Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

Caracterización de las propiedades de una plancha de revestimiento con incorporación de bambú en una matriz de polipropileno

Por

Daniela Andrea Leiva Chamorro

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

Prof. Guía: Uriel Padilla Carreño

JUNIO, 2019

"No te rindas, por favor no cedas, aunque el frío queme, aunque el sol se esconda y se calle el viento, aún hay vida en tus sueños, porque cada día es un comienzo nuevo, porque esta es la hora y el mejor momento".

Mario Benedetti

Agradecimientos

A los académicos y funcionarios de la Universidad de Valparaíso por su entrega constante de conocimientos, a mi profesor guía Profesor Uriel Padilla, por su dedicación, entrega de conocimiento y todo su tiempo invertido.

A Don Víctor por la buena disposición y apoyo en todo momento en el laboratorio de la universidad que fue fundamental durante el desarrollo de la tesis, y como no agradecer a Empesita por siempre entregar una sonrisa o solución ante todas las cosas durante estos años.

Gracias a mis padres por el amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban por el desarrollo de mi tesis. Sin duda, son los pilares fundamentales en todas las etapas de mi vida, gracias por su esfuerzo durante todos estos años, por su apoyo incondicional, por su entrega y sacrificio. Gracias a mi madre, Pamela Chamorro, por estar dispuesta a acompañarme y ayudarme en lo que fuera necesario, por entregarme siempre las herramientas para poder salir adelante, por sus consejos, por cuidarme, preocuparse y darme ánimo en los días difíciles. Gracias a mi padre, Rolando Leiva, por desear siempre lo mejor para mi vida, gracias por su apoyo incondicional. Gracias a Dios, por la oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que más amo en el mundo, mis padres.

Gracias a mi amor Pedro Guajardo, por motivarme para cumplir cada reto, por estar siempre entregando una sonrisa y aguantando mis malos días de la mejor forma, por su apoyo incondicional durante estos últimos años. Agradecer también a las personas que apoyaron la realización de esta tesis de una u otra forma sin interés de recibir nada a cambio. Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en mí para la realización de esta tesis.

Índice

Agradecimientos **3**

Lista de abreviaturas y siglas **8**

Lista de figuras **9**

Lista de tablas **11**

Resumen **13**

Abstract **14**

Capítulo 1 **15**

Antecedentes Generales **15**

1.1 Introducción 16

1.2 Planteamiento del problema 17

1.3 Objetivos 20

1.3.1 Objetivo general 20

1.3.2 Objetivos específicos 20

1.4 Hipótesis 20

1.5 Alcances 20

Capítulo 2 **21**

Marco Teórico **21**

2.1 Planchas de revestimiento 22

2.1.1 Revestimientos 22

2.1.2 Plancha 23

2.2 Material compuesto 23

2.2.1 Tipos de materiales compuestos 24

2.2.2 Matriz y refuerzo 25

2.2.3 Formas de los refuerzos 25

2.3 Propiedades del polipropileno (PP) 26

2.3.1 Características generales de los plásticos 26

2.3.2 Clasificación de los plásticos según su plasticidad 27

2.3.3 Termoplásticos 27

2.3.4 Termoestables 28

2.3.5 Codificación 28
2.3.6 Características del polipropileno (PP) 28
2.3.7 Polipropileno y su uso en la construcción 30
2.4 Características y propiedades del bambú 30
2.4.2 Ventajas del bambú como material para la construcción sostenible. 31
2.4.3 Características constructivas del bambú 32
2.5 Aislación térmica 34
2.5.1 Conceptos de termodinámica 34
2.5.2 Confort térmico 34
2.5.3 Transmisión de calor 35
2.5.4 Mecanismos de transmisión de calor 35
2.6 Aislación acústica 37
2.6.1 Sonido 37
2.6.2 Propiedades de las ondas sonoras 37
2.6.3 Características del sonido 38
2.6.4 El ruido 38
Capítulo 3 ..... **40**
Metodología de la Investigación **40**
3.1 Diagrama de flujo de investigación 41
3.2 Fases de la investigación 42
3.3 Generalidades 42
3.4 Dimensiones 43
3.5 Descripción de la plancha 43
3.6 Materiales de trabajo 44
3.6.1 Bambú 44
3.6.2 Polipropileno 46
3.6.3 Molde metálico 46
3.7 Diseño de la experiencia 47
3.7.1 Programa experimental 47
3.7.2 Variables de estudio 47
3.7.3 Variable independiente 47

3.7.4 Variable dependiente 47
3.7.5 Muestra patrón 47
3.7.6 Factorial de ensayos 48
3.8 Ensayos a realizar 48
3.9 Ensayos de laboratorio 49
3.9.1 Método de la cámara térmica 49
3.9.2 Ensayo de aislación acústica 51
3.9.3 Ensayos de propiedades físicas y mecánicas 53
3.10 Fabricación de la plancha 57
3.10.1 Confección de probetas mezclado en frío 58
3.10.2 Estandarización del proceso 59
Capítulo 4 ..... **62**
Trabajo Experimental **62**
4.1 Etapa preliminar 63
4.1.1 Granulometría 63
4.1.2 Estimación de densidades 65
4.2 Confección de la plancha 69
4.3 Ensayos 75
4.3.1 Ensayo de flexión 75
4.3.2 Ensayo impacto 77
4.3.3 Ensayo de humedad 78
4.3.4 Ensayo térmico 80
4.3.5 Ensayo acústico 83
Capítulo 5 ..... **86**
Presentación y análisis de resultados **86**
5.1 Análisis de ensayos de flexión, impacto y humedad 87
5.2 Análisis térmico 89
5.3 Análisis acústico 89
5.4 Tendencia entre los ensayos realizados 89
5.5 Análisis de costos 95
5.5.1 Cubicación de materiales 95

5.5.2 Análisis de precios unitarios....96
5.5.3 Costo de fabricación planchas....97
Capítulo 6 **....99**
Conclusiones **....99**
6.1 Conclusiones....100
6.1.1 Conclusiones sobre resistencia a la flexión....100
6.1.2 Conclusiones sobre resistencia al impacto....100
6.1.3 Conclusiones sobre resistencia a la humedad....101
6.1.4 Comportamiento térmico....101
6.1.5 Comportamiento acústico....101
6.1.6 Conclusiones económicas....101
6.1.7 Conclusiones respecto al proceso de fabricación....102
6.1.8 Conclusiones finales....102
6.2 Futuras investigaciones....102
Bibliografía **....103**
Anexos **....106**
Anexo 1....107
1.1 Protocolo de seguridad....107
Anexo 2....107
2.1 Tabla de aislación térmica....107

Lista de abreviaturas y siglas

B = Bambú

cm = Centímetros

dB = Decibelio

ρ = Densidad

ºC = Grados Celsius

º = Grados sexagesimales

g = Gramos

hr = Horas

Hz = Hertz

kg = Kilo

KN = Kilonewton

m = Metro

m3 = Metro cúbico

ml = Mililitro

mm = Milímetro

min = Minuto

N = Newton

PP = Polipropileno

% = Porcentaje

Seg = Segundos

Lista de figuras

Figura 1.1 Mapa de Áreas donde crece bambú 18
Figura 2.1 Tipos de revestimientos 22
Figura 2.2 Plancha de yeso cartón presentada en un tabique 23
Figura 2.3 Tipos de refuerzos en matrices poliméricas 25
Figura 2.4 Tipos de compuestos fibrosos 26
Figura 2.5 Tipos de refuerzos en materiales compuestos 26
Figura 2.6 Enlaces de termoplásticos y termoestables 27
Figura 2.7 Codificación del PP 28
Figura 2.8 Cañas de Bambú 31
Figura 2.9 Bosque de bambú 32
Figura 2.10 Bambú utilizado en la construcción de casas y andamios 33
Figura 3.1 Diagrama de metodología 41
Figura 3.2 Planchas colocadas en tabiques 44
Figura 3.3 Cosecha de varas de Bambú de 1 metro para ser trituradas 45
Figura 3.4 Tamizado de bambú en malla N°4 45
Figura 3.5 Tamaño pellet de polipropileno 46
Figura 3.6 Medidas de los moldes metálicos 46
Figura 3.7 Cámara térmica con fuente de calor 49
Figura 3.8 Cámara térmica ensayo acústico 52
Figura 3.9 Sonómetro 53
Figura 3.10 Distancia entre soportes 53
Figura 3.11 Materiales a utilizar para la confección de las planchas 57
Figura 3.12 Mezcla en frío de Bambú y polipropileno 58
Figura 3.13 Plancha confeccionada 0,5 cm de espesor 58
Figura 3.14 Marca molde a 1 cm de espesor 59
Figura 3.15 Proceso de confección de las planchas 61
Figura 4.1 Cuarteo de muestra extraída de bambú 63

Figura 4.2 Bambú retenido en cada tamiz 64
Figura 4.3 Molde con bambú para cálculo de densidad aparente 66
Figura 4.4 Vaso precipitado con vaselina para cálculo de densidad real del PP 67
Figura 4.5 Molde con PP para cálculo de densidad aparente 68
Figura 4.6 Primer intento en la confección de las planchas 69
Figura 4.7 Segundo intento en la confección de las planchas 70
Figura 4.8 Vista trasera y frontal de la probeta con incorporación de 30% de bambú 72
Figura 4.9 Probetas confeccionadas con 30% de bambú 73
Figura 4.10 Molde con PP al horno para confección de plancha con 0% de bambú 74
Figura 4.11 Molde con PP a 200°C 74
Figura 4.12 Plancha confeccionada con 0% de bambú 74
Figura 4.13 Carga aplicada a planchas para evitar curvatura 74
Figura 4.14 Máquina para realizar ensayo de flexión 75
Figura 4.15 Plancha sometida a peso, ensayo de flexión 75
Figura 4.16 Plancha en posición para ser evaluada, ensayo de flexión 76
Figura 4.17 Gráfico de resultados ensayo de resistencia a la flexión 76
Figura 4.18 Bola de acero y cama de arena para ensayo de impacto 77
Figura 4.19 Gráfico de resultados ensayo de resistencia al impacto 78
Figura 4.20 Muestras sumergidas en agua 79
Figura 4.21 Gráfico de resultados ensayo de humedad 79
Figura 4.22 Cámara térmica utilizada 80
Figura 4.23 PASCO XPLORER GLX PS2002 81
Figura 4.24 Gráfico de resultados ensayo temperatura 83
Figura 4.25 Gráfico de resultados ensayo acústico 85
Figura 5.1 Gráfico de desempeño 94
Figura A.2.1 Gráfico temperatura 0% bambú 113
Figura A.2.2 Gráfico temperatura 30% bambú 113
Figura A.2.3 Gráfico temperatura 40% bambú 114
Figura A.2.4 Gráfico temperatura 50% bambú 114

Figura A.2.5 Gráfico temperatura yeso cartón 115

Lista de tablas

Tabla 2.1 Comparación de propiedades mecánicas y térmicas entre PP y otros polímeros 29
Tabla 2.2 Comparación de propiedades del bambú con otros materiales 33
Tabla 3.1 Factorial de ensayos 48
Tabla 3.2 Normas, ensayos y equipos a utilizar 48
Tabla 3.3 Requisitos de resistencia 54
Tabla 4.1 Granulometría del bambú 64
Tabla 4.2 Cálculo densidad real del bambú 65
Tabla 4.3 Cálculo densidad aparente del bambú 66
Tabla 4.4 Cálculo densidad real del PP 67
Tabla 4.5 Cálculo densidad aparente del PP 68
Tabla 4.6 Resultados ensayo de resistencia a la flexión 76
Tabla 4.7 Resultados ensayo de resistencia al impacto 77
Tabla 4.8 Resultados ensayo de Humedad 78
Tabla 4.9 Diferenciales de Temperatura en las caras 82
Tabla 4.10 Frecuencia NCh 2786 of 2003 83
Tabla 4.11 Registro resultados ensayo acústico 84
Tabla 5.1 Descripción de planchas 87
Tabla 5.2 Rango ensayo flexión 90
Tabla 5.3 Rango ensayo impacto 90
Tabla 5.4 Rango ensayo humedad 91
Tabla 5.5 Rango ensayo Térmico 91
Tabla 5.6 Mayor % absorbido de cada frecuencia y nota promedio 92
Tabla 5.7 Rango ensayo Acústico 93
Tabla 5.8 Tabla de desempeño 93
Tabla 5.9 Cubicación plancha 0 % bambú 95
Tabla 5.10 Cubicación plancha 30 % bambú 95

Tabla 5.11 Cubicación plancha 40 % bambú 96
Tabla 5.12 Cubicación plancha 50 % bambú 96
Tabla 5.13 Análisis de precio unitario de materiales..... 96
Tabla 5.14 Análisis de precio unitario plancha 0 % de bambú 97
Tabla 5.15 Análisis de precio unitario plancha 30 % de bambú 97
Tabla 5.16 Análisis de precio unitario plancha 40 % de bambú 98
Tabla 5.17 Análisis de precio unitario plancha 50 % de bambú 98
Tabla A.2.1 Tabla diferencia de temperatura 0 % bambú 108
Tabla A.2.2 Tabla diferencia de temperatura 30 % bambú 109
Tabla A.2.3 Tabla diferencia de temperatura 40 % bambú 110
Tabla A.2.4 Tabla diferencia de temperatura 50 % bambú 111
Tabla A.2.5 Tabla diferencia de temperatura Yeso Cartón 112

Resumen

Los materiales compuestos se usan desde la antigüedad. A partir de 1939, se emplearon las fibras naturales como refuerzo de una matriz plástica, ya que ofrecen ciertas ventajas en comparación con las sintéticas, siendo renovables, biodegradables, menos abrasivas, no causan irritación en los ojos, y presentan una menor demanda energética para su producción. Se ha estudiado que el bambú es una de las plantas con mayor resistencia mecánica hoy en día, siendo por esta razón que se propone utilizar las partículas de bambú trituradas para ser empleadas como refuerzo en una matriz termoplástica en base a Polipropileno. Este tipo de plásticos tienen la característica particular de que una vez polimerizados se pueden ablandar o derretir con calor para cambiar su forma.

La actual investigación consistió en diseñar y evaluar una plancha prefabricada a base de polipropileno con remplazo de bambú triturado mezclado en caliente, se construyeron probetas con distintas dosificaciones de bambú para la realización de ensayos y determinación de algunas propiedades mecánicas, físicas y termoacústicas con proporciones de mezcla Bambú/Plástico en un 50/50, 40/60 y 30/70 respectivamente utilizando como medida dimensional el gramo de material.

Para efectos de estudio se realizaron ensayos de flexión, impacto, humedad y evaluaciones de aislación térmica y acústica, para esto se utilizaron como guía las normas chilenas NCH 146/1 Of 2000, NCH 146/2 Of 2000 y el Manual de Reglamentación Térmico y Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, obteniendo resultados positivos desde el punto de vista mecánico y termo-acústico creando un material que efectivamente cumple como una eficiente solución técnica constructiva.

Palabras-claves: Polipropileno (PP), Bambú, Material compuesto, fibras naturales, planchas y/o placas de revestimiento.

Abstract

Composite materials have been used since ancient times. From 1939, natural fibers have served the purpose of reinforcing a plastic matrix, as they offer particular advantages compared to synthetic fibers: they are renewable, biodegradable, less abrasive, do not cause eye irritation, and have a lower energy demand for their production. It has been studied that bamboo is one of the plants with highest levels of mechanical resistance nowadays. Therefore, it is proposed to use the crushed bamboo particles as reinforcement in a thermoplastic matrix based on Polypropylene. This kind of plastics have the particular feature that once polymerized they can soften or melt with heat for changing their shape.

The following research consisted of designing and assessing a polypropylene-based prefabricated panel with replacement of hot-mixed shredded bamboo. For this purpose, test pieces with different bamboo dosages were constructed for testing and determination of some mechanical and thermoacoustic properties, being such proportions of bamboo/plastic combinations in a 50/50, 40/60 and 30/70, using as a measure the gram of material.

For study purposes, tests of bending, impact, humidity and thermal and acoustic insulation assessments were carried out. Consequently, the Chilean norms NCH 146/1 Of 2000, NCH 146/2 Of 2000 and the Thermal and Acoustic Regulation Manual by Housing and Urban Planning Ministry were used, achieving positive results from the mechanical and thermo-acoustic point of view, creating a material that effectively accomplishes the purpose of being an efficient constructive technical solution.

Keywords: Polypropylene (PP), Bamboo, Composite material, natural fibers, coating plates.

Capítulo 1
Antecedentes Generales

1.1 Introducción

En los últimos años, ha surgido un particular interés por el desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras naturales, como consecuencia de las ventajas técnicas, económicas y ambientales que presentan, los materiales compuestos están formados de materiales continuos y discontinuos, al material continuo se le llama matriz, y al medio discontinuo, que usualmente es el más fuerte y duro, se le llama refuerzo. Las propiedades de los materiales compuestos son dependientes de los materiales que lo constituyen, así como de la distribución e interacción entre ellos.

Los materiales compuestos deben cumplir las condiciones de ser físicamente distintos y separables mecánicamente, pueden fabricarse mezclando distintos materiales de tal forma que la dispersión de un material en el otro pueda hacerse de manera controlada para alcanzar propiedades óptimas, las propiedades son superiores, y posiblemente únicas en algún aspecto específico, a las propiedades de los componentes por separado, siendo este último punto aquel que impulsa la presente investigación, a crear y construir un nuevo material compuesto con refuerzos naturales, como lo es el bambú, planta con una altísima tasa de crecimiento y excelentes propiedades mecánicas, y el polipropileno con el cual se desea dar ligereza al material de revestimiento que se pretende crear.

Por tales motivos, la presente investigación tiene como objetivo proporcionar una alternativa de utilización al polipropileno como matriz, proponiendo un nuevo material de construcción que aproveche las propiedades que ofrece este plástico, como su baja densidad, impermeabilidad, resistencia mecánica, aislación térmica y acústica, incorporando un material de refuerzo, como lo es el bambú, el cual ha sido marginado debido a la abundancia de bosques madereros.

Existen actualmente extensas áreas cubiertas con esta especie de altísima tasa de crecimiento y grandes propiedades mecánicas, convirtiéndose en una alternativa actual al reemplazo de la madera, debido que presentan propiedades favorables para su explotación en relación a sus niveles de productividad, siendo una planta con reducido tiempo de maduración para ser procesada y cuenta, además, con un bajo índice de impacto en su cosecha.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, existe una constante búsqueda por el desarrollo de nuevos materiales que logren satisfacer eficazmente las crecientes necesidades de los mercados, materiales que abarquen la enorme demanda constructiva y que, a su vez, sean sustentables, siendo de gran relevancia, en este sentido, los materiales compuestos. La importancia que tiene para la ingeniería un material compuesto es que dos o más materiales diferentes se combinen para formar otro cuyas propiedades sean superiores a las de los componentes individuales. Multitud de materiales corresponden a esta categoría predominando refuerzos fibrosos y particulados (Rojo, 2011).

Gran parte de los tipos de revestimiento existentes se clasifican como materiales compuestos, los cuales, si bien cumplen con las normativas vigentes, estos son ineficientes en su uso, debido a que un impacto no mayor podría afectarlos.

Los materiales compuestos se distinguen básicamente por estar constituidos por más de un componente, los que se deben diferenciar entre ellos, en una mezcla heterogénea. Estos se deben conjugar en una estrecha relación de matriz y refuerzo. La principal característica de estos materiales reside en que un componente conforma una matriz que envuelve el material de refuerzo de forma que estos trabajen como uno solo, con la intención de mejorar las propiedades, conjugando y complementando las propiedades de los mismos. Un ejemplo claro de esto, es el nacimiento del hormigón armado, cuya matriz es el hormigón y su refuerzo, el acero (López, 2015).

Los polímeros son utilizados en gran cantidad de aplicaciones industriales y en casos donde se desea un mejor tipo de material, en cuyo caso el polímero es mezclado con fibras de vidrio, carbono o aromidas que mejora las características de este; sin embargo, en ocasiones la producción en masa de este polímero reforzado se vuelve compleja y tediosa por el uso de las fibras antes mencionada, ya que puede presentar riesgos para la salud y complejos manejos en su manufactura.

Al identificar estos aspectos, se investiga como primera medida el uso de un componente de origen natural que al igual que la fibra de vidrio, carbono y aromidas, mejore las características del polímero o las iguale, haciéndolo mucho más eficaz y resistente, posteriormente se observará que tan factible sería la producción de este nuevo material y de esta manera ayudar a una producción limpia y menos compleja.

En el país existen 11 especies autóctonas conocidas de bambú, todas ellas pertenecientes al género Chusquea, que se encuentran tanto en la Cordillera de los Andes como en la Cordillera de la Costa. Las principales cañas de bambú chileno son la Quila y el

Colihue, estas especies destacan por su alto grado de endemismo y por representar la principal formación de bambusáceas sólidas en el mundo (González, 2008).

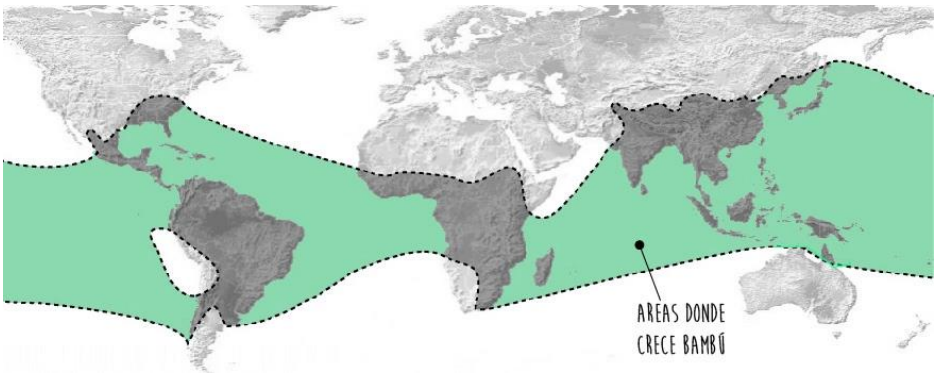

Figura 1.1 Mapa de Áreas donde crece bambú.
Fuente: Cruz, 2009.

