de agregado en volumen de perlita mineral expandida.

| tiempo(min) | Temperatura 1 cara caliente (°C) | Temperatura 2 cara fria (°C) | $\Delta T (T1-T2)$ |
|-------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 0 | 15,3 | 14,43 | 0,87 |
| 5 | 18,12 | 14,89 | 3,23 |
| 10 | 21,14 | 14,87 | 6,27 |
| 15 | 23,01 | 14,98 | 8,03 |
| 20 | 24,39 | 15,17 | 9,22 |
| 25 | 25,16 | 15,43 | 9,73 |
| 30 | 26,98 | 16,7 | 10,28 |
| 35 | 27,96 | 17,07 | 10,89 |
| 40 | 28,93 | 17,98 | 10,95 |
| 45 | 29,78 | 18,67 | 11,11 |
| 50 | 30,54 | 19,34 | 11,2 |
| 55 | 31,43 | 20,01 | 11,42 |
| 60 | 32,13 | 20,87 | 11,26 |
| 65 | 33,04 | 21,23 | 11,81 |
| 70 | 33,85 | 21,67 | 12,18 |
| 75 | 34,26 | 22,01 | 12,25 |
| 80 | 34,7 | 22,43 | 12,27 |
| 85 | 35,5 | 22,87 | 12,63 |
| 90 | 36,43 | 23,34 | 13,09 |
| 95 | 36,82 | 23,65 | 13,17 |
| 100 | 37,14 | 23,81 | 13,33 |
| 105 | 37,86 | 24,49 | 13,37 |
| 110 | 38,01 | 24,62 | 13,39 |
| 115 | 38,42 | 24,97 | 13,45 |
| 120 | 38,89 | 25,31 | 13,58 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| Promedio $\Delta T (T1-T2)$ | 10,76 |
|-----------------------------|-------|

Tabla 4.3 Temperaturas muestra 25% perlita expandida

Fuente: Elaboración Propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos se llevarán los datos de la tabla 4.3 a un Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) que se muestra en las siguientes figuras:

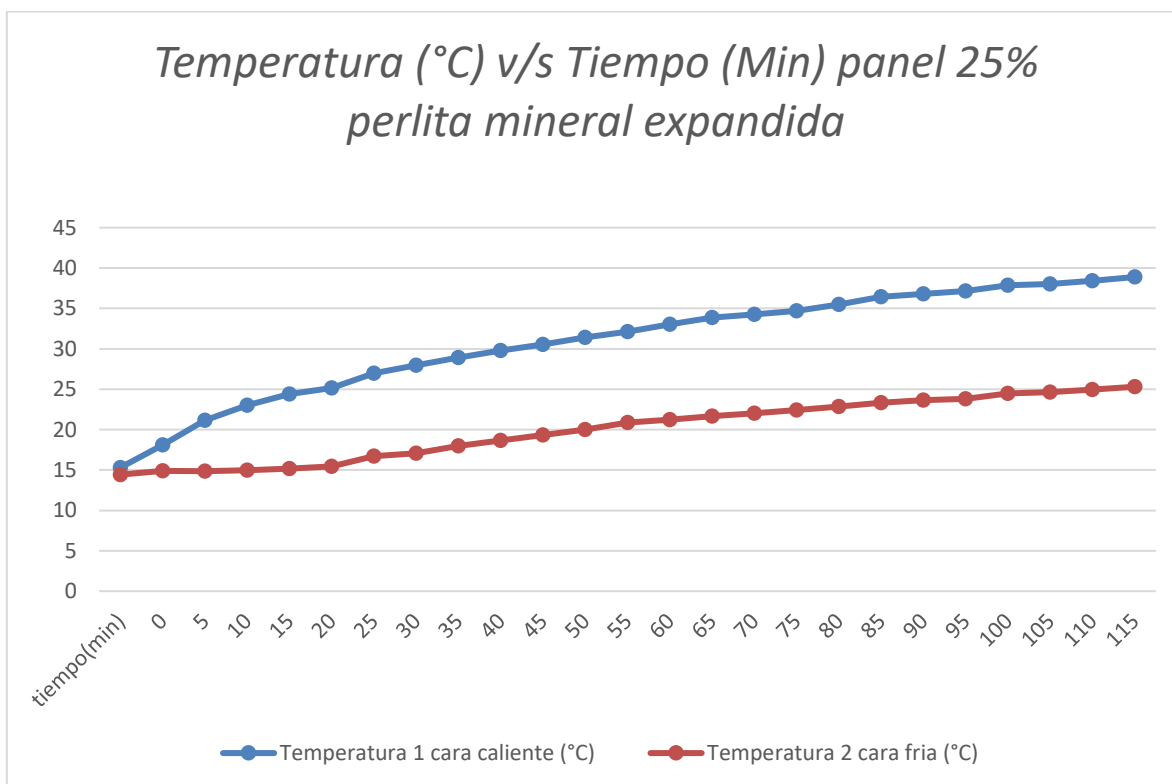


Figura 4.3 Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra 25% perlita mineral expandida.

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica indica el comportamiento térmico del elemento muestra 25% perlita mineral expandida donde:

- Temperatura 1: Color Azul. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel.
- Temperatura 2: Color Rojo. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel.

Al estudiar los resultados de la presente configuración, observamos que con el incremento de temperatura ambiental comienza a aumentar la temperatura en ambas caras del panel, aunque esto es notoriamente significativo en la cara que da hacia la fuente de calor. La información entregada por el gráfico nos muestra que inicialmente la temperatura es similar para ambos sensores. Transcurrido un par de minutos comienzan a mostrarse ciertas diferencias térmicas, La cara que se encuentra expuesta a la fuente emisora de calor eleva su temperatura hasta los 38,89 °C en 2 horas, mientras que la cara del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 25,31°C en el mismo intervalo de tiempo. Con la diferencia de 13,58° equivalente a 286,73°K podemos obtener las propiedades térmicas del elemento, tales como, la conductividad térmica, resistencia térmica y transmitancia térmica como se muestra a continuación:

$$\lambda = \frac{\phi * e}{2 A (T2 - T1)}$$

Donde:

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W / m*°K)

ϕ = Potencia entregada (W)

e = espesor probeta (m)

A = Área de la sección atravesada por el calor (m²)

T2, T1= Temperatura de la cara fría y caliente. (°K)

Fuente: Nch 851.Of 83

$$\lambda = 300 * 0,05 / 2 * (0,65 * 0,6) * (286,73) = 0,067 \text{ (W / m*°K)}$$

El coeficiente de conductividad térmica de la muestra con 25% de perlita corresponde a $\lambda = 0,067$ (W/m*°K), de aquí se pueden obtener los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica determinados por:

$$R = e / \lambda \text{ (m}^2\text{*}^\circ\text{K / W)}$$

$$R = 0,05 / 0,067 = 0,746 \text{ (m}^2\text{*}^\circ\text{K / W)}$$

Luego determinamos el valor de la transmitancia térmica (U) encontrando el cociente entre 1 y el valor de la resistencia térmica (R). Obteniendo:

$$U = 1 / 0,746 = 1,34 \text{ (W/m}^2\text{·K)}$$

Con ello se muestra que el panel con 25 % agregado de perlita mineral expandida posee una mejor resistencia al paso del calor que la muestra patrón lo que reafirma que el agregado de perlita mejora las condiciones de aislación térmica en los elementos propuestos.

Al observar que un porcentaje menor de energía calórica es la que traspasa estos paneles y se transmiten hacia otros ambiente, se entiende que al tratar de implementarlo en una vivienda en invierno, el calor en el interior de la vivienda se perderá en una menor proporción, lo que se traduce en un menor uso potencial de energías no renovables, y, al ser utilizado en verano, las energías que se podrían emplear para mantener un ambiente confortable serán inferiores, ya que este panel permite que el calor del ambiente penetre el interior de la vivienda en un menor porcentaje.

