



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN**

**Influencia de la incorporación de fibra de coco en
comportamiento mecánico y termo acústico en
planchas de yeso**

POR

Juan Carlos Alvear Solís

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

Profesor guía: Alberto Moya Arredondo

Julio, 2019

*Dedico esta tesis a mi padre,
quien se ha preocupado siempre de
mi formación educacional y personal.
Por sus años de esfuerzo y dedicación.
Juan Carlos Alvear Gil.*

Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecerle a mis padres Juan Carlos Alvear Gil y Rachel Solís Morales los cuales nunca dejaron de creer en mí, además fueron un pilar importante a lo largo de mis años de estudios y formación como persona, sin los valores que me entregaron nada de esto sería posible.

A Patricia Herreros, compañera de vida y madre de mis hijos que me ha apoyado incondicionalmente desde el principio en este proceso universitario y que sin duda junto a ellos han sido mi mayor motivación para terminar este proceso.

Quisiera agradecer a la escuela en general por todo el conocimiento que me entregaron para mi formación como profesional en especial a Don Alberto Moya, porque desde que ingrese a esta a carrera el año 2014 pude contar con su apoyo y consejos que me sirvieron a lo largo de la carrera.

A nuestras queridas secretarias de nuestra carrera Emperatriz y Fabiola por su gran voluntad en los favores que estuvieran a su alcance, por su buen ánimo y cortesía con los alumnos y sobre todo por el cariño día a día q me entregaron.

Por ultimo agradecer a mis compañeros Felipe Vidal, Camilo Cabrera, Luis Bustos entre otros, con los cuales compartimos mucho tiempo dentro y fuera de la universidad apoyándonos como buenos compañeros.

ÍNDICE

GLOSARIO	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I: Antecedentes generales.....	12
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Objetivos de la investigación.....	15
1.2.1 Objetivo General:	15
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	15
1.3 Alcances.....	16
CAPÍTULO II: Marco teórico.....	17
2.1 Generalidades	18
2.2 Ventajas del ahorro energético.....	19
2.3 Concepto térmico y de acondicionamiento	20
2.3.1 Confort térmico	20
2.3.2 Aislante térmico	21
2.3.3 Transferencia de calor	21
2.3.4 Conductividad térmica	22
2.3.5 Clasificación de la conductividad térmica	24
2.3.6 Flujo térmico	24
2.3.7 Resistencia térmica	25
2.3.8 Transmitancia térmica.....	26
2.4 Materiales	27
2.4.1 Yeso	27
2.4.1.1 Propiedades del yeso	28
2.4.2 Clasificación de las fibras según origen.....	29
2.4.3 Fibra de coco (FC).....	30
2.4.3.1 Ventajas de la fibra de coco como aislante.....	31
2.4.3.2 Investigaciones.....	32
2.4.3.3 Investigaciones de cemento reforzado con fibras de coco.....	32

2.5 Clasificación de paneles	33
2.5.1 Según tipo.....	34
2.5.3 Según grado.....	35
2.6 Clasificación del nivel sonoro	37
2.6.1 Tipos de ruidos	38
CAPÍTULO III: Metodología de la investigación	39
3.2.1 Definición de variables	42
3.2.2 Adquisición de materiales	42
3.2.2.1 Caracterización de las fibras de coco utilizada.....	42
3.2.3 Confección de la placa.....	44
3.2.4 Ensayo de aislación térmica mediante cámara térmica.....	48
3.2.5 Ensayo acústico	50
3.2.6 Ensayo mecánico, resistencia a la flexión.	51
3.2.7 Ensayo de resistencia al impacto	51
3.2.7 Ensayo de absorción de humedad	52
3.2.8 Estudio de densidades.....	53
CAPÍTULO IV: Presentación y análisis de resultados	54
4.1 Contenido de humedad.....	55
4.1.1 Resultados porcentaje de humedad de fibra de coco	55
4.2 Absorción de agua.....	56
4.2.1 Resultados de absorción de la fibra de coco.....	57
4.3 Densidad neta	57
4.3.1 Resultado densidades Fibra de coco.....	58
4.3.2 Densidad aparente	59
4.4 Ensayos a las placas.....	59
4.4.1 Ensayos de resistencia a la flexión	60
4.4.2 Ensayo de resistencia al impacto	61
4.4.3 Ensayo de aislación térmica	63
4.4.4 Ensayo acústico	80
4.4.5 Resultado de densidad aparente	84
4.4.6 Ensayo de absorción de humedad	85
CAPÍTULO V: Conclusiones y futuras investigaciones	87

5.1 Conclusiones generales	88
5.2 Conclusión ensayo a flexión	88
5.3 Conclusión ensayo al impacto	89
5.4 Conclusión ensayo temperatura en las caras.....	89
5.5 Conclusiones ensayo acústico	90
5.6 Conclusiones ensayo de densidad y absorción de agua	90
5.7 Propuestas de Investigaciones Futuras.....	91
CAPÍTULO VI. Bibliografía	92

GLOSARIO

Aislación térmica: Capacidad de oposición al paso de calor de un material, que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior.

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

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

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

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

Frecuencia (f): Número de pulsaciones de una onda acústica senoidal ocurridas en un tiempo de un segundo. Se mide en ciclos por segundo (s-1) o Hertz (Hz).

Decibel (dB): Unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, el decibel es utilizado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora.

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

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

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pérdidas y ganancia por la envolvente.....	19
Figura 2: Transmisión de calor en los edificios.....	21
Figura 3: Industrialización de la fibra de estopa de coco	29
Figura 4: Coco de palma nucífera.....	30
Figura 5 Aislante de fibra de coco	31
Figura 6 limites audibles y amplitud de onda	38
Figura 7 Metodología de trabajo.....	40
Figura 8 Procesado de cascara	43
Figura 9: Compactadora de la fibra de coco	43
Figura 10: Confección de moldes	45
Figura 11: desmolde de placas.....	46
Figura 12: Cámara térmica	48
Figura 13:Xplorer GLX.....	49
Figura 14: Maquina para determinar la resistencia a la flexión.....	51
Figura 15: Bola de acero Normalizada de 50 mm	52
Figura 16: Grafico, Fibra de coco v/s carga de rotura	61
Figura 17: Grafico, promedio de hendiduras registradas en ensayo de impacto	62
Figura 18: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min), muestra patrón.....	66
Figura 19: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) 3% de fibra de coco	69
Figura 20: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min), placa con 5 % de fibra de coco	72
Figura 21: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min), placa con 8 % de fibra de coco	75
Figura 22: Grafico, Diferencia de T° entre las caras y ambiente (°C) v/s tipo de muestra.....	77
Figura 23: Grafico, Índice de absorción (dB) v/s Frecuencia (Hz)	83
Figura 24 Grafico, absorción de humedad NCh 146 of. 2000	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la conductividad térmica	24
Tabla 2 Exigencias de transmitancia térmica en viviendas según zona	25
Tabla 3: Coeficiente de conductividad térmica del yeso y otros materiales.	28
Tabla 4: Coeficiente medio de absorción acústica para diversos materiales	28
Tabla 5: Concreto reforzado con fibras naturales.....	32
Tabla 6: Carga de rotura y límite de proporcionalidad RC	35
Tabla 7: Deformación admisible RC	35
Tabla 8: Carga de rotura y límite de proporcionalidad RH.....	36
Tabla 9: Deformación admisible RH	36
Tabla 10: Carga de rotura y límite de proporcionalidad RT	36
Tabla 11: Deformación admisible RT.....	37
Tabla 12: Niveles sonoros de referencia	37
Tabla 13: Tipos de ruidos	38
Tabla 14: Tipos de paneles	44
Tabla 15: Características de la placa para ensayo termo acústico.....	47
Tabla 16: Características de la placa para ensayos de flexión	47
Tabla 17: Características de la placa para ensayos de impacto	47
Tabla 18: Porcentaje de humedad en la fibra	55
Tabla 19: Absorción de la fibra.....	57
Tabla 20: Densidades fibra de coco	58
Tabla 21: Densidad aparente de la fibra de coco.....	59
Tabla 22: Carga máxima aplicada para ensayo de flexión	60
Tabla 23: Ensayos de resistencia al impacto de yeso con fibra de coco	62
Tabla 24: Diferencia de Temperaturas muestra patrón.....	64
Tabla 25: Temperatura simultaneas medidas durante el ensayo muestra patrón.....	65
Tabla 26: Diferencia Temperaturas placas con 3 % fibra de coco.....	67
Tabla 27: Temperatura simultanea durante el ensayo 3% de fibra de coco	68
Tabla 28: Diferencia Temperaturas placa con 5 % de fibra de coco	70
Tabla 29: Temperatura simultaneas medidas durante el ensayo, placa con 5 % de fibra de coco ..	71
Tabla 30: Diferencia Temperatura placa con 8 % de fibra de coco.....	73
Tabla 31: Temperatura simultanea medidas durante el ensayo, placa con 8 % de fibra	74
Tabla 32 Cuadro de resumen de diferencial térmico.....	76
Tabla 33 Resultados ensayo térmico poliestireno expandido	78
Tabla 34 Cálculo de la conductividad térmica de las placas propuestas	78
Tabla 35 Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica de las placas	79
Tabla 36: Medición de decibeles con ensayos acústico	80
Tabla 37" Medición acústica en la cámara.....	81
Tabla 38: Índice de absorción, ensayo acústico	82
Tabla 39 Reducción de decibeles de cada configuración.....	82
Tabla 40: Densidades aparentes de las distintas placas	84
Tabla 41: Absorción de humedad yeso con fibra de coco	85

RESUMEN

La problemática que genera el consumo de energía no renovables para la calefacción de las viviendas así como la quema de leña nos hace pensar en mejorar la tecnología existente o buscar materiales sustentables que vayan de la mano con el ambiente como son los residuos orgánicos en este caso la fibra de coco , así desarrollamos nuevas tecnologías.

El siguiente estudio presenta la fabricación de un elemento aislante en base a yeso y fibra de coco para ser utilizado como revestimiento de interior en tabiquerías, cielos, muros, etc. y busca entregar soluciones mecánicas y termoacústicas.

Esta investigación consistió en diseñar y construir placas de yeso con fibra de coco las cuales fueron sometidas a ensayos de flexión, impacto, ensayos térmicos y acústicos, midiendo las diferencias de temperatura y disminuciones acústicas producidas, ensayos de absorción de humedad y densidad para evaluar el comportamiento físico, mecánico y termoacústico que otorga la fibra de coco al yeso.

Se fabricaron 4 configuraciones del elemento aislante, la primera una muestra patrón sin fibra de coco la cual se comparó con las otra 3 configuraciones con 3% de fibra de coco incorporada en la placa, 5% y 8% de fibra de coco incorporado en la placa y se mantuvieron los mismos espesores para cada placa.

Algunos de los resultados fueron favorables, obteniendo que la dosificación con mayor cantidad de fibra de coco (8%) presentó mejores resultados mecánicos de flexión e impacto cumpliendo con los estándares mínimos de la O.G.U.C. sirviendo como refuerzo a la placa, pero aumento la absorción de humedad a medida que se incorporaba más fibra de coco siendo esto desfavorable para la placa. También los ensayos térmicos resultaron mejor con la incorporación de fibra de coco disminuyendo la conductividad térmica y con esto se podrá disminuir el consumo energético en calefacción de las viviendas y los ensayos acústico solo tuvieron mejoría en la absorción de sonidos agudos.

PALABRAS CLAVES: Sustentable, fibra de coco reciclada, aislación termoacústica .

ABSTRACT

The problem that generates the consumption of non-renewable energy for heating homes and the burning of firewood gives us the reason to improve existing technology or the search for sustainable materials that go hand in hand with the environment such as waste organic in this case Coconut fiber, well we develop new technologies.

The following study presents the manufacture of an insulating element in the base of the coconut fiber for use as the interior of partitions, skies, walls, etc. and look for thermoacoustic solutions.

This investigation consisted in the construction and manufacture of gypsum boards mixed with different percentages of coconut fiber, the parts that were treated by a test of flexion, impact, thermal-acoustic tests inside a thermal chamber, mid-temperature differences and acoustic decreases produced, moisture and density absorption tests to evaluate the physical, mechanical and thermoacoustic behavior that coconut fiber gives to the plaster.

Four configurations of the insulating element were manufactured, the first a standard sample without coconut fiber, which was compared with the other, 3 configurations with 3% coconut fiber incorporated in the plate, 5% and 8% coconut fiber incorporated in the plate and the same thicknesses were maintained for each plate.

Some of the results were favorable, obtaining the greatest amount of coconut fiber (8%), the best mechanical results of bending, but the increase of humidity in a measure that incorporated more fiber in this unfavorable for the plate. Thermal tests were also better with the addition of coconut fiber, as well as acoustic, which was only taken into account in the absorption of high-pitched sounds. Because of the foregoing, the design of this construction system continues to be perfected.

KEYWORDS: Sustainable, recycled coconut fiber, thermoacoustic insulation.

CAPÍTULO I: Antecedentes generales

1.1 Planteamiento del problema

Como sociedad, hemos tenido una excesiva dependencia de la energía y la mayoría no son renovables (Martínez 2005). El sector de la construcción y de la industria en general provocan deterioro de la naturaleza, el 25% de los residuos son desechos por la construcción y demolición (Alarcón, 2005) y más del 70% de la energía mundial se mueve alrededor de este sector (Oteiza y Tenorio, 2007).

Según Millenium Ecosystem Assessment (2005) los efectos medioambientales potencian aún más la diferencia social y económica entre los países ricos y pobres.

En Chile el 2013, la Explotación de Minas y Canteras generó la mayor cantidad de residuos peligrosos 178.427,6 toneladas, lo que representa el 42% de los residuos peligrosos a nivel nacional, seguida por la Industria manufacturera 149.593 toneladas, con un 35% del total (Sistema nacional de información ambiental, 2016) y entre el año 2000 y el 2011, los residuos sólidos eliminados en sitios de disposición final aumentaron un 26%, pasando de aproximadamente 4.520.000 toneladas a unas 6.142.000 toneladas (Ministerio del medio ambiente, 2015)

Además, Chile importa las principales fuentes de energía, 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 (Comité nacional de energía, 2007), situación que genera un golpe económico considerable al momento de utilizar dichas fuentes como medio para alcanzar alguna confortabilidad térmica en los hogares, considerando que el 27% del consumo de energía secundaria en Chile corresponde al servicio comercial, residencial y público (González 2010).

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).

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

Es por esto por lo que se busca asegurar el ahorro de energía con la construcción en base a materiales con una buena aislación térmica, en este sentido, no solo mediante el desarrollo de estrategias de aumento de eficiencia aplicadas a las viviendas (paneles solares, luces eco., ventilación, sist. aire acondicionado), sino a través de cambios estructurales

(Naredo 2007), e incorporando nuevas técnicas orientadas al ahorro, la eficiencia y la mejora del confort doméstico (buen ambiente), formándose dentro de este nuevo contexto, un nuevo concepto llave correspondiente a la eficiencia energética (Ruiz-Larrea 2005).

Dicho lo anterior, surge la necesidad de estudiar e investigar elementos constructivos y/o arquitectónicos que demanden menos energía y cuyo ciclo de vida generen menos impacto en el ambiente.

Los productos deben incorporar características sostenibles, como la posibilidad de ser reciclado o valorizado en algún momento de su ciclo de vida y así, poder ser reintroducido de nuevo en la actividad industrial, y al ser complementado con una correcta gestión de los residuos industriales completando así el ciclo de vida del producto (Mora, 2006).

En los últimos 30 años los investigadores interesados han realizado numerosos trabajos para obtener información sobre el cemento con fibras naturales como la del yute, lino, bambú, caña de azúcar, fibra de coco, etc. Describiendo como lo refuerza y las características que adquiere (Juárez, 2002).

Por ello se plantea esta investigación que pretende evaluar la efectividad de usar planchas de yeso con Fibra de Coco y aplicarlo en las viviendas.

La fibra de coco es un material caracterizado por su alta resistencia a la flexión y su durabilidad, principalmente debido a su alto contenido de lignina en comparación con otras fibras naturales. La gran disponibilidad en Brasil de fuentes de fibras vegetales ricas en celulosa, como el coco y su bajo costo, justifican el uso de estas fibras como fuente de materia prima para obtener materiales biodegradables reforzados con fibra de coco. La ventaja de usar este material incluye el carácter renovable, sus propiedades mecánicas mejoradas y su bajo coste en comparación con las nano fibras sintéticas (Machado et al., 2014)

El estado de Río de Janeiro, en el verano, produce cerca de 12000 t / mes de corteza de coco, lo que hace urgente la necesidad de iniciativas que tengan en cuenta su utilización. El uso de tales fibras puede conducir a la producción de materiales de bajo costo (Ishizaki et al., 2006)

La fibra de coco por sus características naturales, ofrece más intercambio de calor y respira mejor que los productos de origen petroquímico; asimismo no es combustible (Rapel, 2003). Además, es reciclable, renovable, no tiene efectos contaminantes, también tiene un alto contenido de espacio poroso para retener aire, buena capacidad de re humectación, baja densidad aparente y de fácil manejo. (Palacios, 2005).

Es por esta razón se propone realizar el estudio de este elemento de revestimiento (planchas con fibra de coco), que pretende mejorar las características mecánicas y físicas con la adición de fibra de coco u otorgar propiedades adicionales que permitan mejorar la eficacia del elemento completo.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General:

- Evaluar la influencia de la incorporación de fibra de coco (FC) en el comportamiento mecánico y termo acústico de una placa de yeso

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar las características térmicas del elemento propuesto
- Evaluar las características acústicas del elemento propuesto
- Determinar las propiedades mecánicas de flexión e impacto del elemento propuesto
- Determinar las características físicas de densidad del elemento
- Determinar la absorción de humedad del elemento propuesto

1.3 Alcances

- El estudio se realizará en las dependencias de los laboratorios de hormigón de la Universidad de Valparaíso, ubicados en Playa Ancha, Valparaíso, V Región.
- La investigación es experimental y se enfoca en construcción de un nuevo panel utilizando para la fabricación yeso blanco y fibra de coco
- Los resultados obtenidos de los ensayos en laboratorios a los ensayos térmicos y acústicos, son válidos para las condiciones establecidas en el laboratorio.
- Los estudios no contemplan evaluaciones sísmicas.