Hoy en día en otros países se han realizado varios estudios sobre el uso de fibras de bambú como refuerzo en matrices poliméricas en donde los resultados no han sido los esperados desde el punto de vista de la resistencia y la rigidez exclusivamente, los materiales compuestos reforzados con fibras no tienen una clara ventaja, particularmente cuando se observa que su alargamiento de rotura es mucho menor que otros materiales con resistencia comparable. Las ventajas de los materiales compuestos aparecen cuando se considera el módulo de elasticidad por unidad de peso (módulo específico) y resistencia por unidad de peso (resistencia específica). El mayor modulo especifico y resistencia especifica de los materiales compuestos significa que el peso de los componentes puede reducirse. Este es un factor de gran importancia en las piezas móviles, especialmente en todas las formas de transporte donde las reducciones de peso dan como resultado un mayor rendimiento y ahorro de energía. Las grandes diferencias de propiedades en distintas direcciones de la fibra también es una gran limitación por ser un material altamente anisótropo (Areal & Areal, 2003).

Sin embargo en dos estudios recientes donde se estudió el "Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas" realizada en Colombia en el año 2009, hubo resultados bastante positivos, concluyendo que la fibras de bambú tenían una incidencia en el aumento de la resistencia del material, al igual que una tesis donde se estudiaron las "Propiedades mecánicas del material compuesto elaborado con bambú y polipropileno" en donde utilizaron un acoplante y prensaron el material, los mejores resultados dieron con un 30% de contenido de fibras (Lucerna et al, 2009).

Por otra parte la matriz se escogió a partir de las recomendaciones de otros trabajos (Skreekumar & Pickering, 2008) según los cuales se tilda a los polímeros de ser los materiales más utilizados en compuestos. Esta investigación se limita al estudio de las matrices poliméricas, que tienen dos ramas principales: las termoplásticas y las termoestables, siendo utilizado en esta investigación un polímero termoplástico.

El polipropileno (PP), es un polímero termoplástico de gran consumo, sus aplicaciones han crecido significativamente debido a que es un polímero muy versátil, es decir, posee gran capacidad para ser modificado y diseñado para distintas aplicaciones específicas. Debido a su comportamiento térmico y reológico, cuando se encuentra fundido, puede ser procesado en un amplio intervalo de condiciones que van desde el moldeo por inyección hasta el soplado. Su baja densidad, de aproximadamente 0.90 g/cm3 le asegura una creciente penetración en el mercado por su por su baja relación costo/volumen.

El PP es el plástico más ligero, y ofrece un buen equilibrio entre propiedades térmicas y químicas, teniendo presente sus moderadas propiedades mecánicas. Se caracteriza principalmente por tener una excelente resistencia a la flexión, buena resistencia a las fisuras por tensión, excelente resistencia química, buena resistencia al impacto, buena estabilidad térmica, baja densidad y bajo costo de producción.

Basándonos en lo anterior, se busca la incorporación del bambú como una alternativa que preserve las propiedades térmicas como acústicas del mismo y que cumpla con las solicitaciones físicas y mecánicas a las que se vea expuesto.

En la investigación desarrollada, se fabricó un nuevo material del tipo revestimiento, la plancha se llevó a cabo utilizando el PP como matriz envolvente del refuerzo natural, el cual fue de bambú triturado, mezclado en caliente a una temperatura de 200ºC. Debido a que a esta temperatura el PP alcanza un estado líquido con una temperatura mayor a la del punto de fusión, la cual es de 187°C. Las partículas de bambú se repartieron homogéneamente con la matriz del PP en el molde respectivo, se utilizaron dosis variables de bambú triturado en un 30%, 40% y 50% del volumen como remplazo en la mezcla, los porcentajes fueron escogidos como una aproximación inicial a esta influencia. Se mantuvieron fijas y controladas todas las variables, dejándose solo como variable independiente la masa de material de refuerzo incluido en la fabricación de la plancha, a fin de establecer su influencia en las características estudiadas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar las propiedades del material propuesto al incorporar contenidos variables de bambú triturado en la matriz de polipropileno, para su aplicación en tabiques como plancha de revestimiento.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Diseñar un proceso para confeccionar la plancha propuesta con variación en un 30%, 40% y 50% de bambú.
- ✓ Evaluar la aislación térmica de las planchas con contenidos variables de bambú, según lo indicado por el Manual de Reglamentación Térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- ✓ Evaluar la aislación acústica de la plancha al incorporar contenidos variables de bambú, de acuerdo con el Manual de Aplicación Reglamentación Acústica del Ministerio del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- ✓ Establecer la resistencia a la flexión de la plancha de acuerdo a NCh 146/2 Of 2000.
- ✓ Determinar la resistencia a la humedad de la plancha de acuerdo a NCh146/2 Of 2000.
- ✓ Establecer la resistencia al impacto de la plancha de acuerdo a NCh146/2 Of 2000.
- ✓ Comparar las propiedades del material propuesto con planchas de yeso cartón ST de 10 mm.

1.4 Hipótesis

Un mayor % de bambú aplicado a la matriz de polipropileno aumenta las propiedades de la plancha, permitiendo crear una plancha prefabricada con propiedades mecánicas, físicas y aislación termo-acústica para ser utilizada como revestimiento de una vivienda.

1.5 Alcances

- ✓ En esta investigación no se utilizaron aditivos, la mezcla se realizó en horno a alta temperatura.
- ✓ Todos los ensayos se realizaron a la misma edad de confección de las planchas.
- ✓ Las planchas fabricadas son para ser usadas en zonas de baja temperatura, no expuestas al fuego.

Capítulo 2
Marco Teórico

2.1 Planchas de revestimiento

2.1.1 Revestimientos

Revestimiento es el nombre que se da a la colocación de una capa de cualquier material para proteger o adornar una superficie. El revestimiento cumple dos propósitos:

- Por un lado, busca proteger la superficie al conferirle ciertas cualidades adicionales al material, como pueden ser, por ejemplo, el aumento de su resistencia a los roces y los impactos, o actuar de material aislante.
- Por otra parte, tiene preocupaciones de orden estético, al buscar una valoración estrictamente decorativa (Cusa, 1995).

Revestimiento exterior de piedra, madera y concreto

Revestimiento interior de papel y vidrio.

Figuras 2.1 Tipos de revestimientos.
Fuente: Nuñez, 2015.

2.1.2 Plancha

Para efectos de esta investigación se define como plancha, a una placa de metal u otro material, generalmente rígida y poco gruesa, son elementos cuya superficie media es plana.

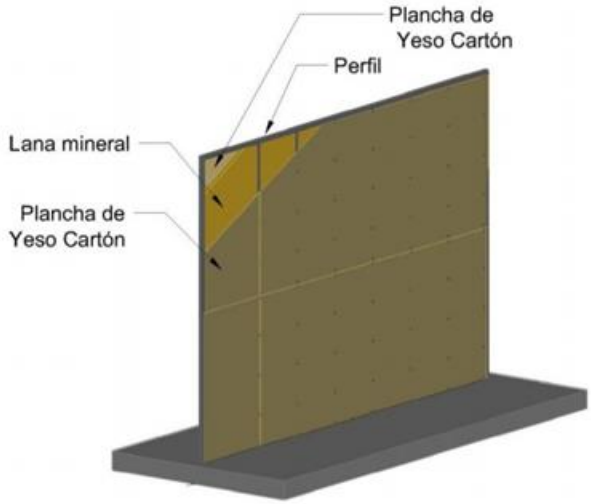

Figura 2.2 Plancha de yeso Cartón presentada en un tabique.
Fuente: Cárdenas, 2016.

2.2 Material compuesto

Se define como material compuesto todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insoluble entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores.

Podemos identificar dos fases: una continua, constituida por la matriz, y otra discontinua, denominada refuerzo. Los componentes de un material compuesto no deben disolverse ni fusionarse completamente unos con otros. La identificación de los materiales y la de su interfase debe ser posible de distinguir por medios físicos.

Las propiedades del nuevo material dependen, entonces, del tipo de interfase y de las características de los componentes.

2.2.1 Tipos de materiales compuestos

De las diferentes clasificaciones que podemos hacer de los materiales compuestos, quizás la más importante sea la que se refiere a su matriz, y en la cual podemos identificar tres grupos principales:

- Materiales compuestos de matriz metálica
- Materiales compuesta de matriz cerámica
- Materiales compuestos de matriz polimérica

Materiales compuestos de matriz metálica (MMC): Estos materiales tienen una alta resistencia y muy bajo peso. Se pueden clasificar tres grandes grupos de acuerdo con el tipo de refuerzo incorporado: reforzados con fibra continua, reforzados con fibras discontinuas y reforzados con partículas. Un ejemplo de estos materiales serían las aleaciones de aluminio con refuerzos de fibras de boro.

Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC): Tienen mejores propiedades mecánicas como la resistencia y tenacidad de los materiales cerámicos tradicionales, especialmente en rangos de bajas temperaturas. Estos también se clasifican en función del tipo de refuerzos que tenga: reforzados con fibras continuas, reforzados con fibras discontinuas y reforzadas con partículas. Las fibras de refuerzo que se combinan con las matrices cerámicas son las de carburo de sillicio y las de óxido de aluminio, y en el caso de las fibras discontinuas y partículas se utilizan como refuerzo agujas cerámicas de carburo de silicio.

Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC): Son materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y a causa de sus propiedades físicas, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. Son aquellos materiales en los cuales la matriz está constituida por un polímero y el refuerzo es algún tipo de fibra, ya sea orgánica o inorgánica. Dentro de este tipo de materiales compuestos, podemos destacar los termoestables y los termoplásticos.

De acuerdo con esta clasificación basada en las matrices, podemos encontrar en cada grupo numerosos materiales que pueden ser utilizados como elemento aglutinante.

Sin embargo, este estudio se dirigirá al grupo de materiales compuestos de matriz polimérica, por ser el más ampliamente utilizado en la industria en general, debido a los beneficios obtenidos.

2.2.2 Matriz y refuerzo

Casi todos los denominados materiales compuestos están constituidos por dos fases: una, sustentante o matriz, y otra, reforzante, que está inmersa o firmemente adherida a la primera. La fase matriz del material compuesto suele ser la más tenaz, aunque también la menos resistente y dura. La fase reforzante suele ser, por el contrario, la de mayor resistencia y con más alto módulo elástico, pero también la de mayor fragilidad. La combinación y compensación de dureza y blandura, fragilidad y tenacidad en los compuestos bien diseñados hace que estos materiales tengan muchas aplicaciones y respondan a muy variadas exigencias constructivas. En definitiva, podemos decir que la fibra o partícula aporta rigidez y resistencia y que la matriz es flexible y poco resistente, aglomera las fibras o partículas, les da forma y transmite los esfuerzos entre fibras o partículas.

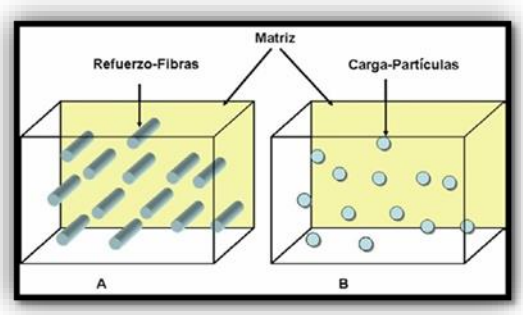

Figura 2.3 Tipos de refuerzos en matrices poliméricas.
Fuente: Vallejos, 2006.

2.2.3 Formas de los refuerzos

Dentro de los materiales compuestos se pueden establecer tres tipos:

a) Compuestos particulados, cuya fase inmersa en la matriz se compone de partículas con formas más o menos aproximadas a la esférica.
b) Compuestos fibrosos, llamados así cuando el material de refuerzo está formado por fibras, esto es, por elementos en los que una dimensión predomina notablemente sobre las otras dos. Dentro del compuesto, las fibras de refuerzo pueden quedar orientadas de diversas formas:
    a) De forma unidireccional (fibras largas)
    b) De manera aleatoria (fibras cortas)
    c) Con disposición ortogonal (mallas ortogonales)
    d) En varias capas alternadas.

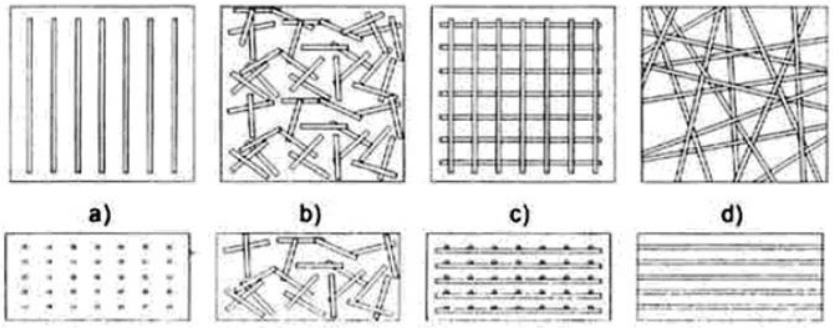

Figura 2.4 Tipos de compuestos fibrosos.
Fuente: Rodríguez, 2003.

c) Finalmente, los compuestos laminados, son aquéllos en los que suelen alternarse las fases componentes en forma laminar, y no siempre con espesores semejantes.

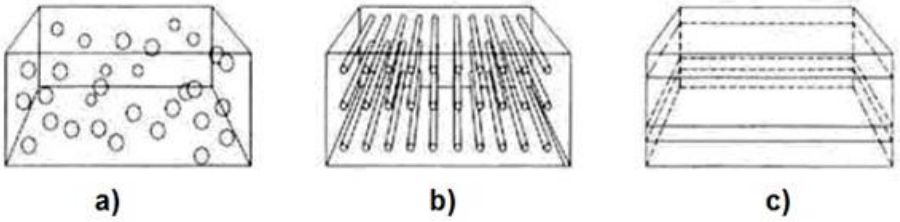

Figura 2.5 Tipos de Refuerzos en materiales compuestos.
Fuente: Rodríguez, 2003.

2.3 Propiedades del polipropileno (PP)

2.3.1 Características generales de los plásticos

Los plásticos se caracterizan por su alta relación entre resistencia y densidad, siendo excelentes aisladores térmicos y eléctricos con una buena resistencia a los ácidos álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas, es decir, que estas se ablandan al calor, mientras que las entrecruzadas son termoendurecibles, esto quiere decir, que se endurecen con calor.

2.3.2 Clasificación de los plásticos según su plasticidad

Desde el punto de vista de la plasticidad por elevación de la temperatura, los plásticos se clasifican principalmente en dos categorías muy diferentes:

- Termoplásticos.
- Termoestables.

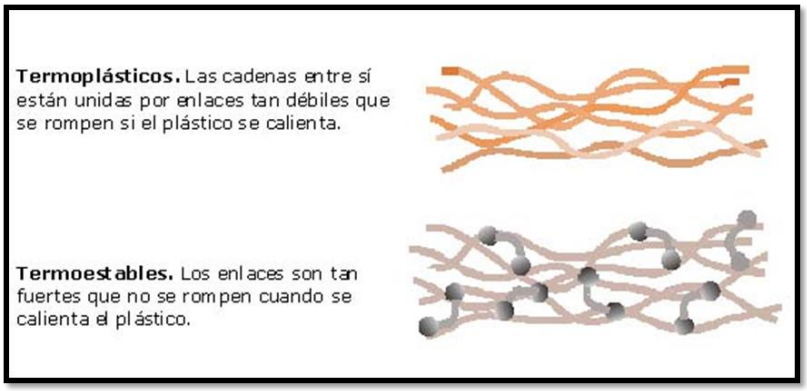

Figura 2.6 Enlaces de termoplástico y termoestable.
Fuente: Juárez, 2012.

2.3.3 Termoplásticos

Estos tipos de plásticos al calentarse fluyen como líquidos viscosos y al enfriarse se solidifican. El enfriamiento y calentamiento puede realizarse cuantas veces se quiera sin perder las propiedades del material. Este tipo de plásticos componen aproximadamente el 85% de los plásticos consumidos y son reciclables. Los principales tipos de termoplásticos son:

- Polietileno
- Polipropileno
- Poliestireno
- Cloruro de polivinilo
- Nylon
- Polietileno tereftalato

2.3.4 Termoestables

Este tipo de plásticos se funden al aplicar calor y se solidifican al aplicar aún más temperatura. Estos no pueden ser recalentados y remoldeados, pero pueden reprocesarse por fusión. Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Los principales tipos de termoestables son:

- Resina de poliéster.
- Melanina formaldehído.
- Urea formaldehído.
- Fenol formaldehído (Bakelita).

2.3.5 Codificación

Existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son seis, y se los identifica con un número dentro de un triángulo, según el SPI -Sistema de Identificación de Plásticos, a efectos de facilitar su clasificación para el reciclado, ya que por sus diferentes características los plásticos generalmente exigen un reciclaje por separado. A continuación, se detalla la codificación del PP:

Figura 2.7 Codificación del PP.
Fuente: Villén, 2012.

2.3.6 Características del polipropileno (PP)

El polipropileno (PP), es un polímero termoplástico de gran consumo, y sus aplicaciones han crecido significativamente debido a que es un polímero muy versátil, es decir, posee gran capacidad para ser modificado y diseñado para distintas aplicaciones específicas. Debido a su comportamiento térmico y reológico, cuando se encuentra fundido, puede ser procesado en un amplio intervalo de condiciones que van desde el moldeo por inyección hasta el soplado. Su baja densidad, de aproximadamente 0,90 g/cm^3 le asegura una creciente penetración en el mercado, tanto por sus propiedades mecánicas como por su

baja relación costo/volumen. Los productos de polipropileno poseen una mayor flexibilidad y simplicidad para el reciclado, debido a su alta resistencia química y medioambiental, y su baja densidad que favorece la separación de otros materiales.

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del polipropileno le permiten ser aplicado en una amplia variedad de productos formados mediante procesos de extrusión o de inyección. El polipropileno (PP) es una poliolefina que se sintetiza mediante catálisis a partir del propileno para formar un homopolímero o copolímeros con otras olefinas.

El polipropileno es el plástico más ligero, y ofrece un buen equilibrio entre propiedades térmicas (mayores que el polietileno) y químicas, teniendo presente sus moderadas propiedades mecánicas. Se caracteriza principalmente por tener una excelente resistencia a la flexión, una buena resistencia a las fisuras por tensión, excelente resistencia química, buena resistencia al impacto, buena estabilidad térmica, baja densidad y bajo coste de producción.

Su tonalidad natural va desde ligeramente transparente hasta opaca, que dependerá del mayor o menor grado de cristalinidad. Se puede teñir con colores opacos con un alto brillo superficial. Posee rigidez, dureza y resistencia mecánica más altas que el polietileno (PE), pero con menor resistencia al impacto en probeta con entalla. Se puede fijar con clavos.

Si se compara al polipropileno con el polietileno (PE), el cual es otro polímero muy empleado en la industria, en general, ambos presentan propiedades semejantes, aunque el polipropileno posee una densidad menor, un mayor rango de temperaturas de aplicación y mayor rigidez. En la tabla 2.1 se comparan las propiedades del polipropileno con otros polímeros.

Polímero	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo a flexión (GPa)	Alargamiento a la rotura (%)	Resistencia al impacto Izod (KJ/m)	Temperatura máxima de servicio (Cº)
PS	34	3,4	1,6	0,02	50
PET	75	3,0	70,0	0,02	115
PVC	51	3,0	60,0	0,08	50
ABS	47	2,7	8,0	0,20	70
HDPE	32	1,3	150,0	0,15	55
LDPE	10	0,3	400,0	No rompe	50
PP	33	1,5	150,0	0,07	100

Tabla 2.1 Comparación de las propiedades mecánicas y térmicas entre el PP y otros polímeros.
Fuente: Vallejos, 2006.

La presencia de refuerzo/carga en la matriz de polipropileno produce una mejora sustancial en la rigidez y en la resistencia térmica del material, aumentando la resistencia a tracción, el módulo de elasticidad y el de Young, disminuyendo la deformación dimensional, el alabeo y contracción.

2.3.7 Polipropileno y su uso en la construcción

Algunas de las innovadoras aplicaciones del polipropileno en la construcción, son los novedosos sistemas constructivos que permiten realizar viviendas a partir de módulos o contenedores de polipropileno que se pueden apilar para ampliar el espacio.

Sistema modular de construcción de viviendas hechas en plástico prefabricado que se montan para armar módulos y casas mediante la conexión con tornillos. Los paneles están hechos de polietileno y polipropileno reciclado y son ligeros, durables y de bajo costo. Casas de una sola planta se pueden poner juntas para construir cualquier superficie de la vivienda.

Actualmente hay una tendencia a utilizar sólo el PP dentro de los coches. También las fibras de polipropileno cuentan con algunas características que les hacen ser un complemento ideal para obtener ciertas ventajas en las obras y concretamente como añadido al hormigón.

2.4 Características y propiedades del bambú

2.4.1 ¿Qué es el bambú?

El bambú es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas, como lo es el pasto, se diferencian en especies según su conformación física y mecánica, así como biológica. Existen más de 1.200 especies de bambú en todo el planeta cubriendo casi la totalidad de climas y más de 90 géneros a nivel mundial, la mayoría de agrupan en climas tropicales y sub-tropicales.