4.3.3 Ensayo de Aislación Térmica “Panel en base a yeso y perlita mineral expandida” (50% Volumen)

Del mismo modo que se evaluó la muestra con 25% de volumen de perlita mineral expandida agregada, se mide la muestra que contiene 50% de volumen de perlita. En este ensaye se sigue apreciando una mejora en cuanto al comportamiento térmico respecto a la muestra patrón y a la muestra con 25 % de volumen de perlita agregado. Los valores obtenidos en esta experiencia son los siguientes:

| tiempo(min) | Temperatura 1 cara caliente (°C) | Temperatura 2 cara fria (°C) | $\Delta T (T1-T2)$ |
|-------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 0 | 15,37 | 14,73 | 0,64 |
| 5 | 18,62 | 14,76 | 3,86 |
| 10 | 21,41 | 14,91 | 6,5 |
| 15 | 23,25 | 15,11 | 8,14 |
| 20 | 24,71 | 15,39 | 9,32 |
| 25 | 25,89 | 15,74 | 10,15 |
| 30 | 27,09 | 16,13 | 10,96 |
| 35 | 28,02 | 16,56 | 11,46 |
| 40 | 28,93 | 16,98 | 11,95 |
| 45 | 29,84 | 17,42 | 12,42 |
| 50 | 30,68 | 17,86 | 12,82 |
| 55 | 31,53 | 18,34 | 13,19 |
| 60 | 32,35 | 18,8 | 13,55 |
| 65 | 33,14 | 19,25 | 13,89 |
| 70 | 33,67 | 19,66 | 14,01 |
| 75 | 34,31 | 20,1 | 14,21 |
| 80 | 34,9 | 20,53 | 14,37 |
| 85 | 35,52 | 20,95 | 14,57 |
| 90 | 36,19 | 21,35 | 14,84 |
| 95 | 36,73 | 21,74 | 14,99 |
| 100 | 37,22 | 22,11 | 15,11 |
| 105 | 37,72 | 22,47 | 15,25 |
| 110 | 38,27 | 22,84 | 15,43 |
| 115 | 38,67 | 23,24 | 15,43 |
| 120 | 39,13 | 23,59 | 15,54 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| Promedio $\Delta T (T1-T2)$ | 12,10 |
|-----------------------------|-------|

Tabla 4.4 Temperaturas muestra 50 % perlita expandida

Fuente: Elaboración Propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos se llevarán los datos de la tabla 4.4 a un Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) que se muestra en las siguientes figuras

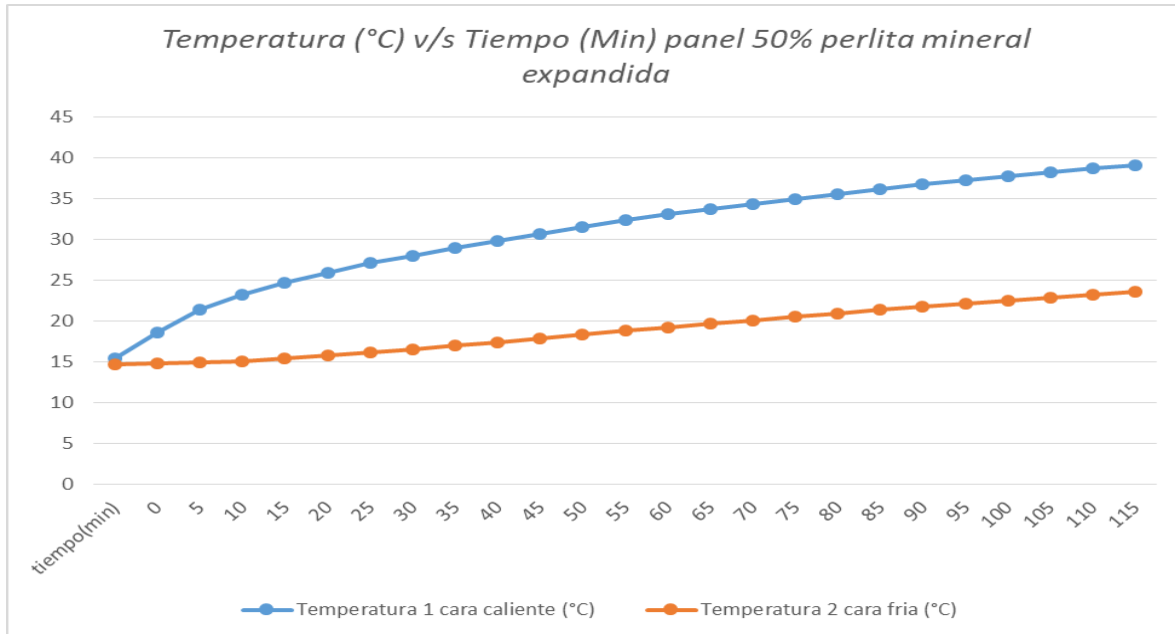


Figura 4.4 Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra 50% perlita mineral expandida.

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica indica el comportamiento térmico del elemento muestra 50% perlita mineral expandida donde:

- Temperatura 1: Color Azul. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel.
- Temperatura 2: Color Rojo. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel.

La cara que se encuentra expuesta a la fuente emisora de calor eleva su temperatura hasta los 39,13 °C en 2 horas, mientras que la cara del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 23,59°C en el mismo intervalo de tiempo. Con la diferencia de 15,54° equivalente a 288,69°K podemos obtener las propiedades térmicas del elemento, tales como, la conductividad térmica, resistencia térmica y transmitancia térmica como se muestra a continuación:

$$\lambda = \frac{\phi * \varepsilon}{2 A (T2 - T1)}$$

Donde:

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W / m*°K)

ϕ = Potencia entregada (W)

e = espesor probeta (m)

A = Área de la sección atravesada por el calor (m²)

T2, T1= Temperatura de la cara fría y caliente. (°K)

Fuente: Nch 851.Of 83

$$\lambda = 300 * 0,05 / 2 * (0,65 * 0,6) * (288,69) = 0,0666 \text{ (W / m*°K)}$$

El coeficiente de conductividad térmica de la muestra con 50 % de perlita corresponde a $\lambda = 0,0666$ (W/m*°K), de aquí se pueden obtener los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica determinados por:

$$R = e / \lambda \text{ (m}^2 \text{*°K / W)}$$

$$R = 0,05 / 0,0666 = 0,75 \text{ (m}^2 \text{*°K / W)}$$

Luego determinamos el valor de la transmitancia térmica (U) encontrando el cociente entre 1 y el valor de la resistencia térmica (R). Obteniendo:

$$U = 1 / 0,75 = 1,33 \text{ (W/m}^2 \text{·K)}$$

Con ello se muestra que el panel con 50 % agregado de perlita mineral expandida posee una mejor resistencia al paso del calor que la muestra patrón y que la muestra con 25% de perlita.

4.3.4 Ensayo de Aislación Térmica “Panel en base a yeso y perlita mineral expandida” (75% Volumen).

Las temperaturas diferenciales involucradas en este ensayo muestran una mejora en el comportamiento térmico del material.

En la tabla 4.5 se puede apreciar la diferencia entre temperaturas de ambas caras del panel, la cual es la diferencia más significativa entre diferenciales térmicos. Hasta este punto, la configuración con 75% de volumen de agregado de perlita parece ser la alternativa térmica de mejor comportamiento.

| tiempo(min) | Temperatura 1 cara caliente (°C) | Temperatura 2 cara fria (°C) | $\Delta T (T1-T2)$ |
|-------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 0 | 19,35 | 19,24 | 0,11 |
| 5 | 21,38 | 18,59 | 2,79 |
| 10 | 24,04 | 18,27 | 5,77 |
| 15 | 25,79 | 18,29 | 7,5 |
| 20 | 27,06 | 18,49 | 8,57 |
| 25 | 28,16 | 18,8 | 9,36 |
| 30 | 29,17 | 19,21 | 9,96 |
| 35 | 30,07 | 19,63 | 10,44 |
| 40 | 30,96 | 20,06 | 10,9 |
| 45 | 31,83 | 20,48 | 11,35 |
| 50 | 32,65 | 20,9 | 11,75 |
| 55 | 33,48 | 21,3 | 12,18 |
| 60 | 35,01 | 21,69 | 13,32 |
| 65 | 36,65 | 22,08 | 14,57 |
| 70 | 37,59 | 22,46 | 15,13 |
| 75 | 38,4 | 22,82 | 15,58 |
| 80 | 39,12 | 23,17 | 15,95 |
| 85 | 39,79 | 23,5 | 16,29 |
| 90 | 40,43 | 23,82 | 16,61 |
| 95 | 41,01 | 24,14 | 16,87 |
| 100 | 41,59 | 24,45 | 17,14 |
| 105 | 42,16 | 24,76 | 17,4 |
| 110 | 42,56 | 25,04 | 17,52 |
| 115 | 43,02 | 25,33 | 17,69 |
| 120 | 43,63 | 25,6 | 18,03 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| Promedio $\Delta T (T1-T2)$ | 12,51 |
|-----------------------------|-------|

Tabla 4.5 Temperaturas muestra 75 % perlita expandida.