CAPÍTULO II: Marco teórico

2.1 Generalidades

La aislación de las viviendas en Chile se encuentra regida por la reglamentación térmica establecida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en su artículo 4.1.10, basada en cálculos de la norma NCh853: "Acondicionamiento térmico - Envolverte térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas" y en una zonificación del país en 7 zonas térmicas según grados-día, especificados en el manual de aislamiento térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).

En Chile, las viviendas gastan el 22 % del total de la energía consumida, de esto se utiliza un 56 % para la calefacción, eso es aproximadamente un 12 % del consumo nacional de energía, y a su vez cerca del 60% de la energía utilizada para calefacción se pierde a través de la envolvente de los edificios. La principal fuente de energía para la calefacción residencial es la leña, pero en las ciudades predominan la parafina y el gas licuado (Blender, 2012).

La envolvente de un edificio es el conjunto de cerramientos exteriores de la edificación o vivienda (piso, muros y techo) que protegen a los usuarios de la intemperie.

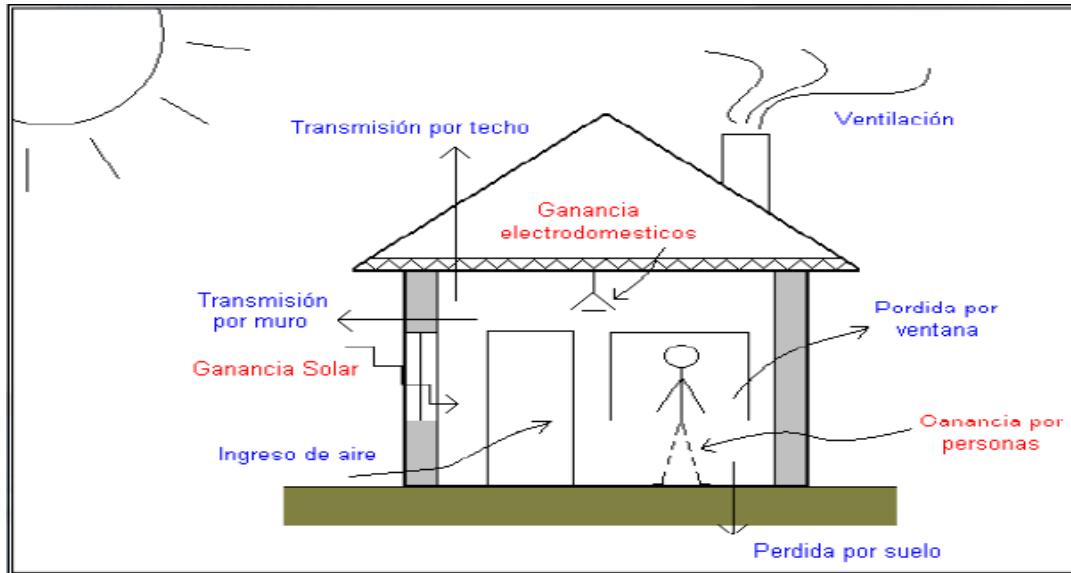
Una envolvente térmica es una envolvente con reducida transmisión del calor. Esto se logra por medio de la aplicación de "aislantes térmicos" que son materiales con una baja conducción de calor, además de medidas que reducen las (in)filtraciones de aire y de humedad, hacia y por los elementos que conforman la envolvente.

Al mejorar la envolvente térmica por medio del reacondicionamiento se espera:

- Mejorar el confort térmico de los usuarios del edificio (vivienda).
- Reducir el consumo de energía relacionando con el acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración), además de rebajar el gasto asociado a la calefacción.
- Reducir los efectos negativos y riesgos asociados al consumo energético (ej. contaminación del aire interior y exterior, emisiones de CO₂).
- Disminución del riesgo de condensación en elementos perimetrales.
- Aminoramamiento de enfermedades relacionadas a periodos invernales.
- Minimizar la presencia de los denominados puentes térmicos.

En la figura 1 a continuación se muestra por donde se pierde calor a través de la envolvente y cuáles son los focos de ganancia de calor en una vivienda

Figura 1 Pérdidas y ganancia por la envolvente



Como se muestra en la figura las ganancias de temperatura son por las personas que habitan la vivienda , por los electrodomésticos que se usan en ella y por la energía solar así como las pérdidas se ven reflejadas en por la ventilación propiamente tal por los parámetros de la vivienda , por la techumbre, ventanas y por la parte baja de la vivienda (el suelo)

2.2 Ventajas del ahorro energético

Para alcanzar el bienestar habitacional se genera la iniciativa de construir y/o acondicionar viviendas, generando soluciones que permitan la aislación térmica, con ello producir una disminución en el uso de energías.

Dentro de las ventajas se puede destacar:

- El ahorro energético genera una reducción de la vulnerabilidad del país a raíz de la dependencia de importación de energéticos y por lo tanto, mayor independencia energética utilizando energías propias, promoviendo el aumento de la economía local.
- Contribución al desarrollo del país, al liberar porciones de energía para destinarlos a los sectores públicos, a la captación de inversiones y al sector residencial

- Reducción de costos de abastecimientos energéticos para la economía en su conjunto.
- Ahorro de dinero por reducción de energía en los consumidores y la industria
- Se reduce la utilización y quema masiva de leña para obtener energía y la consiguiente deforestación del país, en cocción doméstica y necesidades térmicas en las industrias
- Reducir la vulnerabilidad de las familias a los riesgos de enfermedades, especialmente a las respiratorias contraídas en el hogar debido a prácticas insalubres en el manejo de la energía en el sector residencial
- Reducir las emisiones contaminantes de CO₂ (dióxido de carbono) a la atmósfera, y por tanto detener el calentamiento global del planeta y el cambio climático.

2.3 Concepto térmico y de acondicionamiento

2.3.1 Confort térmico

El término de confort térmico se refiere a la condición de satisfacción que una persona siente por el ambiente en el que se encuentra desarrollando sus actividades en el interior del hogar. El confort térmico puede condicionar el vivir día a día de una persona, generando agrado por realizar una determinada actividad en el caso de que se alcance un nivel adecuado de confort térmico, y, por otro lado, puede generar desagrado y dificultad para realizar la misma actividad cuando no se llega a tener un adecuado confort.

Para poder alcanzar un confort térmico satisfactorio necesitamos poner atención en una serie de detalles, dentro de los cuales destacan:

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

El confort térmico, está comprendida en el rango de los 17°C a los 24°C, que, complementado con la temperatura del cuerpo humano correspondiente a 37°C, genera una satisfacción y un equilibrio con la temperatura que lo envuelve (Rodríguez 2010).

2.3.2 Aislante térmico

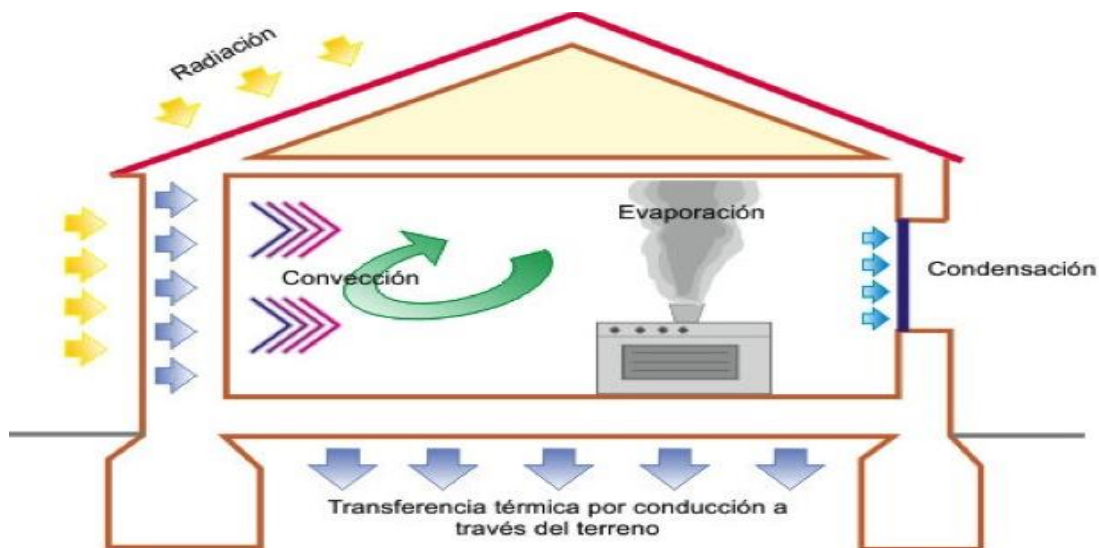
El volumen de aire alojado en los poros de un material y su humedad resultan relevantes para el efecto de aislamiento térmico. Mientras más ligero el material, mayor es su aislamiento térmico y mientras más húmedo el material menor es su efecto aislante. (Minke, 2001). Todo material aislante presenta cierta resistencia al paso de calor. Para ser más específico, se puede considerar como aislante térmico cualquier material con un bajo coeficiente de conductividad térmica, es decir, aquellos materiales que presenten una resistencia importante al flujo de calor.

2.3.3 Transferencia de calor

Corresponde al proceso resultante de una transmisión de energía entre dos o más cuerpos. El flujo de calor va desde el cuerpo con mayor temperatura hasta el de menor temperatura, intentando alcanzar la condición de equilibrio, en donde ambos cuerpos igualan su temperatura.

El calor puede ser transferido entre los objetos a través de la radiación, la conducción y la convección como se muestra en la figura 2, los cuales pueden ocurrir en forma simultánea entre sí o de manera independiente.

Figura 2: Transmisión de calor en los edificios



A continuación se definirán los distintos tipos de transferencia de calor

2.3.3.1 Conducción

Es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas, sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

2.3.3.2 Convección

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

2.3.3.3 Radiación

La radiación presenta una diferencia fundamental con las otras dos formas de propagación del calor, ya que ésta se puede transmitir sin la necesidad de estar en contacto entre las sustancias que intercambian calor, si no que pueden estar separadas por un vacío. El intercambio de calor ocurre en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través de un material o incluso en ausencia del mismo.

En resumen, para estas definiciones si se logra disminuir la transferencia de calor se podrá hacer uso de la energía de manera más eficiente, ya que para mantener calefaccionado o refrigerado un recinto se necesitará de una menor cantidad de energía.

Para comprender de mejor manera los mecanismos de transferencia de calor, se debe comprender el concepto de flujo térmico y densidad de flujo.

2.3.4 Conductividad térmica

Se define conductividad térmica a la capacidad que posee cada material o componente en dejar pasar el calor, variando para cada uno de ellos. Es posible, mediante un desarrollo experimental regularizado por la norma chilena NCh 851 para determinar la conductividad térmica de cada material, para así poder tener conocimiento de sus propiedades y analizar si

se trata de un posible aislante térmico, recordando que un material debe poseer una baja conductividad para poder lograrlo.

Por medio de la conducción térmica, el calor se transmite desde el interior hacia el exterior en situaciones donde la temperatura ambiental es baja (invierno), y, por otro lado, evitar que una temperatura muy alta se transmita desde el exterior hacia el interior (verano). Si se logra evitar lo anteriormente mencionado, es más factible alcanzar y mantener una temperatura adecuada que otorgue un confort a los habitantes, y, de lo contrario, solo queda acudir al uso de energías y sistemas adicionales para lograr calefaccionar o refrigerar y así alcanzar dicho nivel de confort. Esta aislación que se pretende entregar a las viviendas se logra con el uso de materiales o elementos que posean una baja conductividad térmica, ya que estos elementos reducen la cantidad de energía térmica que se transfiere a los distintos ambientes por medio de la conducción.

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

Ecuación 2.3: Conductividad térmica

$$\lambda = \frac{\Phi \times e}{2A \times (T2 - T1)} \left[\frac{W}{mK} \right]$$

Fuente: NCh 850 Of. 83

Donde:

λ : Conductividad térmica, W/ (m* K);

Φ : Potencia, (W)

e: Espesor promedio (m)

A: Área, m², de la placa

T2, T1: Temperaturas de las caras caliente y fría, ° Kelvin.

2.3.5 Clasificación de la conductividad térmica

Tabla 1: Clasificación de la conductividad térmica

Valor λ (w/m * °K)	Clasificación
$0,24 \leq \lambda \leq 0,038$	Muy buen aislante
$0,038 < \lambda \leq 0,12$	Buenos aislante
$0,12 < \lambda \leq 0,46$	Medianos aislante
$0,46 < \lambda \leq 1,62$	Malos aislantes
$\lambda > 1.62$	Conductores

Fuente: NCh 850 Of. 83

El aire en reposo o quieto, a 0°C, presenta una conductividad térmica muy baja de 0,024 [W/(m•K)], siendo el “material” más aislante que se puede considerar. Por esta razón, los buenos materiales aislantes son aquellos capaces de retener aire quieto en su interior, es decir, materiales porosos que encapsulan el aire, impidiendo que este circule libremente (Burgos, 2008).

2.3.6 Flujo térmico

El flujo de térmico es la cantidad de calor cambiado por unidad de tiempo , Joul por segundos (Potencia). Lo que se puede representar con la siguiente fórmula:

Ecuación 2.1 Flujo térmico

$$\phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} [W]$$

Fuente: NCh 849. Of 87

Donde:

ϕ : flujo de calor.

ΔQ : cantidad de calor transmitido.

Δt : variación de tiempo.

2.3.7 Resistencia térmica

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:

Ecuación 2.2: Resistencia térmica

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

Fuente: NCh 849 Of. 87

Dónde:

e : espesor del material (m)

λ : conductividad térmica del material (W/mK)

Además, la normativa exige valores mínimos tanto de resistencia térmica como de conductividad según zona térmica en que se encuentre ubicada la vivienda, en el siguiente cuadro se ven las exigencias según la O.G.U.C

Tabla 2 Exigencias de transmitancia térmica en viviendas según zona

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m2k	m2k/W	W/m2k	m2k/W	W/m2k	m2k/W
1	0,84	1,19	4,00	0,25	3,60	0,28
2	0,6	1,67	3,00	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,90	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,70	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,60	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,10	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,60	1,67	0,32	3,13

Fuente: Ordenanza general de urbanismo y construcción

2.3.8 Transmitancia térmica

Así como existe el concepto de resistencia térmica, su recíproco corresponde al concepto de Transmitancia térmica (U [$W / m^2 \cdot K$]), 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:

Ecuación 2.2: Transmitancia térmica

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

Fuente: NCh 849 Of. 87

Dónde:

RT : resistencia térmica (m^2K/W).

(Referencia Nch849)

2.4 Materiales

El análisis de una propuesta de un elemento de construcción nuevo, que contempla como una ayuda a la problemática actual reutilizando elementos por medio del reciclaje que también genera ahorro de energía al momento de buscar el confort térmico de los habitantes

El uso de recursos locales de materiales, incluyendo el reciclaje como forma de alargar el ciclo de vida y mejoras tecnológicas en los procesos constructivos, son alguna de las vías en las que es necesario enfatizar.

2.4.1 Yeso

El yeso es protagonista en el rubro de la construcción, 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

El yeso, o sulfato de calcio di hidrato, 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.

Ventajas y desventajas del yeso:

- Lentitud en el proceso de fraguado, lo que involucra largos tiempos de espera luego de ser aplicado en las superficies, o bien puede obligar a instalar equipos de secado complementarios que aumentan los costos asociados a dicho trabajo.
- No posee propiedades de permeabilidad, es por esta razón no puede ser utilizado en exteriores a menos que se le incorporen componentes adicionales que le permitan mejorar esta debilidad.
- Al no poseer permeabilidad el agua lo descompone y las filtraciones generan manchas amarillentas que arruinan las terminaciones.
- A pesar de estas desventajas, el yeso posee una serie de ventajas que fomentan su utilización y permiten utilizarlo frecuentemente, dentro de las cuales se pueden nombre las siguientes:
 - Necesita un bajo consumo de energía en su proceso de fabricación durante el cocido.
 - La contracción del yeso al momento de endurecer es despreciable.
 - Tiene buena adhesión a las fibras y otros materiales.
 - Buena resistencia al fuego.
 - Buena reflexión del sonido.

2.4.1.1 Propiedades del yeso

El yeso 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. Además de permite modelados y reforzar estructuras. A mayor densidad, mayor aislamiento térmico. También el acabado, más rugoso o más liso, juega un papel fundamental en esta propiedad de aislación.

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), varía dependiendo de la densidad y humedad de los revestimientos. En la tabla 3 se muestran los coeficientes de distintos tipos de yeso y otros materiales

Tabla 3: Coeficiente de conductividad térmica del yeso y otros materiales.