El bambú se ha utilizado en el mundo de la construcción desde tiempos antiguos. Esta planta tiene la particularidad de que crece a gran velocidad. Ya que, puede llegar a crecer hasta medio metro en un solo día.

En países tercermundistas por un fenómeno cultural se considera un material ordinario que denota pobreza y mal gusto, debido principalmente a que era utilizado por comunidades rurales por ser un recurso natural, sin costo, el cual, a la vez satisfacía sus necesidades. En los últimos años se ha observado un cambio en esta actitud y hoy en día se ve a este recurso como un material noble para múltiples usos.

Se han hecho múltiples estudios en los últimos años para conocer a ciencia cierta todas las propiedades constructivas que tiene este material, incluso se han llegado a construir viviendas enteras de bambú que han demostrado funcionalidad.

En Chile sólo se encuentra el género chusquea, este género es el que comprende la mayor diversidad de especies (180 especies) y el más común en América y se caracterizan en su mayoría por ocupar zonas de alta montaña. En nuestro país, es representado por once especies que crecen en diferentes condiciones climáticas y topográficas, siendo Chusquea Culeou la más importante, tanto por la superficie que abarca, como por el volumen que aporta al medio ambiente. Solo entre las regiones de V a XI ocupa una superficie de aproximadamente un millón de hectáreas y entre las IX y XI produce un volumen de 26 millones de toneladas de materia prima en pie de peso seco y el total de especies representadas por este género ocupan una superficie de aproximadamente 3.5 millones de hectáreas entre la VI y XI regiones de Chile.

Figura 2.8 Cañas de Bambú.
Fuente: Campos, 2003.

2.4.2 Ventajas del bambú como material para la construcción sostenible.

El bambú se aclimata a todo tipo de suelos y terrenos, incluso plantaciones en superficies desgastadas, ya que requiere pocos nutrientes y sus mayores rendimientos se obtienen en las zonas donde se cultiva caña de azúcar y hay agua, aunque también se puede sembrar en laderas para ayudar a detener la erosión del suelo.

El bambú, es un tipo de material ecológico que resulta ser una de las soluciones viables para la construcción sostenible, o debido en parte a su gran capacidad de reproducción y alta resistencia. Este material sostenible para la arquitectura y construcción presenta numerosas ventajas medioambientales, como, por ejemplo, cada hectárea de bambú puede absorber nueve toneladas de CO2, mientras que un árbol tarda al menos una década en poder ser aprovechado, en ese tiempo habremos podido cortar dos veces cañas de

bambú para ser utilizadas. Esto incide en el bajo costo que implica su empleo y además en el mantenimiento de la ecología, pues favorece a evitar la deforestación de los bosques que causa graves daños al planeta.

Figura 2.9 Bosque de bambú.
Fuente: Campos, 2003.

2.4.3 Características constructivas del bambú

El bambú tiene las siguientes características que hacen de él un material conveniente y económico para la fabricación de viviendas, andamios, materiales a base de bambú, entre otros, que facilitan la construcción:

- Las unidades naturales, varas o cañas de bambú como se las llama, son de medidas y formas que las hacen manuables, almacenables y sistematizables, en forma conveniente y económica.
- Las cañas tienen una estructura física característica que les proporciona alta resistencia con relación a su peso.
- Son redondas o casi redondas en su sección transversal, huecas, y con tabiques transversales rígidos, estratégicamente colocados para evitar la ruptura al curvarse, en esta posición pueden actuar más eficientemente, proporcionándole resistencia mecánica y formando una firme y resistente caparazón.
- La substancia y la textura de las cañas hace fácil la división a mano en piezas cortas (aserrándolas o cortándolas), o en tiras angostas.
- No se necesitan máquinas costosas, sino sólo herramientas simples.
- La superficie natural de muchos bambúes es limpia, dura y lisa, con un color atractivo, cuando las cañas han sido convenientemente almacenadas y maduradas.
- Los bambúes tienen poco desperdicio y ninguna corteza que eliminar.

Figura 2.10 Bambú utilizado en la construcción de casa y andamios.
Fuente: Morán, 2015.

Afortunadamente, el interés por conocer los límites de trabajo del bambú ha sido el suficiente como para que muchos profesionales realizaran ensayos de toda índole que nos permitieran comprender mejor cómo trabaja este material. De todos los estudios desarrollados, destaca el realizado por el profesor Jansen (1980) comparando las propiedades del bambú con los materiales más utilizados en construcción.

Propiedades de diseño de diversos materiales – Janssen (1980) – Variedad Bambusa Oldhamii

	Bambú	Madera	Acero	Hormigón
R: Resistencia de diseño (Kg/cm2)	102	76	1.630	82
M: Masa por volumen (Kg/cm2)	600	600	7.800	2.400
R/M: Relación de resistencia (Kg/cm2)	0,170	0,127	0,209	0,032
E: Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	203.000	112.000	214.000	127.400
E/M: Relación de rigidez (Kg/cm2)	340	187	274	53

Resistencias obtenidas de pequeñas probetas – Janssen (1980) – Variedad Bambusa Blumeada en condición seca

Compresión (Kg/cm2)	825
Flexión (Kg/cm2)	856
Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	203.873
Cortante (Kg/cm2)	23
Tracción paralela a la fibra (Kg/cm2)	2.038 – 3.058

Tabla 2.2 Comparación de propiedades del bambú con otros materiales.
Fuente: Varela, 2013.

2.5 Aislación térmica

Un aislante térmico es un material usado en la construcción, la industria y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tendería a igualarse en temperatura, impidiendo que entre o salga calor del sistema que nos interesa, como una vivienda.

Para el desarrollo de la investigación se definen los siguientes conceptos, para la claridad de esta.

2.5.1 Conceptos de termodinámica

Temperatura: Se entiende por ella la medición de la agitación de las partículas que componen la materia, independiente de su fase (sólido, líquido o gas) (González, 2010). Esta se considera una magnitud escalar, la cual varía en el tiempo y el espacio (Cengel & Boles, 2009).

Calor: "Forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura". En otras palabras, el calor es un mecanismo por el cual se transfiere energía y, para que este mecanismo tenga lugar es necesario que se produzca una diferencia de temperatura. Esta transmisión de energía tiene lugar desde el sistema con mayor temperatura hacia el de menor temperatura, hasta que estas se igualan.

Sistema: Corresponde a una parte del universo que se aísla para su estudio.

Desequilibrio térmico: Diferencia de temperatura entre sistemas en contacto.

2.5.2 Confort térmico

El confort térmico es una combinación de variables en las cuales las personas se encuentran cómodas, siendo esta una condición apta para el desarrollo de la actividad humana. Dentro de estas variables se encuentran: temperatura, presión, humedad y velocidad del aire.

Se trata de consideraciones subjetivas, que pueden variar según la percepción de las personas, puesto que también puede verse afectada por factores psicológicos, como lo es la sensación de abrigo que produce la habitación en la que se encuentra (Patrone et al, 2006).

2.5.3 Transmisión de calor

En las construcciones se intercambia calor por medio de la envolvente de estas. Los mecanismos por los cuales este puede ser transferido son tres: conducción, convección y radiación (Patrone et al, 2006).

Este intercambio de energía, se produce por la diferencia de temperatura existente entre el interior de las edificaciones y el exterior. La caída de temperatura es proporcional a la resistencia térmica de la capa que separa los ambientes (Prieto et al, 2008).

2.5.4 Mecanismos de transmisión de calor

- **Conducción:** Prieto y Suárez (Cengel & Boles, 2009) establecen que "la transferencia de calor por conducción se debe al intercambio de energía cinética por contacto directo entre las partículas que constituyen los sistemas (…), desde las regiones de mayor temperatura a las regiones de temperatura menor." En este intercambio de energía no existe flujo neto de masa y se mantiene hasta que los cuerpos en contacto han igualado sus temperaturas.

- **Convección:** La convección es un mecanismo de transmisión de energía en forma de calor a través del movimiento de un fluido, líquido o gas, en contacto con un sólido (Cengel & Boles, 2009). En esta forma de intercambio de calor tiene lugar un flujo de energía y un flujo de masa (la del fluido en movimiento). A medida que aumenta la velocidad del fluido, aumenta el intercambio de energía. En el caso de que el fluido se encontrara estático, el intercambio de calor producido en la superficie en contacto del sólido con el fluido, es netamente por conducción (González, 2010).
- **Radiación:** "Es la energía que emite la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas" (González, 2010). Se trata de la energía emitida en forma de ondas electromagnéticas por los cuerpos y, a diferencia de la conducción y convección, la radiación no necesita de un medio material para suceder, se puede dar incluso en el vacío (Cengel & Boles, 2009).

▪**Flujo de calor en las viviendas:** Para disminuir los gastos energéticos de climatización, es que nace la importancia de la aislación en las edificaciones, ya que el flujo de calor no es algo deseable dentro de las mismas. Cuando se aísla una construcción lo que se logra es minimizar estos flujos, manteniendo estable la temperatura interior de los recintos. Así, en invierno se consigue evitar que el calor se escape desde el interior hacia el exterior y, en verano se impiden las ganancias de calor desde el exterior al interior de la edificación (Patrone et al, 2006). Para la construcción de las envolventes de los edificios se escogen materiales con propiedades térmicas adecuadas, es decir, aislantes que disminuyen estas transferencias de calor:

- ✓Con materiales de baja conductividad térmica se consigue que disminuya el intercambio de calor por conducción.
- ✓Los vanos de puertas y ventanas, celosías y cualquier abertura en la envolvente de la edificación, ya sea controlada o no, genera que haya intercambio de calor por convección.
- ✓Para disminuir las pérdidas energéticas por radiación, se trabaja con materiales que sean de baja emisividad y que sean capaces de reflejar las ondas de radiación térmica del exterior.

Se entiende por aislante térmico al material que actúa como barrera entre ambientes, impidiendo la circulación de energía en forma de calor entre éstos. Al decir que se impide el traspaso de calor entre el interior y el exterior de la vivienda lo que realmente se está diciendo es que estos materiales disminuyen el flujo de calor que se produce entre el interior y el exterior, debido al desequilibrio térmico.

▪**Flujo de calor:** Se entiende por flujo de calor la cantidad del mismo que pasa por una determinada superficie en cierto rango de tiempo (Ortega, 2015). Expresado en la siguiente fórmula:

$$\phi = \Delta Q / \Delta t \qquad (1)$$

Dónde:

i. ϕ: flujo de calor.

ii. ΔQ: cantidad de calor transmitido.

iii. Δt: rango de tiempo.

2.6 Aislación acústica

2.6.1 Sonido

El sonido es una forma de energía producida por la vibración de las moléculas de un cuerpo a determinada intensidad, creando zonas de compresión y depresión (expansión) que afectan al agente conductor (sólidos, líquidos, gases). Las ondas sonoras se propagan en todas direcciones, llegando a sensibilizar el aparato del oído, que, mediante la excitación de las células o cilios del oído interno, transmite estas percepciones al cerebro. Estas son recepcionadas y decodificadas a nivel cerebral como información (música, voz, golpes, estruendos, etc.).

El sonido tiene mejor comportamiento de propagación en medios más densos. La velocidad de propagación de una onda sonora depende el medio a través del cual se propaga, considerando dos factores: La temperatura del medio y la densidad del medio, debido a que, en un medio elástico, las partículas están más juntas permitiendo que la transición de la energía de las ondas tenga menos pérdida.

2.6.2 Propiedades de las ondas sonoras

Amplitud: Es la elongación máxima o punto de la onda más distante del eje, es decir, distancia desde la posición de reposo, hasta el punto de máximo alejamiento alcanzado por una molécula del medio. Cuanto mayor sea este valor, más fuerte será la sensación de sonido que se percibe.

Longitud de onda: Es la distancia del medio que recorre una molécula para realizar un ciclo o vibración completa. También se define como el segmento de eje que corresponde a una vibración completa.

Elongación: Es la distancia entre cualquier punto de una onda y su posición de equilibrio.

Período: Es el tiempo que tarda en realizarse un ciclo de onda. El período es el inverso de la frecuencia y viceversa.

Frecuencia: Es el número de ciclos realizados por unidad de tiempo. Se mide en hercios (Hz) o ciclos por segundo (c/s).

2.6.3 Características del sonido

La aislación acústica, es el recurso empleado para impedir la propagación de este mediante materiales o recursos constructivos que determinan un obstáculo reflecto de mayor o menor efecto. Esta tiene que brindar un mayor confort para los habitantes para lograr este objetivo, se debe tener en cuenta las características del sonido, las cuales son:

a)Intensidad: Esta cualidad determina si un sonido es fuerte o débil. La intensidad de un sonido depende de: La amplitud, ya que a medida que esta aumenta, la intensidad también aumenta; de la distancia existente entre la fuente sonora y el oyente, a mayor distancia, menos intensidad, y finalmente, la intensidad es mayor si la superficie que vibra también lo es.

b)Tono: Esta cualidad del sonido depende de la frecuencia con la que vibra el cuerpo emisor del sonido. A mayor frecuencia, el sonido es más alto o agudo, a menor frecuencia el sonido es más bajo o grave.

c)Timbre: Cualidad que otorga los armónicos al sonido, son los que acompañan a la frecuencia fundamental. Permitiendo distinguir los sonidos, entre el mismo tono con igual intensidad producida por distintos instrumentos musicales.

2.6.4 El ruido

Es la sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable. En el medio ambiente, se define como todo lo molesto para el oído. El ruido afecta de forma constante en la mayoría de las ciudades dañando la calidad de vida, convirtiéndose en un gran problema.

- **Ruido exterior:** Está relacionado con la densidad de la población que en la mayoría de los casos no es uniforme con el espacio, uno puede encontrar ciertas zonas con mayor nivel de ruido que otras, estos dependen del tipo y la intensidad de las actividades que se desarrollan en la zona.

Las fuentes de ruido exterior en las viviendas se clasifican en dos, las fijas y las móviles. Las fijas son emisoras de ruido y se ubican permanentemente en un lugar, las móviles son las que se desplazan.

- **Ruido interior:** Las fuentes de ruido interior de las viviendas provienen principalmente de sus ocupantes, además existen ruidos producidos por los servicios e instalaciones que estos posean como ascensores, vertido de basura, artefactos sanitarios.

▪**Confort acústico:** El confort acústico es el nivel de ruido que se encuentra por debajo de los niveles legales que potencialmente causan daños a la salud, y que además ha de ser aceptado como confortable por los usuarios afectados. El confort acústico es el nivel sonoro que no molesta, que no perturba y que no causa daño directo a la salud.

El grado de confort acústico depende, al igual que el confort térmico, de los distintos parámetros y factores de confort, aunque debemos afirmar que, en este caso, depende muy directamente de los parámetros ambientales relacionados concretamente con el ruido: nivel sonoro, intensidad sonora (dB), tono o timbre (calidad del sonido), altura o frecuencia (Hz = ciclos/seg.), etc.

Además, se deben tomar en cuenta los parámetros arquitectónicos relacionados con el contacto auditivo y algunos factores personales y socio-culturales como el tiempo de permanencia, la salud, la edad y el sexo, así como la educación y las expectativas personales. No obstante, pensamos que el confort acústico debe asociarse también con la calidad acústica de los espacios, y se podrá afirmar que es alcanzado cuando se logren unas adecuadas condiciones de reproducción sonora, evitando los ruidos o sonidos no deseados dentro de las habitaciones, pero además presentando unos sonidos de carácter y magnitud compatibles con el uso y las actividades que tienen lugar en él.

Capítulo 3
Metodología de la Investigación

3.1 Diagrama de flujo de investigación

Se presenta a continuación, la metodología aplicada a la investigación, la cual ha sido agrupada en cinco fases, para luego efectuar una breve descripción de sus etapas:

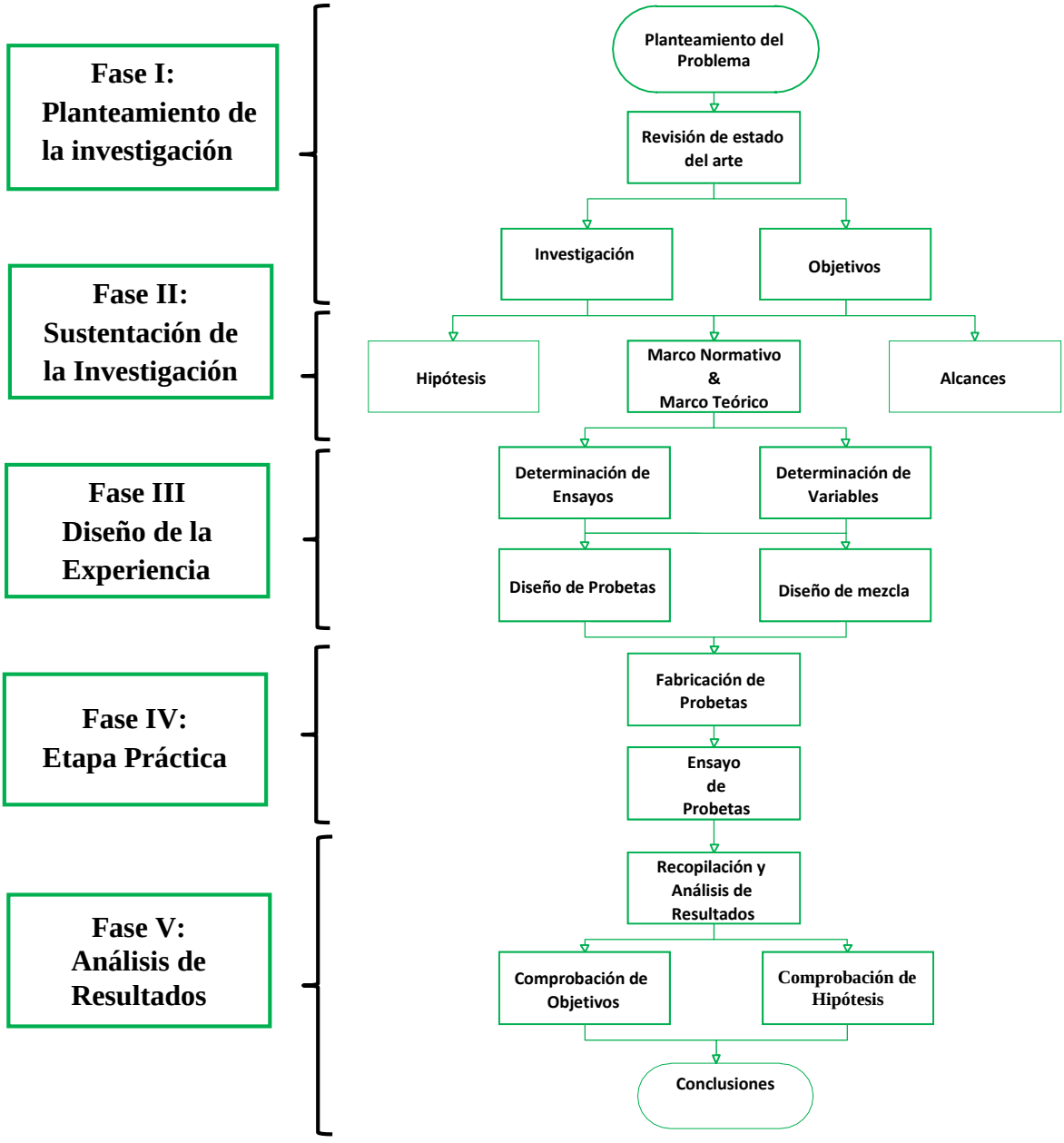

Figura 3.1 Diagrama de metodología.
Fuente: Monsalve, 2017.

3.2 Fases de la investigación

Fase I: Consiste en una revisión bibliográfica relacionada con los materiales compuestos, con los efectos que conlleva la utilización de partículas naturales como refuerzo de una matriz plástica para la elaboración de materiales de construcción, con el fin de establecer el problema de investigación dando paso a la construcción de los objetivos de la presente investigación, tanto general como específicos.

Fase II: Consiste en determinar los alcances y limitaciones de la investigación estableciendo la hipótesis, y construyendo el marco normativos y teórico para el desarrollo de la investigación.

Fase III: Una vez identificada y determinada la legislación vigente para las planchas, se estudiaron los ensayos y se analizó la factibilidad de cada uno de ellos, para en su defecto diseñar alguno semejante que permita establecer parámetros comparativos frente a un material existente normalizado (yeso cartón). Una vez establecidos los parámetros se procede a la aplicación de estos al diseño de la plancha, que debe estar acorde a la normativa descrita anteriormente. Se realizaron ensayos preliminares, a menor escala, para determinar algunas dosificaciones y establecer la compatibilidad de los componentes, para la posterior ejecución a escala real.

Fase IV: Se llevó a cabo el diseño experimental de la plancha, de forma manual, junto con las probetas necesarias para dar cumplimiento a los ensayos establecidos previamente.

Fase V: Con los datos obtenidos, se dio paso al análisis y posteriores conclusiones acerca de las propiedades mecánicas y temo-acústicas de la plancha realizando una comprobación de objetivos e Hipótesis.

3.3 Generalidades

En el presente capítulo, se dan a conocer los ensayos que se le realizaron a la plancha propuesta de polipropileno y Bambú, para así poder medir propiedades mecánicas, físicas, termo-acústicas y una comparación de costos asociada a la construcción del producto.

El presente estudio se compone de las siguientes etapas, las cuales van a resumir el trabajo realizado para obtener los resultados que validen, o refuten la factibilidad de elaborar el elemento propuesto: una plancha de bambú con polipropileno que mejore las propiedades en la vivienda.