Fuente: Elaboración Propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos se llevarán los datos de la tabla 4.5 a un Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) que se muestra en las siguientes figuras:

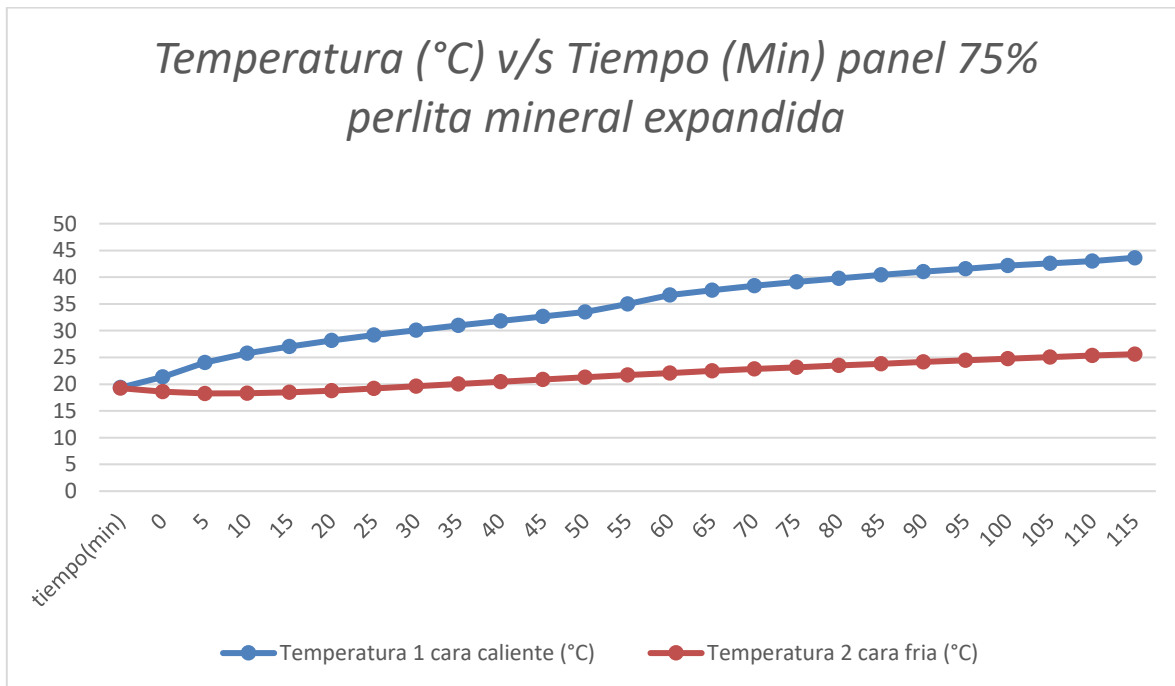


Figura 4.5 Gráfico Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) Panel muestra 75% perlita mineral expandida.

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica indica el comportamiento térmico del elemento muestra 75% perlita mineral expandida donde:

- Temperatura 1: Color Azul. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel.
- Temperatura 2: Color Rojo. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel.

La cara que se encuentra expuesta a la fuente emisora de calor eleva su temperatura hasta los 46,63 °C en 2 horas, mientras que la cara del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 25,6°C en el mismo intervalo de tiempo. Con la diferencia de 18,03° equivalente a 291,18°K podemos obtener las propiedades térmicas del elemento, tales como, la conductividad térmica, resistencia térmica y transmitancia térmica como se muestra a continuación:

$$\lambda = \frac{\phi * \varepsilon}{2 A (T2 - T1)}$$

Donde:

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W / m*°K)

ϕ = Potencia entregada (W)

e = espesor probeta (m)

A = Área de la sección atravesada por el calor (m²)

T2, T1= Temperatura de la cara fría y caliente. (°K)

Fuente: Nch 851.Of 83

$$\lambda = 300 * 0,05 / 2 * (0,65 * 0,6) * (291,18) = 0,066 \text{ (W / m}^{\circ}\text{K)}$$

El coeficiente de conductividad térmica de la muestra con 75 % de perlita corresponde a $\lambda = 0,066$ (W/m*°K), de aquí se pueden obtener los valores de resistencia térmica y transmitancia térmica determinados por:

$$R = e / \lambda \text{ (m}^2\text{*}^{\circ}\text{K / W)}$$

$$R = 0,05 / 0,066 = 0,76 \text{ (m}^2\text{*}^{\circ}\text{K / W)}$$

Luego determinamos el valor de la transmitancia térmica (U) encontrando el cociente entre 1 y el valor de la resistencia térmica (R). Obteniendo:

$$U = 1 / 0,76 = 1,31 \text{ (W/m}^2\text{.K)}$$

La siguiente grafica muestra el diferencial térmico en función del tiempo de cada una de las configuraciones:

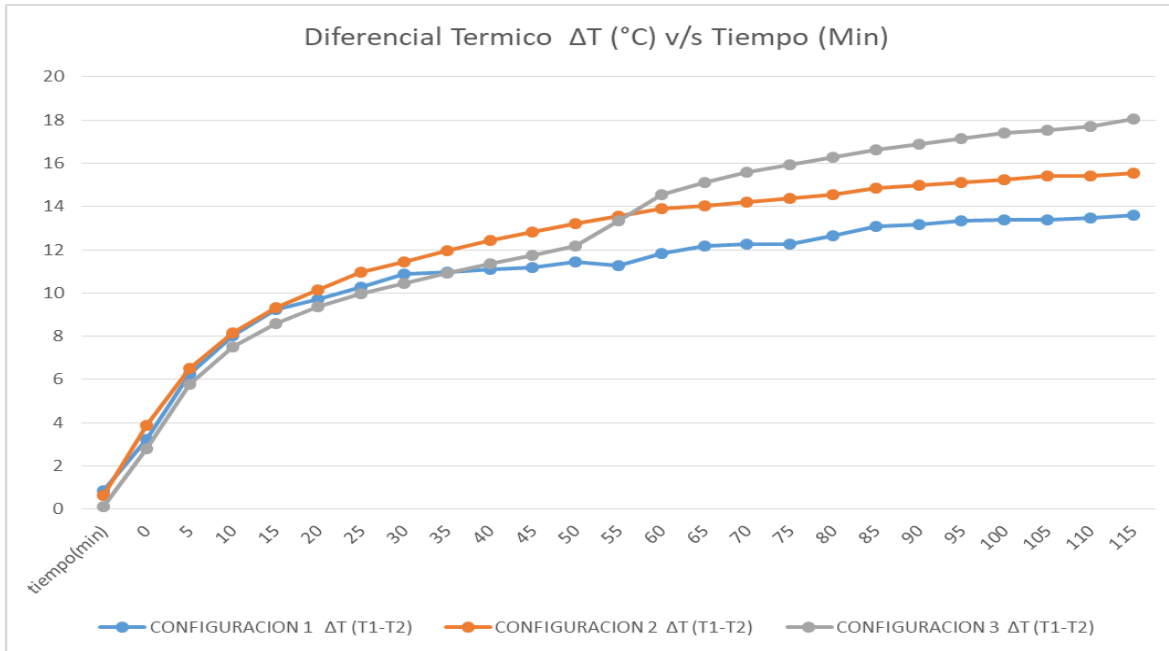


Figura 4.6: Gráfico diferencial térmico (°C) v/s Tiempo (Min)

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- Configuración 1: Color Azul. Expresa el diferencial térmico en el tiempo del panel con 25% de agregado de perlita.
- Configuración 2: Color Naranja. Expresa el diferencial térmico en el tiempo del panel con 50% de agregado de perlita.
- Configuración 3: Color Plomo. Expresa el diferencial térmico en el tiempo del panel con 75% de agregado de perlita.

Analizando las situaciones, se puede observar que la configuración de 75% en volumen de perlita agregada, posee los diferenciales más significativos entre caras, además de tener un coeficiente de transmitancia térmica menor correspondiente a 1,31 (W/m²·K).

Lo anterior hace sentido, pensando en que las excelentes propiedades térmicas de la perlita se manifiestan con más claridad en la medida que mayor sea su concentración en el panel.