Tipo de yeso y otros materiales	Densidad (Kg/m ³)	Coeficiente de conductividad térmica (W/m ^{°C})
Enlucido de yeso	800	0,3
Enlucido de yeso y perlita	570	0,18
Enlucido de yeso y vermiculita	60	0,163
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042
Madera - roble	800	0,157

Fuente: Fuente: extracto anexo A.1 de la NCh 853 2007

La influencia de los revestimientos de yeso, en cuanto al aislamiento ante el ruido aéreo, no es apreciable. A la relación entre la energía acústica absorbida y la incidente sobre un material por unidad de superficie se le conoce como coeficiente de absorción. En la tabla 4 se muestran el coeficiente de absorción del yeso y otros materiales

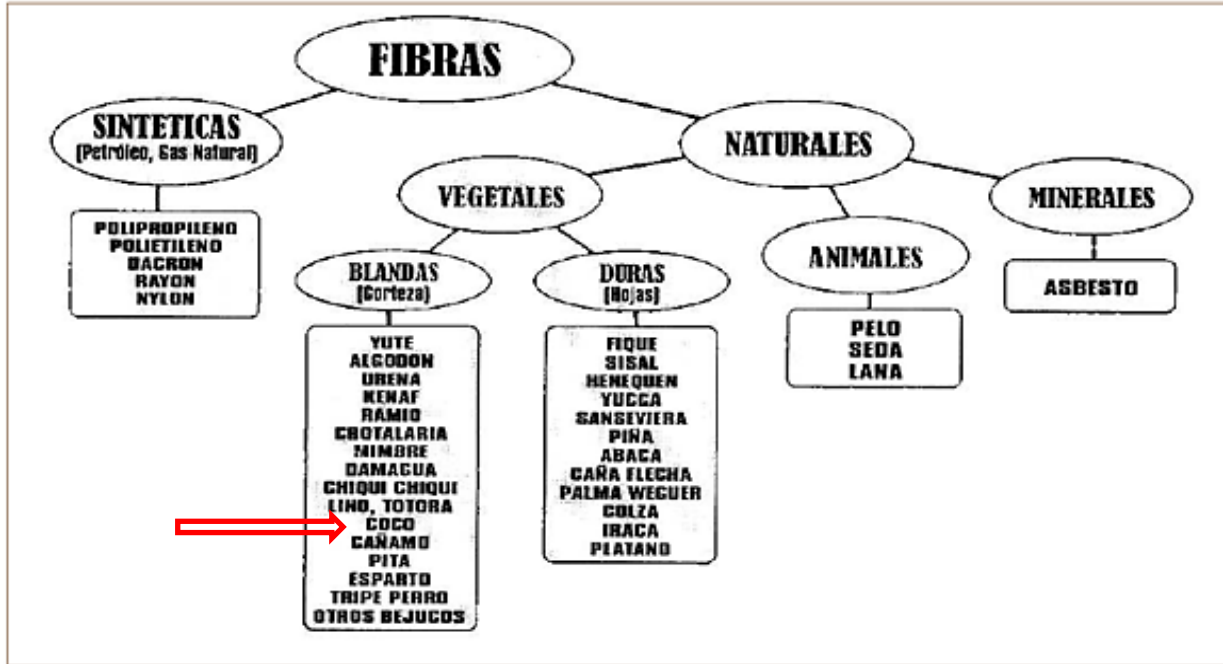
Tabla 4: Coeficiente medio de absorción acústica para diversos materiales

Material	Frecuencia (Hz)				
	125	250	500	1000	4000
Ventana abierta	1	1	1	1	1
Madera	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
Ladrillo	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Vidrio	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
Yeso	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04

Fuente: Flores Pereira 1990

2.4.2 Clasificación de las fibras según origen

Figura 3: Industrialización de la fibra de estopa de coco



Fuente: Quintanilla, 2010

La principal ventaja de las fibras naturales vegetal es la amplia disponibilidad sobre todo en los países pobres y en desarrollo (ACI Committe, 1998).

Este grupo de fibras naturales vegetales tiene un bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de fibras. La manufactura de fibras de acero, vidrio y plásticas requiere una considerable inversión económica lo que es difícil para los países pobres y en desarrollo, además, su producción genera un alto consumo de energía.

Las fibras naturales vegetales requieren menos energía en su proceso de extracción, aun siendo este mecánico (Swamy, R. N., 1990)

Las fibras naturales pueden provenir principalmente del tallo y de las hojas de las plantas, también puede obtenerse fibras de la cáscara superficial de algunas frutas siendo la principal fibra utilizada como refuerzo y que proviene de la superficie exterior de una fruta es la fibra del coco.

2.4.3 Fibra de coco (FC)

El coco (*Cocos nucífera*) es extraído del Cocotero o Palma. Este producto de la familia Palmácea es uno de los árboles mejor reconocidos y más importantes económicamente en los trópicos (Maruchi et al., 2007). El cocotero es originario de Asia, distribuyéndose principalmente en las áreas tropicales, con una infinidad de usos, siendo fuente entre otros de alimento, bebida, aceite, fibra, combustible, madera, ropa y otros productos (Alfonso Y Ramírez, 2008)

La fruta está cubierta por una capa superficial, la cual tiene un gran contenido de fibras. La cáscara del coco consiste en una capa dura que contiene a las fibras, éstas son normalmente de 0.05 a 0.35 m de longitud y están compuestas principalmente de celulosa y lignina. Esta última, provee la resistencia y rigidez a la fibra.

Figura 4: Coco de palma nucífera



La Fibra de Coco (FC) se encuentra dentro de la categoría de fibras fuertes. Estas características, hacen que la fibra de coco sea un material versátil que puede ser utilizado en cuerdas, colchones, alfombras, cepillos, entre otros. También es utilizada en obras civiles, tales como la prevención de la erosión, debido a que ayuda a sujetar el suelo y permite el crecimiento de cobertura vegetal, en este caso, se encuentra dentro de la denominación de los “geotextiles” (Mathew, M.). Un ejemplo de este uso puede ser observado en la zona de “Los Chorros” en El Salvador, donde se está utilizando este material en las paredes de contención que se encuentran en las orillas de la carretera.

2.4.3.1 Ventajas de la fibra de coco como aislante

La resistencia, durabilidad y resiliencia, convierten a la fibra de coco en un material versátil y perfectamente indicado para los mercados del aislamiento térmico y acústico. Las ventajas que presenta la fibra de coco (FC) como aislantes son las siguientes:

- No electrostática
- Inodora
- Resistencia a la humedad
- No atacable por roedores o termitas
- Imputrescible y no produce hongos
- Conductividad térmica del rollo de FC aislante: 0,043 a 0,045 W/mK
- Reducción de los ruidos de percusión (de acuerdo con los espesores): 25 a 35 db (en forjado)
- Reducción de ruidos aéreos: 47 db (en media)
- Comportamiento al fuego: clase B2

El aislante de fibra de coco que se describió se muestra en la figura 5 a continuación.

Figura 5 Aislante de fibra de coco



Fuente: Quintanilla, 2010

2.4.3.2 Investigaciones

En los últimos 30 años los investigadores interesados en este tema realizaron un gran número de trabajos para obtener esta información sobre el cemento con fibras naturales, como se ve en la tabla 5, se usan varios tipos de fibra para reforzar concreto entre esas la del coco.

Tabla 5: Concreto reforzado con fibras naturales

Tipo de fibra	Longitud (mm)	Diametro (mm)	Densidad absoluta (g/cm ³)	Resistencia última tensión (Mpa)	Elogacion a la Ruptura (%)	Absorcion de agua (%)
Yute	1800-3000	0,1-0,2	1,02-1,04	250-350	1,5-1,9	62
Lino	500			1000	1,8-2,2	
Bambú	2500-3500	0,05-0,4	1,52	350-500		40-45
Caña azucar	50-300	0,2-0,4	1,2-1,3	170-190		70-75
Pasto elefante		0,45		178	3,6	
Musamba		0,82		83	9,7	
platano		0,43	0,298	92	5,9	276
Coco	50-350	0,1-0,4	1,12-1,15	120-200	9,9-25	130-180

Fuente: Juárez, 2002

2.4.3.3 Investigaciones de cemento reforzado con fibras de coco

Paramasivan, Nafhan y Das Gupta, trataron de sustituir total o parcialmente las fibras de asbesto por fibras de coco en Singapur, con la finalidad de producir láminas acanaladas de concreto. Se fabricaron en el laboratorio láminas acanaladas de 10 mm de espesor y se ensayaron a flexión, así también, se fabricaron especímenes para evaluar sus propiedades térmicas y acústicas. En los ensayos de resistencia a flexión se encontró que una fracción de volumen de 3% y longitud de fibra de 25 mm resultan en mayores módulos de ruptura, comparados con otras combinaciones de cantidad y longitud de fibra. Se observó que la fibra falla por extracción. En lo que respecta a la conductividad térmica, el compuesto presenta valores entre 0.61 a 0.68 W°K/m, lo que es comparable con resultados encontrados en placas de asbesto cemento 0.65 W°K/m. Además, se encontró que para altas frecuencias la propiedad de absorción del sonido es mejor en este tipo de compuestos que en el asbesto cemento. Fuente: Paramasivan, P., Nathan, G. K., Das Gupta 1984

Hussín y Zakaria, realizaron en Malasia pruebas para utilizar en la construcción la fibra de coco como refuerzo de placas delgadas de cemento. Se ensayaron a flexión placas planas y acanaladas con un espesor de 10 mm, con relación $A/C = 0.35$ y contenidos de fibra de 1 a 6% por peso. Algunas placas se mantuvieron en el ambiente natural durante 3, 6 y 12 meses. Se reportó que la resistencia a flexión se incrementa conforme aumenta la cantidad de fibra hasta un 5%, después de este porcentaje la resistencia disminuye ligeramente, siendo el 4% el que presentó mayor resistencia. El comportamiento a flexión resultó ser dúctil con las mayores cantidades de fibra y en la superficie de falla se observó la ruptura de la fibra. Las placas expuestas al ambiente natural redujeron su resistencia post agrietamiento en un 30%. Fuente: Hussín, M. W., Zakaria, F 1990

Savastano Jr., estudió el uso de fibras de coco como refuerzo en morteros base cemento portland en Brasil. Se probaron dos longitudes promedio de fibra de 38.2 y 9.7 mm, otras variables fueron la condición inicial de humedad en la fibra saturada y seca, la fracción de volumen de la fibra y la relación A/C de la mezcla. Se realizaron ensayos de impacto, flexión y compresión. De los cuales los resultados obtenidos indicaron que la resistencia al impacto aumentaba con la fracción de volumen, pero disminuía la resistencia a compresión. Así también, con una fracción de volumen de 3.2% se llegó a lograr un valor máximo a flexión y tensión, y para impacto la fracción de volumen fue de 4.4%. En comparación con el mortero sin fibra se obtuvieron incrementos a tensión e impacto en un 165 y 400% respectivamente. En lo concerniente a la condición inicial de humedad de la fibra los resultados no señalan una clara diferencia. Finalmente, el investigador encontró que las fibras más largas de 38.2 mm originaron especímenes con mayor resistencia a flexión y compresión, mientras que, por impacto, no parece influir el uso de fibras de 38.2 o 9.7 mm. Fuente: Savastano Jr., H., 1990

2.5 Clasificación de paneles

La clasificación de los paneles propuestos en este estudio se realizará tomando como referencia y verificando el cumplimiento de los puntos establecidos en la Norma Chilena Nch806 of 1971: Arquitectura y Construcción – Paneles Prefabricados – Clasificación y Requisitos, que clasifica a cada tipo de panel siguiendo el siguiente detalle:

- Tipo
- Clase
- Grado

2.5.1 Según tipo

Según los tipos de paneles prefabricados entregados por la Norma Chilena Nch806 of 1971, el panel estudiado corresponde al:

- 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.

Las cualidades que se refieren a determinar si el panel es un panel soportante (aquel que resiste además de su propio peso cargas adicionales y sobrecargas entregadas por el edificio) o un panel auto- soportante (aquel panel que solo resiste su peso propio y alguna carga ocasional), serán determinadas al finalizar este estudio con los resultados obtenidos en laboratorio.

2.5.2 Según Clase

La clasificación de la clase del panel en estudio, según la Norma Chilena Nch806 of 1971, se determina analizando y determinando entre los siguientes el material predominante en la estructura del panel:

- Clase A: Hormigón
- Clase B: Cerámica
- Clase C: Madera
- Clase D: Acero
- Clase E: Aluminio
- Clase F: Plástico
- Clase G: Láminas de Yeso
- Clase H: Mixto

El panel estudiado, corresponde a un panel clase G: ya que el material predominante en su configuración es el yeso

2.5.3 Según grado

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.

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 6: Carga de rotura y límite de proporcionalidad RC

Grado RC	Carga de rotura (Kg/ml)	Límite de proporcionalidad (Kg/ml)
1	1000 a 3000	minimo 500
2	3000 a 8000	minimo 1500
3	8000 ó más	minimo 4000

Fuente: NCh 801 Of. 2003

Tabla 7: Deformación admisible RC

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

Fuente: NCh 801 Of. 2003

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

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

Tabla 8: 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

Fuente: NCh 802 Of. 71

Tabla 9: Deformación admisible RH

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

Fuente: NCh 802 Of. 71

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

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

Tabla 10: 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

Fuente: NCH 803 Of 2003

Tabla 11: Deformación admisible RT

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

Fuente: NCh 803 Of. 2003

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

2.6 Clasificación del nivel sonoro

Dentro de la clasificación del nivel sonoro de un recinto, la norma NCh 352 of 2000 establece rangos medidos en decibeles que determinan el tipo de ambiente.

De acuerdo con la actualización del análisis de población expuesta para el Mapa de Ruido del Gran Santiago, realizada en 2014, en 12 de 33 comunas del Gran Santiago, respecto a las cuales se cuenta con información, más del 50% de la población comunal estaría potencialmente expuesta a niveles de ruido superiores a los 65dBA. (MMA, 2014)

Tabla 12: Niveles sonoros de referencia

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

2.6.1 Tipos de ruidos

Los tipos de ruido se clasifican según su origen, los cuales se contemplan en la siguiente tabla:

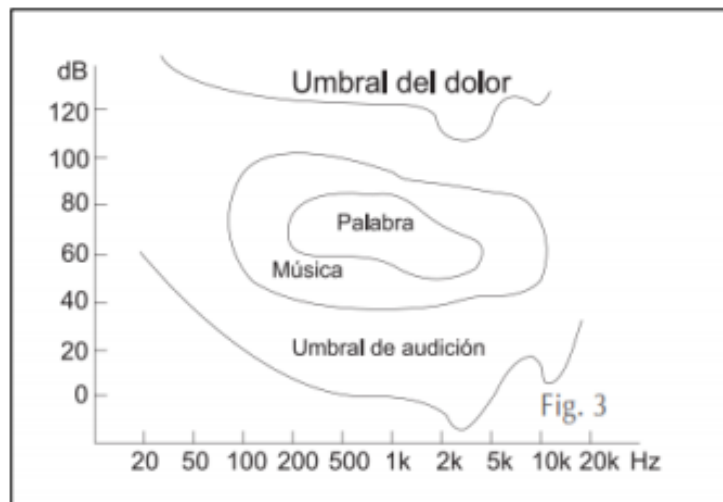
Tabla 13: Tipos de ruidos

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

Fuente: NCh 352-1 Of. 2000

La capacidad de los materiales para absorber el sonido se cuantifica mediante el coeficiente de absorción acústica, que varía de 0 a 1. Las ondas sonoras se caracterizan por tener amplitud, y una forma de medir ésta es mediante una escala llamada decibel (dB) (MINVU, 2006). En la siguiente grafica se muestran los rangos audibles y la amplitud de onda del sonido la cual es una escala logarítmica y corresponde a la división en 120 rangos del tramo entre el límite audible y el umbral del dolor.

Figura 6 limites audibles y amplitud de onda

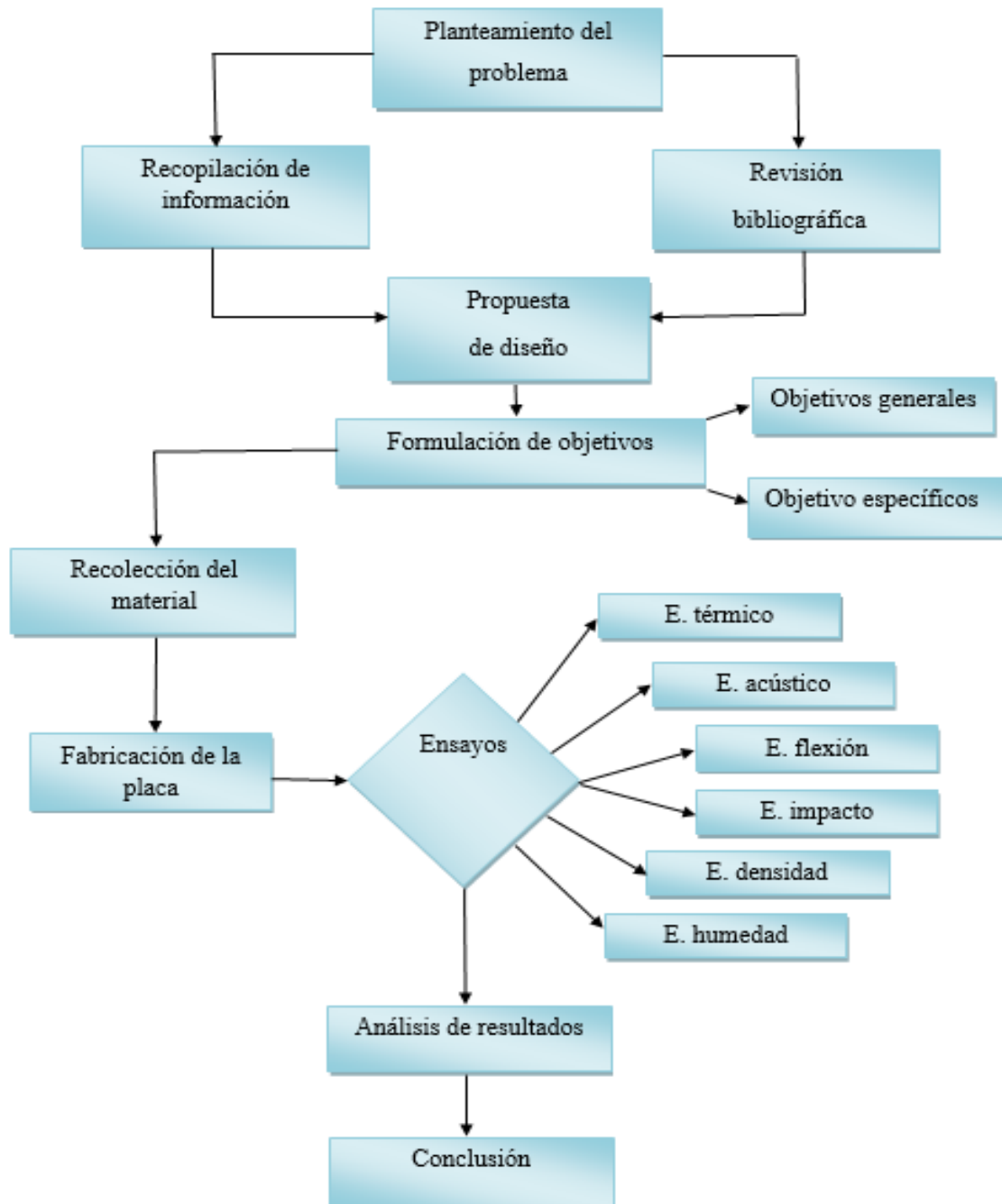


Fuente: Manual de aplicación reglamentación acústica 2006

CAPÍTULO III: Metodología de la investigación

3.1 Metodología de trabajo

Figura 7 Metodología de trabajo



Fuente: Elaboración propia

3.2 Diseño experimental

La presente investigación pretende evaluar una mejoría térmica generada en un elemento de construcción propuesto compuesto de Fibra de Coco y yeso. Para afirmar o refutar lo anteriormente señalado, se propone la implementación de tres soluciones distintas como aislante térmico, de las cuales también se estudiarán sus propiedades físicas, mecánicas y acústicas. A la vez se fabricará una muestra patrón en base a yeso, la que también se ensayará en los factores mencionados y comparado con las tres muestras con contenido de fibra de coco.