- Etapa de preparación de los materiales
- Etapa de confección de las planchas
- Etapa de ensayos en Laboratorio
- Análisis de resultados
- Conclusiones

3.4 Dimensiones

Se confeccionaron dos tamaños de planchas ver figura N° 3.6, una de 40 x 60 x 1(cm) (ancho x largo x espesor), y la otra de 60 x 60 x 1 (cm) (ancho x largo x espesor). Estas dimensiones fueron establecidas por los siguientes motivos:

El manual de tabiques volcán, establece que el distanciamiento entre los elementos verticales deberá revisarse y dependerá de factores como la altura del tabique, carga a resistir y tipo de revestimiento entre otros. De todos modos, las distancias recomendadas entre pies derechos son de 40 o 60 cm, dependiendo del caso particular y su cálculo estructural, las cadenetas a su vez se recomienda disponerse cada 60 cm de manera desfasada para facilitar su clavado.

Las medidas de las planchas propuestas y el espesor, es debido a que se comparó con una plancha de yeso cartón, de espesor 1 cm.

3.5 Descripción de la plancha

La plancha cuenta con una matriz de polipropileno, formada con pellet de polipropileno reforzada con bambú triturado en proporciones de Bambú/Polipropileno en un 30/70, 40/60, y 50/50 establecido según la tesis “propiedades mecánicas del material compuesto elaborado con bambú (Guagua angustifolia Kunth y propileno” en donde prensan ambos materiales y le aplican un acoplante (anhídrido maléico de polipropileno) MAPP.

La mezcla se realizó lo más homogénea posible, mezclando ambos materiales en los moldes de acero inoxidable de las medidas antes mencionadas. El espesor del molde es mayor debido al volumen que ocupan ambos materiales.

Para efectos de la determinación de aislación térmica y acústica, la plancha será montada en un tabique de listones de madera de pino aserrada verde de escuadría 2” x 2” en una de sus caras, con el fin de no crear cámaras de aire y poder establecer sus propiedades comparándola con una placa de yeso-cartón de iguales dimensiones y colocada de la misma forma.

Figura 3.2 Planchas colocadas en tabiques.
Fuente: Propia, 2018.

3.6 Materiales de trabajo

A continuación, se procede a describir los distintos elementos que componen la plancha propuesta, cómo se obtuvieron y su preparación.

Los materiales seleccionados para el desarrollo son: Bambú triturado, Polipropileno en pellet y molde metálico, como ya ha sido declarado con anterioridad.

3.6.1 Bambú

Su objetivo es el de servir de refuerzo en la matriz, para ayudar a la rigidez del elemento, para mantenerlo íntegro y protegerlo de impactos perimetrales.

El bambú fue obtenido y facilitado por una Parcela de la comuna de Olmué en donde abunda esta planta. Las cañas de bambú se recolectaron en estado verde, cortando cañas de aproximadamente 6 años, del mismo largo, con el fin de poder transportarlas fácilmente.

Figura 3.3 Cosecha de varas de bambú de 1 metro para ser trituradas.
Fuente: Propia, 2018.

Una vez recolectado suficiente bambú, se procedió a triturar en una máquina chipeadora antigua, la cual trituró el material y posteriormente se pasó por la malla N°4 con el fin de obtener tamaños de menos de 5 mm y retirar todos los tamaños mayores a este. Luego de esto, el bambú debe pasar por un proceso de secado en los hornos del laboratorio el cual será a 60°C.

Figura 3.4 Tamizado de bambú en malla Nº 4.
Fuente: Propia, 2018.

3.6.2 Polipropileno

Constituye el elemento fundamental de la placa propuesta, siendo el actor principal al momento de darle forma al elemento y es quien aporta resistencia a la humedad al material, ayudando también con la aislación termo-acústica.

El polipropileno se compró a una empresa de poli fibra, llamada Mattisen, ubicada en Santiago de Chile.

Figura 3.5 Tamaño pellet de polipropileno.
Fuente: Propia, 2018.

3.6.3 Molde metálico

Los moldes metálicos se mandaron a confeccionar a un taller en donde trabajan estructuras de acero inoxidable, con el fin de facilitar el desmolde del elemento y procurar que este no sufra deformaciones, debido a la temperatura a la que será sometido.

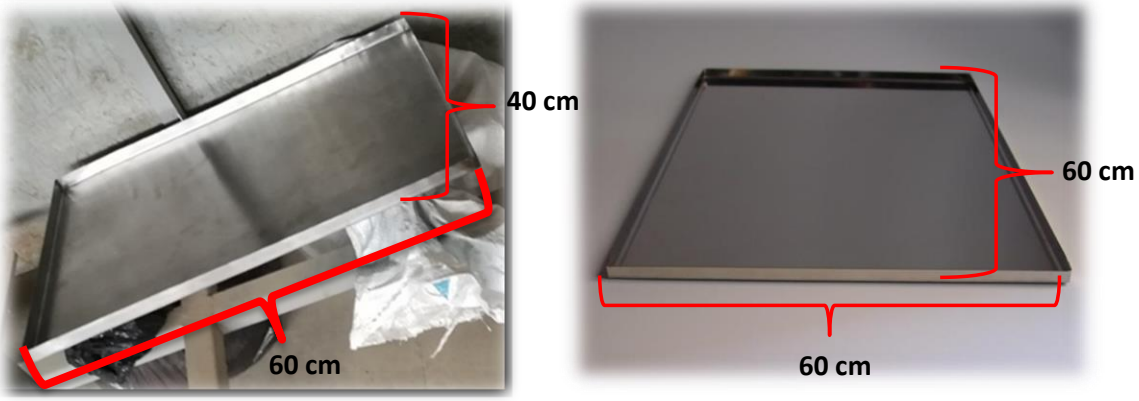

Figura 3.6 Medidas de los moldes metálicos.
Fuente: Propia, 2018.

3.7 Diseño de la experiencia

3.7.1 Programa experimental

Para poder determinar cómo se comporta la plancha al incorporarle bambú triturado, es que se realizó un programa experimental, el cual nos permite estudiar la influencia de la adición de bambú y como esta puede influir en las propiedades mecánicas y termo-acústicas de la plancha, comparando y analizando los resultados obtenidos con una muestra patrón, la cual será yeso-cartón.

3.7.2 Variables de estudio

Los materiales de fabricación para todas las placas, serán siempre los mismos, lo que puede generar diferencias entre ellas, son las proporciones.

3.7.3 Variable independiente

Se considera como variable independiente, el contenido de bambú triturado en la mezcla de polipropileno como remplazo de volumen, estos reemplazos serán de 30%, 40% y 50%.

3.7.4 Variable dependiente

- ✓ Como primera variable dependiente, se considera la variable **Flexión,** correspondiente a un ensayo mecánico desarrollado mediante la NCh 146 Of 2000 y representa la resistencia a la flexión de las planchas.
- ✓ Como segunda variable dependiente, se considera la variable **Humedad,** correspondiente a un ensayo físico desarrollado mediante la NCh 146 Of 2000 y representa el % de agua que absorbe cada plancha.
- ✓ Como tercera variable dependiente, se considera la variable **Impacto,** correspondiente a un ensayo mecánico desarrollado mediante la NCh 146 Of 2000 y representa la resistencia al impacto de las planchas.
- ✓ Como cuarta variable dependiente, se considera la variable de aislación **Térmica** y **Acústica,** correspondiente a un ensayo desarrollado mediante la NCh 851 Of 1983 y 2786 Of 2003 correspondientemente y representa la aislación térmica y acústica de las planchas.

3.7.5 Muestra patrón

Como muestra patrón, se utilizará una plancha de yeso-cartón comercializada con medidas de 1.20 x 2.40 x 1 cm, de la cual se extraerán probetas para someter estas a los mismos ensayos a los que se expondrán nuestra plancha propuesta, según NCh 146/2 Of 2000 y los manuales de reglamentación térmica y acústica del ministerio de vivienda y urbanismo.

3.7.6 Factorial de ensayos

La factorial de ensayos de la primera etapa experimental, se presenta en la tabla 3.1. En esta se incluyen distintos porcentajes de contenidos de bambú, a los cuales se le realizaran ensayos mecánicos, físicos y termo-acústicos.

Planchas a ensayar					
Ensayos a realizar	% de Bambú				Muestra Patrón
	0	30	40	50	Yeso cartón
Humedad	3	3	3	3	3
Flexión	3	3	3	3	3
Impacto	3	3	3	3	3
Térmico	3	3	3	3	3
Acústico	3	3	3	3	3

Tabla 3.1 Factorial de ensayos.
Fuente: Propia, (2018).

3.8 Ensayos a realizar

Las probetas fabricadas para la experiencia, se someterán a ensayos térmicos y acústicos, para determinar las propiedades aislantes del material. Por otro lado, para conocer las propiedades mecánicas y físicas de éste, las probetas serán ensayadas a humedad, flexión e impacto, según la reglamentación establecida en los objetivos específicos.

Norma	Ensayo	Equipo
NCh 146/2 Of 2000	Humedad	Recipiente con agua
NCh 146/2 Of 2000	Impacto	Bola de acero
NCh 851 Of 1983	Térmico	Cámara térmica
NCh 2786 Of 2003	Acústico	Cámara térmica
NCh 146/2 Of 2000	Flexión	Dos soportes cilíndricos ajustables en el plano horizontal y un cabezal cilíndrico de carga

Tabla 3.2 Normas, ensayos y equipos a utilizar.
Fuente: Propia, (2018).

A fin de eliminar el tiempo como una variable, todas las placas serán ensayadas a la misma edad desde su fabricación, para dar cumplimiento a la segunda restricción.

3.9 Ensayos de laboratorio

3.9.1 Método de la cámara térmica

La cámara térmica es un método muy útil para medir las propiedades térmicas de un material razonablemente representativo de los elementos constructivos a ensayar que normalmente tengan caras planas y paralelas (NCh 851 of 1983).

El elemento a ensayar, se coloca de manera vertical dividiendo la cámara en dos secciones, donde en una de ellas se ubica una fuente de calor, la que emite energía térmica producida por la potencia de 3 ampolletas incandescentes de 100 watts, cada una de las cuales emitirá una determinada potencia eléctrica producida, la cual será disipada y convertida en energía térmica que se transmite en forma de calor, lo que genera una sección A con mayor temperatura(en donde se encuentra la fuente de calor) y una sección B con menor temperatura, teniendo así dos sistemas en desequilibrio térmico, los cuales estarán separados por la plancha a ensayar colocada en un tabique, el que actuará como una barrera que impide el equilibrio térmico entre estas dos secciones, dificultando que la sección A con mayor temperatura, transfiera energía térmica a la sección B, con menor temperatura. Así se producirá una diferencia estacionaria de temperatura a través de la plancha ensayada durante un período determinado de tiempo, lo que permitirá efectuar la medición del flujo térmico y la variación de temperatura entre sus caras, pudiendo determinar la resistencia térmica mediante su diferencial calórico.

Para efectos de cálculo, se mantendrán invariables todas las magnitudes sometidas a medición (potencia eléctrica suministrada, área del material, espesor). Las aristas y junturas de plancha en el interior de la cámara son cubiertas con lana mineral, para hermetizar el sistema aislándolo por completo.

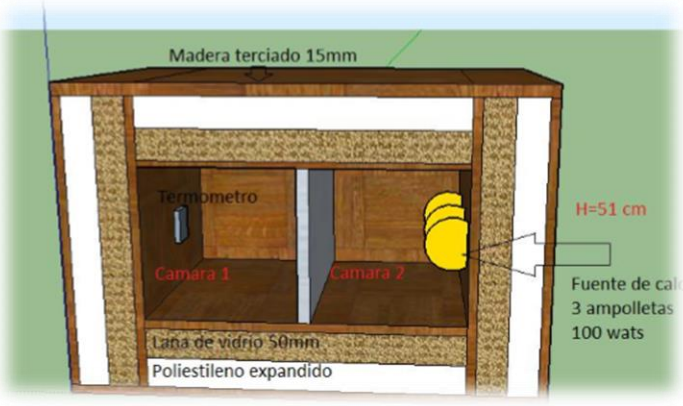

Figura 3.7 Cámara térmica con fuente de calor.
Fuente: Roa, 2015.

Instrumentos de medición

Para el desarrollo de los ensayos térmicos se utilizó un equipo de medición de temperatura Xplorer GLX, el cual admite 4 sensores PASPORT de temperatura simultaneamente conectados, que permiten registrar la temperatura superficial de los elementos a ensayar. Este equipo cuenta con un sistema informático que funciona como interfaz del sensor PASPORT para poder realizar un análisis de los ensayos mediante gráficos y tablas.

El Xplorer GLX, es un equipo que permite recoger datos de temperatura para los ensayos térmicos a través de sus sensores, los cuales van conectados a sus puertos receptores, calculando la temperatura en grados Celsius y el tiempo en segundos, para luego representarlos gráficamente.

Desarrollo del ensayo térmico

Para realizar los ensayos, se deben escoger las condiciones de temperatura que se asemejen a los requisitos de uso a los que está orientado el material. La Norma Chilena 851 of 1983, aconseja que sean ensayados en un rango cercano a los 23°C de temperatura inicial en el interior de la cámara.

El desarrollo y análisis de la experiencia se puede subdividir en dos actividades: actividades previas y desarrollo de la experiencia. Las actividades previas a los ensayos, consisten en establecer las condiciones iniciales preparando la cámara para el buen desarrollo de los ensayos, como lo es preparar la superficie de la plancha a ensayar hermetizando sus juntas con lana mineral en el interior de la cámara, colocando los sensores y midiendo la temperatura inicial de las planchas, para luego proceder a los ensayos y análisis de las propiedades térmicas del material, mediante los instrumentos y herramientas de medición antes mencionadas, durante un período de dos horas, donde se registrará la temperatura de la cara expuesta a la sección con la fuente de calor y la temperatura de la cara expuesta a la sección fría.

Por otra parte, el desarrollo de la experiencia se produce gracias al equipo Xplorer GLX el cual permite obtener datos de temperatura a través de sus sensores térmicos. Para medir la temperatura interior de la cámara estos primeramente son conectados a los puertos receptores del equipo, posteriormente también es unido a la superficie del material que recibe el calor producido por la energía térmica generada por la disipación de la potencia eléctrica de la fuente de energía y otro sensor conectado en la superficie fría del material, ambos ubicados en el centro de la plancha en sus respectivas caras. Las diferencias de temperatura que se detecten en sus superficies en un periodo de dos horas, se denominarán T1 y T2, en donde T1 es la temperatura de la cara expuesta a la fuente de calor y T2 es la temperatura de la cara no expuesta.

Estos resultados permiten analizar la oposición que genera el material al traspaso de calor a través de su estructura mediante su diferencial térmico.

Paralelamente, se debe considerar en el desarrollo de los ensayos la diferencia de temperatura que tendrá el interior de la cámara de prueba con su entorno, realizando una comparación entra la cantidad de calor que se transfiere por la plancha a ensayar en el interior de la cámara, desde la sección con mayor temperatura hacia la sección con menor temperatura. Esta comparación nos permitirá conocer si el calor que se pierde desde la cámara hacia su entorno es significativo. Estas mediciones se realizarán mediante la colocación de otros sensores en la cara interior de la sección que posee mayor temperatura y sensores ubicados en la superficie interior de la cámara fría, para ver la diferencia entre ambientes que se produce.

Todos los ensayos térmicos se realizaron bajo los procedimientos establecidos por la norma NCh 851 of 1983.

Una vez finalizados los ensayos térmicos a las planchas, se procede al análisis y posterior expresión de resultados.

3.9.2 Ensayo de aislación acústica

Para el ensayo acústico, se tomará como referencia la norma chilena 2786 of 2002, la cual establece las condiciones necesarias para realizar los ensayos de manera in situ en los laboratorios de la Universidad de Valparaíso, donde se llevará a cabo un modificado de la norma, adaptando las condiciones de una cámara de medición térmica, para efectuar este ensayo.

La investigación consiste en colocar una fuente emisora de sonido a una distancia de 1,2 m de la superficie del material a ensayar, y al lado opuesto, colocar una fuente receptora a la misma distancia. El sonido generado en el recinto de emisión debe ser continuo en el rango de frecuencia considerado, el cual debe ser medido en un periodo de 30 segundos para cada frecuencia. El nivel de presión sonora debe determinarse utilizando filtros de octava de 100 Hz a 5000 Hz.

Una vez clara la ubicación del sonómetro y de la fuente generadora de sonido para la evaluación de los parámetros necesarios, se procede a emitir distintas frecuencias en bandas de octava.

Este ensayo se realizó de la siguiente manera:

- ✓ Primero, se mide la intensidad sonora en dB dentro de la cámara de medición, sin aislación en su interior (sin la plancha).

- ✓ Luego se repite el mismo procedimiento, pero con la plancha a ensayar en su interior.

Así la diferencia entre la intensidad sonora de la cámara con las planchas a ensayar respecto a la intensidad sonora de cámara de medición sin aislación en su interior, representará la capacidad de aislación acústica que presenta cada plancha, la cual será analizada por frecuencia.

Los resultados de aislación se expresan en función de la frecuencia emitida, debido a que los materiales no suelen comportarse igual a todas las frecuencias, generando un comportamiento distinto de aislación acústica entre una y otra plancha, debido a la gran diferencia de tamaños que presentan las longitudes de ondas audibles.

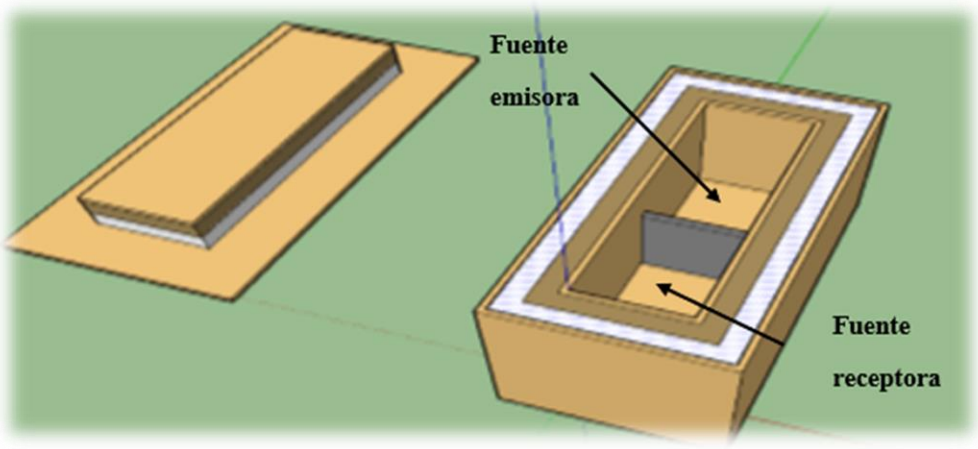

Figura 3.8 Cámara térmica ensayo acústico.
Fuente: Roa, 2015.

Equipo acústico de medición

El sonómetro nos permite medir objetivamente el nivel de presión sonora que existe en un determinado lugar y momento, pudiendo establecer las condiciones acústicas en tiempo real. Los resultados los expresa en decibeles(dBA), que es una ponderación para compensar los niveles de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias. Para efecto de este ensayo, se utilizó un parlante inalámbrico.

Figura 3.9 Sonómetro.
Fuente: Propia, 2018.

3.9.3 Ensayos de propiedades físicas y mecánicas

Los ensayos se realizarán según lo establecido en la norma NCh 146/2 Of 2000.

Resistencia a la flexión:

Preparación de muestras

Cortar cuatro probetas de cada plancha o placa de la muestra de 300 mm +/- 5mm x 400 mm +/- 5 mm, dos de ellos en sentido paralelo al borde longitudinal y los otros dos en sentido perpendicular a él, en sector a 100 mm o más de los bordes.

Acondicionar las probetas a una temperatura de 22°C +/- 5°C y humedad relativa de 65% +/- 10%, durante 12 hrs y determinar su masa en balanza con resolución 1 g. Mantenerlas en estas condiciones, determinando su masa cada 4 hrs, hasta que entre dos medidas sucesivas se obtenga una diferencia menor o igual a 0,1 %.

Máquinas de ensayo

Se puede utilizar cualquiera de las dos máquinas que se indican a continuación.

Máquina A

Aparato cuyo esquema se muestra en Figura 3.10.

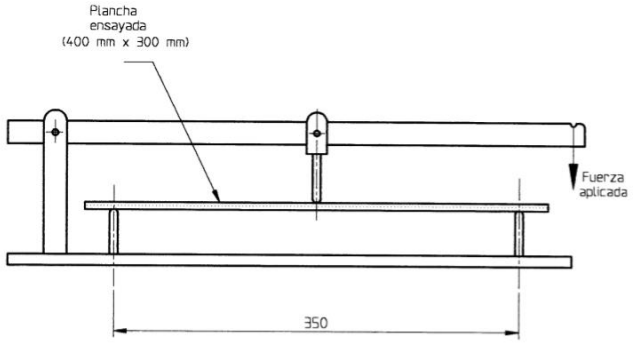

Figura 3.10 Distancia entre soportes.
Fuente: Propia, 2018.

Máquina B

Máquina universal para efectuar compresión, en intervalo de 100 N y 1000 N.

Procedimiento

Colocar la probeta preparada en forma centrada, sobre dos bloques de apoyo fijos y paralelos, distanciados 350 mm +/- 1mm entre sus ejes y aplicar la carga, mediante un bloque similar a los apoyos, centrada entre los bloques de apoyo.

Ambos apoyos y la superficie de la carga deben estar a nivel, tener un largo similar al ancho de la muestra y estar redondeados con un radio de 3 mm. Aplicar la carga con un incremento uniforme de 250 N/min +/- 20% hasta que se produzca la rotura.