4.4 Ensayo Acústico

El ensayo acústico se realizó en la misma cámara utilizada para el ensayo térmico, puesto que cumple con los estándares necesarios según la Nch 2786. Para efectos comparativos en los que se basa esta investigación, nuestro prototipo a modo de probeta proporciona los valores suficientes para estudiar el desempeño acústico de los elementos propuestos. La metodología a utilizar es la propuesta por el MINVU en el manual de reglamentación acústica para la medición de ruido aéreo.

La fuente sonora corresponde a parlantes multimedia que emiten las frecuencias señaladas en la normativa y para generarlas se utiliza el Software “Audacity”, con él se emiten las frecuencias durante un periodo de 30 segundos por cada una. En el otro extremo de la cámara, a una distancia de 1,2 mts desde la superficie del material a ensayar, se ubicó el sonómetro para medir la intensidad sonora de llegada de cada frecuencia.

Los valores obtenidos de esta experiencia se detallan a continuación:

| Frecuencia Hz | Cámara sin panel (dB) | Muestra Patrón (dB) | Panel 25% perlita (dB) | Panel 50% perlita (dB) | Panel 75% perlita (dB) |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 125 | 84,4 | 74,7 | 73,1 | 70,1 | 68,6 |
| 160 | 85,1 | 74,4 | 72,3 | 71,2 | 68,8 |
| 200 | 89,2 | 73,5 | 74,3 | 70,3 | 69,3 |
| 250 | 83,5 | 73,6 | 72,1 | 68,2 | 65,6 |
| 315 | 82,3 | 70,3 | 71,4 | 67,6 | 64,5 |
| 400 | 81,9 | 69,1 | 68,7 | 70,5 | 68,6 |
| 500 | 82,2 | 72,7 | 71,3 | 67,3 | 68,9 |
| 630 | 86,4 | 71,8 | 71 | 70,7 | 70,1 |
| 870 | 92,3 | 75,2 | 72,7 | 71,9 | 71,5 |
| 1250 | 82 | 71,2 | 71,3 | 70,1 | 69,4 |
| 2000 | 85,8 | 67,4 | 66,3 | 65,2 | 63,2 |
| 3100 | 82,4 | 74,5 | 73,1 | 68,5 | 66,4 |
| 4600 | 87,5 | 71,6 | 70,9 | 69,2 | 67,2 |

Tabla 4.6: Medición de Decibeles con Ensayo Acústico.

Fuente: Elaboración Propia.

Consecuentemente, tomando en cuenta la medición sonora dentro de la cámara sin el prototipo, se puede obtener un valor diferencial respecto a cada elemento medido. El índice de absorción corresponde a aquella diferencia, cuyos valores son:

| Frecuencia (Hz) | Índice de absorción muestra patrón (dB) | Índice de absorción Panel 25% perlita (dB) | Índice de absorción Panel 50% perlita (dB) | Índice de absorción Panel 75% perlita (dB) |
|------------------------|--|---|---|---|
| 125 | 9,7 | 11,3 | 14,3 | 15,8 |
| 160 | 10,7 | 12,8 | 13,9 | 16,3 |
| 200 | 15,7 | 14,9 | 18,9 | 19,9 |
| 250 | 9,9 | 11,4 | 15,3 | 17,9 |
| 315 | 12 | 10,9 | 14,7 | 17,8 |
| 400 | 12,8 | 11,7 | 11,4 | 13,3 |
| 500 | 9,5 | 10,9 | 14,9 | 13,3 |
| 630 | 14,6 | 15,4 | 15,7 | 16,3 |
| 870 | 17,1 | 19,6 | 20,4 | 20,8 |
| 1250 | 10,8 | 10,7 | 11,9 | 12,6 |
| 2000 | 18,4 | 19,5 | 20,6 | 22,6 |
| 3150 | 7,9 | 9,3 | 13,9 | 16 |
| 4600 | 15,9 | 16,6 | 18,3 | 20,3 |

Tabla 4.7: Índices de absorción Ensayo Acústico.

Fuente: Elaboración Propia.

Las propuestas de los elementos de construcción que contemplan el uso de perlita mineral expandida presentan un aspecto poroso debido a la característica del material añadido, condición que genera huecos entre las partículas del prototipo.

El ensayo se realiza con el objetivo de comparar los paneles que poseen perlita mineral expandida en su configuración respecto a una muestra patrón confeccionado solamente a base de yeso. Los promedios de las mediciones utilizados para el análisis son los siguientes:

- La medición sin panel dispuesto al interior de la cámara da un promedio de 85 dB.
- La medición acústica promedio de la muestra patrón es de 72,3 dB.
- La configuración con 25% volumen de perlita da un promedio de 71,5 dB.
- La muestra con 50% volumen de perlita arrojó un valor promedio de 69,3 dB.
- La configuración que tiene 75% volumen de perlita da un promedio de 67,9 dB.

Mientras que los valores de los índices de absorción promediaron:

- Muestra patrón: 12,7 (dB)
- Elemento con 25% volumen de perlita: 13,5 (dB)
- Elemento con 50% volumen de perlita: 15,7 (dB)
- Elemento con 75% volumen de perlita: 17,1 (dB)

Los índices promediados dejan prever el elemento que mejor se comportó, puesto que generó mayores diferencias sonoras respecto a la medición sin elemento aislante. Dentro de la gama finita propuesta de elementos, se logra apreciar en una primera instancia que la configuración con 75% de volumen de perlita agregada, fue la que mejor se desempeñó en términos acústicos.

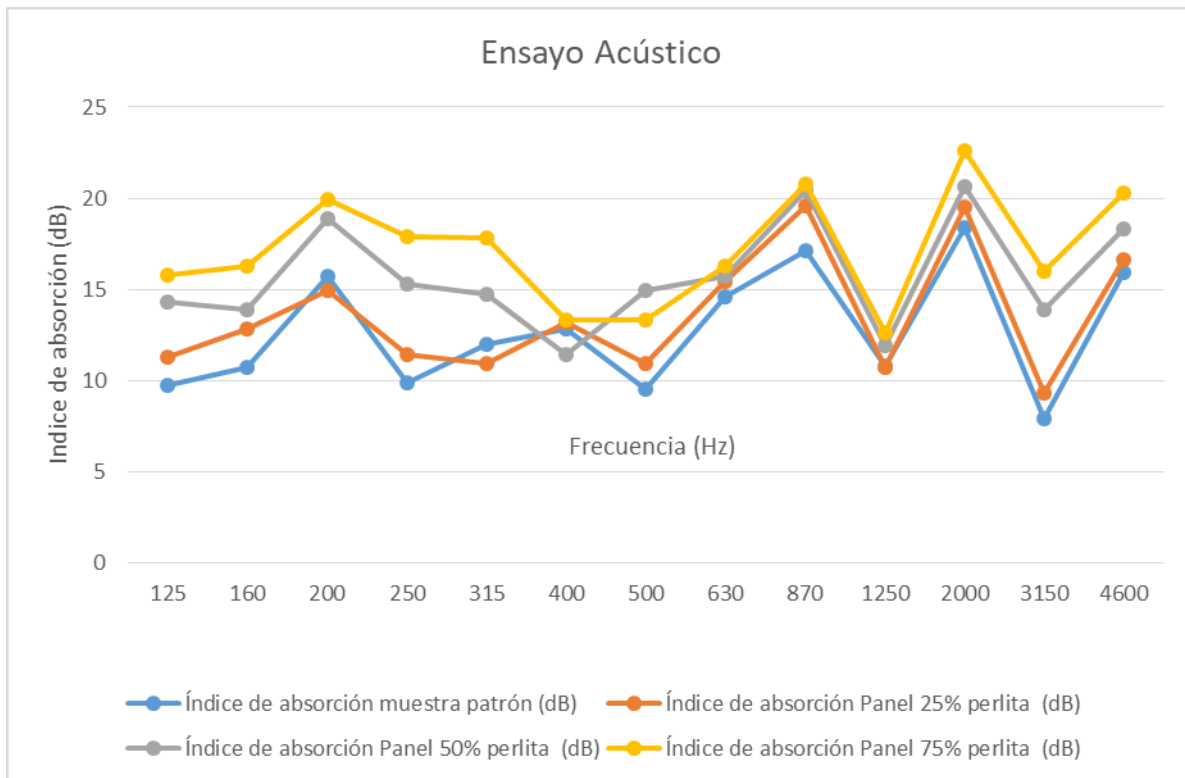


Figura 4.7: Gráfico Índice de absorción (dB) v/s Frecuencia (Hz)

Fuente: Elaboración Propia

De la presente gráfica se puede observar un comportamiento similar en los prototipos respecto a un estímulo sonoro. Luego es posible comenzar con las interpretaciones que permitirán obtener conclusiones de acuerdo a lo estudiado.