Las soluciones a evaluar serán moduladas todas con los mismos espesores y construidas principalmente con fibra de coco mezclada con yeso. La dosificación en volumen de yeso para las probetas serán las mismas, no así el porcentaje de fibra de coco incorporado a cada panel. Estas soluciones se ensayarán en un prototipo denominado cámara térmica, según la norma NCh851 para el ensayo de aislación térmica. Para el ensayo de resistencia mecánica, la investigación se guiará según lo determinado en la norma NCh803 para el caso de ensayo de flexión y para las mediciones acústicas se utilizará la norma chilena NCh 352.

Las fases de esta etapa que resumen el trabajo realizado para determinar la factibilidad de elaborar el elemento propuesto, se resume en los siguientes aspectos:

- Definición de las variables
- Adquisición de materiales.
- Confección de la placa (prototipos).
- Ensayo de aislación térmica mediante cámara térmica
- Ensayo acústico.
- Ensayo mecánico, resistencia a la flexión.
- Ensayo de absorción de humedad
- Estudios de densidad de la placa.

A continuación se describirán cada una de las fases de la investigación.

3.2.1 Definición de variables

En esta etapa se analizarán las variables dependientes e independientes para concluir y establecer las propiedades de la placa.

3.2.1.1 Variables Independientes

Solo podemos considerar la fibra de coco como variable, ya que el resto de los materiales (Yeso y Agua) se mantendrá constante.

3.2.1.2 Variables Dependientes

Estas variables se traducen en los resultados obtenidos de los ensayos térmicos, acústicos y de resistencia a la flexión e impacto.

3.2.2 Adquisición de materiales

Corresponde a una etapa previa, en la que se identificaran los materiales que son necesarios para confeccionar la placa, y se recolectaran para contar con ellos al momento de comenzar con los de ensayos en laboratorio.

La adquisición de los materiales será básicamente la fibra de coco que corresponde al elemento de la propuesta y los que se tiene acceso rápidamente, tales como el yeso y el agua, al igual que los moldes que se confeccionan para construir cada panel. Todos los materiales fueron usados nuevos y comprados en tiendas comerciales.

3.2.2.1 Caracterización de las fibras de coco utilizada.

Las fibras fueron fabricadas por la compañía Projar siendo esta fibra de origen de Sri Lanka-Negombo. Esta empresa comercializa la fibra principalmente como materia prima (cascaras de coco) y son procesadas en una máquina llamada Decortificador, de donde se obtienen las fibras de coco.

Figura 8 Procesado de cascara



Fuente: Comercial Projar S.A

El producto final se compacta en diferentes formatos (bloques, ladrillos, discos, placas) para mi investigación se usaron bloques de 20x18x16 cm

Figura 9: Compactadora de la fibra de coco



Fuente: Comercial Projar S.A

Finalmente se obtiene la fibra con la marca Goldengrow en tiendas de Chile

Todas las fibras que fueron utilizadas en esta investigación se remojaron con agua potable para su proceso de desaprensado con un tiempo sumergido por 10 minutos según rotulo del producto. Además. Para evitar la formación de hongos fueron expuestas a temperatura ambiente sobre un mesón de hormigón por 48 hr hasta su secado. Todas las pruebas referentes a esta sección fueron realizadas en el laboratorio de playa ancha Valparaíso

3.2.3 Confección de la placa

Para la fabricación de los paneles se utiliza como material principal la fibra de coco mezclado con yeso. El yeso utilizado se confecciona según las indicaciones del fabricante.

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

- Etapa de recolección: Esta etapa corresponde a la recolección personal de fibra de coco, puesto que no existe normativa de reciclaje y con ello tampoco existe un lugar específico donde se encuentren desechos de este material.
- Etapa de triturado: Para la trituración de fibra de coco se utilizarán elementos cortantes tales como tijeras o cuchillos, con un largo máximo de fibra de 50mm
- Etapa de dosificación: Para la mezcla de yeso se seguirán las recomendaciones del fabricante, las cuales consisten en mezclar 0.6 litros de agua por cada kilogramo de yeso blanco.
- Etapa de moldaje: Las dimensiones de las probetas que se van a ensayar se muestran en la siguiente tabla

Tabla 14: Tipos de paneles

Ensayos realizados	Muestras de panel (cm)	Espesor (cm)
Resistencia térmica y acústica	(60x65)	1
Resistencia a la Flexión	(30x40)	1
Resistencia al impacto	(30x30)	1

Fuente: Elaboración propia

Observación: Cabe destacar que para los ensayos de absorción de humedad y densidad aparente de la placa se usaran las placas posterior a los ensayos no destructivos (resistencia térmica y acústica) y se cortarán a la medida para dichos ensayos.

- Etapa de mezclado: La fibra de coco (FC) se añade en estado saturado a fin de evitar que absorba agua de la mezcla con yeso. Una vez saturada la FC se incorpora al agua destinada para formar la pasta de yeso. Una vez inmersa la FC en el agua, se espolvorea el yeso por toda la superficie, siguiendo el procedimiento detallado por el

fabricante. La cantidad de Fibra de coco (FC) añadida en cada panel de yeso serán en distintas cantidades determinadas por 3 porcentajes sucesivos en relación al volumen de la placa siendo estos porcentajes de 3%, 5 % y 8% de FC añadida. Por lo tanto la placa con 8% de fibra de coco añadida, tiene la suma de la fibra total entre la placa con 3% y 5% de fibra añadida. La muestra patrón tendrá un 0% de FC. Estas dosificaciones similares se definieron en base a las investigaciones del punto 2.4.3.3 en donde usaron porcentajes similares obteniendo buenos resultados.

- Una vez lleno el molde se esperarán 3 días para desmoldar la muestra. Para los moldajes se usó terciado estructuras con bordes de madera de pino de 1x1,5 pulgadas fijados con tornillos galvanizados punta fina y fueron revestidos con desmoldante para madera. En la figura 10 se muestran los modelajes de 30x30 cm y los de 30x40 cm

Figura 10: Confeción de moldes



Fuente: Elaboración propia

- Luego de esto se comienza con el proceso de secado, el cual consiste en disponerlos verticalmente con separadores de 10 cm entre cada panel. Una vez transcurrido los 3 días desde el vaciado de la mezcla al moldaje se puede desmoldar la placa y se colocaron en posición vertical hasta su secado final que corresponde a los 30 días posteriores al vaciado como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 11: desmolde de placas



Fuente: Elaboración propia

- Por último, para la realización de los ensayos térmicos, acústicos y mecánicos la norma nos señala que es prudente esperar entre 21 y 31 días a partir de la fecha de elaboración.
- Finalmente los primeros ensayos a realizar serán los ensayos no destructivos y posterior a esos los ensayos destructivos .

3.2.3.1 Características de los prototipos de placas

Como se mencionó anteriormente los tipos de paneles a ensayar en esta investigación estarán dados según la cantidad de fibra de coco incorporada por panel, siendo esta cantidad de 3%, 5%, 8%, y la muestra patrón sin fibra de coco. Fabricando 3 tipos de paneles para sus comparaciones físicas y mecánicas, como lo señala las siguientes tablas con las respectivas cantidades de fibra de coco para cada ensayo.

3.2.3.2 Características de la placa para ensayos termo acústico

Tabla 15: Características de la placa para ensayo termo acústico

Características	Unidad	Patrón	Muestra N° 1 (3%)	Muestra N° 2 (5%)	Muestra N° 3 (8%)
Fibra de coco	Gramos	0	10,6	17,6	28,1
Yeso	Volumen (m ³)	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039
Alto	Centímetro	60	60	60	60
Ancho	Centímetro	65	65	65	65
Espesor	Centímetro	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.3 Características de la placa para ensayos de flexión

Tabla 16: Características de la placa para ensayos de flexión

Características	Unidad	Patrón	Muestra N° 1 (3%)	Muestra N° 2 (5%)	Muestra N° 3 (8%)
Fibra de coco	Gramos	0	3,25	5,4	8,6
Yeso	Volumen (m ³)	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
Alto	Centímetro	40	40	40	40
Ancho	Centímetro	30	30	30	30
Espesor	Centímetro	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.4 Características de la placa para ensayos de impacto

Tabla 17: Características de la placa para ensayos de impacto

Características	Unidad	Patrón	Muestra N° 1 (3%)	Muestra N° 2 (5%)	Muestra N° 3 (8%)
Fibra de coco	Gramos	0	2,4	4,1	6,5
Yeso	Volumen (m ³)	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
Alto	Centímetro	30	30	30	30
Ancho	Centímetro	30	30	30	30
Espesor	Centímetro	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de paneles a fabricar está dada por la normativa vigente y para ensayos mecánicos la Nch806; señala que se debe ensayar a lo menos tres muestras por tipo de panel

para que sea representativo. Por lo tanto, son un total de 36 paneles a fabricar para la investigación.

3.2.4 Ensayo de aislación térmica mediante cámara térmica

La cámara térmica (figura 12) es un módulo aislado en el cual se introducirá la probeta a ensayar, dividiendo la cámara en dos compartimientos. En uno de sus compartimientos se coloca una fuente de calor, donde se medirá la transferencia de calor de un compartimiento a otro, a través de la probeta-placa a estudiar. Esto se medirá de acuerdo a la norma NCh849 y NCh851.

La materialidad y dimensionamiento de la cámara térmica se remite a lo estipulado en los márgenes de la norma NCh851.

En la figura 12 se visualiza el prototipo de prueba utilizado en investigaciones pasadas. Disponible en los laboratorios de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.

Figura 12: Cámara térmica



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la metodología para realizar el ensayo, referido a la determinación de parámetros y protocolos de medición

3.2.4.1 Determinación de parámetros.

Temperatura en las caras de la placa: para la medición de temperatura dentro del módulo, se instalar dos sensores, un sensor en la cara de la placa que recibe el calor de la fuente y otro sensor en la otra cara de la placa donde no está la fuente de calor . Con esto se podrán obtener las diferencias de temperaturas entre las caras de la placa y la transferencia de calor que pasa a través de la placa por cantidad de tiempo y por consiguiente su coeficiente de conductividad térmica.

Diferencia de temperatura entre los ambientes separados por la placa: se colocarán dos sensores en los ambientes de la cámara separados por la placa , uno en el ambiente de la fuente de calor y el otra sensor en el ambiente sin fuente de calor (parte fría)

3.2.4.2 Protocolo de medición

Las distintas configuraciones se miden según como lo expresa la normativa NCh849 y NCh851. Este procedimiento se repetirá tres veces para cada panel con un periodo de 24 horas para obtener una buena toma de datos.

Para la medición de la temperatura de las caras se utiliza el equipo Xplorer GLX de Pasco con los sensores de temperatura superficial PS-2131. (figura 13)

Figura 13:Xplorer GLX



Fuente: Pasco, 2012

3.2.5 Ensayo acústico

La finalidad de este ensayo es establecer las condiciones acústicas del elemento de construcción propuesto. Los requisitos acústicos mínimos se encuentran establecidos en la norma chilena NCh 253 Of 2000, la cual condiciona los valores que deben cumplir las construcciones de uso habitacional para proteger a sus habitantes de los efectos traumáticos del ruido, tales como: molestia, estrés, alteración del sueño, bajas en rendimiento, etc; permitiendo de esta manera asegurar que las construcciones cumplan las condiciones acústicas mínimas.

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 13) de Pasco, con el sensor de sonido se registrarán los dB(A).

Se instalarán un par de parlantes en el extremo de la cámara y en el extremo opuesto se instalará el Xplorer GLX, con el sensor de sonido, además se realizará este mismo procedimiento, con el sonómetro, para hacer una comparación de resultados con el Xplorer GLX. 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 las placas

Los datos se tabularán y graficarán para su posterior análisis.

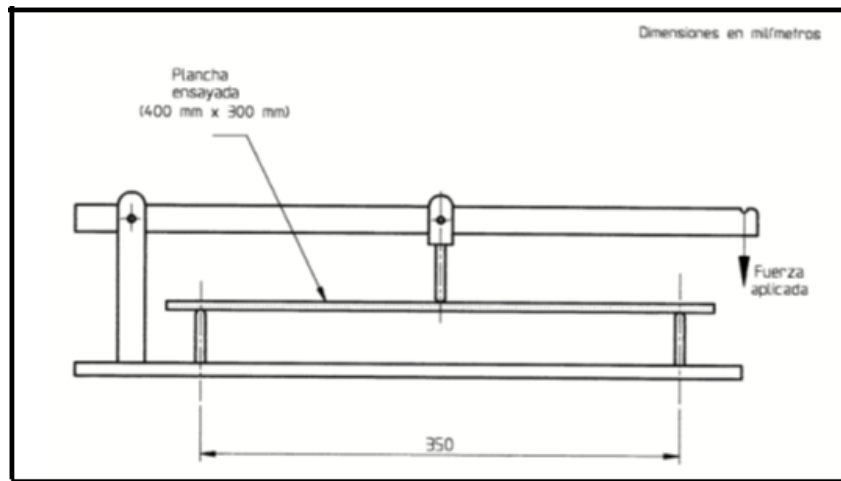
La prueba o ensayo de aislación acústica consiste en ubicar el elemento a ensayar en el vano de un muro que divide a dos recintos acústicamente aislados. En uno de ellos se emite un ruido blanco a un nivel sonoro superior a 100 dB, mientras que en el otro se mide el nivel acústico transmitido o residual.

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.

3.2.6 Ensayo mecánico, resistencia a la flexión.

Este ensayo requiere de 4 probetas de 30 x 40 cm, dos de estas en sentido longitudinal y dos en sentido transversal. La figura 14 muestra un esquema con los requerimientos de la máquina para el ensayo.

Figura 14: Máquina para determinar la resistencia a la flexión



Fuente: Instituto nacional de normalización, 2000

La aplicación de la fuerza se debe realizar con un incremento de la carga de 10 kg/min \pm 20%, hasta producir la ruptura.

Las cargas deben ser aplicadas de la siguiente forma:

- Carga aplicada perpendicularmente al borde longitudinal y sobre la cara.
- Carga aplicada paralelamente al borde longitudinal y sobre la cara.

3.2.7 Ensayo de resistencia al impacto

En este ensayo se requiere de una bola de acero (Figura 15), 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 50x50 cms, sobre los paneles, se harán dos impactos y se medirán las hendiduras provocadas por la bola, determinando así un promedio de ambas.

Figura 15: Bola de acero Normalizada de 50 mm



Fuente: elaboración propia

3.2.7 Ensayo de absorción de humedad

Para este ensayo se necesita una probeta de 25x30cm, las cuales se cortaran de las placas de los ensayos no destructivos (ensayo térmico y acústico) a la cual se le debe registrar su peso. Posteriormente, debe ser sumergida en agua, de forma horizontal, sobre sus apoyos, para así permitir el contacto de la placa con el agua.

La T° del agua debe ser de 21 °C y debe sobrepasar 25mm la cara superior de la probeta.

Después de 2 horas se debe retirar el exceso de agua superficial y pesar inmediatamente, para poder determinar el porcentaje de agua absorbida mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 3.1: Absorción al agua

$$\% \text{ de agua absorbida} = \frac{m1 - m0}{m0} \times 100$$

Fuente: elaboración propia

Donde:

m0: masa inicial

m1: masa final

3.2.8 Estudio de densidades

Se realizará un estudio de la densidad aparente del panel estudiado, densidad que será el resultado del promedio entre la muestra de 3 paneles construidos con las placas de los ensayos no destructivos (ensayo térmico y acústico)

Esta densidad aparente será el resultado de la división entre el peso (en kilogramos) de cada panel, y el volumen total en m³ (largo x ancho x espesor). Este proceso se realizará en laboratorio con la selección de 5 paneles, registrando para cada uno de ellos su peso y su volumen, determinando mediante la división entre ellos la densidad de cada uno, y después promediando todos los valores obteniendo así un resultado final representativo. El cálculo se realizará según la siguiente fórmula.

Ecuación 3.2: Densidad

$$\rho: m/v$$

Fuente: elaboración propia

Donde:

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

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

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

CAPÍTULO IV: Presentación y análisis de resultados

4.1 Contenido de humedad.

Las fibras pueden intercambiar humedad con el ambiente relativamente muy fácil, ya sea perder o ganar humedad según las condiciones de exposición. La humedad puede existir en la fibra en dos diferentes estados, según Young (1998)

- Como agua libre o vapor de agua dentro de las cavidades de la fibra.
- Como agua constitutiva o de enlace.

Se obtuvo el contenido de humedad de 3 muestras de fibras expuestas al ambiente del laboratorio, el cual representa la humedad de las fibras al momento de su mezclado con el Yeso. La humedad puede cambiar al ser diferente el tipo de exposición. La diferencia entre el peso de fibra con humedad ambiente y el peso de la fibra seca, es el peso del agua libre en la fibra de coco. De esta forma, el contenido de humedad en la fibra se obtiene por la relación de pesos indicada en la ecuación 4.1.