Expresión de resultados:

La resistencia a la flexión se determina de acuerdo a 4.3 de NCh 146/2 of 2000.

Los requisitos de resistencia media a las fuerzas de flexo tracción o cargas de rotura para las planchas o placas de yeso cartón, se señalan en la tabla 3.3 y los valores individuales inferiores al requisito no deben superar al 10% del total de la cantidad de probetas ensayadas.

Espesor, mm	Carga N	
	Apoyo de probeta respecto a borde longitudinal	
	Paralela Cara y dorso	Perpendicular Cara y dorso
8	110	280
10	140	370
12,5	180	500
15	220	650
25	380	900

NOTA: 1 N = 0,10197 kgf

Tabla 3.3 Requisitos de resistencia
Fuente: NCh 146/1 Of 2000.

Resistencia al impacto:

Realizar este ensayo con una bola normalizada de 50mm +/- 1 mm de diámetro y 530 g +/- 20 g de masa, sobre una probeta de cada plancha de la muestra, de 300 mm +/- 5mm x 300 mm +/- 5mm.

Procedimiento

Efectuar dos medidas en cada probeta, dejando caer la bola en caída libre, desde una altura de 500 mm +/-10 mm, considerada desde el punto inferior de la bola, sobre la probeta colocada en una superficie horizontal, lisa y rígida, en sectores alejados entre sí y de los bordes. Medir el diámetro de la huella dejada por la bola con un instrumento con resolución 1 mm. El valor determinado es el promedio aritmético de las dos medidas efectuadas. Se informa el promedio de las determinaciones efectuadas sobre todas las planchas de la muestra, ver figura 4.16.

Resistencia a la humedad:

Inmersión en agua

Preparar una probeta de 300 mm +/- 1 mm x 300 mm +/- 1 mm, cortada en el centro de cada plancha de la muestra, entre ambos bordes longitudinales y a más de 150 mm del borde transversal, sin dañar el cartón superficial. Pesar las probetas en la balanza con resolución 0,1 g (Mo).

Sumergir en forma horizontal las probetas en un baño de agua, a temperatura de 21°C +/- 0,5°C, manteniendo una altura de 25 mm +/- 1 mm de agua sobre la superficie inferior de la probeta. Colocar realces en el fondo del contenedor, de modo que la superficie inferior de la probeta permanezca en contacto con el agua, ver figura 4.18.

Mantener dos horas sumergidas las probetas, retirarlas, eliminar el exceso de agua superficial con papel secante y pesar inmediatamente, en balanza con resolución 0,1 g (M1), el aumento de masa en la probeta corresponde al agua absorbida. Se debe informar el promedio de las determinaciones.

$$\% \text{ agua absorbida} = ((M1 - Mo)/Mo) \times 100 \quad (7)$$

Cálculo densidad real y aparente:

Para calcular la densidad real, primero debemos saber si el bambú flota en el agua, si no flota, se puede ocupar el método del picnómetro con agua destilada sin problema, si llegara a flotar, debemos utilizar el método del picnómetro con un líquido más denso, como lo es la vaselina.

a) *Densidad real*: Para obtener los valores de esta densidad, se utiliza el método del picnómetro utilizando vaselina como líquido picnométrico (Suárez & Beatón, 2001).

Procedimiento

Pesar el picnómetro vacío para determinar su volumen exacto. Luego, llenar con agua destilada y volver a pesar. Por último, llenar el picnómetro con vaselina y registrar su peso. Nota: Secar cuidadosamente el picnómetro en el horno después de cada pesaje. Con estos valores se procede a determinar la densidad relativa de la vaselina mediante la siguiente fórmula.

$$\textbf{ρ relativa vaselina} = \frac{(Masa\ picnómetro + vaselina - Masa\ picnómetro)}{(Masa\ picnómetro + agua - Masa\ picnómetro)} * \rho\ \text{agua} \quad (8)$$

Pesar una pequeña cantidad de bambú y luego introducirla al picnómetro registrando su masa. Luego agregar vaselina hasta llenar por completo y pesar.

Se determina el peso de la vaselina desplazada mediante la siguiente fórmula:

Peso vaselina desplazada

= [Peso (picnómetro + vaselina) + peso muestra] - [peso Picnómetro + vaselina + muestra)] (9)

$$\textbf{Volumen muestra} = (Masa\ vaselina\ / Densidad\ vaselina) \quad (10)$$

$$\textbf{Densidad real} = (Masa\ de\ la\ muestra\ / Volumen\ de\ la\ muestra) \quad (11)$$

b) *Densidad aparente*: Para la determinación de la densidad aparente del agregado, se utilizará un vaso graduado, al cual se le agregará un volumen de 1000 ml de bambú. Luego se pesa y se determina su densidad mediante la fórmula.

$$\textbf{Densidad aparente} = Masa\ / Volumen \quad (12)$$

3.10 Fabricación de la plancha

Durante el proceso de fabricación de las planchas se utilizaron los siguientes materiales:

✓Molde: Para verter la mezcla.
✓Plumón: Para marcar el molde.
✓Báscula: Para pesar la cantidad de cada material
✓Cocina (horno y quemador): Para confección de planchas.
✓Varilla acero inoxidable: Para revolver la mezcla
✓Pesos: Para colocarle a las planchas ya confeccionadas.
✓Cuchillo: para ayudar al desmolde de la plancha.
✓Medidor de alta temperatura: Para medir temperatura
✓Reloj: Para medir el tiempo que están expuestas a temperatura las planchas.
✓Regla: Medir espesor.

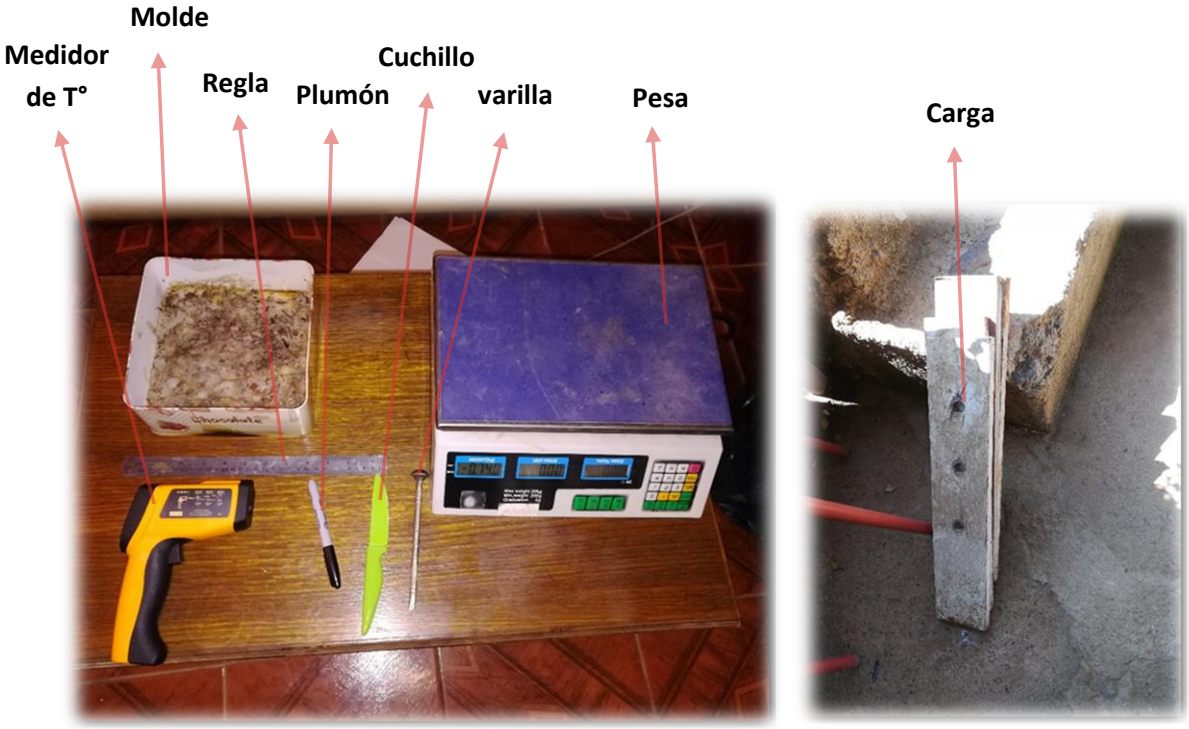

Figura 3.11 Materiales a utilizar para la confección de las planchas.
Fuente: Propia, 2018.

3.10.1 Confección de probetas mezclado en frío

Para confeccionar la plancha necesitamos conocer la densidad real tanto del bambú como del polipropileno, con la densidad de los materiales calculada en el laboratorio y el volumen del molde conocido. Se calcula la masa de cada material que se aplicará para la mezcla, con la fórmula general:

$$\text{Densidad: } \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad (\text{gr/cm3}) \qquad (11)$$

Una vez conociendo la masa de los materiales, se procede a pesarlos y mezclarlos manualmente en seco, con el fin de que ambos materiales se mezclen homogéneamente para posteriormente verterlos en el molde correspondiente.

Figura 3.12 Mezcla en frío de bambú y polipropileno.
Fuente: Propia, (2018).

Una vez vertido el material, se procede a meterlo al horno a una temperatura de 187ºC. Luego de tener el molde en el horno a la temperatura antes mencionada y divisar que la mezcla no sufre cambio en su estado, se decide aumentar la temperatura a 200ºC, siendo a esta temperatura en donde se comienzan a ver modificaciones del polipropileno pasando a estado líquido. El molde con la mezcla estuvo 3 horas a esta temperatura, luego se apagó el horno, se dejó enfriar y posteriormente se desmoldó.

Figura 3.13 Plancha confeccionada 0,5 cm de espesor.
Fuente: Propia, (2018).

Como se puede apreciar en la imagen, no se observa una homogeneidad en la plancha, esto se debe a que la mezcla no se revolvió una vez que el polipropileno cambiara su estado, lo que pudo haber influido en su resultado. También se puede apreciar que el material no quedó del espesor para el cual se cubicó, esto puede deberse a que se utilizó la densidad real del material y no la densidad aparente.

Por los resultados antes vistos, se procede a establecer un nuevo método de fabricación de planchas, tratando de estandarizar un proceso con el fin de realizar la mezcla de los materiales una vez que el polipropileno se encuentre en estado líquido, brindando una mejor homogeneidad al material y para lograr el espesor, se utilizará la densidad aparente.

3.10.2 Estandarización del proceso

Primer paso:

Para la confección de la plancha, los primeros datos que se deben tener son las densidades aparentes de ambos materiales, las cuales deben ser calculadas en el laboratorio. Una vez obtenidos estos datos, se debe calcular el volumen del molde que se utilizará.

Con los datos antes mencionados, procedemos a calcular la masa utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad: } \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \qquad (11)$$

De esta manera, conocemos la cantidad de cada material a utilizar.

Segundo paso:

A continuación, se debe marcar el molde con espesor con el que se desea confeccionar la plancha. Como en esta investigación se confeccionarán planchas con un solo espesor, el cual será de 1 cm, se deberán marcar los moldes por todo su contorno, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

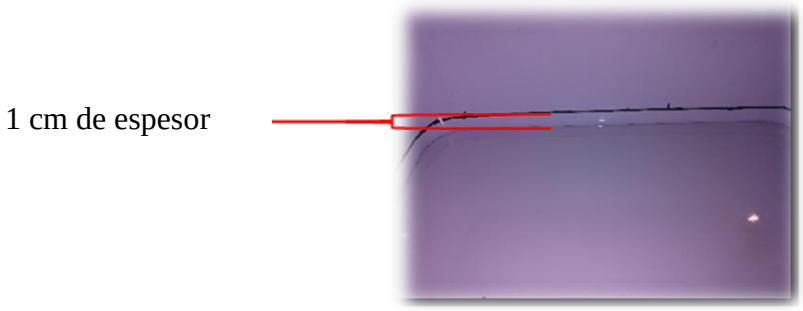

Figura 3.14 Marca molde a 1 cm de espesor.
Fuente: Propia, (2018).

Tercer paso:

Con el molde marcado, procedemos a pesar los materiales con las cantidades calculadas. Para la presente investigación, se tomaron en cuenta también los vacíos de cada material con la siguiente formula:

$$\text{Vacíos: } 1 - \frac{\text{(Densidad aparente)}}{\text{Densidad real}} \qquad (12)$$

Dando como resultado que el Bambú tiene un 78% de vacíos, y el polipropileno un 44%. Por lo que, a la cantidad antes calculada de cada material, se le deben sumar los porcentajes de vacíos antes mencionados.

Cuarto paso:

Se pesa la cantidad de polipropileno calculado más el porcentaje de vacíos y se vierte en el molde. Luego se procede a prender el horno hasta que alcance una temperatura de 200°C, alcanzada esta temperatura, se introduce el molde solo con polipropileno durante 1.5 hora.

Transcurrido el tiempo, se saca el molde del horno y se coloca sobre el quemador de la cocina, con el fin de mantener constante la temperatura requerida para verter el bambú y poder mezclarlo con mayor facilidad, lo cual es realizado de manera manual empleando una varilla de acero. Una vez mezclados ambos materiales, se vuelve a colocar el molde en el horno durante 30 min.

Quinto paso:

Al pasar 30 min, aplanamos la mezcla hasta la marca del centímetro que establecimos anteriormente, con el fin de que toda la mezcla quede del mismo espesor, y volvemos a colocar el molde en el horno 1 hora.

Sexto paso:

Apagamos el horno y esperamos 30 min hasta que este se enfríe, retiramos el molde del horno para proceder a desmoldar la plancha. Este paso se realiza solamente con ayuda de un cuchillo, debido a que como el molde es de acero inoxidable, no se pega demasiado el polipropileno y el desmolde es sencillo.

Séptimo paso:

Se ubica la plancha en un lugar plano de manera horizontal y se coloca peso encima, con el fin de evitar su deformación y lograr que quede totalmente plana.

Octavo paso:

Este paso es para sacar probetas de la muestra, como las planchas a confeccionar son de 40 x 60 x 1 (cm). Para las pruebas de humedad e impacto, necesitamos probetas de 30 x 30 x 1 (cm) y para el de flexión, necesitamos probetas de 40 x 30 x 1 (cm), estas se pueden cortar sin ningún problema con una sierra circular de mesa.

Esquema simple de procedimientos:

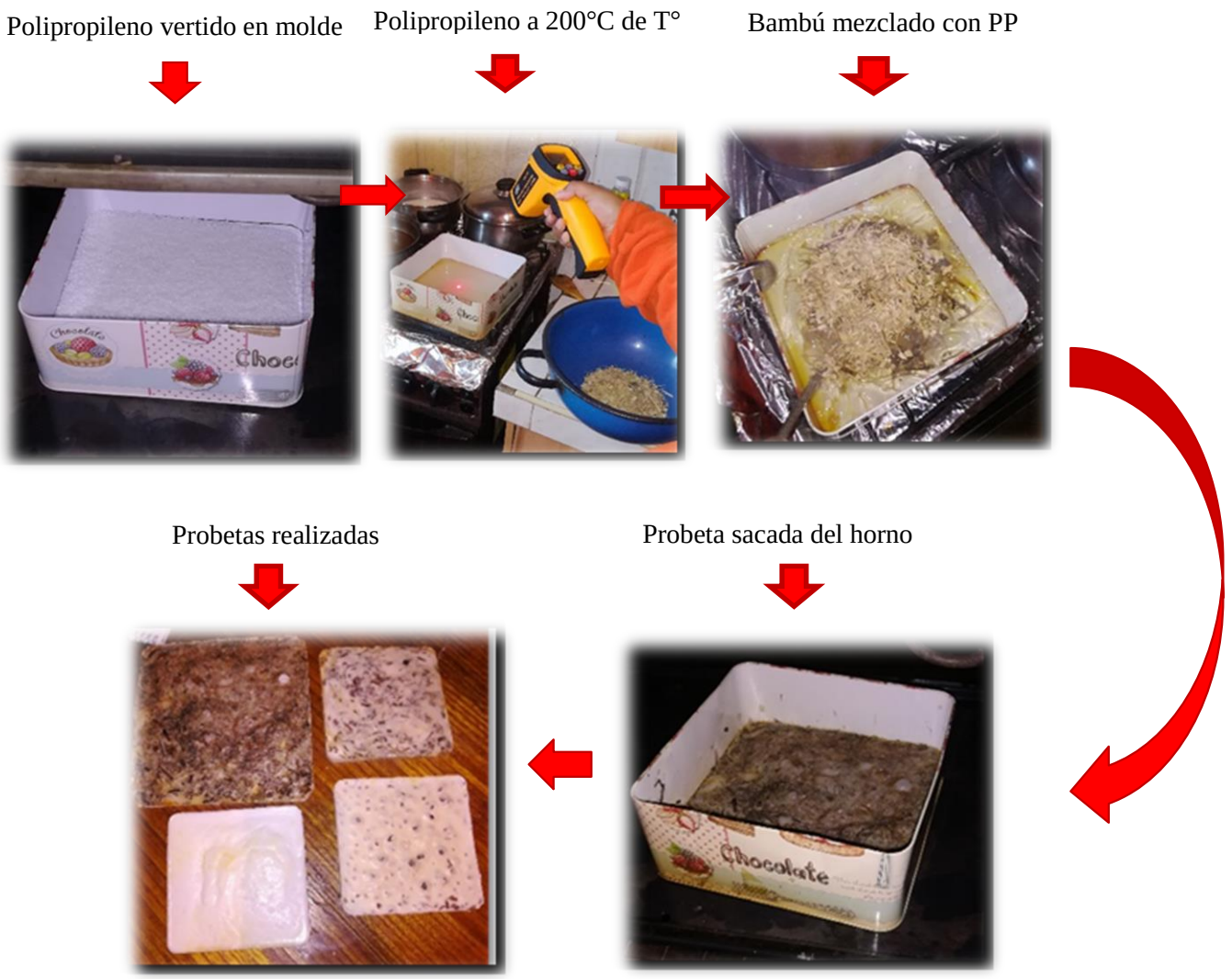

Figura 3.15 Proceso de confección de las planchas.
Fuente: Propia, (2018).

Capítulo 4
Trabajo Experimental

4.1 Etapa preliminar

Previo al inicio de la etapa práctica de la investigación, el bambú que se utilizó ha de ser tamizado para determinar el tamaño de sus partículas. Para ello, el bambú a emplear durante la investigación fue sometido a los siguientes ensayos:

- ✓ Granulometría, según el procedimiento indicado en el 163 Of 2013.
- ✓ Densidades: real y aparente.

Siguiendo los procedimientos detallados de cálculo de densidad real y aparente en el capítulo anterior, se sometieron a los ensayos indicados tres muestras de bambú, obteniéndose los siguientes resultados:

4.1.1 Granulometría

Estimación de la granulometría del bambú

Para determinar la granulometría del bambú, se utilizó la NCh 165 Of 2009 – Tamizado y determinación de la granulometría. Se procedió al cuarteo de la muestra de donde se extrajo una cantidad determinada. Esta muestra introdujo en horno hasta alcanzar la condición seca. Luego de esto, se procedió al tamizado.

Figura 4.1 Cuarteo de muestra extraída de bambú.
Fuente: Propia, (2018).

La Tabla 4.1 presenta el promedio de la granulometría del bambú de tres muestras realizadas.

Tamiz		Retenido			% Pasa	Requisito NCh 163 of 2013
ASTM	NCh (mm)	Peso (g)	% Parcial	%Acumulado		
N° 4	4,75	63,6	12	12	88	95-100
N° 8	2,36	235,9	43	55	45	80-100
N° 16	1,18	163,3	30	85	16	50-85
N° 30	0,6	51,9	9	94	6	25-60
N° 50	0,3	18,5	3	97	3	5-30
N° 100	0,15	10,7	2	99	1	0-10
Residuo		5,2	1	100	0	

Tabla 4.1 Granulometría del bambú.
Fuente: Propia, (2018).

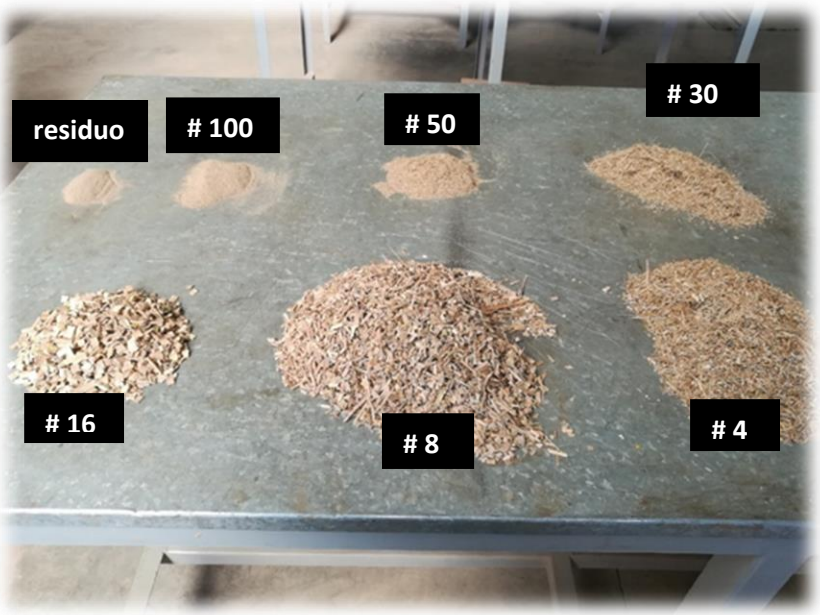

Figura 4.2 Bambú retenido en cada tamiz.
Fuente: Propia, (2018).