A medida que la frecuencia aumenta, los elementos en general presentan un mayor índice de absorción, alcanzando así un índice de 22,6 decibeles como máximo en la configuración con 75% de volumen de perlita en la frecuencia de los 2000 (Hz).

Por otro lado, los índices de absorción más desfavorables se presentan en las frecuencias más bajas, alcanzando uno de los niveles más bajos alrededor de los 315 (Hz).

Se observa que los elementos con perlita mineral expandida añadida presentan un desempeño más eficiente respecto a la muestra que no posee perlita en su composición (muestra patrón). De esto se puede concluir que la utilización de perlita expandida trajo consigo mejoras acústicas, reafirmando uno de los postulados de la investigación, donde se

esperaba que la perlita mineral expandida transfiriera sus propiedades acústicas a los elementos propuestos.

El elemento que presenta el desempeño más desfavorable es la muestra patrón, mientras que el elemento que cuenta con 75% de volumen de perlita corresponde al de mejor desempeño, existiendo entre ellos una diferencia del 34.6% en su comportamiento acústico con respecto a los promedios de cada uno. Probablemente aumentando el espesor del elemento o experimentando con otra dosificación se obtendrán resultados aún más favorables.

Las configuraciones con 25% y 50% de volumen de perlita se comportan de manera similar, mostrando mayores diferencias de índice a los 315 y 3150 Hertz.

4.5 Ensayo de Resistencia al impacto

En la Tabla 4.8 se muestran los resultados de la experiencia.

| Ensayo de resistencia al impacto panel en base a yeso y perlita mineral expandida | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | Diametro hendidura 1er impacto (mm) | Diametro hendidura 2do impacto (mm) | Promedio primer y segundo impacto |
| Configuración 1 | 9 | 9,1 | 9,05 |
| Configuración 2 | 9,3 | 9,5 | 9,40 |
| Configuración 3 | 10,6 | 10,4 | 10,50 |
| | | Promedio | 9,65 |

Tabla 4.8 Ensayo de Resistencia al Impacto paneles en base a yeso y perlita mineral expandida

Fuente: Elaboración Propia

Para apreciar mejor los datos obtenidos se presenta la siguiente gráfica:

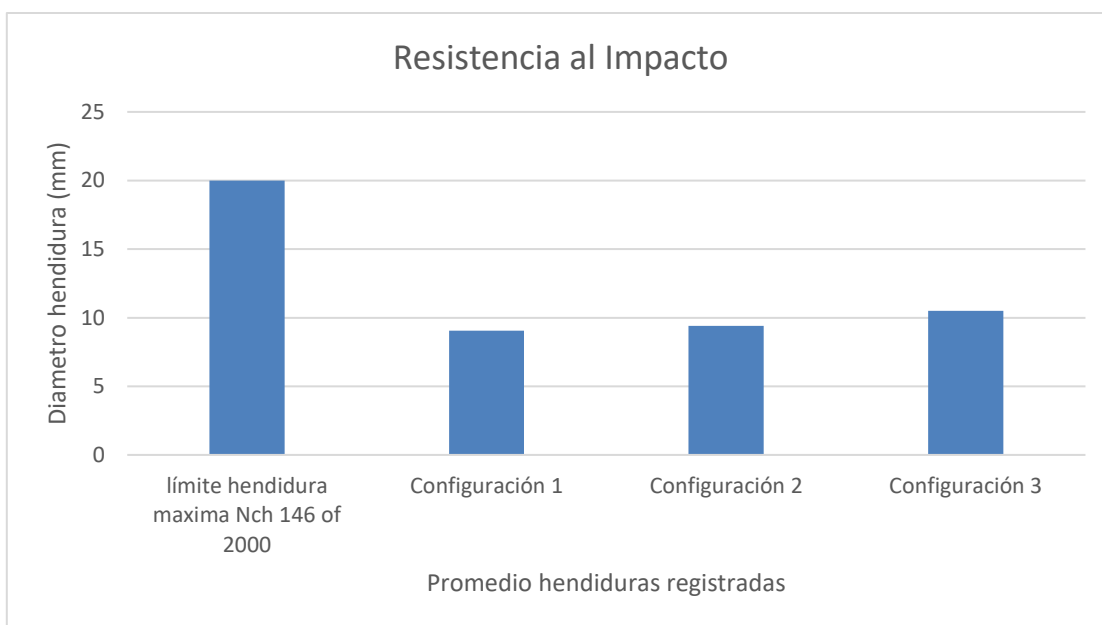


Figura 4.8 Grafico Promedio de hendiduras registradas Ensayo Impacto

Fuente: Elaboración Propia

Es importante destacar, que todos los paneles, cumplen con los 20 mm máximos de diámetro de hendidura especificado en la norma NCh 146 Of 2000.

4.6 Ensayo de Resistencia a la Flexión

La finalidad de este ensayo es determinar cuáles son las cargas que soporta el panel propuesto, formado por perlita mineral expandida y yeso, al someterse a esfuerzos de flexión, para así poder determinar su Grado RT y Subgrado RT según lo establecido en la Norma NCh803 of 2003.

Los resultados de esta sección corresponden al promedio de tres paneles por cada configuración, puesto que los paneles son de medidas simétricas.

La tabla 4.9 muestra los datos obtenidos:

| Muestra | Resistencia máxima a la Flexión | |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|
| | Deflexión central (mm) | Carga máxima (normalizada) (Kgf/m) |
| Patrón | 0,83 | 880 |
| 25% perlita | 1,08 | 663 |
| 50% perlita | 1,53 | 503 |
| 75% perlita | 2,23 | 305 |

Tabla 4.9 Carga máxima y deformación de los paneles sometidos a Ensayo Flexión

Fuente: Elaboración Propia

Para una mejor representación de los datos se tienen las siguientes graficas:

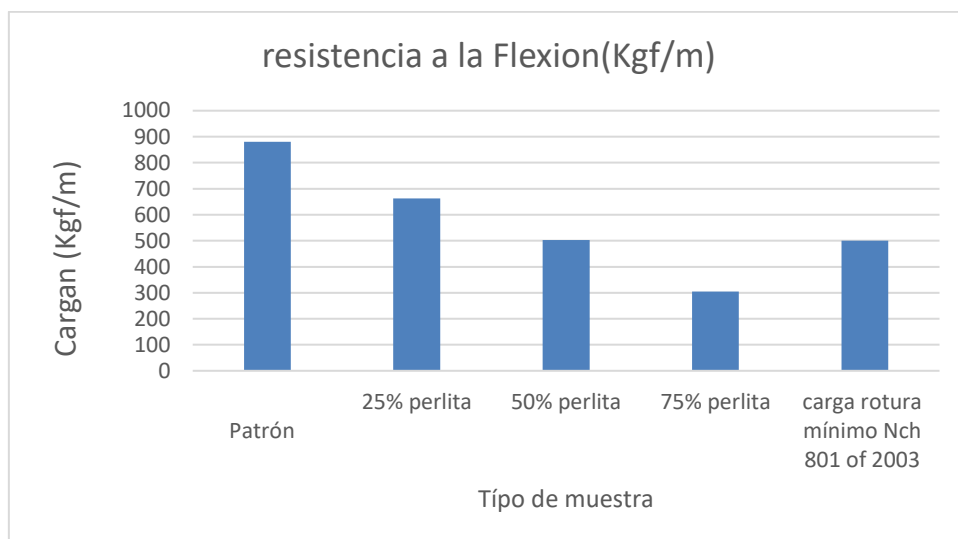


Figura 4.9 Carga Máxima Paneles Ensayo Flexión

Fuente: Elaboración Propia

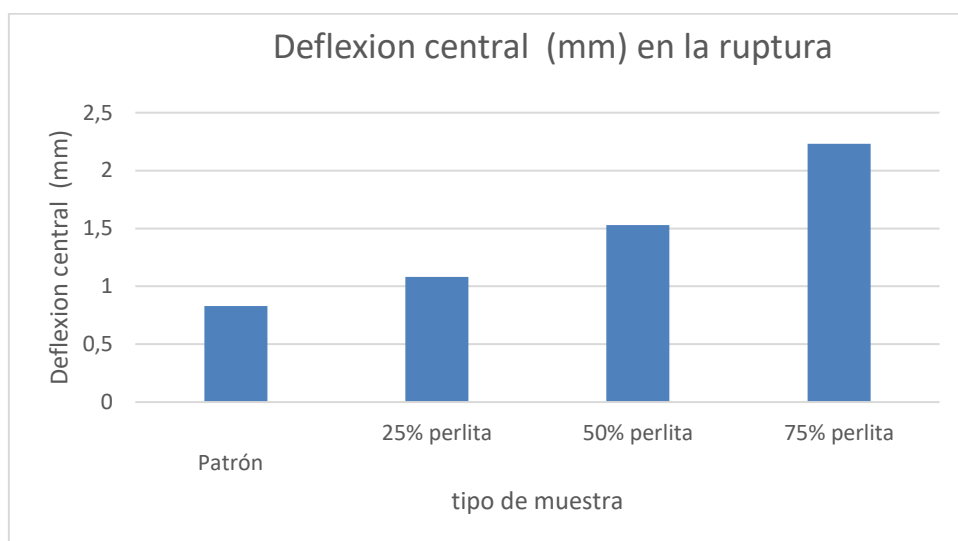


Figura 4.10 Deflexión central en la ruptura del panel Ensayo a Flexión

Fuente: Elaboración Propia

Al observar, realizar y analizar la experiencia de los ensayos de flexión, según los resultados se puede apreciar que, al aumentar la cantidad de perlita añadida a los paneles disminuye la resistencia a la Flexión, pero aumenta la capacidad de deformación de estos, aunque no en grandes márgenes, esto debido a la rigidez del elemento estudiado, además

podemos señalar que el panel compuesto por 75% de perlita queda fuera de normativa debido que esta exige un mínimo de 500 (Kgf/m) como carga de rotura mínima.

4.7 Estudio de Costos

Para poder determinar el costo directo que tiene la fabricación de los paneles estudiados, es necesario generar un análisis con los siguientes ítems:

- Costo por concepto de materiales empleados: Este análisis de costo estudia la materia prima con la que se construye un panel, considerando el costo que tiene la fabricación del molde empleado en estos además de los materiales para la confección del panel propiamente tal, como lo son la perlita y el yeso, y de las cantidades necesarias para elaborar un m² de panel.

- Costo asociado a la mano de obra: Para analizar la mano de obra necesaria se consideró el rendimiento aproximado en la elaboración de los paneles según la experiencia propia al momento de fabricar estos, además se consideró un maestro con una remuneración supuesta de \$500.000 pesos mensuales y con un 50% de leyes sociales.

- Costo asociado a la maquinaria y herramientas: en este ítem se consideró las herramientas empleadas en la confección tanto del molde como del panel propiamente tal.

Considerando cada uno de los ítems anteriores se llegó a establecer los siguientes análisis de precios unitarios según el tipo de panel fabricado.

4.7.1 Análisis de Precios Unitarios muestra patrón

| Partida: | confeccion panel patrón | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------|------------------|--------------|---------------------|--------------|------------------|-------------------|
| Mano de Obra | Rendimiento Equipo | | | 10 m2/dia | L soc y benef | Costo Total | Costos Parciales | Costos Acumulados |
| Equipo | N | SB+PR | | | 50% | Sub contr | | |
| | B | C | Parcial C/A=D | Total DxB | | | | |
| Maestro | 1 | 16666,67 | 1666,67 | 1666,67 | 833,33 | \$ 2.500,00 | | |
| | | | | | | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 |
| Materiales | | | | | | | | |
| Designacion | Uni | Cantidad | Valor | Costos Par | | | | |
| Plancha maciza 15mm | un | 0,335 | \$ 7.190,00 | \$ 2.408,65 | | | | |
| Listones 1x2 pino | un | 1,25 | \$ 860,00 | \$ 1.075,00 | | | | |
| bolsa de basura 90x70cm | un | 2 | \$ 80,00 | \$ 160,00 | | | | |
| Yeso | Kg | 77,6 | \$ 110,00 | \$ 8.536,00 | | | | |
| Perlita | Lts | 0 | \$ 180,00 | \$ - | | | | |
| | | | | \$ 12.179,65 | | | \$ 12.179,65 | \$ 14.679,65 |
| Equipos | | | | | | | | |
| Detalle | Cantidad | V equipo | 0,02 | Total | | | | |
| | H | | I | HXI | | | | |
| martillo | 1 | \$ 6.390,00 | \$ 127,80 | \$ 127,80 | | | | |
| serrucho | 1 | \$ 2.590,00 | \$ 51,80 | \$ 51,80 | | | | |
| espatula | 1 | \$ 1.990,00 | \$ 39,80 | \$ 39,80 | | | | |
| Engrapadora | 1 | \$ 6.990,00 | \$ 139,80 | \$ 139,80 | | | | |
| | | | | \$ 359,20 | | | \$ 359,20 | \$ 15.038,85 |
| | | | | | Total costo directo | \$ 15.038,85 | \$ 15.038,85 | |
| | | | | | % Imprevistos | 8% | \$ 1.203,11 | |
| | | | | | % G. Generales | 15% | \$ 2.255,83 | |
| | | | | | % Utilidad | 8% | \$ 1.203,11 | |
| | | | | | Precio | | | \$ 19.701 |

Tabla 4.10 Análisis de Precios Unitarios muestra Patrón (\$/m²)

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, el valor del costo de fabricación de la muestra patrón equivale a un total de \$19.701 (\$/m²).

4.7.2 Análisis de Precios Unitarios muestra 25% perlita

| Partida: | | confeccion panel 25% perlita | | | | | | | |
|-------------------------|----------|------------------------------|-------------|--------------|-----------|---------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Mano de Obra | | Rendimiento Equipo | | | 10 m2/dia | L soc y benef | Costo Total | Costos Parciales | Costos Acumulados |
| Equipo | N | SB+PR | | | 50% | Sub contr | | | |
| | B | C | Parcial | Total | | | | | C/A=D |
| Maestro | 1 | 16666,67 | 1666,67 | 1666,67 | 833,33 | \$ 2.500,00 | | | |
| | | | | | | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | |
| Materiales | | | | | | | | | |
| Designacion | Uni | Cantidad | Valor | Costos Par | | | | | |
| Plancha maciza 15mm | un | 0,335 | \$ 7.190,00 | \$ 2.408,65 | | | | | |
| Listones 1x2 pino | un | 1,25 | \$ 860,00 | \$ 1.075,00 | | | | | |
| bolsa de basura 90x70cm | un | 2 | \$ 80,00 | \$ 160,00 | | | | | |
| Yeso | Kg | 58,4 | \$ 110,00 | \$ 6.424,00 | | | | | |
| Perlita | Lts | 20 | \$ 180,00 | \$ 3.600,00 | | | | | |
| | | | | \$ 13.667,65 | | | \$ 13.667,65 | \$ 16.167,65 | |
| Equipos | | | | | | | | | |
| Detalle | Cantidad | V equipo | 0,02 | Total | | | | | |
| | H | | I | HXI | | | | | |
| martillo | 1 | \$ 6.390,00 | \$ 127,80 | \$ 127,80 | | | | | |
| serrucho | 1 | \$ 2.590,00 | \$ 51,80 | \$ 51,80 | | | | | |
| espatula | 1 | \$ 1.990,00 | \$ 39,80 | \$ 39,80 | | | | | |
| Engrapadora | 1 | \$ 6.990,00 | \$ 139,80 | \$ 139,80 | | | | | |
| | | | | \$ 359,20 | | | \$ 359,20 | \$ 16.526,85 | |
| | | | | | | | Total costo directo | \$ 16.526,85 | |
| | | | | | | | % Imprevistos | 8% \$ 1.322,15 | |
| | | | | | | | % G. Generales | 15% \$ 2.479,03 | |
| | | | | | | | % Utilidad | 8% \$ 1.322,15 | |
| | | | | | | | Precio | \$ 21.650 | |

Tabla 4.11 Análisis de Precios Unitarios muestra 25% perlita (\$/m²)

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, el valor del costo de fabricación de la muestra 25% perlita equivale a un total de \$21.650 (\$/m²).