Ecuación 4.1: Porcentaje de humedad de la fibra

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Fuente: elaboración propia

4.1.1 Resultados porcentaje de humedad de fibra de coco

Tabla 18: Porcentaje de humedad en la fibra

Muestra	Peso de FC Humedad ambiente (g)	Peso de FC seca (g)	Agua libre (g)	Contenido de Humedad en la Fibra %
1	10	8,32	1,68	20,19
2	15	12,56	2,44	19,43
3	20	17,08	2,92	17,09
			Promedio	18,903

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un promedio de 18,9 % para 3 muestras, esto representa la humedad que tuvieron las fibras.

Sin embargo, en condiciones diferentes al del laboratorio donde la fibra se exponga a las variaciones del clima, la humedad que absorba deberá ser considerada para el diseño de la mezcla, ya que el agua de reacción en la mezcla tiene una relación estequiométrica (proporciones cuantitativas) con el yeso.

4.2 Absorción de agua

Para evaluar esta propiedad de las fibras, 4 muestras fueron secadas en un horno a 40°C durante 24 h, posteriormente se pesaron en una balanza de 0.01 g de precisión obteniendo el peso seco (M_s). Se saturaron en agua, cada muestra con un respectivo tiempo de saturación 60 min y 24 hr. Al término de cada periodo se trató de obtener la condición saturada superficialmente seca, frotando las fibras ligeramente con papel absorbente durante aproximadamente 5 min hasta que su apariencia fuera opaca sin presencia de gotas entre ellas y sin dejar rastro de humedad en el papel absorbente. Después se pesaron las muestras obteniendo el peso saturado superficialmente seco (M_{sss}). De esta manera, el porcentaje de absorción se obtuvo usando la ecuación 3.

Ecuación 3.2: Absorción a la fibra

$$\alpha(\%) = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Fuente: elaboración propia

4.2.1 Resultados de absorción de la fibra de coco

Tabla 19: Absorción de la fibra

Muestra	Msss	Ms	Agua absorbida	Absorción relativa al peso seco (%)
1 (1h sat)	5,57 g	3,52 g	2,05 g	58
2 (1h sat)	4,61 g	2,88 g	1,73 g	60
3 (24h sat)	7,83 g	4,32 g	3,51 g	81
4 (24h sat)	28,12 g	16,05 g	12,07 g	75

Nota: El promedio de saturación a la hora es igual a 59 % y a las 24 horas es de 78 %.

Lo anterior puede deberse a la acción capilar que se genera por la porosidad de la fibra, necesitando relativamente poco tiempo para su completa saturación presentando una absorción final promedio de **59 %** en un tiempo de saturación de 1 hora y un **78%** en un tiempo de 24 horas en relación al peso seco.

4.3 Densidad neta

Las 3 muestras fueron secadas en un horno a 40°C durante 24 h, posteriormente, se pesaron en una balanza de 0.01 g de precisión obteniendo el peso seco. Se utilizó un matraz de 500 ml el cual se pesó con agua hasta la marca de aforo y se obtuvo su peso (Ma), Posteriormente, se colocó en un matraz la fibra previamente saturada superficialmente seca de acuerdo al procedimiento descrito en la sección anterior 4.1.2 y se le fue agregando paulatinamente agua hasta llegar a la marca de aforo tratando de evitar en lo posible dejar aire atrapado, siendo su peso (Mm). El agregar primero la fibra y posteriormente el agua evitó problemas como la flotación.

Finalmente, se obtiene la densidad Real saturada superficialmente seca con la siguiente fórmula

Ecuación 4.3: Densidad Real Saturada

$$\rho_{RT} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_{sss}}{M_a + M_{sss} + M_m} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Y la densidad real seca con la siguiente formula

Ecuación 4.4: Densidad Real Seca

$$\rho_{RS} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{Ms}{Ma + M_{sss} - Mm} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Y por último la densidad neta con la formula

Ecuación 4.4: Densidad neta

$$\rho_N \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{Ms}{Ma + Ms - Mm} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

donde:

- ρ : Densidad (kg/m³).
- α : Absorción (%).
- Ms: Masa de la muestra seca (g).
- Msss : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).
- Ma : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g).
- Mm : Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

4.3.1 Resultado densidades Fibra de coco

Tabla 20: Densidades fibra de coco

Muestra	Ms (g)	Msss (g)	Ma (g)	Mm (g)	Densidad real SSS (kg/l)	Densidad real S (Kg/l)	Densidad neta (Kg/l)
1	3,52	5,57	653,89	654,94	1,23	0,78	1,42
3	4,32	7,83	653,9	654,82	1,13	0,62	1,27
3	16,05	28,12	653,89	655,41	1,05	0,6	1,1
Promedios					1,13	0,67	1,26

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los resultados de las densidades fueron las siguientes como muestra en la siguiente tabla. Siendo la densidad real saturada superficialmente seca de 1,13(kg/l) , una densidad real seca de 0,67(kg/l) , y una densidad neta de 1,26(kg/l)

4.3.2 Densidad aparente

La densidad aparente de un material o un cuerpo es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga. Para esta prueba la densidad aparente de la fibra de coco se midió suelta, sin compactación dejándola caer de una altura de 10 cm en un volumen de 1000 cc y en un estado seco, como muestra en la siguiente imagen

La densidad aparente es una propiedad física necesaria para calcular el peso de fibra que deberá agregarse al yeso según el volumen.

Los resultados de las densidades aparentes de las 3 muestras de fibra de coco que se pesaron en el pocillo de 1000 CC. fueron las siguientes como se muestra en la tabla siendo un promedio de densidad de 0,09 (kg/lt).

Tabla 21: Densidad aparente de la fibra de coco

Muestra	Peso	Volumen	D. Aparente (kg/lt)
1	84,29 g	1000 cc	0,08
2	89,25 g	1000 cc	0,09
3	91,63 g	1000 cc	0,09
		Promedio	0,09

Fuente: Elaboración propia

4.4 Ensayos a las placas

Los resultados se obtuvieron durante los meses de noviembre y diciembre del 2018. Las mediciones de los resultados de los ensayos se mediaron según lo especifica cada norma con respecto a los distintos porcentajes de fibra de coco en la plancha de yeso. Esto es, analizar las propiedades mecánicas dispuesta por la NCh146 of 2000 para determinar la Resistencia a la flexión, al impacto y la resistencia a la humedad, mientras que para determinación de la aislación térmica se utilizó la NCh850 of 1983 y para las mediciones del ensayo acústico la NCh352 of 2000. Además, los ensayos se realizaron según como lo estipula la norma, la cual pide repetir tres veces el ensayo por cada muestra.

Los resultados se representan mediante tablas y gráficos, para poder determinar la relación entre las variables para obtener las conclusiones de esta investigación.

La caracterización de datos se realiza considerando los siguientes aspectos:

- Ensayo de flexión
- Ensayo de resistencia al impacto
- Ensayo de aislación térmica
- Ensayo acústico
- Absorción de humedad
- Estudio de Densidad Aparente de la placa

4.4.1 Ensayos de resistencia a la flexión

La finalidad de este ensayo es determinar cuáles son las cargas que soporta la placa propuesta y la influencia de la fibra de coco en los distintos porcentajes que se agregaron al yeso, sometiéndoles a esfuerzos de flexión, para así poder determinar si cumple con lo establecido en la Norma NCh146/1 of 2000

Los resultados de esta sección corresponden al promedio de tres placas de 30x40 (cm) por cada configuración como se explica en el punto 3.2.5

La tabla 22 muestra los datos obtenidos del promedio de rotura parcial y total de las distintas placas propuestas en las distintas configuraciones. También los valores de las cargas aplicadas para un mejor análisis fueron utilizada en Newton (N) y así comprarlos con la NCh 146 of 2000.

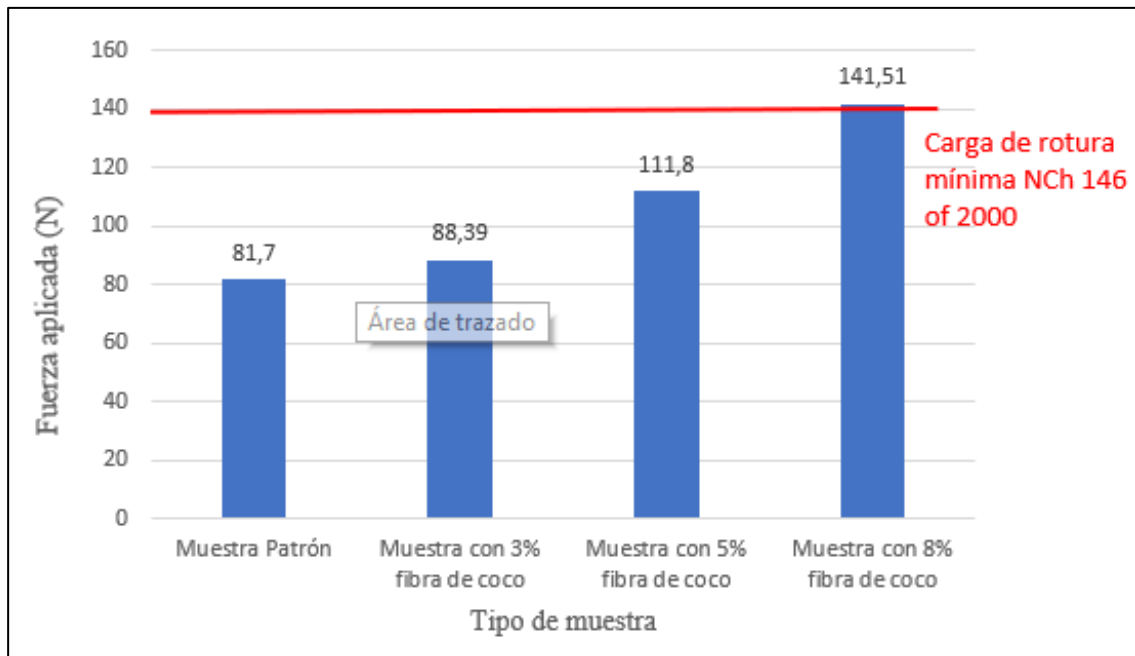
Tabla 22: Carga máxima aplicada para ensayo de flexión

Muestra (% fibra de coco)	Carga aplicada ruptura parcial (kgf)	Carga aplicada ruptura total (kgf)	Fuerza total (N)
0% muestra patrón	8,34	8,34	81,7
3% fibra de coco	8,6	9,02	88,39
5% fibra de coco	10,32	11,41	111,8
8% fibra de coco	12,83	14,44	141,51

Fuente: Elaboración propia

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

Figura 16: Grafico, Fibra de coco v/s carga de rotura



Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados que arrojaron los ensayos de flexión, se puede apreciar que la fibra de coco añadida a los paneles aumenta la resistencia a la Flexión, pero también hace diferencia a que con fibra de coco se produce una ruptura parcial y una total, demostrando q la fibra aporta resistencia a la flexo tracción, esto debido a la rigidez del elemento estudiado. Además la placa con una configuración de un 8% de fibra de coco en la placa de yeso cumple con la NCh 146 oficial del 2000 en la resistencia a la rotura mínima.

4.4.2 Ensayo de resistencia al impacto

Los resultados obtenidos de este ensayo, presentan grandes diferencias al compararla con la muestra patrón, ya que la muestra patrón no resistió al primer impacto teniendo una ruptura total. Es importante destacar que las placas con agregado de fibra de coco cumplen con los 20mm máximos de diámetro de hendidura especificado en la norma NCh 146 Of 2000.

En la Tabla 23 a continuación se muestran los resultados de la experiencia utilizando los promedios de hendidura para cada una de las configuraciones

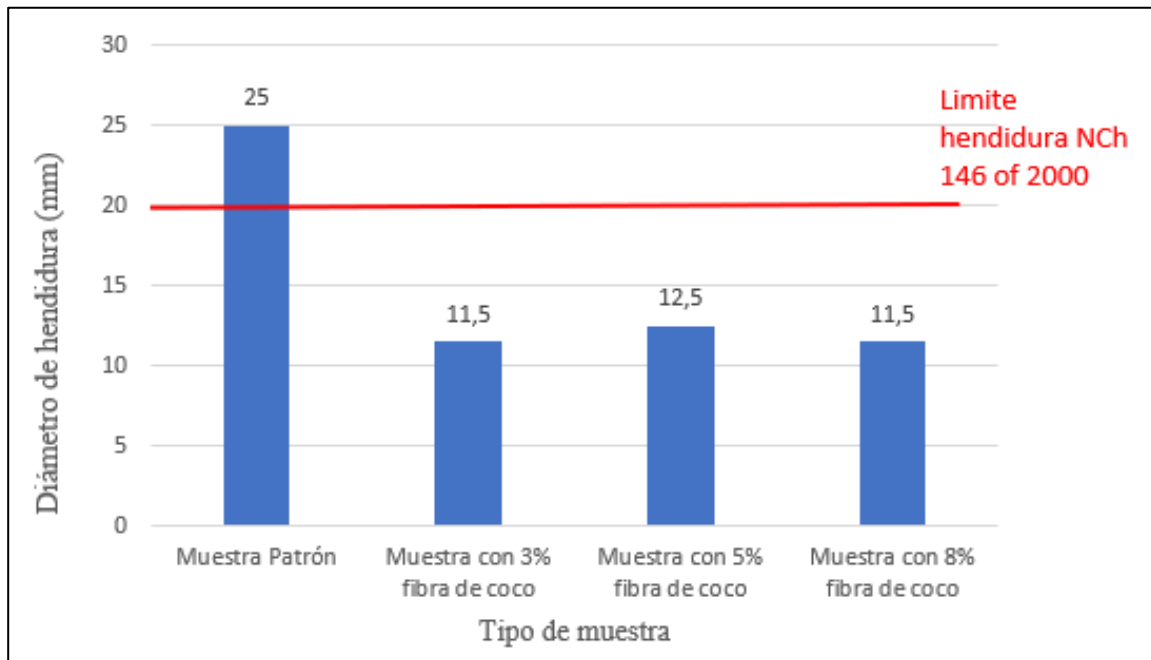
Tabla 23: Ensayos de resistencia al impacto de yeso con fibra de coco

Muestra (% fibra de coco)	Diámetro hendidura 1er impacto (mm)	Diámetro hendidura 2er impacto (mm)	Promedio de hendiduras (mm)
0% muestra patrón	rotura	rotura	25
3% fibra de coco	12	Rotura	11,5
5% fibra de coco	13	12	12,5
8% fibra de coco	12	11	11,5

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se procederá a graficar los resultados obtenidos de la resistencia al impacto, para de esta forma comparar los resultados obtenidos en la experiencia con los requisitos de la norma NCh 146 Of 2000.

Figura 17: Grafico, promedio de hendiduras registradas en ensayo de impacto



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que los paneles con 5% y 8% de fibra de coco cumplen con los 20 mm máximos de diámetro de hendidura especificado en la norma NCh 146 Of 2000 ya que la muestra patrón y la muestra con 3% de fibra de coco tuvieron rotura total en el primer y segundo impacto respectivamente. Según los datos que se obtuvieron en los ensayos

la hendidura entre las placas con 5% de fibra de coco y 8% fue muy similar dando un promedio de 12mm.

4.4.3 Ensayo de aislación térmica

Ensayo descrito en la norma chilena NCh851 of 1983. Para determinar si el panel propuesto conformado por yeso y fibra de coco, aporta propiedades térmicas 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.

Para cada panel propuesto se entregan resultados que muestran la diferencia de temperatura entre las cámara de calor (T3) y la de la cámara aislada (T3) y a su vez la diferencia de temperatura entre las caras de la placa , siendo la temperatura de la cara de la fuente de calor (T1) y la cara del lado de la cámara aislada (T2). Para esto se utiliza una fuente emisora de energía (para esta experiencia se ocuparon tres ampolletas de 100 watts cada una).

Los paneles en la cámara térmica se mantuvieron durante 2 horas llegando a temperaturas aproximadas de 50°C en el compartimento donde se encuentra la fuente de calor.

La toma de datos con el instrumento de medición Xplorer se configuro para entregar datos cada 5 minutos, tomando 25 registros en los 120 minutos (7200 sg). 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.

A continuación, se analizarán los datos obtenidos para cada uno de los paneles partiendo por la muestra patrón (0% fibra de coco) y continuando con la muestra 1 (3% fibra de coco), muestra 2 (5% fibra de coco) y muestra 3 (8% fibra de coco).

4.4.3.1 Ensayo de aislación térmica muestra patrón

La muestra patrón se compone únicamente de yeso, y se dejó en el centro de la cámara térmica y fue evaluada durante 2 hora.

La tabla 24 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 (T1) y la otra en la cara opuesta o compartimento frío (T2). También se tomaron la temperatura ambiente del compartimento caliente (T3) y la temperatura ambiente del compartimento frío (T4).

La tabla 24 también muestra el promedio de los diferenciales de temperatura de las placas muestra patrón (T1-T2) y el promedio del diferencial de temperatura de la temperatura ambiente al interior del compartimento caliente y la temperatura ambiente del compartimento frío o aislado (T4-T3).

Tabla 24: Diferencia de Temperaturas muestra patrón

Temperatura	T1 (°C)	T2 (°C)	$\Delta T (T1-T2)$	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T (T4-T3)$
Mínima	27,27	27,42	0,15	28,85	25,34	3,21
Máxima	44,57	35,7	8,87	54,17	25,97	28,2
Media	37,88	32,37	5,51	46,01	24,21	21,8

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra la placa más cercana al promedio de las 3 ensayadas en los laboratorios, para poder comprender el análisis y sus resultados mostrando un promedio de la mínima temperatura, la máxima y la media, usando estos valores de las 3 placas ensayadas y sacando un promedio general de las temperaturas mínimas, la máxima y la medias como se mostró en la tabla anterior.