4.1.2 Estimación de densidades

a)Densidad real del bambú:

Basándose en la picnometría, se pudo determinar la densidad real del bambú. Este ensayo consistió en pesar una probeta, luego en llenar la probeta graduada hasta los 100 ml con vaselina líquida, después de esto, volver a pesar la probeta con la masa de vaselina hasta la marca, finalmente incorporar 11,1 g de agregado y medir el volumen desplazado. Con estos datos podemos obtener la densidad de la vaselina. Conociendo la masa del agregado más el volumen desplazado podemos calcular la densidad real del bambú. La Tabla 4.2 presenta los resultados de la densidad real del bambú.

Unidad	Masa probeta	Masa probeta + vaselina	Masa vaselina	Volumen vaselina	ρ Vaselina	Masa Bambú	Volumen desplazado	ρ Bambú
	Gr	gr	gr	ml	kg/m3	gr	ml	kg/m3
M1	109,5	197	87,5	100	875	11,1	12,7	870
M2	109,5	197,2	87,7	100	877	11,1	12,5	890
M3	109,5	197,4	87,9	100	879	11,1	12,6	880
Promedio	109,5	197,2	87,7	100	877	11,1	12,6	880

Tabla 4.2 Cálculo densidad real del bambú.
Fuente: Propia, (2018).

b)Densidad aparente del bambú:

Para la determinación de la densidad aparente suelta del bambú, se utilizó un molde cilíndrico con volumen conocido y una balanza de precisión.

Se llenó el molde hasta rebasar y se pasó una regla metálica para emparejar la superficie, luego se pesó sin producir vibraciones en el molde evitando el movimiento de las partículas. Este proceso se realizó 3 veces, utilizando como dato final el promedio de las 3 mediciones. Para obtener la densidad aparente se reemplazan los datos obtenidos en la ecuación (11).

$$Densidad = Masa / Volumen \qquad (11)$$

En la tabla 4.3 se expresa el cálculo de la densidad aparente suelta del bambú.

Muestra	Masa molde (g)	Masa Bambú + molde (g)	Masa Bambú (g)	Volumen molde (ml)
M1	1314,9	1515,3	200,4	1040
M2	1314,9	1516,7	201,8	1040
M3	1314,9	1515,3	200,4	1040
Promedio	1314,9	1515,7	200,8	1040
ρ as	0,193 g/cm3			

Tabla 4.3 Cálculo densidad aparente del bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 4.3 Molde con bambú para cálculo de densidad aparente.
Fuente: Propia, (2018).

c)<u>Densidad real del polipropileno (PP):</u>

Para determinar la densidad del PP se siguió el mismo procedimiento que para el bambú. En la Tabla 4.4 se presentan los resultados.

Unidad	Masa probeta	Masa probeta + vaselina	Masa vaselina	Volumen vaselina	ρ Vaselina	Masa PP	Volumen desplazado	ρ PP
	g	g	g	ml	kg/m3	g	ml	kg/m3
M1	109,5	194,6	85,1	100	851	12,8	13,5	948
M2	109,5	194,3	84,8	100	848	12,8	13,4	955
M3	109,5	194,4	84,9	100	849	12,8	13,6	941
Promedio	109,5	194,4	84,9	100	849	12,8	13,5	948

Tabla 4.4 Cálculo densidad real del PP.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 4.4 Vaso precipitado con vaselina para cálculo de densidad real del PP.
Fuente: Propia, (2018).

d) Densidad aparente del PP:

La densidad aparente del PP se calcula igual a la densidad aparente del bambú obteniendo los siguientes resultados:

La Tabla 4.5 presenta los resultados de la densidad aparente suelta.

$$Densidad = Masa / Volumen \quad (11)$$

Muestra	Masa molde (g)	Masa PP + molde (g)	Masa PP (g)	Volumen molde (ml)
M1	1314,9	1863,4	548,5	1040
M2	1314,9	1862,2	547,3	1040
M3	1314,9	1862,9	548	1040
Promedio	1314,9	1862,8	547,9	1040
ρ as	0,527 g/cm3			

Tabla 4.5 Cálculo densidad aparente del PP.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 4.5 Molde con PP para cálculo de densidad aparente.
Fuente: Propia, (2018).

4.2 Confección de la plancha

Para la confección de las probetas se realizaron distintas pruebas con el fin de encontrar un óptimo para la realización de estas.

La primera prueba se ejecutó con una dosificación 50/50, 50% de Bambú triturado en estado seco y 50% de Polipropileno en Pellet, en donde se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen total} = \frac{\text{(Bambú en peso)}}{\text{Densidad B}} + \frac{\text{(PP en peso)}}{\text{Densidad PP}} \qquad (13)$$

- ✓ B: Bambú
- ✓ PP: Polipropileno

Utilizando una razón:

$$\frac{\text{PP en peso}}{0,5} = \frac{\text{B en peso}}{0,5}$$ Por lo tanto, se obtiene que PP=B

Remplazando y despejando la fórmula se obtuvo que de ambos materiales se debía aplicar 1.267,2 (gr) de bambú y de polipropileno, debido a la razón que se estableció.

En la Figura 4.6 se muestra el resultado de la plancha con este peso incorporado.

Figura 4.6 Primer intento en la confección de las planchas.
Fuente: Propia, (2018).

Como se puede apreciar en la imagen 4.6 no se llegó al resultado esperado, ya que se observó un exceso de bambú en la confección, por lo que se probó con una segunda ecuación.

La segunda plancha se realizó dividendo en dos el volumen total, el cual es de 2400 cm3, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Volumen (cm3)}} \qquad (11)$$

Densidad aparente B = 0,193 g/cm3
Densidad aparente PP = 0,527 g/cm3

Por lo tanto, se obtuvo que la masa de cada material a utilizar sería la siguiente:

Masa bambú:

$$0{,}193 \text{ g/ cm3} = \frac{\text{Masa}}{1200 \text{ cm3}} \Rightarrow \boxed{\text{Masa} = 231{,}6 \text{ (g)}} \qquad (14)$$

Masa polipropileno:

$$0{,}527 \text{ g/cm3} = \frac{\text{Masa}}{1200 \text{ cm3}} \Rightarrow \boxed{\text{Masa} = 632{,}6 \text{ (g)}} \qquad (15)$$

En la figura 4.7, se muestra el resultado de la plancha con los datos incorporados.

Figura 4.7 Segundo intento en la confección de las planchas.
Fuente: Propia, (2018).

Debido a los resultados antes presentados, se establece la fabricación con un nuevo método de prueba para poder encontrar los datos y el procedimiento óptimo para confeccionar las planchas. Como método de prueba se realizaron muestras con un 30 % de bambú y un 70% de polipropileno, utilizando moldes pequeños con el fin de no desperdiciar material en la búsqueda de la dosificación óptima.

Se realizó una prueba con un molde de medidas 20 x 20 x 1 (cm) de espesor. Como primer paso se calculó el volumen de este, cuyo resultado es de 400 cm3, se calcularon los volúmenes a utilizar de cada material teniendo en cuenta el % de vacíos de cada uno.

Volumen polipropileno con 70%

Utilizando una regla de tres se obtienen los siguientes resultados:

Volumen total: 400 cm3

400: 100 %
X: 70 % → X=280 cm3 de polipropileno (16)

Cálculo de vacío:

Vacíos: 1- (Densidad aparente) / Densidad real → Vacíos: 1- 0,527 / 0,948 = 44% de vacíos (12)

Por lo tanto:

280: 100 %
X: 44 % → X=123 cm3 de vacíos (16)

Con el fin de saber en peso cuánto material debemos emplear, se utiliza la siguiente fórmula:

Densidad: Masa / Volumen → 0,527(g/cm3): Masa / (280+123)cm3 → Masa= 212 (g) de polipropileno (11)

Volumen bambú con 30%

Volumen total: 400 cm3

400: 100 %
X: 30 % → X= 120 cm3 de Bambú (16)

Cálculo de vacío:

$$\text{Vacíos: } 1 - \frac{\text{(Densidad aparente)}}{\text{Densidad real}} \rightarrow \text{Vacíos: } 1 - \frac{0{,}193}{0{,}880}: \quad 78\% \text{ de vacíos} \qquad (12)$$

Por lo tanto, la proporción numérica queda representada del modo siguiente:

120: 100 % → X=94 cm3 de vacíos (16)
X: 78 %

La cantidad de vacíos de bambú en esta investigación se cubrirá con polipropileno.

Con el fin de saber en peso cuánto material debemos emplear se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad: } \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \rightarrow 0{,}193(\text{g/cm3}): \frac{\text{Masa}}{(120)\text{cm3}} \rightarrow \text{Masa= 23 (g) de bambú} \qquad (11)$$

Para llenar los vacíos de bambú con polipropileno se utilizó la siguiente forma:

$$\text{Densidad: } \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \rightarrow 0{,}527(\text{g/cm3}): \frac{\text{Masa}}{(94)\text{cm3}} \rightarrow \text{Masa= 50 (g) de polipropileno} \qquad (11)$$

Obteniendo como resultado la siguiente probeta:

Figura 4.8 Vista trasera y frontal de la probeta con incorporación de 30% de bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Se siguió el procedimiento de fabricación mencionado anteriormente, el cual se estableció después de la confección de varias probetas y de distintos métodos. A continuación, se observan las imágenes de las probetas realizadas durante el proceso.

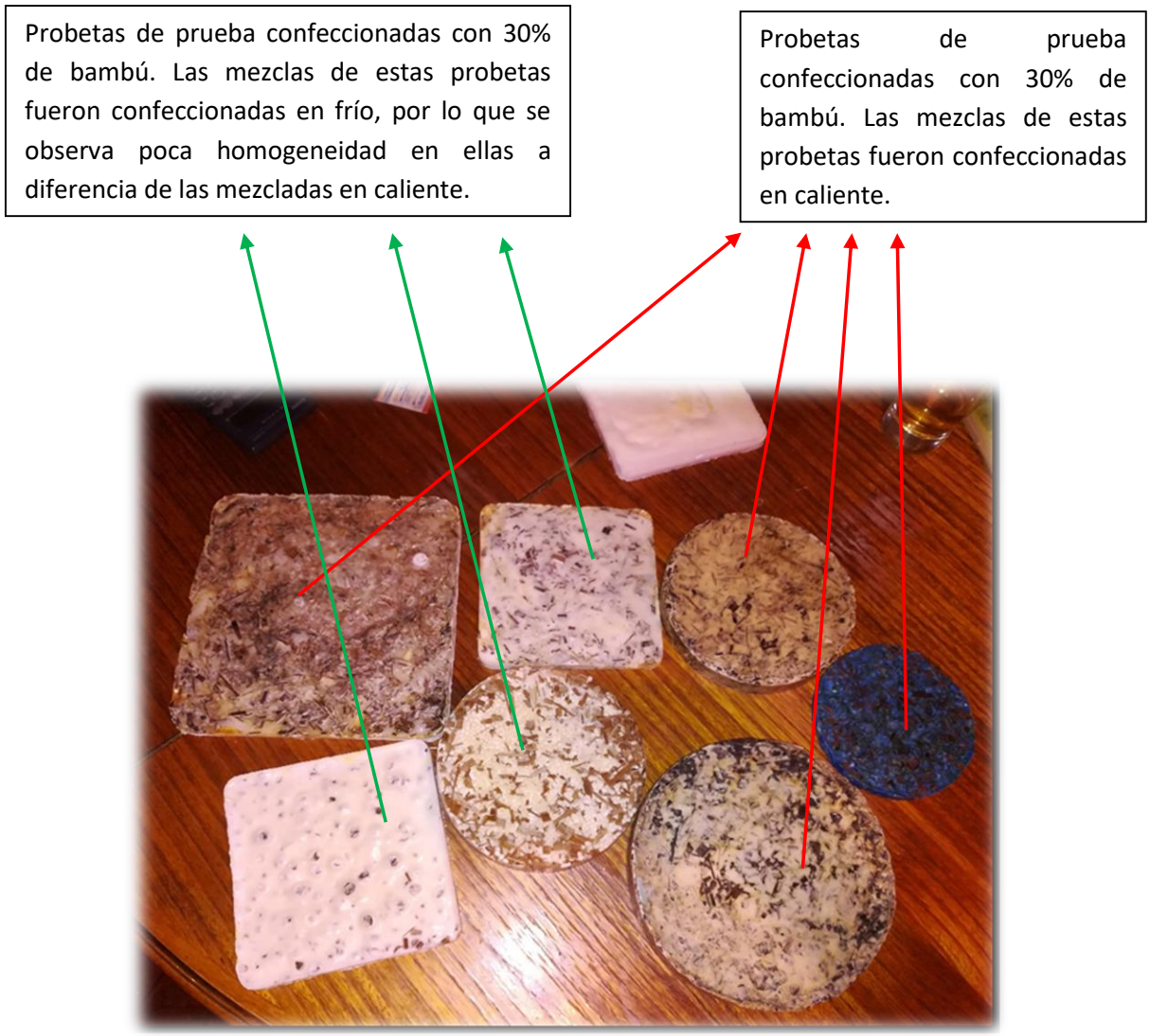

Figura 4.9 Probetas confeccionadas con 30% de bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Confección Planchas 0 % Bambú

La confección de las planchas con 0% bambú y 100 % polipropileno se realiza de forma similar a la fabricación mencionada anteriormente, ya que solo se tiene que agregar polipropileno, se calcula esta cantidad más la incorporación de vacíos del material y se deja en el horno durante 3 horas a una temperatura de 200°C. Finalmente se espera 30 min hasta que se enfríe y se le coloca peso encima con el fin de evitar deformaciones.

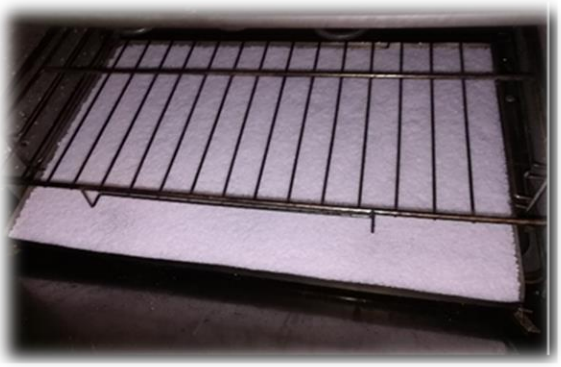

Figura 4.10 Molde con PP al horno para confección de plancha con 0% de bambú

Figura 4.11 Molde con PP a 200°C.

Figura 4.12 Plancha confeccionada con 0% de bambú

Figura 4.13 Carga aplicada a planchas para evitar curvatura.

Fuente: Archivos de elaboración propia, (2018).

4.3 Ensayos

4.3.1 Ensayo de flexión

Se muestra a continuación las planchas ensayadas a flexión:

Figura 4.14 Máquina para realizar ensayo de flexión.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 4.15 Plancha sometida a peso, ensayo de flexión.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 4.16 Plancha en posición para ser evaluada, ensayo de flexión.
Fuente: Propia, (2018).

Planchas	% de Bambú												Muestra patrón		
	0%			30%			40%			50%			Yeso Cartón		
Ensayo	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Carga aplicada (Kg)	40	35	35	30	35	35	25	30	30	20	25	20	25	25	20
Carga total promedio (Kg)	37			33			28			22			23		

Tabla 4.6 Resultados ensayo de resistencia a la flexión.
Fuente: Propia, (2018).

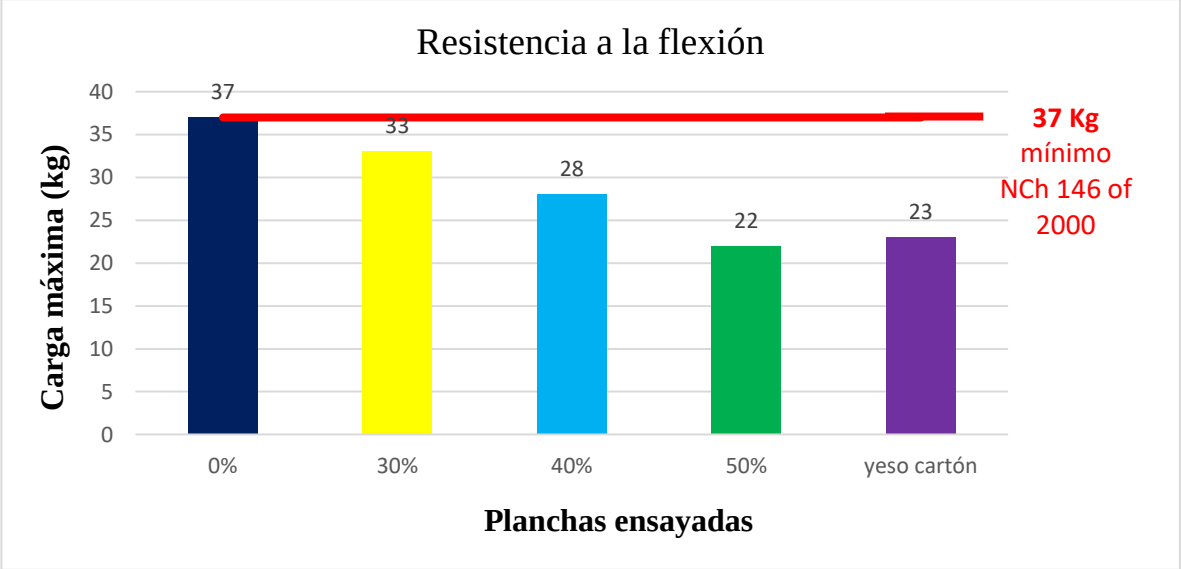

Figura 4.17 Gráfico de resultados ensayo de resistencia a la flexión
Fuente: Propia, (2018).

4.3.2 Ensayo impacto

El ensayo consistió en someter la plancha a evaluar al impacto de una bola de acero. La plancha se colocó en una cama de arena fina de 3 centímetros de espesor (aproximadamente), como se muestra en la figura 4.18. La bola de acero se deja caer desde una altura de 50 centímetros, golpeando en el centro de la probeta. Esta bola de impacto es de 3200 g de peso y 95 milímetros de diámetro.

Se ensayaron 3 planchas por cada proporción de bambú propuesta.

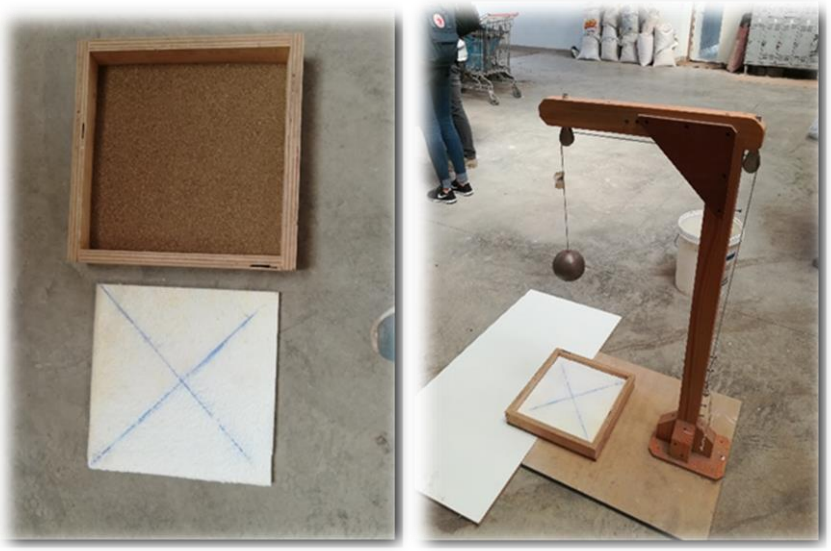

Figura 4.18 Bola de acero y cama de arena para ensayo de impacto.
Fuente: Propia, (2018).

% Bambú	**0 %**			**30 %**			**40 %**			**50 %**			**Yeso Cartón (Patrón)**		
Muestras	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Nº de Golpes	4	4	4	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Tamaño fisura (cm)	0,3	0,25	0,35	1,5	1,75	1	2,5	3,5	3	4,1	3,6	4,3	4,0	3,0	3,5
Promedio Fisuras(mm)	3			14			30			40			35		
N° Golpes promedio	3			2			2			1			1		

Tabla 4.7 Resultados ensayo de resistencia al impacto.
Fuente: Propia, (2018).

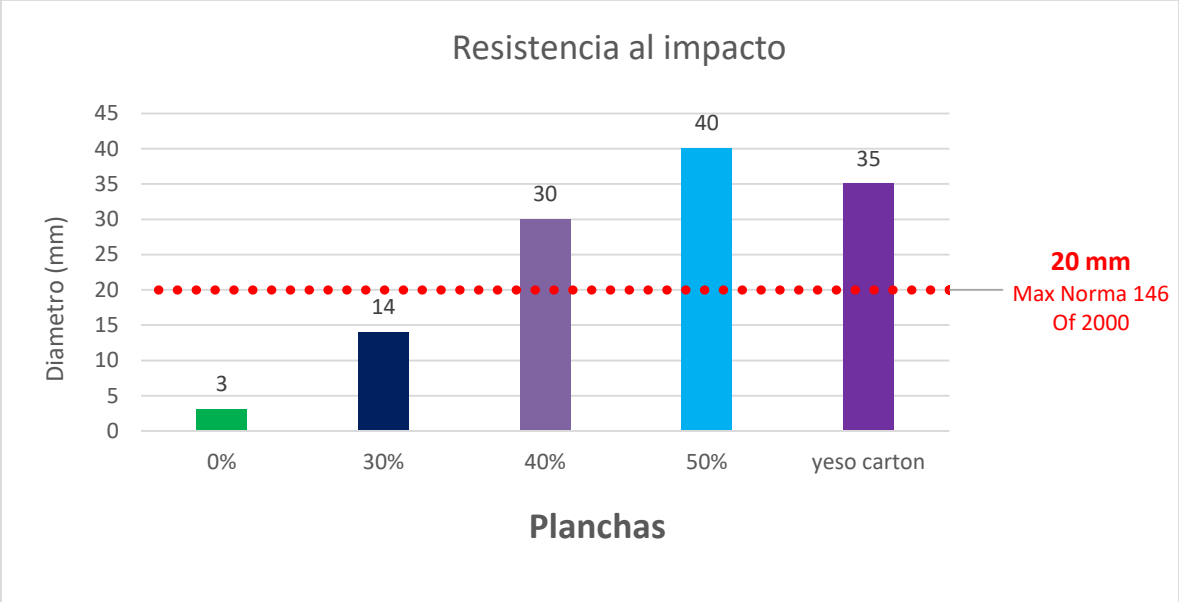

Figura 4.19 Gráfico de resultados ensayo de resistencia al impacto.
Fuente: Propia, (2018).