4.7.3 Análisis de Precios Unitarios muestra 50% perlita

| Partida: | | confeccion panel 50% perlita | | | | | | | |
|-------------------------|----------|------------------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-------------------|--|
| Mano de Obra | | Rendimiento Equipo | | 10 m2/dia | L soc y benef | Costo Total | Costos Parciales | Costos Acumulados | |
| Equipo | N | SB+PR | | | 50% | Sub contr | | | |
| | B | C | Parcial | Total | | | | | |
| | | | C/A=D | DxB | | | | | |
| Maestro | 1 | 16666,67 | 1666,67 | 1666,67 | 833,33 | \$ 2.500,00 | | | |
| | | | | | | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | |
| Materiales | | | | | | | | | |
| Designacion | Uni | Cantidad | Valor | Costos Par | | | | | |
| Plancha maciza 15mm | un | 0,335 | \$ 7.190,00 | \$ 2.408,65 | | | | | |
| Listones 1x2 pino | un | 1,25 | \$ 860,00 | \$ 1.075,00 | | | | | |
| bolsa de basura 90x70cm | un | 2 | \$ 80,00 | \$ 160,00 | | | | | |
| Yeso | Kg | 39 | \$ 110,00 | \$ 4.290,00 | | | | | |
| Perlita | Lts | 40 | \$ 180,00 | \$ 7.200,00 | | | | | |
| | | | | \$ 15.133,65 | | | \$ 15.133,65 | \$ 17.633,65 | |
| Equipos | | | | | | | | | |
| Detalle | Cantidad | V equipo | 0,02 | Total | | | | | |
| | H | | I | HXI | | | | | |
| martillo | 1 | \$ 6.390,00 | \$ 127,80 | \$ 127,80 | | | | | |
| sERRUCHO | 1 | \$ 2.590,00 | \$ 51,80 | \$ 51,80 | | | | | |
| espatula | 1 | \$ 1.990,00 | \$ 39,80 | \$ 39,80 | | | | | |
| Engrapadora | 1 | \$ 6.990,00 | \$ 139,80 | \$ 139,80 | | | | | |
| | | | | \$ 359,20 | | | \$ 359,20 | \$ 17.992,85 | |
| Total costo directo | | | | | | \$ 17.992,85 | \$ 17.992,85 | | |
| % Imprevistos | | | | | | 8% | \$ 1.439,43 | | |
| % G. Generales | | | | | | 15% | \$ 2.698,93 | | |
| % Utilidad | | | | | | 8% | \$ 1.439,43 | | |
| Precio | | | | | | | | \$ 23.571 | |

Tabla 4.12 Análisis de Precios Unitarios muestra 25% perlita (\$/m²)

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, el valor del costo de fabricación de la muestra 50% perlita equivale a un total de \$23.571 (\$/m²).

4.7.3 Análisis de Precios Unitarios muestra 75% perlita

| Partida: | | confeccion panel 75% perlita | | | | | | | |
|-------------------------|----------|------------------------------|-------------|--------------|---------------|-------------|------------------|-------------------|--|
| Mano de Obra | | Rendimiento Equipo | | 10 m2/dia | L soc y benef | Costo Total | Costos Parciales | Costos Acumulados | |
| Equipo | N | SB+PR | | | 50% | Sub contr | | | |
| | B | C | Parcial | Total | | | | | |
| | | | C/A=D | DxB | | | | | |
| Maestro | 1 | 16666,67 | 1666,67 | 1666,67 | 833,33 | \$ 2.500,00 | | | |
| | | | | | | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | \$ 2.500,00 | |
| Materiales | | | | | | | | | |
| Designacion | Uni | Cantidad | Valor | Costos Par | | | | | |
| Plancha maciza 15mm | un | 0,335 | \$ 7.190,00 | \$ 2.408,65 | | | | | |
| Listones 1x2 pino | un | 1,25 | \$ 860,00 | \$ 1.075,00 | | | | | |
| bolsa de basura 90x70cm | un | 2 | \$ 80,00 | \$ 160,00 | | | | | |
| Yeso | Kg | 19,52 | \$ 110,00 | \$ 2.147,20 | | | | | |
| Perlita | Lts | 60 | \$ 180,00 | \$ 10.800,00 | | | | | |
| | | | | \$ 16.590,85 | | | \$ 16.590,85 | \$ 19.090,85 | |
| Equipos | | | | | | | | | |
| Detalle | Cantidad | V equipo | 0,02 | Total | | | | | |
| | H | | I | HXI | | | | | |
| martillo | 1 | \$ 6.390,00 | \$ 127,80 | \$ 127,80 | | | | | |
| sERRUCHO | 1 | \$ 2.590,00 | \$ 51,80 | \$ 51,80 | | | | | |
| espatula | 1 | \$ 1.990,00 | \$ 39,80 | \$ 39,80 | | | | | |
| Engrapadora | 1 | \$ 6.990,00 | \$ 139,80 | \$ 139,80 | | | | | |
| | | | | \$ 359,20 | | | \$ 359,20 | \$ 19.450,05 | |
| Total costo directo | | | | | | | \$ 19.450,05 | \$ 19.450,05 | |
| % Imprevistos | | | | | | | 8% | \$ 1.556,00 | |
| % G. Generales | | | | | | | 15% | \$ 2.917,51 | |
| % Utilidad | | | | | | | 8% | \$ 1.556,00 | |
| Precio | | | | | | | | \$ 25.480 | |

Tabla 4.13 Análisis de Precios Unitarios muestra 75% perlita (\$/m²)

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, el valor del costo de fabricación de la muestra 75% perlita equivale a un total de \$25.480 (\$/m²).

5. Conclusiones y propuestas de futuras investigaciones

5.1 Conclusiones

En general, el elemento propuesto tiene puntos a favor que muestran una ventana a un posible aporte a la problemática energética, pero, por otro lado, presenta una serie de problemáticas e inconvenientes que exigen realizar una mejora en algún estudio posterior para perfeccionar y potencialmente llegar a generar un elemento constructivo que brinde una eficacia mayor a la obtenida hasta este punto.

Con respecto al ensayo térmico el panel propuesto efectivamente genera una oposición al paso del calor y el porcentaje de perlita añadida interfiere directamente en las cualidades térmicas del elemento, al comparar los resultados obtenidos con la muestra patrón, se genera una mejora en el diferencial térmico y en el coeficiente de transmitancia térmica al aumentar el porcentaje de perlita en los paneles. De hecho la muestra patrón presenta un diferencial térmico de $7,02^{\circ}\text{C}$ y un coeficiente de transmitancia térmica de $1,37 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$, mientras que el panel que cuenta con 25% de agregado de perlita mineral expandida alcanza un diferencial térmico de $13,58^{\circ}\text{C}$ y un coeficiente de transmitancia térmica de $1,34 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$, el panel con 50% de agregado de perlita mineral expandida un $15,54^{\circ}\text{C}$ y un coeficiente de transmitancia térmica de $1,33 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$ y el panel con 75% de agregado de perlita mineral expandida alcanza un $18,03^{\circ}\text{C}$ en 2 horas y un coeficiente de transmitancia térmica de $1,31 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$, por lo que se concluye que el agregado de perlita efectivamente mejora las propiedades del panel con respecto a la muestra patrón que contiene solo yeso, además presentan mejores cualidades térmicas que el sistema constructivo Isomur, ya que este presenta un coeficiente de transmitancia térmica de $1,52 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$, generando así, que al implementar el panel en una vivienda en invierno, el calor en el interior de la vivienda se perderá en menor proporción, y al ser utilizado en verano el panel permitirá que el calor del ambiente penetre a la vivienda en un menor porcentaje, lo que se traduce en menor uso potencial de energías no renovables.

Con respecto al ensayo acústico al aumentar el agregado de perlita, también se produce una mejora en el índice de absorción del panel, en todas las frecuencias, con respecto

a la muestra patrón. La muestra patrón tiene un índice de absorción promedio de 12,7 (dB), mientras que el panel con 25 % de perlita 13,5 (dB), el panel con 50% de perlita 15,7 (dB), y el panel con 75% 17,1 (dB). Además, a medida que la frecuencia aumenta, los elementos en general presentaron un mayor índice de absorción alcanzando así un índice de 22,6 (dB) como máximo en la configuración con 75% de volumen de perlita en la frecuencia de 2000 (Hz), por otro lado, los resultados más desfavorables, se obtuvieron en las frecuencias bajas alcanzando uno de los niveles más bajos alrededor de los 315 (Hz).