Tabla 25: Temperatura simultaneas medidas durante el ensayo muestra patrón

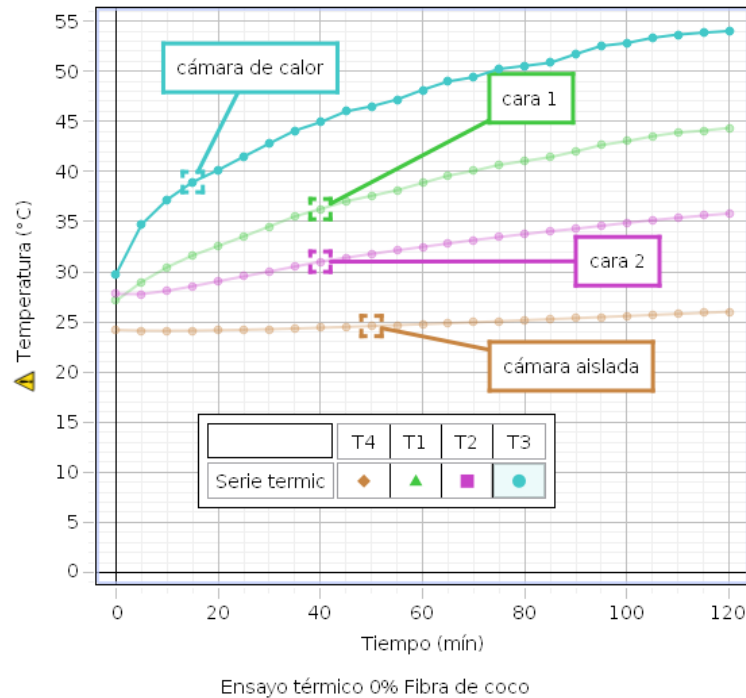
Ensayo térmico Muestra patrón

	● Serie termic ⚠ cámara de calor, T3 (°C)	▲ Serie termic ⚠ primera cara, T1 (°C)	■ Serie termic ⚠ segunda cara, T2 (°C)	◆ Serie termic ⚠ cámara aislada, T4 (°C)
1	29,75	27,11	27,79	24,19
2	34,72	28,98	27,77	24,13
3	37,19	30,45	28,09	24,11
4	38,95	31,64	28,55	24,13
5	40,15	32,57	29,05	24,16
6	41,49	33,53	29,53	24,21
7	42,80	34,51	30,02	24,27
8	44,08	35,52	30,52	24,34
9	44,92	36,25	31,00	24,41
10	46,00	37,03	31,40	24,49
11	46,50	37,57	31,78	24,58
12	47,18	38,13	32,14	24,67
13	48,14	38,86	32,48	24,77
Mín.	29,75	27,11	27,77	24,11
Máx.	54,01	44,34	35,81	26,01
Media	46,55	37,94	32,12	24,86

Fuente: Elaboración propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos graficaremos algunos parámetros de la tabla anterior que se mostraran mediante a las siguientes figuras:

Figura 18: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min), muestra patrón



Fuente: Elaboración propia

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

- Temperatura 1: Color verde. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel (cara 1).
- Temperatura 2: Color morado. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel (cara 2)
- Temperatura 3: Color azul. Expresa la temperatura ambiental de la cámara caliente (cámara de calor).
- Temperatura 4: Color café. Expresa la temperatura ambiental de la cámara sin fuente de calor o aislada (cámara aislada).

La información entregada por el gráfico nos muestra que inicialmente la temperatura es similar para todos los sensores promedio 27°C. Transcurrido unos 90 minutos comienzan a mostrarse una temperatura relativamente constante tanto en la cara de las placas como en las temperaturas de las cámaras. La cara 1 que se encuentra en el lado de la cámara de calor eleva su temperatura hasta los 44,34 °C en 2 hora, mientras que la cara 2 del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 35,81°C en las mismas 2 horas. La diferencia de 8,53° nos da indicio de que el panel posee propiedades térmicas no menores.

Las diferencias de temperaturas de ambos lados de la cámara tienen una diferencia aún mayor, logrando una diferencia de temperatura promedio de 28°C. Con ello se observa una resistencia al paso del calor gracias al elemento ensayado, apreciando así que la muestra patrón y sus características aislantes.

4.4.3.2 Ensayo de aislación térmica “placa en base a yeso y fibra de coco” (3% de FC).

La tabla 26 también muestra el promedio de los diferenciales de temperatura de las placas muestra patrón (T1-T2) y el promedio del diferencial de temperatura de la temperatura ambiente al interior del compartimento caliente y la temperatura ambiente del compartimento frío o aislado (T4-T3).

Tabla 26: Diferencia Temperaturas placas con 3 % fibra de coco

Temperatura	T1 (°C)	T2 (°C)	$\Delta T(T1-T2)$	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T(T4-T3)$
Mínima	27,02	24,3	2,72	27,3	25,41	1,89
Máxima	45,6	35,9	9,7	50,01	25,03	24,98
Media	37,3	30,01	7,29	42,01	23,89	18,12

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla 27 muestra la placa más cercana al promedio de las 3 ensayadas en los laboratorios, para poder comprender el análisis y sus resultados mostrando un promedio de la mínima temperatura, la máxima y la media, usando estos valores de las 3 placa ensayadas y sacando un promedio general de las temperaturas mínimas, la máxima y la medias como se mostró en la tabla anterior.

Tabla 27: Temperatura simultanea durante el ensayo 3% de fibra de coco

Ensayo térmico con 3 % de fibra de coco

	● Serie N.º 32	▲ Serie N.º 32	■ Serie N.º 32	◆ Serie N.º 32
	⚠ Temperatura 3 (°C)	⚠ Temperatura 1 (°C)	⚠ Temperatura 2 (°C)	⚠ Temperatura 4 (°C)
1	26,01	26,79	24,65	24,84
2	31,41	29,24	24,93	24,68
3	34,31	31,01	25,62	24,59
4	36,14	32,30	26,38	24,57
5	37,49	33,41	27,07	24,57
6	38,39	34,26	27,72	24,60
7	39,70	35,23	28,33	24,64
8	40,93	36,17	28,93	24,70
9	41,86	36,93	29,48	24,77
10	42,88	37,74	29,99	24,84
11	43,40	38,29	30,45	24,93
Mín.	26,01	26,79	24,65	24,57
Máx.	50,90	44,13	34,77	26,42
Media	43,34	38,23	30,59	25,27

Fuente: Elaboración propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos graficaremos algunos parámetros de la tabla anterior que se mostraran mediante a las siguientes figuras:

Figura 19: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min) 3% de fibra de coco

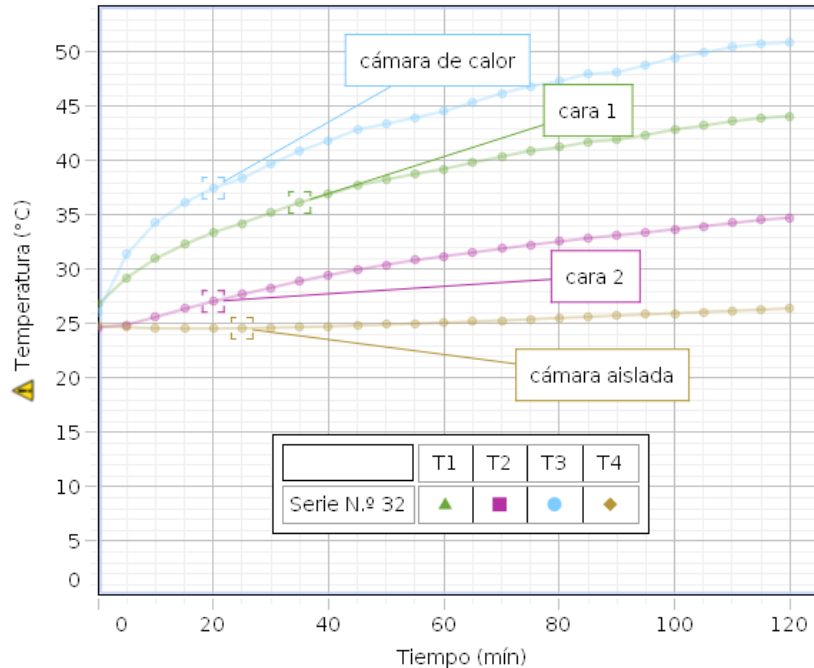


Gráfico térmico con 3 % de fibra de coco

Fuente: Elaboración propia

La gráfica indica el comportamiento térmico de la placa con 3% de fibra de coco donde:

- Temperatura 1: Color verde. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel (cara 1).
- Temperatura 2: Color morado. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel (cara 2)
- Temperatura 3: Color azul. Expresa la temperatura ambiental de la cámara caliente (cámara de calor).
- Temperatura 4: Color café. Expresa la temperatura ambiental de la cámara sin fuente de calor o aislada (cámara aislada).

La información entregada por el gráfico nos muestra que inicialmente la temperatura es similar para todos los sensores promedio 25°C. Transcurrido unos 90 minutos comienzan a mostrarse una temperatura relativamente constante tanto en la cara de las placas como en las temperaturas de las cámaras. La cara 1 que se encuentra en el lado de la cámara de calor eleva su temperatura hasta los 44,13 °C en 2 hora, mientras que la cara 2 del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 34,77°C en las mismas 2 horas. La diferencia de 9,36° nos da indicio de que el panel posee propiedades térmicas no menores.

Las diferencias de temperaturas de ambos lados de la cámara tienen una diferencia aún mayor, logrando una diferencia de temperatura promedio de 24,48°C. Con ello se observa una resistencia al paso del calor gracias al elemento ensayado, apreciando así que la muestra patrón y sus características aislantes.

4.4.3.3 Ensayo de aislación térmica “placa en base a yeso y fibra de coco” (5 % FC).

La tabla 28 también muestra el promedio de los diferenciales de temperatura de las placas muestra patrón (T1-T2) y el promedio del diferencial de temperatura de la temperatura ambiente al interior del compartimento caliente y la temperatura ambiente del compartimento frío o aislado (T4-T3).

Tabla 28: Diferencia Temperaturas placa con 5 % de fibra de coco

Temperatura	T1 (°C)	T2 (°C)	$\Delta T (T1-T2)$	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T (T4-T3)$
Mínima	20,2	21,3	1,1	21,1	20,8	0,3
Máxima	43,62	32,8	10,82	50,68	24,02	26,66
Media	38,21	20,61	17,6	40,31	21,63	18,68

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra la placa más cercana al promedio de las 3 ensayadas en los laboratorios, para poder comprender el análisis y sus resultados mostrando un promedio de la mínima temperatura, la máxima y la media, usando estos valores de las 3 placas ensayadas y sacando un promedio general de las temperaturas mínimas, la máxima y la medias como se mostró en la tabla anterior.

Tabla 29: Temperatura simultaneas medidas durante el ensayo, placa con 5 % de fibra de coco

Ensayo térmico con 5 % de fibra de coco

	◀ Serie N.º 8	⌘ Serie N.º 8	▶ Serie N.º 8	▲ Serie N.º 8
	⚠ Temperatura 3 (°C)	⚠ Temperatura 1 (°C)	⚠ Temperatura 2 (°C)	⚠ Temperatura 4 (°C)
1	19,65	21,28	19,26	19,44
2	24,06	23,02	19,39	19,45
3	27,02	24,54	19,82	19,49
4	29,01	25,74	20,38	19,56
5	30,57	26,78	20,98	19,65
6	32,09	27,82	21,57	19,76
7	33,94	28,99	22,15	19,89
8	35,58	30,08	22,74	20,04
9	36,81	31,02	23,37	20,20
10	37,95	31,90	23,95	20,37
11	38,75	32,61	24,48	20,55
12	40,02	33,44	24,95	20,73
13	41,22	34,31	25,45	20,93
Mín.	19,65	21,28	19,26	19,44
Máx.	49,80	41,31	30,37	23,45
Media	39,19	33,23	25,11	21,10

Fuente: Elaboración propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos graficaremos algunos parámetros de la tabla anterior que se mostraran mediante a las siguientes figuras:

Figura 20: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min), placa con 5 % de fibra de coco

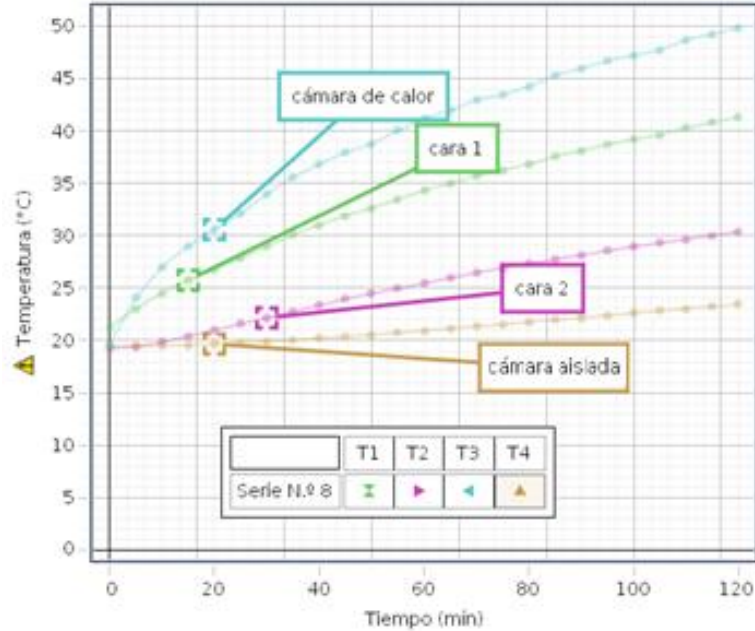


Gráfico térmico con 5% de fibra de coco

Fuente: Elaboración propia

La gráfica indica el comportamiento térmico de la placa con 5% de fibra de coco donde:

- Temperatura 1: Color verde. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara caliente del panel (cara 1).
- Temperatura 2: Color morado. Expresa la temperatura del sensor instalado en la cara fría del panel (cara 2)
- Temperatura 3: Color azul. Expresa la temperatura ambiental de la cámara caliente (cámara de calor).
- Temperatura 4: Color café. Expresa la temperatura ambiental de la cámara sin fuente de calor o aislada (cámara aislada).

La información entregada por el gráfico nos muestra que inicialmente la temperatura es similar para todos los sensores promedio 20°C. Transcurrido unos 90 minutos comienzan a mostrarse una temperatura relativamente constante tanto en la cara de las placas como en las temperaturas de las cámaras. La cara 1 que se encuentra en el lado de la cámara de calor eleva su temperatura hasta los 41,31 °C en 2 hora, mientras que la cara 2 del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 30,37°C en las mismas 2 horas. La diferencia de 10,94° nos da indicio de que el panel posee propiedades térmicas mejor que las anteriores.

Las diferencias de temperaturas de ambos lados de la cámara tienen una diferencia aún mayor, logrando una diferencia de temperatura promedio de 26,35°C. Con ello se

observa una resistencia al paso del calor gracias al elemento ensayado, apreciando así que la muestra patrón y sus características aislantes.

4.4.3.4 Ensayo de aislación térmica “placa en base a yeso y fibra de coco” (8% FC).

La tabla 30 también muestra el promedio de los diferenciales de temperatura de las placas muestra patrón (T1-T2) y el promedio del diferencial de temperatura de la temperatura ambiente al interior del compartimento caliente y la temperatura ambiente del compartimento frío o aislado (T4-T3).

Tabla 30: Diferencia Temperatura placa con 8 % de fibra de coco

Temperatura	T1 (°C)	T2 (°C)	$\Delta T (T1-T2)$	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T (T4-T3)$
Mínima	28,6	26,31	2,29	27,41	26,27	1,14
Máxima	45,63	35,06	10,57	53,61	24,81	28,8
Media	36,02	28,41	7,61	42,81	23,11	19,7

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra la placa más cercana al promedio de las 3 ensayadas en los laboratorios, para poder comprender el análisis y sus resultados mostrando un promedio de la mínima temperatura, la máxima y la media, usando estos valores de las 3 placas ensayadas y sacando un promedio general de las temperaturas mínimas, la máxima y la medias como se mostró en la tabla anterior.

Tabla 31: Temperatura simultanea medidas durante el ensayo, placa con 8 % de fibra

Ensayo térmico con 8 % de fibra de coco

	◀ Serie N.º 6 ⚠ Temperatura 3 (°C)	✕ Serie N.º 6 ⚠ Temperatura 1 (°C)	▶ Serie N.º 6 ⚠ Temperatura 2 (°C)	▲ Serie N.º 6 ⚠ Temperatura 4 (°C)
1	26,01	27,80	25,59	24,85
2	30,91	29,04	25,25	24,63
3	34,09	30,21	25,48	24,52
4	36,63	31,36	25,97	24,48
5	38,33	32,31	26,51	24,49
6	40,01	33,26	27,05	24,51
7	41,48	34,15	27,57	24,56
8	42,37	34,81	28,05	24,61
9	43,57	35,56	28,48	24,68
10	44,89	36,36	28,92	24,75
11	45,80	37,01	29,33	24,84
12	47,06	37,76	29,72	24,93
13	47,87	38,36	30,11	25,02
Mín.	26,01	27,80	25,25	24,48
Máx.	55,84	44,31	33,73	26,49
Media	45,94	37,56	29,76	25,21

Fuente: Elaboración propia

Para generar una mejor revisión y análisis de los datos obtenidos graficaremos algunos parámetros de la tabla anterior que se mostraran mediante a las siguientes figuras:

Figura 21: Temperatura (°C) v/s Tiempo (Min), placa con 8 % de fibra de coco

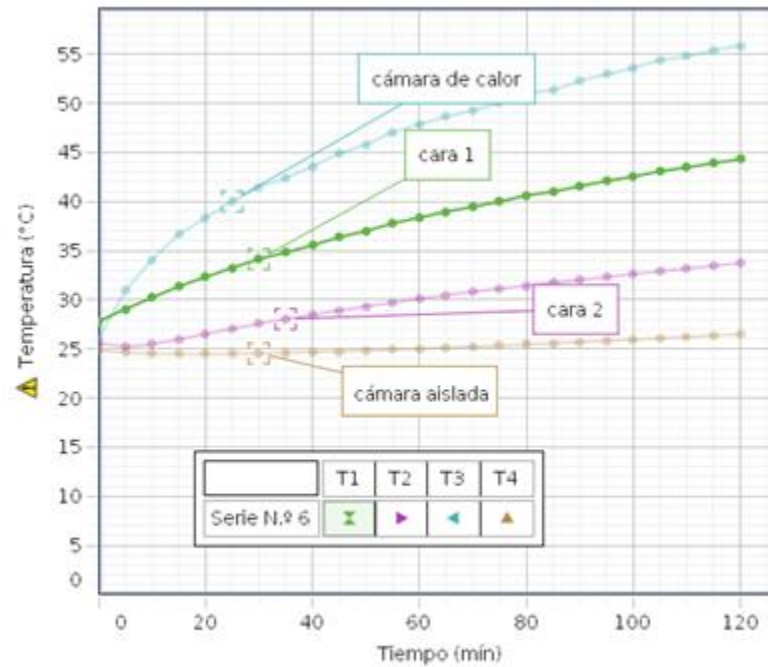


Gráfico térmico con 8 % de fibra de coco

Fuente: Elaboración propia

La gráfica indica el comportamiento térmico de la placa con 8% de fibra de coco, 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 caliente.
- Temperatura 4: Color Morado. Expresa la temperatura ambiental de la cámara que no cuenta con una fuente emisora de calor.