4.3.3 Ensayo de humedad

% Bambú	0 %			30 %			40 %			50 %			Yeso Cartón		
Muestras	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
M0	715	685	690	645	600	619	579	583	581	544	575	558	505	488	490
M1	720	687	694	649	605	621	584	587	586	550	586	566	697	685	700
% agua absorbida	0,7	0,3	0,6	0,6	0,8	0,3	0,9	0,7	0,9	1,1	1,9	1,4	38	40,3	43
% promedio agua absorbida	0,5			0,6			0,8			1,5			40		

Tabla 4.8 Resultados ensayo de humedad.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 4.20 Muestras sumergidas en agua.
Fuente: Propia, (2018).

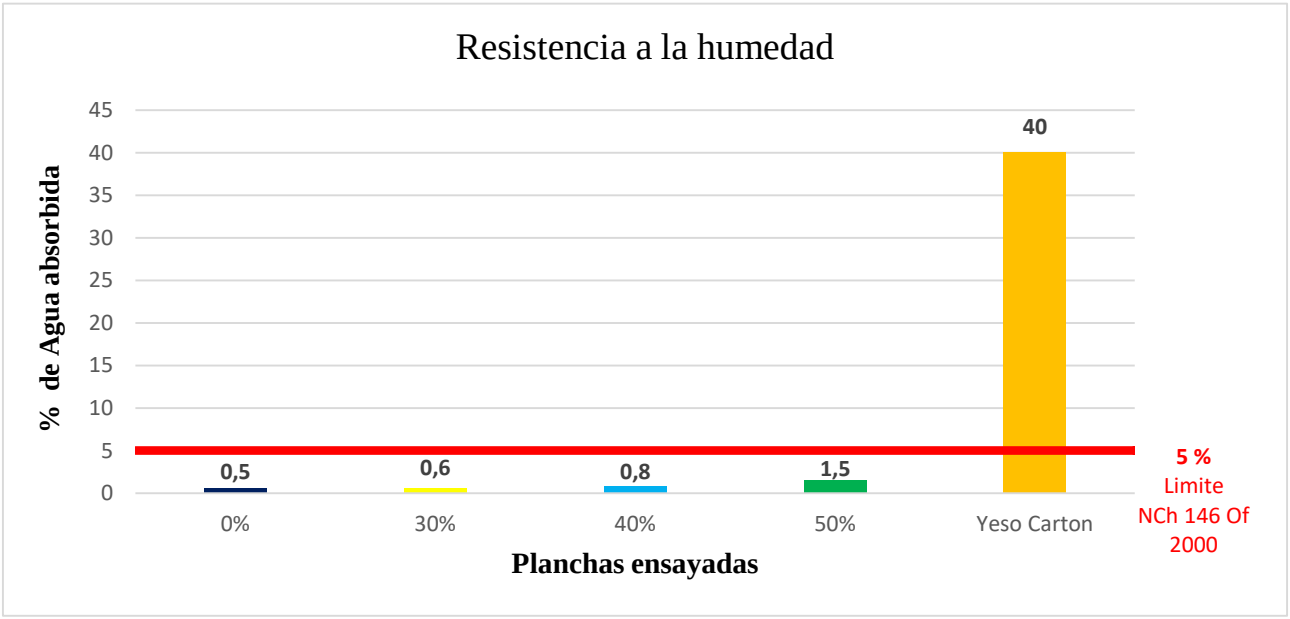

Figura 4.21 Gráfico de resultados ensayo de humedad.
Fuente: Propia, (2018).

4.3.4 Ensayo térmico

La experiencia se llevó a cabo en la cámara térmica ubicada en los laboratorios de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso, en Playa Ancha.

Figura 4.22 Cámara térmica utilizada.
Fuente: Propia, (2018).

Para la realización del ensayo se utilizó el dispositivo PASCO XPLORER GLX PS2002, al que se le conectó el accesorio "Passport" térmico que permite la conexión de hasta 4 sensores de temperatura. Se utilizaron los cuatro sensores de temperatura que permite el equipo para de esta forma tomar mediciones en:

- ✓ **Cara expuesta**: cara de la placa que se encuentra expuesta de forma directa a la fuente de calor, es decir, orientada a esta.
- ✓ **Cara fría**: cara contraria a la cara expuesta. Lado de la placa situada hacia el ambiente frío de la cámara.
- ✓ **Ambiente expuesto**: ambiente (recinto cerrado) de la cámara en el que se encuentra la fuente emisora de calor.
- ✓ **Ambiente frío**: ambiente (recinto cerrado) de la cámara, separado del ambiente expuesto por la probeta ensayada.

Cada probeta fue ensayada por un periodo de 2 horas (continuas), durante las que se fue registrando (mediante el equipo anteriormente mencionado) la temperatura instantánea en cada uno de los cuatro puntos ya citados.

Figura 4.23 PASCO XPLORER GLX PS2002.
Fuente: Propia, (2018).

El ensayo se realizó a las planchas con cada una de las proporciones de bambú propuestas y, además, a una plancha de yeso cartón de las mismas dimensiones. En el ensayo, se obtuvieron los siguientes diferenciales de temperatura en las caras y ambiente a las 2 horas de exposición que se representan en la tabla 4.9.

Tiempo (min)	Plancha 0% Bambú		Plancha 30% Bambú		Plancha 40% Bambú		Plancha 50% Bambú		Plancha Yeso Cartón	
	Diferencia caras (°C)	Diferencia ambientes (°C)	Diferencia caras (°C)	Diferencia ambientes (°C)	Diferencia caras (°C)	Diferencia ambientes (°C)	Diferencia caras (°C)	Diferencia ambientes (°C)	Diferencia caras (°C)	Diferencia ambientes (°C)
0	-0,27	1,18	0,21	1,05	0,72	0,48	0,43	4,97	0,63	1,58
2	0,36	1,64	0,45	1,61	0,94	1,3	1,42	6,09	0,9	2,51
4	0,77	2,22	0,75	2,28	1,26	2,21	2,45	7,23	1,21	3,66
6	1,09	2,77	1,05	2,92	1,6	3,15	3,28	8,25	1,48	4,73
8	1,33	3,27	1,31	3,52	1,92	4,02	3,9	9,12	1,71	5,65
10	1,52	3,71	1,55	4,05	2,17	4,8	4,37	9,84	1,9	6,46
12	1,68	4,14	1,75	4,56	2,38	5,49	4,73	10,46	2,04	7,16
14	1,84	4,56	1,92	5,06	2,56	6,13	4,96	10,97	2,16	7,78
16	1,97	4,96	2,08	5,52	2,71	6,71	5,17	11,46	2,27	8,31
18	2,1	5,34	2,22	5,92	2,84	7,23	5,39	11,94	2,36	8,82
20	2,21	5,73	2,32	6,32	2,95	7,73	5,57	12,39	2,45	9,33
22	2,32	6,11	2,42	6,69	3,1	8,24	5,71	12,82	2,54	9,81
24	2,43	6,46	2,54	7,09	3,24	8,76	5,86	13,25	2,63	10,3
26	2,54	6,82	2,66	7,46	3,38	9,26	5,99	13,64	2,72	10,78
28	2,64	7,15	2,77	7,87	3,5	9,76	6,14	14,02	2,79	11,2
30	2,73	7,49	2,91	8,32	3,64	10,23	6,23	14,4	2,86	11,61
32	2,79	7,76	3,04	8,74	3,76	10,72	6,35	14,78	2,94	12,05
34	2,88	8,08	3,17	9,19	3,85	11,15	6,47	15,14	3,03	12,47
36	2,97	8,41	3,25	9,42	3,94	11,55	6,57	15,5	3,1	12,88
38	3,06	8,72	3,35	9,75	4,04	11,96	6,69	15,83	3,16	13,24
40	3,13	9,01	3,44	10,07	4,15	12,38	6,78	16,15	3,23	13,6
42	3,22	9,31	3,53	10,39	4,24	12,77	6,84	16,45	3,3	13,97
44	3,29	9,59	3,62	10,71	4,33	13,18	6,94	16,76	3,37	14,34
46	3,34	9,83	3,75	11,07	4,44	13,57	7,06	17,06	3,44	14,72
48	3,41	10,09	3,86	11,43	4,53	13,95	7,17	17,35	3,52	15,09
50	3,49	10,36	3,98	11,76	4,61	14,3	7,24	17,63	3,61	15,49
52	3,56	10,64	4,06	12,07	4,65	14,61	7,31	17,91	3,69	15,87
54	3,63	10,9	4,17	12,37	4,69	14,88	7,42	18,18	3,75	16,22
56	3,69	11,15	4,26	12,66	4,75	15,2	7,51	18,42	3,82	16,59
58	3,76	11,42	4,35	12,96	4,85	15,54	7,59	18,66	3,88	16,92
60	3,83	11,66	4,46	13,26	4,93	15,89	7,65	18,91	3,92	17,19
62	3,89	11,91	4,55	13,53	4,99	16,21	7,73	19,16	3,96	17,44
64	3,96	12,17	4,64	13,81	5,05	16,51	7,82	19,4	4	17,66
66	4,03	12,4	4,73	14,14	5,09	16,77	7,87	19,6	4,06	17,92
68	4,08	12,63	4,84	14,45	5,14	17,01	7,91	19,79	4,12	18,21
70	4,13	12,83	4,96	14,74	5,18	17,25	7,96	19,96	4,17	18,5
72	4,18	13,05	5,04	14,99	5,23	17,49	8,01	20,13	4,23	18,77
74	4,23	13,23	5,11	15,27	5,29	17,75	8,07	20,32	4,28	19,01
76	4,29	13,43	5,19	15,49	5,38	18,04	8,15	20,53	4,31	19,22
78	4,34	13,62	5,28	15,74	5,45	18,3	8,24	20,74	4,35	19,42
80	4,4	13,82	5,38	16	5,52	18,53	8,31	20,94	4,37	19,61
82	4,44	14	5,47	16,27	5,6	18,78	8,39	21,13	4,44	19,85
84	4,49	14,16	5,58	16,5	5,64	18,99	8,44	21,31	4,49	20,11
86	4,54	14,34	5,68	16,72	5,67	19,16	8,49	21,44	4,56	20,37
88	4,59	14,51	5,79	16,92	5,71	19,35	8,51	21,62	4,6	20,59
90	4,62	14,65	5,9	17,12	5,79	19,57	8,6	21,8	4,64	20,79
92	4,67	14,82	6,03	17,31	5,86	19,77	8,66	21,97	4,66	20,94
94	4,73	15	6,13	17,45	5,93	19,97	8,72	22,13	4,69	21,09
96	4,76	15,16	6,23	17,59	5,97	20,17	8,8	22,3	4,71	21,24
98	4,8	15,31	6,3	17,75	6,04	20,38	8,84	22,44	4,77	21,48
100	4,84	15,46	6,4	17,9	6,08	20,57	8,87	22,58	4,82	21,71
102	4,88	15,61	6,51	18,08	6,11	20,72	8,93	22,7	4,87	21,9
104	4,92	15,74	6,6	18,21	6,15	20,85	8,96	22,83	4,9	22,08
106	4,95	15,85	6,69	18,4	6,17	20,97	9	22,98	4,94	22,27
108	4,99	15,99	6,78	18,56	6,25	21,17	9,05	23,11	4,98	22,41
110	5,02	16,13	6,87	18,72	6,33	21,36	9,11	23,25	5	22,55
112	5,07	16,27	6,96	18,88	6,39	21,56	9,2	23,39	5,03	22,68
114	5,1	16,4	7,05	19,04	6,45	21,73	9,23	23,52	5,07	22,86
116	5,15	16,53	7,15	19,2	6,5	21,9	9,26	23,63	5,12	23,05
118	5,18	16,65	7,24	19,36	6,51	22,02	9,28	23,72	5,16	23,24
120	5,2	16,72	7,33	19,52	6,53	22,13	9,32	23,81	5,2	23,41

Tabla 4.9 Diferenciales de temperatura en las caras.

Fuente: Propia, (2018).

En la figura 4.24 se muestra el gráfico de diferencia de temperatura obtenida en las caras de las planchas ensayadas:

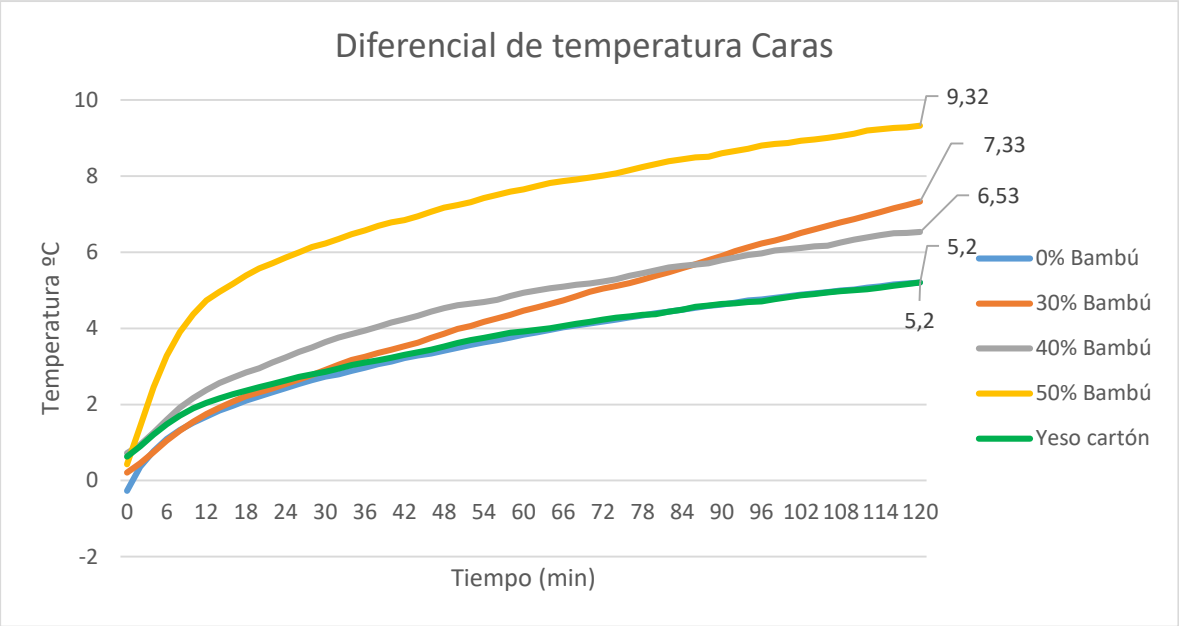

Figura 4.24 Gráfico de resultados ensayo temperatura.
Fuente: Propia, (2018).

4.3.5 Ensayo acústico

El ensayo acústico se realizó en la misma cámara de guarda que el térmico, el cual consistió en la emisión de las frecuencias indicadas en la Norma NCh 2786 of 2003, las cuales son:

Frecuencia (Hz)					
100	125	160	200	250	315
400	500	630	800	1.000	1.250
1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000

Tabla 4.10 Frecuencia NCh 2786 of 2003.
Fuente: Propia, (2018).

La generación de estas se logró mediante el software AUDACITY (software libre) y para la captación de resultados se utilizó nuevamente el PASCO XPLORER GLX PS2002, con el accesorio PASSPORT micrófono, conectado a un computador. Para el registro de los datos, se utilizó el software PASCO Capstone, el cual se sincroniza con el dispositivo y captura la información.

Se presentan, a continuación, los datos promediados obtenidos para las frecuencias emitidas (según NCh2786):

N°	Frecuencia emitida (Hz)	Nivel de sonido Registrado (dB)						% de Sonido Absorbido				
		Sin Aislación	Plancha 0% Bambú	Plancha 30% Bambú	Plancha 40% Bambú	Plancha 50% Bambú	Yeso Cartón	Plancha 0% Bambú	Plancha 30% Bambú	Plancha 40% Bambú	Plancha 50% Bambú	Yeso Cartón
1	100	78,20	76,98	78	75,80	77,3	76,8	1	0	2	1	1
2	125	80,80	79,50	78,78	80,12	77,41	79,18	1	2	1	3	2
3	160	84,00	82,31	82,61	81,51	81,71	80,64	2	1	2	2	3
4	200	89,21	88,7	87,9	87,14	88,2	87,9	1	1	2	1	1
5	250	88,90	84,30	86,6	83,43	81,61	83,21	5	2	5	7	6
6	315	84,30	83,01	82,2	82,01	83,70	82,09	1	2	2	1	2
7	400	77,90	75,90	73,81	76,04	72,21	76,32	2	4	2	6	2
8	500	78,90	74,90	73,3	72,74	75,39	73,21	4	6	6	4	6
9	630	87,50	81,31	81,6	81,22	84,43	80,54	6	6	6	3	7
10	800	90,00	86,90	84,19	89,23	87,50	88,07	3	6	1	3	2
11	1000	84,85	79,87	81,66	80,3	80,85	83,2	5	3	5	4	2
12	1250	86,68	78,90	76,32	77,66	79,68	78,42	8	10	9	7	8
13	1600	85,70	69,94	70,90	74,02	72,11	72,51	16	15	12	14	13
14	2000	87,90	74,80	74,74	75,56	75,22	75,24	13	13	12	13	13
15	2500	90,00	78,40	75,00	76,98	73,80	71,21	12	15	13	16	19
16	3150	79,10	70,11	71,50	64,98	64,31	72,91	9	8	14	15	6
17	4000	87,10	79,00	74,60	74,00	73,51	74,61	8	13	13	14	12
18	5000	87,40	71,00	71,60	67,91	66,61	70,92	16	16	19	21	16

Tabla 4.11 Registro resultados ensayo acústico.

Fuente: Propia, (2018).

A partir de los resultados obtenidos, se construye el siguiente gráfico:

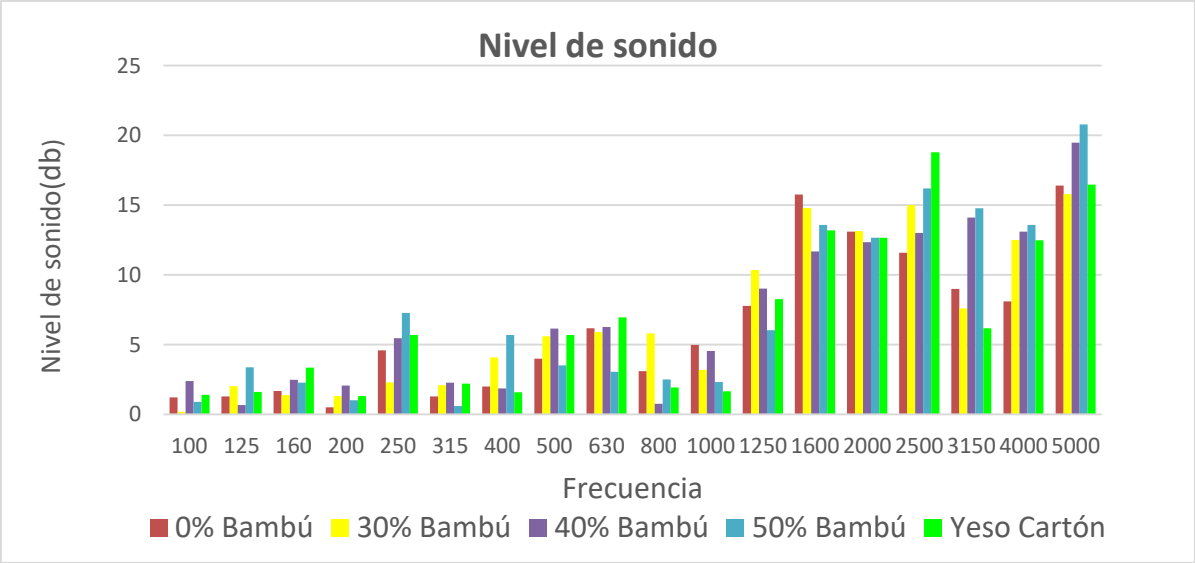

Figura 4.25 Gráfico de resultados ensayo acústico.
Fuente: Propia, (2018).

Capítulo 5
Presentación y análisis de resultados

5.1 Análisis de ensayos de flexión, impacto y humedad

Para una mejor comprensión se ha definido la siguiente nomenclatura para los 5 tipos de planchas en análisis:

Tipo de plancha	Descripción
P	Muestra patrón de yeso cartón de 10 mm.
A	Plancha con 30 % de bambú triturado.
B	Plancha con 40 % de bambú triturado.
C	Plancha con 50 % de bambú triturado.
S	Plancha sin incorporación de bambú triturado.

Tabla 5.1 Descripción de planchas.
Fuente: Propia, (2018).

En cada ensayo se analizaron las planchas A, B y C respecto a la P, y a la vez, las planchas A, B y C respecto a la S, para verificar la influencia del bambú en el polipropileno.