Sin embargo, al establecer la comparación con un producto certificado, como lo es el Tabique Isomur los resultados no son óptimos, ya que este presenta un índice de absorción promedio de 30(dB), que es el mínimo que exige la Nch 352 of 2000 para ruidos provenientes del mismo recinto, esto se produce por el bajo índice de absorción del yeso, que incluso al agregarle la perlita no alcanza a satisfacer la norma, sin embargo, esto podría solucionarse al aumentar el espesor del panel, o, al forrar el panel por uno o ambos lados con planchas yeso cartón debido al bajo espesor que tienen los paneles propuestos.

Con respecto a los ensayos mecánicos, señalar que el panel propuesto cumple a cabalidad con la resistencia al impacto que exige la Nch 146 of 2000 en todas sus configuraciones e incluso en la muestra patrón.

Con respecto al ensayo a Flexión al aumentar el porcentaje de perlita mineral expandida en el elemento propuesto, este reduce su resistencia, ya que, la muestra patrón alcanzo una carga de rotura de 880 (Kgf/m), la muestra con 25 % de perlita alcanza una carga de rotura de 663 (Kgf/m), la muestra con 50 % de perlita alcanza una carga de rotura de 503 (Kgf/m), y finalmente la muestra con 75 % de perlita alcanza una carga de rotura de 305 (Kgf/m), quedando esta última, fuera de norma, ya que se exige como mínimo una carga de rotura de 500 (Kgf/m).

De esta forma los paneles podrían clasificarse según indica la Nch 806 of 1971 en 7H-RT1c, el primer dato indicando el tipo según su forma de fabricación (VII: Mixto, debido al utilizar la perlita en conjunto con el yeso) , el segundo dato según el material dominante (H: Mixto, debido al utilizar la perlita en conjunto con el yeso), y un 3er dato con respecto a las resistencias a la flexión (RT1c: grado “1” debido a su carga de rotura y subgrado “c” debido a la deformación admisible en mm).

En cuanto al análisis económico llevado a cabo durante el estudio, es necesario indicar que la fabricación de los paneles fue realizada en forma artesanal, por lo que, el precio de fabricación que se muestra en los resultados esté ligado netamente a este tipo de fabricación.

El costo total de la fabricación del panel yeso-perlita por m² es de \$21.650 para el panel con 25% de perlita, \$23.571 para el panel con 50% de perlita y \$25.480 para el panel con 75% de perlita considerando mano de obra, maquinaria y herramientas y materiales, valor que seguramente, es considerado alto, por ello, analizando los ejemplos entregados, surge la necesidad de implementar procesos tanto de mecanización como de diseño de procesos industriales que busquen disminuir los tiempos de confección, disminuir la mano de obra involucrada en la fabricación y aumentar el rendimiento de elaboración del panel, puntos que ayudan a disminuir el valor total que tiene la fabricación de cada elemento y además brindarían la posibilidad de confeccionar paneles a mayor escala y en mayores cantidades.

El método constructivo asociado a los paneles, es el mismo que el sistema constructivo Isomur, en el cual los bloques de yeso-perlita cuentan con cantos machihembrados en sus bordes, que conforman una albañilería autosoportante no estructural permitiendo así, generar divisiones interiores en edificaciones.

El tabique sólido de yeso perlita se encuentra dirigido al mercado de viviendas y edificios, para ser usado como tabiquería, dividiendo espacios interiores, áreas comunes y/o unidades de construcción (departamentos, oficinas, locales comerciales, hospitales, colegios, bodegas).

En general los objetivos propuestos en el comienzo del presente estudio se cumplieron de manera satisfactoria y el panel propuesto presenta características con propiedades que lo podrían situar como un material o sistema constructivo que pueda competir en el mercado actual y que además genere un aporte a la eficiencia energética.

5.2 Propuestas de Investigaciones Futuras

- Se propone realizar paneles yeso-perlita con distinta configuración y distintos espesores.

- Se propone revestir el panel yeso-perlita con algún material como podría ser la plancha de yeso cartón, por una o ambas caras, y realizarle los mismos ensayos para aumentar las propiedades del elemento, y dándole la posibilidad de ser utilizado en otras áreas, como áreas húmedas.

- Se propone la fabricación de algún material en donde la perlita actúe como elemento principal en conjunto con algún otro aglomerante.

- Se propone realizar ensayos de compresión y de penetración para tener un análisis más completo de las resistencias mecánicas del elemento, además del ensayo de resistencia al fuego para tener la referencia de este y clasificarla según la norma correspondiente.

Bibliografía.

Alihosseini, A; Taghikhani, V; Safekordi, AA y Bastani, D. 2010. Sorción de equilibrio del petróleo crudo por perlita expandida usando isothermas de adsorción diferentes a 298,15 k. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambientales* 7: 591-598.

Anonymus. 2013.

Fabián Ariel Aravena flores (2013): Factibilidad técnica y evaluación económica de una propuesta de panel en base a yeso, pulpa de papel reciclado y fibra de polipropileno. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor y al grado de licenciado en ciencias de la construcción. Valparaíso, Universidad de Valparaíso, Facultad de Arquitectura

López, C. (2013). Evaluación técnica y económica de propuesta de aislación térmica en base a papel de diario reciclado con revestimiento de yeso para acondicionamiento de viviendas sociales. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor y al grado de licenciado en ciencias de la construcción. Valparaíso, Universidad de Valparaíso, Facultad de Arquitectura

Piero Arias Ormazábal (2014): Mortero de baja densidad con agregado de perlita mineral expandida y su comportamiento frente a la acción del fuego. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor y al grado de licenciado en ciencias de la construcción. Valparaíso, Universidad de Valparaíso, Facultad de Arquitectura

Instituto Nacional de Estadística. Censo 2002. Santiago de Chile: Gobierno de Chile, 2003.

Hong, S., Gilbertson, J., Oreszczyn, T., Green, G., Ridley, I. "A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment". *Building and Environment*. 2009, vol. 44, p. 1228-1236.

Forcael, R., Garrido, M. Estimación de la demanda energética de viviendas en Temuco. Temuco: Departamento de Ing. De Obras Civiles, Universidad de la Frontera, 2010.

Wegertseder, Paulina, Schmidt, Denisse, Hatt, Tobias, Saelzer, Gerardo, & Hempel, Ricardo. (2014). Barreras y oportunidades observadas en la incorporación de estándares de alta eficiencia energética en la vivienda social chilena. *Arquitectura y Urbanismo*, 35(3), 37-49.

Cansario, M. (2005) Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada: Estudio estructural y optimización. Universidad politécnica de Catalunya. España, Barcelona.

Alejandra C. González. 2010. Propuesta de Aislante Térmico en Base a Papel de Diario Reciclado para el Acondicionamiento de Viviendas Sociales Considerando Criterios Medioambientales y Técnicos. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor y al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción. Valparaíso. Universidad de Valparaíso. P.2

Martínez, J. 2005. Los sistemas estructurales en la arquitectura contemporánea. En: Conferencia impartida en el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid el 21 de febrero de 2005

Nch 806 of 1971: Arquitectura y Construcción – Paneles Prefabricados – Clasificación y Requisitos

NCh803 of 2003: Elementos de Construcción – Paneles – Ensayo de Flexión

NCh 851 of 1983: Aislación Térmica – Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica

NCh 849 of 1987: Aislación Térmica – Transmisión Térmica – Terminología, Magnitudes, Unidades y Símbolos

Romeral. La Empresa <https://www.romeral.cl>

Anexos

Especificaciones técnicas sistema constructivo Isomur:

Isomur simple (ST o RH)

Espesor 60 mm

Aislamiento Acústico STC: 30

Peso Bloque 14 Kg./bloque

Resistencia al Fuego F-30 (según Nch935/1 Of. 1997)

Peso Estructural 42 Kg./m²

Coefficiente de Transmitancia Térmica 1,5118 Watt/(m² x °K)

Isomur compuesto

Espesor 73 mm a 95 mm según

Aislamiento Acústico STC: 32 - 35

Peso Bloque 19.1 Kg./bloque

Resistencia al Fuego F-90 a F-120 (según Nch935/1 Of. 1997)

Peso Estructural 57.4 Kg./m²

Coefficiente de Transmitancia Térmica 0.9773 Watt/(m² x °K)

Fuente: Romeral