La información entregada por el gráfico nos muestra que inicialmente la temperatura es similar para todos los sensores promedio 26°C. Transcurrido unos 90 minutos comienzan a mostrarse una temperatura relativamente constante tanto en la cara de las placas como en las temperaturas de las cámaras. La cara 1 que se encuentra en el lado de la cámara de calor eleva su temperatura hasta los 44,31 °C en 2 hora, mientras que la cara 2 del lado sin fuente de calor sólo alcanza los 33,73°C en las mismas 2 horas. La diferencia de 10,58° nos da indicio de que el panel posee propiedades térmicas mejor que las anteriores.

Las diferencias de temperaturas de ambos lados de la cámara tienen una diferencia aún mayor, logrando una diferencia de temperatura promedio de 29,35°C. Con ello se observa una resistencia al paso del calor gracias al elemento ensayado, apreciando así que la muestra patrón y sus características aislantes.

Los valores que se presentan a continuación muestran la diferencia promedio entre las caras respecto a la muestra patrón ($\Delta T (T1-T2)$), así como la diferencia entre las temperaturas de cada ambiente ($\Delta T (T4-T3)$) en comparación a la muestra patrón.

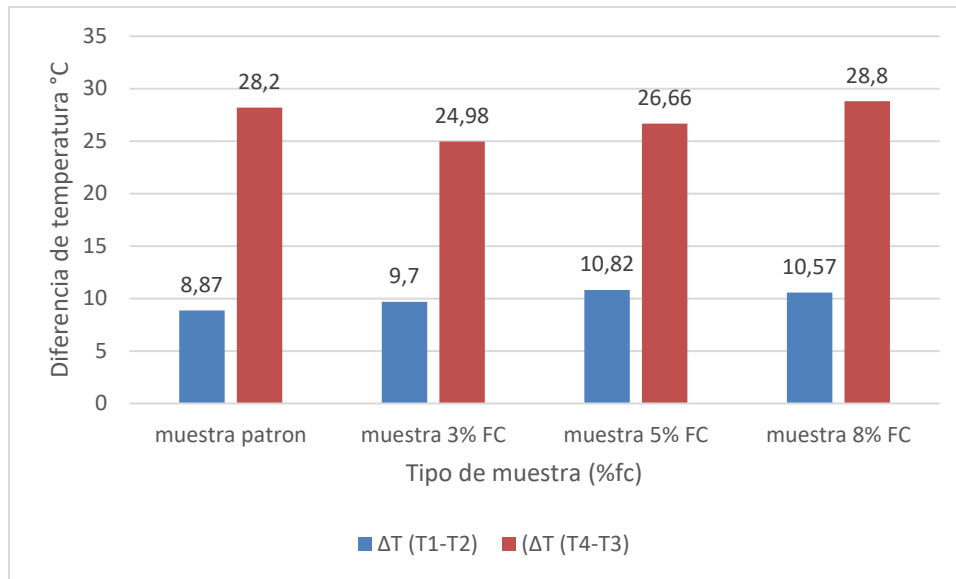
Tabla 32 Cuadro de resumen de diferencial térmico

Muestra de placa de yeso	$\Delta T (T1-T2)$	$\Delta T (T4-T3)$
Con 0% fibra de coco	8,87	28,2
Con 3% fibra de coco	9,7	24,98
Con 5% fibra de coco	10,82	26,66
Con 8% fibra de coco	10,57	28,8

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un gráfico en la figura 22, en donde se representa diferencia de temperatura en las placas de estudio con la variación del porcentaje de fibra de coco.

Figura 22: Grafico, Diferencia de T° entre las caras y ambiente ($^\circ\text{C}$) v/s tipo de muestra



Fuente: Elaboración

Como primer análisis podemos deducir que efectivamente existe una mejoría térmica de las placas propuestos respecto a la muestra patrón diseñada únicamente con yeso pero solo en la diferencia entre la temperatura de las caras ya que en la diferencia de temperatura de cada ambiente fue menos en la presencia de fibra de coco, no obstante para el cálculo de conductividad térmica de cada placa propuesta se usa solamente la diferencia de temperatura entre las caras como se determinara a continuación.

4.4.3.5 Cálculo del flujo térmico y conductividad térmica de las placas

Puesto que la cámara térmica que se utiliza para realizar el ensayo fue elaborada de manera artesanal, no se puede realizar un cálculo preciso para obtener el coeficiente de conductividad térmica, ya que, no se puede determinar el flujo térmico que la fuente de calor utilizada entrega al ensayo puesto que, este es alterado por muchos factores, tales como: la temperatura ambiente de la sala donde se encuentra la cámara, la energía que se disipa por las filtraciones de la cámara, entre otros (Roberts, 2018).

Siguiendo el procedimiento de Roberts, en el cual se despeja el flujo térmico desde la conductividad térmica de un elemento conocido, se procede a ensayar la probeta de poliestireno expandido en tres oportunidades, la cual, al ser un elemento comercial, tiene establecido sus valores de conductividad térmica.

A continuación, se muestran los valores obtenidos producto del ensayo de la muestra de poliestireno expandido D30 espesor 10 mm. Este elemento aislante se encuentra normalizado con un coeficiente de conductividad térmica de 0,046 (W/m*K).

Tabla 33 Resultados ensayo térmico poliestireno expandido

Muestra	Área	T1 (K°)	T2 (K°)	Diferencia (T2-T1)	Ke (W/m*K)	Flujo térmico
EPC 10mm	0,39	317,45	298,05	19,4	0,046	69,61
EPC 10mm	0,39	316,45	295,65	20,8	0,046	74,63
EPC 10mm	0,39	315,75	295,35	20,4	0,046	73,20
					Promedio	72,48

Fuente: elaboración propia

Obtenidos los resultados de la diferencia de temperatura en la cámara térmica se procede a calcular los flujos térmicos despejándolos de la ecuación de conductividad térmica expresada en la normativa. El promedio de los flujos térmicos obtenidos fueron de 72.48 (W) ó 72.48 (J/seg), este valor de flujo térmico se ocupara para calcular la conductividad de cada una de las placas en el ensayo térmico.

Finalmente se realizó el cálculo la conductividad térmica (Ke) con el flujos térmico obtenido en el punto 3.2.3.3 (72,48 W) para posteriormente en base a este flujo térmico calcular la conductividad térmica de las distintas placas propuestas. En la tabla 34 se muestran la conductividad térmica (Ke) de cada placa yeso-fibra de coco en sus diferentes configuraciones que se diferencian en el % de fibra de coco que contiene cada una de las placas siendo la muestra patrón sin fibra de coco (0%).

Tabla 34 Cálculo de la conductividad térmica de las placas propuestas

Muestra	Área	T1 (K°)	T2 (K°)	Diferencia (T2-T1)	Flujo térmico	Ke (W/m*K)
Patrón	0,39	317,72	308,85	8,87	72,48	0,105
3% fibra de coco	0,39	318,75	309,05	9,7	72,48	0,096
5% fibra de coco	0,39	316,77	305,95	10,82	72,48	0,086
8% fibra de coco	0,39	318,78	308,21	10,57	72,48	0,088

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.6 Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica de las placas

Para realizar el cálculo de la resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U) de los elementos, se realizaron los cálculos correspondientes establecidos en los puntos 2.3.7 y 2.3.8. En la tabla 35 se muestran los valores de cada elemento propuesto.

Tabla 35 Cálculo de la resistencia y transmitancia térmica de las placas

Muestra e=10mm	Ke (W/m²*K)	R (m²*K/W)	U (W/m²*K)
Patrón	0,105	0,095	10,476
3% fibra de coco	0,096	0,104	9,580
5% fibra de coco	0,086	0,116	8,588
8% fibra de coco	0,088	0,114	8,791

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de conductividad térmica (Ke) de todas las configuraciones como se indica en la tabla 35, la clasificación del aislante según la NCh 850 of. 83 como se explica en el punto 2.3.5 se clasifica como buenos aislantes estando en el rango entre $0.038 < Ke < 0.12$

De hecho la muestra patrón presenta un diferencial térmico de 8.87°C y un coeficiente de conductividad térmica de 0.105 (W/m²·K), mientras que la placa que cuenta con 3% de fibra de coco tiene un diferencial térmico de 9.7°C y un coeficiente de conductividad térmica de 0.096(W/m²·K), la placa con 5% de fibra de coco un diferencial térmico de 10.82°C y un coeficiente de conductividad térmica de 0.086 (W/m²·K) y la placa con 8% de fibra de coco alcanza un diferencial térmico de 10.57°C y un coeficiente de conductividad térmica de 0.088 (W/m²·K) , por lo que se concluye que el agregado de fibra de coco efectivamente mejora las propiedades del panel con respecto a la muestra patrón que contiene solo yeso.

4.4.4 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 352 of 2000. La fuente sonora corresponde a parlantes de escritorios 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 20 segundos por cada una. En el otro extremo de la cámara, a una distancia de 1,2 mts desde la placa a ensayar, se ubicó el instrumento de medición Xplorer que se configuro para entregar datos cada 2 segundos tomando un registro en los 10 datos en esos 20 segundos que se emite la frecuencia y se ocupando la media de los resultados para representar el valor en decibeles (dB)

Los valores obtenidos en este ensayo se muestran en la siguiente tabla

Tabla 36: Medición de decibeles con ensayos acústico

Frecuencia Hz	Cámara sin panel (dB)	Muestra Patrón (dB)	Muestra con 3% FC (dB)	Muestra con 5% FC (dB)	Muestra con 8% FC (dB)
125	64,4	58,1	60,25	61,325	59,8
160	67,3	53,9	58,1	60,2	55,1
200	67,3	56,4	60,35	61,325	58,2
250	67,6	53,5	58,55	60,575	54
315	67,3	59,3	61,8	62,05	60,4
400	67,5	62,3	62,4	62,45	62,2
500	67,6	60,5	63,55	63,075	60,6
630	70,7	65,8	65,75	65,725	65,7
870	73,5	68,6	68,55	68,525	68,5
1250	66,3	65,6	65,45	63,375	66,1
2000	72,7	67,5	68,6	68,15	67,9
3100	73,4	68,6	68,5	68,45	69,2
4600	74,3	69,7	69,5	69,4	68,5

Fuente: Elaboración propia

El ensayo se realiza con el objetivo de comparar las placas con los distintos porcentajes de fibra de coco respecto a la muestra patrón hecha solamente a base de yeso.

Los promedios de las mediciones utilizados para el análisis se muestran en la tabla 37 a continuación.

Tabla 37" Medición acústica en la cámara

Configuración de la cámara	Medición acústica (dB)
Sin placas	69,22
Con muestra patron	62,29
Con muestra de 3% fibra de coco	63,95
Con muestra de 5% fibra de coco	64,2
Con muestra de 8% fibra de coco	62,78

Fuente: Elaboración propia

La medición sin placa en el extremo del interior de la cámara es de 69,22 dB , lo que nos da a conocer el nivel acústico dentro de la cámara sin aislante intermedio y este valor lo comparamos con cada muestra para ver la reducción de decibeles siendo el valor de medición de la muestra patrón (62,29 dB), la muestra con 3% de fibra de coco es de 63,95 dB , la muestra con 5% de fibra de coco es de 64,20 dB y la medición de la muestra con 8% de fibra de coco es de 62,78 dB.

Tomando en cuenta la medición sonora dentro de la cámara sin placa, se puede obtener un valor diferencial respecto a cada elemento medido, el índice de absorción corresponde a aquella diferencia, cuyos valores diferenciales son:

Tabla 38: Índice de absorción, ensayo acústico

Frecuencia (Hz)	Índice de absorción muestra patrón (dB)	Índice de absorción muestra con 3% FC	Índice de absorción muestra con 5% FC	Índice de absorción muestra con 8% FC
125	6,3	4,15	3,075	4,6
160	13,4	9,2	7,1	12,2
200	10,9	6,95	5,975	9,1
250	14,1	9,05	7,025	13,6
315	8	5,5	5,25	6,9
400	5,2	5,1	5,05	5,3
500	7,1	4,05	4,525	7
630	4,9	4,95	4,975	5
870	4,9	4,95	4,975	5
1250	0,7	0,85	2,925	0,2
2000	5,2	4,1	4,55	4,8
3100	4,8	4,9	4,95	4,2
4600	4,6	4,8	4,9	5,8

Fuente: Elaboración propia

Para poder analizar los valores ocuparemos los promedios de reducción pero también se analizará la reducción de decibeles según la frecuencia a los distintos niveles sonoros

Tabla 39 Reducción de decibeles de cada configuración

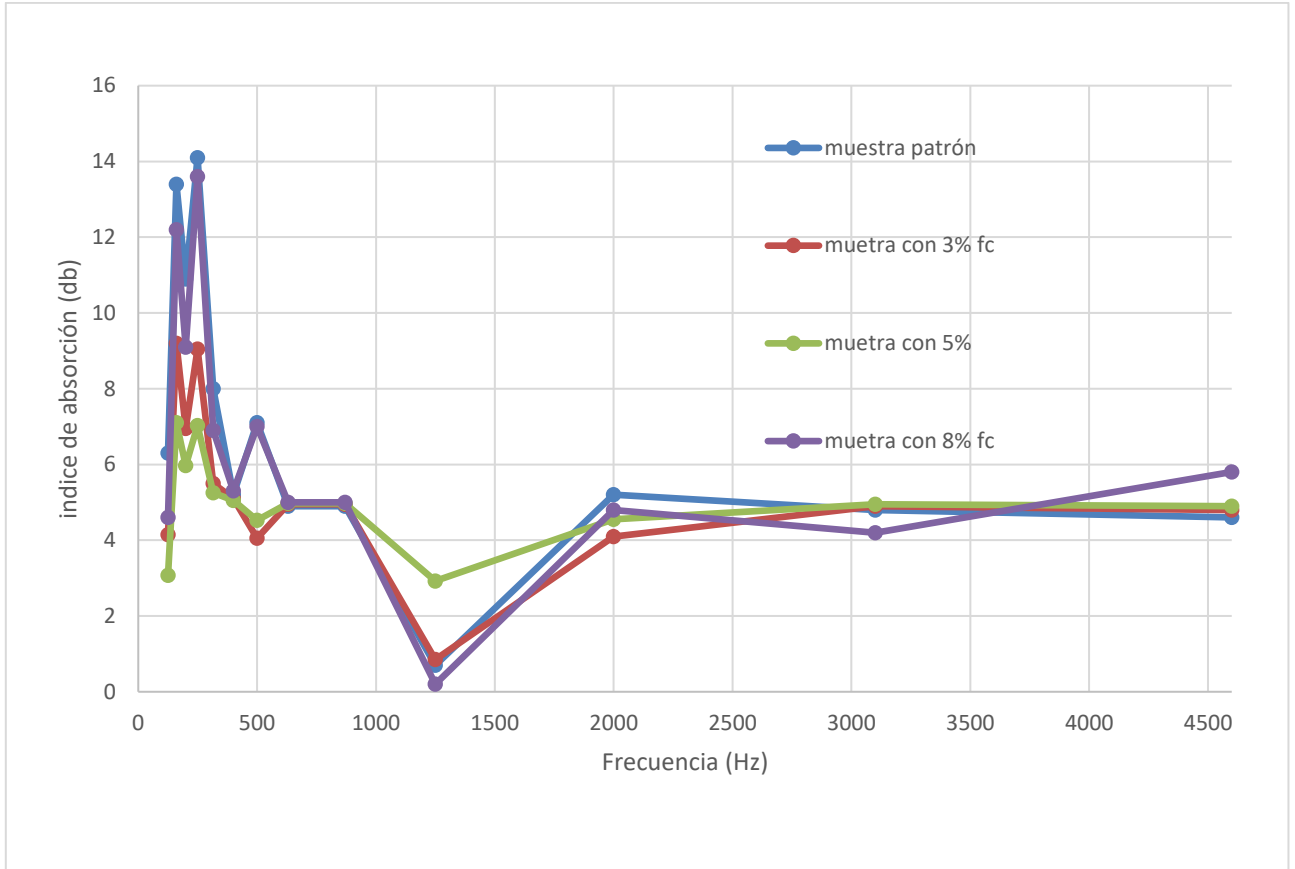
Muestra	Reducción(dB)
Patron	6,93
Con de 3% fibra de coco	5,27
Con de 5% fibra de coco	5,02
Con de 8% fibra de coco	6,44

Fuente: Elaboración propia

Como muestra la tabla la muestra patrón reduce 6,9 (dB) la muestra con 3% de fibra de coco 5,27 (dB), la muestra con 5% de fibra de coco 5,02(dB) y la con 8% de fibra de coco 6,43 (dB).

A continuación, se muestra un gráfico de la figura 23, en donde se representa el porcentaje de absorción de sonido en las placas de estudio con la variación del porcentaje de fibra de coco en los distintos niveles sonoros.

Figura 23: 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 ósea e más agudo el sonido, los elementos en general presentan un menos índice de absorción, alcanzando así un índice de 14,1 decibeles como máximo en la muestra patrón en la frecuencia de los 250 (Hz), así como también en la muestra con 3% y 5% de fibra de coco añadida se comportan de manera similar, mostrando mayores diferencias a los 250 Hertz.

También la muestra patrón en los sonidos medios a los 2000 (Hz) tubo mejor absorción acústica, y solo en los sonido agudos a los 5000 (Hz) las fibra con 8% de fibra de coco tubo mejor reducción acústica. Los índices promediados dejan analizar que las muestras son muy similares, aunque la muestra patrón fue el que mejor se comportó, puesto que generó

mayores diferencias sonoras respecto a la medición con agregados de fibra de coco siendo los valores de reducción de la muestra patrón de 6,9 (dB) promedio, la muestra con 3% de fibra de coco 5,27 (dB), la muestra con 5% de fibra de coco 5,02(dB) y la con 8% de fibra de coco 6,43 (dB) de reducción de decibeles.

Se observa que los elementos con fibra de coco presentan un desempeño menos eficiente respecto a la muestra patrón. De esto se puede concluir que la utilización de fibra de coco perjudica la reducción acústica. por lo tanto, el elemento que presenta el desempeño más favorable es la muestra patrón.

4.4.5 Resultado de densidad aparente

Para determinar la densidad aparente se pesaron las muestras con el fin de conocer su masa y con ello establecer un promedio de cada una según el porcentaje de fibra de coco. Cabe señalar que cada promedio se obtiene de 3 mediciones de las muestras y para determinar las densidades se divide la masa por el volumen de cada muestra.

El volumen de cada elemento corresponde a 750cc con un alto (30 cm) por su largo (25 cm) y su espesor (10mm). En la tabla 40 se muestra las densidades de cada configuración.

Tabla 40: Densidades aparentes de las distintas placas

Muestra	Masa (kg)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)
Muestra Patrón	0,714	0,00075	952
Muestra con 3% fibra de coco	0,81	0,00075	1080
Muestra con 5% fibra de coco	0,885	0,00075	1180
Muestra con 8% fibra de coco	0,765	0,00075	1020

Fuente: Elaboración propia

La densidad aparente debe ser considerada en el peso propio al momento de ejercer cargas horizontales para el ensayo mecánico contemplado en esta investigación, puesto que se debe sumar a la sobrecarga aplicada.

4.4.6 Ensayo de absorción de humedad

En la Tabla 41, se aprecia que la placa de yeso en base a fibra de coco presenta una considerable diferencia de absorción con respecto a la placa muestra patrón, de las cuales ninguna de las 3 muestras no cumple con la clasificación RH (resistente a la humedad) que exige como máximo un 5% de absorción de agua. por lo cual se podría implementar solo como un tabique interior y no mejora la característica del yeso en absorción de agua.

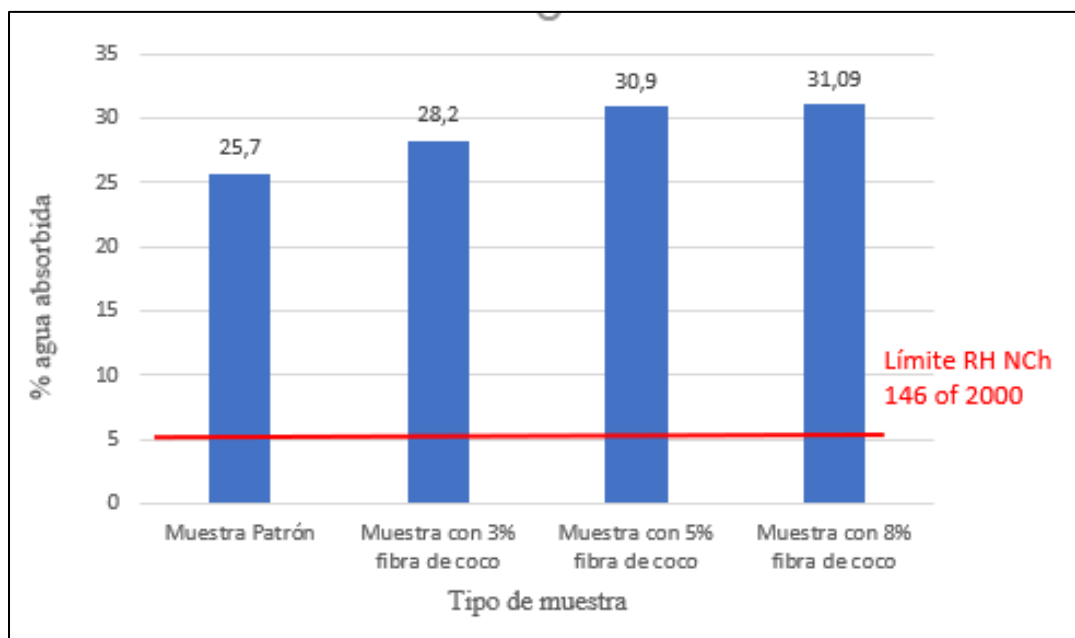
Tabla 41: Absorción de humedad yeso con fibra de coco

Muestra	Peso de placa seca (Kg)	Peso de placa húmeda	Agua absorbida (%)
Muestra Patrón	1,003	1,261	25,7
Muestra con 3% fibra de coco	0,959	1,229	28,2
Muestra con 5% fibra de coco	0,898	1,178	30,9
Muestra con 8% fibra de coco	1,01	1,324	31,09

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un gráfico en la figura 24, en donde se representa el porcentaje de absorción de agua en las placas de estudio con la variación del porcentaje de fibra de coco.

Figura 24 Grafico, absorción de humedad NCh 146 of. 2000



Fuente: Elaboración propia

El gráfico indica que las placas no cumplen con la clasificación RH (resistente a la humedad), que establece un límite máximo de 5% de absorción de agua, por ende, la placa solo puede ser usada para interior, además se analiza que mientras más fibra de coco se incorpora a la placa de yeso, mayor es su % de agua absorbida, esto debido a la alta absorción de la fibra de coco

CAPÍTULO V: Conclusiones y futuras investigaciones

5.1 Conclusiones generales

En primer lugar, es importante destacar que la fabricación de elementos de construcción en base a residuos orgánicos, como lo es la fibra de coco, constituye un valioso aporte a las nuevas generaciones, desarrollando un material sustentable que además ofrece ventajas físicas y mecánicas, contribuyendo con el reciclaje de residuos orgánicos.

A modo de conclusiones para esta investigación, es importante destacar aspectos vinculados a la problemática de la investigación como la accesibilidad a la fibra de coco al no ser este un país tropical.

Cabe destacar que el detallado proceso constructivo del material, permite que cualquier persona que siga estrictamente los pasos planteados, pueda confeccionar el elemento y obtener resultados similares.

También es importante concluir que los objetivos de la investigación se vieron cumplidos, ya que se lograron determinar todas las características propuestas, permitiendo identificar y caracterizar el material propuesto según sus propiedades físicas y mecánicas. En general los objetivos propuestos en el comienzo del presente estudio se cumplieron de manera satisfactoria y el panel propuesto muestran un posible aporte a la problemática energética y presenta características con propiedades que lo podrían situar como un material o sistema constructivo que pueda competir en el mercado actual aunque podría ser mejorado con investigaciones futuras utilizando otras dimensiones o espesores, distintos porcentajes de razón yeso/fibra de coco en la placa o distintos diámetros de fibra incorporada en la placa para llegar a generar un elemento constructivo que brinde una eficacia mayor a la obtenida hasta este punto.

5.2 Conclusión ensayo a flexión

Al analizar los resultados que arrojaron los ensayos de flexión, se puede apreciar que la fibra de coco añadida a los paneles aumenta la resistencia a la flexión, pero también hace diferencia a que con fibra de coco se produce una ruptura parcial y una total en la placa, demostrando que la fibra aporta resistencia a la flexo tracción, esto debido a la rigidez del elemento estudiado. Por ende al aumentar el porcentaje de fibra de coco en el elemento propuesto, aumentaría su resistencia a la flexión.

A su vez, los paneles podrían clasificarse según indica la NCh 806 of 1971 como 7G siendo el primer dato indicando el tipo según su forma de fabricación (VII: Mixto, debido al utilizar la fibra de coco en conjunto con el yeso) , el segundo dato según el material dominante (G: láminas de yeso).

5.3 Conclusión ensayo al impacto

Es importante destacar que los paneles con 5% y 8% de fibra de coco cumplen con los 20 mm máximos de diámetro de hendidura especificado en la norma NCh 146 Of 2000 ya que la muestra patrón y la muestra con 3% de fibra de coco tuvieron rotura total en el primer golpe y segundo impacto respectivamente,

Por lo tanto según los datos que se obtuvieron en los ensayos de impacto la hendidura entre las placas con 5% y 8% de fibra de coco fue muy similar y estas configuraciones propuestas cumplen con la resistencia al impacto que exige la Nch 146 of 2000 no así la muestra con 3 % de fibra de coco y la muestra patrón (0 % fibra de coco).

5.4 Conclusión ensayo temperatura en las caras

Como primer análisis podemos deducir que efectivamente existe una mejoría térmica de las placas propuestos respecto a la muestra patrón diseñada únicamente con yeso pero solo en la diferencia entre la temperatura de las caras ya que en la diferencia de temperatura de cada ambiente no se puede considerar porque hay otros factores que atribuyen a la pérdida de calor ya mencionados

Se concluye que el flujo de calor entre una placa aislante es directamente proporcional con el área de la placa por ende mientras más superficie mayor será su flujo así como el espesor es inversamente proporcional al flujo de calor, por ende mientras mas gruesa sea la configuración de la placa mayor será aislación térmica. Por lo tanto se hace importante el coeficiente de conductividad térmica para determinar la resistencia térmica del material y con este valor determinar el espesor necesario según la zona señalado por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción como se explica en el punto 2.3.7. dependiendo si se utilizara en techumbre, muros o pisos ventilados.

Según los valores en el ensayo térmico el panel propuesto efectivamente genera una oposición al paso del calor y el porcentaje de fibra de coco añadida, al comparar los resultados obtenidos con la muestra patrón, se genera una mejora en el diferencial térmico y en el coeficiente de conductividad térmica aunque según la clasificación del aislante, como se explica en el punto 2.3.5 todas la configuraciones están en el mismo rango de aislantes entre $0.038 < K_e < 0.12$ clasificándose como buenos aislantes.

Por lo tanto al implementar la fibra de coco en planchas de yeso en una vivienda en invierno, el calor en el interior de la vivienda se perderá en menor proporción, y al ser utilizado en verano la placa permitirá que el calor del ambiente exterior ingrese a la vivienda en un menor porcentaje, lo que se traduce en menor consumo de energías no renovables.

5.5 Conclusiones ensayo acústico

A medida que la frecuencia aumenta, los elementos en general presentan un menor índice de absorción, comportándose como mejor aislante en sonidos graves. También la muestra patrón en los sonidos medios tubo mejor absorción acústica, y solo en los sonidos agudos las placas con 8% de fibra de coco tubo mejor reducción acústica. Los índices promediados dejan analizar que las muestras son muy similares, aunque la muestra patrón fue el que mejor se comportó, puesto que generó mayores diferencias sonoras respecto a la medición con agregados de fibra de coco.

5.6 Conclusiones ensayo de densidad y absorción de agua

Con respecto a la densidad de la placa se concluye que a medida que se incorporó más fibra de coco el elemento propuesto se hace más denso por lo tanto no es favorable la incorporación de fibra de coco para elementos de construcción ya que exige mayor energía requerida para el movimiento de dichas planchas.

Finalmente con respecto a la absorción de humedad del material ninguna placa cumple con la clasificación RH (resistente a la humedad), que establece la NCh 146 of. 2000 y las placas propuestas al igual que la patrón superan el porcentaje de absorción y aumentando la fibra de coco la placa propuesta absorbe más humedad esto es obvio porque es un material higroscópico por ende, la placa solo puede ser usada para interior.

5.7 Propuestas de Investigaciones Futuras

Se propone realizar placas de yeso-fibra de coco con distinta configuración aumentando o disminuyendo el diámetro de la fibra o su longitud así como también el porcentajes de fibra de coco incorporada en la placa, que sea un reemplazo superior al de esta investigación y evaluar las características mecánicas.

Se propone realizar ensayos de compresión, deformación e ignífugos para tener un análisis más completo de las resistencias mecánicas del elemento y clasificarla según la norma correspondiente.

Se podría enforcar la misma investigación de incorporar fibra de coco pero a placas de yeso cartón, así la comparamos con una placa similar que ya está en el mercado y evaluamos las características físicas y mecánicas.

CAPÍTULO VI. Bibliografía

- ACI Committe 544, "State-of-the-Art on Fiber Reinforced Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, 1998, pp. 544.1R-1 - 544.1R-66)
- Alarcón D. B. (2005), Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Spain.
- 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
- Alfonso, J., Ramírez, T. 2008. Manual técnico del cultivo del cocotero (Cocos nucífera L.). Cuenta del Desafío del Milenio, Honduras.
- Análisis físicos de suelos. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales N°5. Universidad de Concepción. Chillán.
- Burgos, D. (2008). Aislación térmica exterior manual de diseño para soluciones en edificación. Corporación de Desarrollo Tecnológico, Santiago de Chile.
- Bustamante, W- De Herde, A – Encinas, F. 2011. Análisis de Comportamiento Térmico de edificios de oficinas en comuna de la región Metropolitana, Chile. Vol 10 n° 1
- Flores Pereira, P. Manual de acústica, ruido y vibraciones. Barcelona. Ediciones GYC. 1990. 403p. ISBN: 84-87579-00-0
- González M, Rodríguez G. 2007. Bienestar habitacional y eficiencia energética de viviendas industrializadas con estructura de madera.
- González M, Rodríguez G; 2006. Confort térmico. Apuntes del curso Física de la Construcción. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile H. S. Sobral, 1990, pp. 77 - 86.
- <http://es.scribd.com/doc/41066546/3/propiedades-del-yeso>
- Hernández y Meza. (2011). MINVU (2006). Manual de aplicación reglamentación térmica
- MINVU ordenanza general de urbanismo y construcciones Artículo 4.1.10 Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU. Santiago de Chile.
- Hussin, M. W., Zakaria, F., "Prospects for Coconut-Fibre-Reinforced Thin Cement Sheets in the Malaysian Construction Industry", Second International RILEM
- Ishizaki, M. H., Visconte, L. L. Y., Furtado, C. R. G., Leite, M. C. A. M., & Leblanc, J. L. (2006). Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influencia do teor de fibra e das condições de mistura. Polímeros, 16(3), 182–186.

- Machado, B. A. S., Reis, J. H. O., Silva, J. B. da, Cruz, L. S., Nunes, I. L., Pereira, F. V, & Druzian, J. I. (2014). Obtaining nanocellulose from green coconut fibers and incorporation in biodegradable films of starch plasticized with glycerol. *Química Nova*, 37(8), 1275–1282.
- Manual de Aplicación Reglamentación Térmica. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, Artículo 4.1.10).
- MINVU (2006). Manual de Aplicación Reglamentación acústica. In.
- Manual de Construcción con Tierra, Minke 2010.
- 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
- Maruchi, A., Cueto, J., Santos, Y., Romero, W., LLauger, R., Rohde, W. 2007. Variabilidad morfológica y molecular de una población de cocoteros verdes en la Región de Baracoa. *Cultivos Tropicales* 28(3): 69-75.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well-being. The Millenium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC
- Naredo, J. M.; Cuchi, A. 2007. El libro verde de medio ambiente urbano en el ámbito de la edificación. 88:112. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. España
- Noguera, P. (1997). ((Variación de la Presencia y de las Propiedades Físicas y Químicas de Residuos de Fibra de Coco Comercializados como Sustrato o Componentes de Sustitos de Cultivo en el Estado Español. Depto. Química)). E.T.S.I.A. Univ. Politécnica Valencia.
- Oteiza I. and Tenorio J.A. (2007), La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. Jornada J7: Evaluación de la sostenibilidad en la Edificación, XVII Edición Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO) Instituto Eduardo Torroja, Madrid.
- Paramasivan, P., Nathan, G. K., Das Gupta, N. C , "Coconut Fiber einforced Corrugated Slabs", *Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 6, No. 1, 1984, pp. 9-27
- Pedro Mora Peris. 2008. El ciclo de vida del cemento, Un puente a la sostenibilidad en la construcción. *Cemento Hormigón*. 915: 66-75
- Rodríguez, Carlos (2006, julio). ((Las fibras naturales conquistan la industria.)) *Revista Muy interesante*. (Edición 12) Colombia.
- Rodríguez, G; 2010. Confort térmico. Apuntes del curso Física de la Construcción. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
- Ruiz-Larrea, E. Prieto, A. Gómez.2008. Arquitectura, Industria y Sostenibilidad. *Revista Informes de la Construcción* 60(3) 35:45
- Sandoval, M., Dörner, J., Seguel, O., Cuevas J., Rivera, D. 2012. Retención del agua en el suelo. En: *Métodos de*

- Savastano Jr., H., "The Use of Coir Fibres as Reinforcement to Portland Cement Mortars", Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, 1990, pp. 150 – 1
- Swamy, R. N.(1990) "Vegetable Fibre Reinforced Cement Composites - a False Dream or a Potential Reality?", Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, 1990, pp. 3 - 8.)

Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by

- Young, J. F., Mindess, S., Gray, R. J., Bentur, A., "The Science and Technology o Civil Engineering Materials", ed. by Prentice Hall Inc., 1998, pp. 359 - 371.ítulo 3 se detallan estos cálculos.