Ensayo de flexión

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera un aumento en la resistencia a la flexión en las planchas A y B, respecto a la muestra patrón y disminuye en la C.

- Plancha A aumenta un 43.5 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha B aumenta un 21.7 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha C disminuye un 4.3 % con respecto a la muestra patrón.

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera una disminución en la resistencia a la flexión en las planchas A, B y C respecto a la plancha S.

- Plancha A disminuye un 10.8 % con respecto a la muestra S.
- Plancha B disminuye un 24.3 % con respecto a la muestra S.
- Plancha C disminuye un 40.5 % con respecto a la muestra S.

Ensayo de impacto

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera un aumento en la resistencia al impacto en las planchas A y B, respecto a la muestra patrón y disminuye en la C.

- Plancha A aumenta un 60 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha B aumenta un 14.3 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha C disminuye un 14.3 % con respecto a la muestra patrón.

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera una disminución en la resistencia al impacto en las planchas A, B y C respecto a la plancha S.

- Plancha A disminuye un 367 % con respecto a la muestra S.
- Plancha B disminuye un 900 % con respecto a la muestra S.
- Plancha C disminuye un 1233% con respecto a la muestra S.

Ensayo de humedad

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera un aumento en la resistencia a la humedad en las planchas A, B y C respecto a la muestra patrón.

- Plancha A aumenta un 98.5 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha B aumenta un 98 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha C aumenta un 96.3 % con respecto a la muestra patrón.

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera una disminución en la resistencia a la humedad en las planchas A, B y C respecto a la plancha S.

- Plancha A disminuye un 20 % con respecto a la muestra S.
- Plancha B disminuye un 60 % con respecto a la muestra S.
- Plancha C disminuye un 200 % con respecto a la muestra S.

5.2 Análisis térmico

La adición de bambú triturado en el polipropileno genera un aumento en la aislación térmica en las planchas A, B y C respecto a la muestra patrón y a la plancha S, ya que ambas tuvieron la misma diferencia de caras en el ensayo de aislación térmica.

- Plancha A aumenta un 41 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha B aumenta un 25,6 % con respecto a la muestra patrón.
- Plancha C aumenta un 79,2 % con respecto a la muestra patrón.

5.3 Análisis acústico

A la vista de los resultados obtenidos en la experiencia, se puede ver que el desempeño de las planchas es similar, independiente de la cantidad de bambú incorporado en estas.

Se puede apreciar en la tabla 4.11 que el comportamiento del yeso cartón no destaca generalmente en la reducción de sonido en comparación a las planchas propuestas, en las frecuencias de entre 2000 Hz y 5000 Hz. Se destaca el comportamiento de la placa con 50% de bambú, siendo esta la que mejor aísla, cumpliendo con lo establecido, ya que se sabe que a medida que aumenta la masa de un elemento también lo hace la reducción del sonido percibido a través de éste.

5.4 Tendencia entre los ensayos realizados

En esta investigación se presentaron y analizaron las planchas de forma separada. Para tener una visión global del estudio realizado se generó una relación entre los ensayos por medio de una tabla de desempeño, para demostrar de mejor forma su comportamiento, y saber cuál de las planchas tiene el mejor resultado ante estas pruebas.

Para relacionar los ensayos, se evaluó de 0 a 7 (donde 0 será la más deficiente y la nota 7 la más óptima) con diferentes rangos para cada una de las variables a comparar, las cuales fueron: diferencial de temperatura (°C), resistencia al impacto (mm), resistencia a la flexión (Kg), resistencia a la humedad (%), y por diferencial acústico (dB). A partir de estos datos, se confeccionaron las siguientes tablas:

Resistencia a la flexión						
Nota	Kg	0 % Bambú	30% Bambú	40% Bambú	50% Bambú	Yeso Cartón
0	1 ~ 5					
1	6 ~ 10					
2	11 ~ 15					
3	16 ~20					
4	21 ~ 25				x	x
5	26 ~ 30			x		
6	31 ~35		x			
7	36 o +	x				

Tabla 5.2 Rango ensayo flexión.
Fuente: Propia, (2018).

Para la confección de la tabla 5.2 el rango fue aumentando cada 4 kg, con el fin de llegar a la resistencia más eficiente en este ensayo (37 kg) según NCh 146/2 of 2000.

Resistencia al impacto						
Nota	mm	0 % Bambú	30% Bambú	40% Bambú	50% Bambú	Yeso Cartón
0	(+) 20			x	x	x
1	19,8					
2	16,5					
3	13,2		x			
4	9,9					
5	6,6					
6	3,3					
7	0	x				

Tabla 5.3 Rango ensayo de impacto.
Fuente: Propia, (2018).

Para la confección de la tabla 5.3 el rango fue aumentando cada 3,3 mm de fisura +/- 1,65 mm con el fin de llegar a los 20 mm, lo cual es el resultado más deficiente en este ensayo según NCh 146/2 of 2000.

Resistencia a la humedad						
Nota	%	0 % Bambú	30% Bambú	40% Bambú	50% Bambú	Yeso Cartón
0	(+) 5%					x
1	4,8%					
2	4%					
3	3,2%					
4	2,4%					
5	1,6%				x	
6	0,8%	x	x	x		
7	0%					

Tabla 5.4 Rango ensayo humedad.
Fuente: Propia, (2018).

Para la confección de la tabla 5.4 el rango fue aumentando cada 0,8 % de absorción de agua +/- 0,4 % con el fin de llegar a 5 % de absorción, lo cual es lo más deficiente en este ensayo según NCh 146/2 of 2000.

Ensayo térmico						
Nota	Diferencia caras ºC	0 % Bambú	30% Bambú	40% Bambú	50% Bambú	Yeso Cartón
0	0 -1,25					
1	1,26-2,51					
2	2,52-3,77					
3	3,78-5,03					
4	5,04-6,29	x				x
5	6,30-7,55		x	x		
6	7,56-8,81					
7	8,82-10,07				x	

Tabla 5.5 Rango ensayo térmico.
Fuente: Propia, (2018).

Para la confección de la tabla 5.5 se realizó una escala con las temperaturas obtenidas, ya que no hay una norma específica para este ensayo, se establecieron rangos cada 1,25 ºC.

En la tabla 5.6 se muestra cómo se evaluaron los % absorbidos en cada frecuencia, para luego ser representado en la tabla 5.7 con su nota respectiva, siendo la óptima la plancha con 40% de bambú incorporado, que obtuvo el mayor promedio de 6,2 y la más deficiente la muestra patrón con un promedio de 5,3.

Cantidad de frecuencias	1000-5000 Hz	% de Sonido Absorbido					Evaluación				
		Plancha 0% Bambú	Plancha 30% Bambú	Plancha 40% Bambú	Plancha 50% Bambú	Yeso Cartón	Plancha 0% Bambú	Plancha 30% Bambú	Plancha 40% Bambú	Plancha 50% Bambú	Yeso Cartón
1	1000	5	3	5	4	2	7	4,2	7	5,6	2,8
2	1250	8	10	9	7	8	5,6	7	6,3	4,9	5,6
3	1600	16	15	12	14	13	7	6,6	5,3	6,1	5,7
4	2000	13	13	12	13	13	7	7	6,5	7	7
5	2500	12	15	13	16	19	4,4	5,5	4,8	5,9	7
6	3150	9	8	14	15	6	4,2	3,7	6,5	7	2,8
7	4000	8	13	13	14	12	4	6,5	6,5	7	6
8	5000	16	16	19	21	16	5,3	5,3	6,3	7	5,3
						Promedio	**5,7**	**5,7**	**6,2**	**6,3**	**5,3**

Tabla 5.6 Mayor % absorbido de cada frecuencia y nota promedio.
Fuente: Propia, (2018).

Para la confección de la tabla 5.7 se tomaron en cuenta solo las frecuencias más agudas, las cuales son las más dañinas para las personas, en este caso las que van desde los 1000 Hz hasta los 5000 Hz, en donde encontramos 8 frecuencias a evaluar, para lo cual se consideró con nota 7 el mayor % de sonido absorbido de cada frecuencia. Para una mejor comprensión se explicará la evaluación de la frecuencia de los 1000 Hz en donde el mayor % de sonido absorbido es 5 en la plancha con 0% de bambú, siendo este valor el mejor evaluado con nota 7 en dicha frecuencia, el siguiente % de sonido absorbido es 3 en la plancha con 30 % de bambú y lo que se hace es lo siguiente:

% sonido absorbido Nota

5 → 7

3 → X entonces $X = \frac{3*7}{5} = 4,2$

Las planchas con 50 % de bambú y la de yeso cartón tiene el mismo % de sonido absorbido el cual es 2, por lo cual tendrán la misma nota la cual se calculó de la siguiente manera:

% sonido absorbido Nota

5 → 7

2 → X entonces $X = \frac{2*7}{5} = 2,8$

De la misma forma se calcularon las notas de todas las frecuencias considerando siempre con nota 7 el mayor % de sonido absorbido de cada frecuencia, una vez establecidas todas las notas se promedian, para así confeccionar la tabla 5.7

Ensayo acústico					
Nota	0 % Bambú	30% Bambú	40% Bambú	50% Bambú	Yeso Cartón
0					
1					
2					
3					
4					
5					x
6	x	x	x	x	
7					

Tabla 5.7 Rango ensayo acústico.
Fuente: Propia, (2018).

Una vez establecido los rangos se procede a crear la tabla de desempeño con las notas asignadas y el correspondiente gráfico:

Características	0 % Bambú	30% Bambú	40% Bambú	50% Bambú	Yeso Cartón
Aislación Térmica	4	5	5	7	4
Aislación acústica	6	6	6	6	5
Resistencia a la flexión	7	6	5	4	4
Resistencia a la humedad	6	6	6	5	0
Resistencia al impacto	7	3	0	0	0

Tabla 5.8 Tabla de desempeño.
Fuente: Propia, (2018).

Figura 5.1 Gráfico de desempeño.
Fuente: Propia, (2018).

Como muestra la gráfica 5.1, podemos resumir y analizar las variables más importantes de la presente investigación comparando las áreas que abarca cada plancha en el pentágono. Por ejemplo, la plancha patrón de yeso cartón fue la más deficiente tanto para la resistencia al impacto, a la humedad y la poca aislación térmica y acústica que presentó, en cambio la plancha que obtuvo el mejor desempeño ante estas variables fue la de 0% de bambú incorporado.

También podemos tomar esta gráfica para comparar las áreas de las planchas con 30%, 40% y 50% de bambú, las cuales son similares, destacándose en características diferentes, como por ejemplo la plancha con 40 % de bambú presenta adecuada resistencia a la humedad y a la aislación acústica, sin embargo, cuenta con una nula respuesta frente a la resistencia al impacto, teniendo una resultado similar la plancha con 30 % de bambú, con la diferencia que presenta un mejor comportamiento frente al ensayo de impacto.

5.5 Análisis de costos

La confección de una plancha de revestimiento tiene costos inherentes a su producción, pero también existen diversos factores que pueden afectar el valor del producto final, tales como el transporte, la mano de obra, y la materia prima, entre otros. En esta investigación solo se realizaron consideraciones económicas de los costos de materiales que se consumen en un metro cuadrado de la misma, sin tomar en cuenta mano de obra.

Los costos por metro cuadrado de cada plancha se calcularon según datos recopilados.

5.5.1 Cubicación de materiales

En las siguientes tablas se presentan los materiales necesarios para cada una de las combinaciones propuestas de las placas:

Cubicación plancha 0 % bambú		
Materiales	Unidad	Cantidad
Polipropileno	kg	7,6
Bambú	kg	0
Plancha acero inoxidable	m2	1,08
Cocina	día	0,5

Tabla 5.9 Cubicación plancha 0 % bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Cubicación plancha 30 % bambú		
Materiales	Unidad	Cantidad
Polipropileno	kg	6.5
Bambú	kg	0,6
Plancha acero inoxidable	m2	1,08
Cocina	día	0,5

Tabla 5.10 Cubicación plancha 30 % bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Cubicación plancha 40% bambú		
Materiales	Unidad	Cantidad
Polipropileno	kg	6,2
Bambú	kg	0.8
Plancha acero inoxidable	m2	1,08
Cocina	día	0,5

Tabla 5.11 Cubicación plancha 40 % bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Cubicación plancha 30% bambú		
Materiales	Unidad	Cantidad
Polipropileno	kg	5,9
Bambú	kg	0,97
Plancha acero inoxidable	m2	1,08
Cocina	día	0,5

Tabla 5.12 Cubicación plancha 50 % bambú.
Fuente: Propia, (2018).

5.5.2 Análisis de precios unitarios

Para determinar el precio unitario de cada material se consideraron los valores del mercado, como se reflejan en la siguiente tabla:

Producto	Unidad	Dimensiones comerciales	Precio comercial	P.U
Polipropileno	kg	25	$ 25.000	$ 1.000
Bambú	kg	1,5	$ 1.000	$ 667
Bandeja acero inoxidable	m2	3	$ 25.000	$ 8.333
Cocina	día	7	$ 15.000	$ 2.143

Tabla 5.13 Análisis de precio unitario de materiales.
Fuente: Propia, (2018).

5.5.3 Costo de fabricación planchas

De acuerdo a las cantidades necesarias para fabricar cada tipo de plancha y el análisis de precios unitarios para los materiales, el costo de fabricación es:

APU placa 0% bambú					
1	**Materiales**				
N	**Ítem**	**Unidad**	**Cantidad**	**P.U**	**P.T**
1.1	Polipropileno	kg	7,6	$ 1.000	$ 7.600
1.2	Bambú	kg	0	$ 667	$ -
1.3	Plancha acero inoxidable	m2	1,08	$ 8.333	$ 9.000
1.4	Cocina	día	0,5	$ 2.143	$ 1.072
				Total m2	**$ 17.672**

Tabla 5.14 Análisis de precio unitario plancha 0% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

APU placa 30% bambú					
1	**Materiales**				
N	**Ítem**	**Unidad**	**Cantidad**	**P.U**	**P.T**
1.1	Polipropileno	kg	6,5	$ 1.000	$ 6.500
1.2	Bambú	kg	0,6	$ 667	$ 400
1.3	Plancha acero inoxidable	m2	1,08	$ 8.333	$ 9.000
1.4	Cocina	día	0,5	$ 2.143	$ 1.072
				Total m2	**$ 16.972**

Tabla 5.15 Análisis de precio unitario plancha 30% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

APU placa 40% bambú					
1	**Materiales**				
N	**Ítem**	**Unidad**	**Cantidad**	**P.U**	**P.T**
1.1	Polipropileno	kg	6,2	$ 1.000	$ 6.200
1.2	Bambú	kg	0,8	$ 667	$ 533
1.3	Plancha acero inoxidable	m2	1,08	$ 8.333	$ 9.000
1.4	Cocina	día	0,5	$ 2.143	$ 1.072
				Total m2	**$ 16.805**

Tabla 5.16 Análisis de precio unitario plancha 40% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

APU placa 50% bambú					
1	**Materiales**				
N	**Ítem**	**Unidad**	**Cantidad**	**P.U**	**P.T**
1.1	Polipropileno	kg	5,9	$ 1.000	$ 5.900
1.2	Bambú	kg	0,97	$ 667	$ 647
1.3	Plancha acero inoxidable	m2	1,08	$ 8.333	$ 9.000
1.4	Cocina	día	0,5	$ 2.143	$ 1.072
				Total m2	**$ 16.618**

Tabla 5.17 Análisis de precio unitario plancha 50% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Capítulo 6
Conclusiones

6.1 Conclusiones

Debido a la ausencia de normativas para las planchas elaboradas, se consideró para la realización de los ensayos, la norma NCh146 Of 2000, que rige para las placas de yeso cartón de 10 mm tipo estándar, debido a su similitud con respecto a las planchas confeccionadas, que fueron ensayadas bajo los mismos parámetros, adaptándose a las condiciones existentes en el laboratorio de la Universidad.

Las conclusiones se expondrán considerando dos parámetros, por un lado, las observaciones finales en relación a la muestra patrón y por otro, en base a la plancha de solo polipropileno sin adición de bambú.

6.1.1 Conclusiones sobre resistencia a la flexión.

Con respecto a la plancha patrón, cabe señalar, que ninguna de las planchas evaluadas se posiciona dentro de la norma, la cual establece una mínima resistencia a la flexión de 37 kg. Las planchas de polipropileno con incorporación de 30 % y 40 % de bambú, se encuentran sobre la muestra patrón, no obstante, aquella con 50 %, resultó ser menos resistente a la flexión.

Con respecto a la plancha sin incorporación de bambú, las distintas dosis de bambú incorporado a las planchas evaluadas no aumentaron su resistencia a la flexión, al contrario, la disminuyeron, por lo que se concluye que a mayor incorporación de bambú menor es la resistencia de la plancha.

6.1.2 Conclusiones sobre resistencia al impacto.

La muestra patrón se encuentra por debajo de los resultados obtenidos de las planchas ensayadas, por lo que se concluye que las distintas dosis de bambú aumentan la resistencia al impacto. Sin embargo, la norma establece un diámetro no mayor a 20 mm de fisura por lo que solo la plancha con 30 % de incorporación de bambú cumple con la normativa

Los resultados de las planchas evaluadas, respecto a aquella sin incorporación de bambú, son inferiores, por lo que se concluye que las distintas dosis de bambú no aumentan la resistencia al impacto, al contrario, la disminuyen considerablemente.

Para finalizar se establece que la dosificación de 0 % es la óptima para la mejor resistencia al impacto de la plancha.

6.1.3 Conclusiones sobre resistencia a la humedad.

Los resultados obtenidos son considerablemente mayores que la muestra patrón. Todas las planchas creadas con distintas dosis de bambú cumplieron la norma, la cual establece un 5 % de absorción. No obstante, comparando los datos obtenidos no existe una diferencia significativa en la resistencia a la humedad que presentaron las planchas confeccionadas.

Con respecto a la plancha sin incorporación de bambú, comparando los valores obtenidos con las distintas planchas creadas, se establece que presentan resultados similares, siendo más óptimas aquellas muestras con menor porcentaje de bambú.

6.1.4 Comportamiento térmico.

El ensayo térmico respecto a la muestra patrón y a la plancha sin incorporación de bambú, en comparación a las tres planchas propuestas (30 %, 40 %, y 50 %), muestran que los resultados de las distintas planchas confeccionadas son superiores, obteniendo una mayor aislación la plancha con 50 % de bambú, por lo que se concluye que entre mayor porcentaje de bambú incorporado, mayor es la aislación térmica.

6.1.5 Comportamiento acústico.

Los resultados del ensayo acústico son mayores en comparación a la muestra patrón, por lo que se concluye que la incorporación de bambú sí es un factor influyente, ya que aumenta la aislación acústica de las planchas, obteniendo un mejor resultado en la plancha con 50 % de bambú.

La plancha sin incorporación de bambú, con respecto a la muestra con 30 % de bambú no presenta diferencia en la aislación, sin embargo, a medida que se aumenta la dosificación del bambú, se incrementa su efectividad.

6.1.6 Conclusiones económicas.

Tras el análisis de precios unitarios, se estableció que la plancha sin incorporación de bambú resulto ser la más cara con un costo por metro cuadrado de $17.672, la plancha con 30 % de bambú tiene un costo por metro cuadrado de $16.972, siendo esta la de mayor valor entre las tres muestras estudiadas, mientras que el precio de la plancha de yeso cartón es de $1.656. Sin duda, el precio de la plancha propuesta es elevado, no obstante, es importante considerar que las planchas fueron fabricadas de manera artesanal, y que los precios se obtuvieron al detalle, pudiéndose reducir los costos al comprar por mayor, e industrializar su producción. Para conocer la verdadera viabilidad económica del producto propuesto, se debe realizar un estudio económico más detallado y sofisticado, considerando materiales, mano de obra, tecnología y rendimientos.

6.1.7 Conclusiones respecto al proceso de fabricación.

Respecto al proceso de fabricación, este se realizó en un horno de cocina doméstico, lo que dificultó la manipulación, control y distribución de la confección de las planchas, por lo que se establece como recomendación utilizar un horno industrial con el fin de facilitar la manipulación de los elementos, y poder facilitar que estos alcancen una mayor temperatura eliminando algunos pasos y optimizando el tiempo.

6.1.8 Conclusiones finales.

En general el comportamiento de las planchas propuestas fue satisfactorio, por el hecho de ser un material compuesto pudo haber sufrido alguna fragmentación, lo que no ocurrió y actuó como una unidad.

La plancha compuesta de solo polipropileno, es la que presentó una mayor área en el gráfico de desempeño, por lo que es la más óptima de las planchas estudiadas, brindando excelente respuesta frente a las pruebas mecánicas y físicas, bajando su rendimiento en los ensayos de aislación térmica y acústica, presentando una respuesta regular, pero a la vez satisfactoria.

De entre las tres planchas propuestas, se considera como la óptima la mezcla realizada con un 30% de bambú, puesto que dicha proporción fue la que entregó una buena respuesta frente a los 5 ensayos realizados.

La plancha con 50% de bambú, tuvo una excelente respuesta en 2 de los ensayos realizados, destacando en el ensayo térmico y acústico, donde fue superior, incluso, a la muestra de solo polipropileno. Pero no cumplió con la norma de ensayo de impacto, no obstante, sí destaca entre las planchas estudiadas, considerando sus propiedades aislantes.

No se puede comprobar en su totalidad la hipótesis debido a que un mayor % de bambú incluido en la matriz de polipropileno, conlleva a un aumento en las propiedades de aislación térmica y acústica, sin embargo, en los ensayos mecánicos disminuyeron sus propiedades, y en el ensayo físico no hubo una mayor influencia en los resultados al incorporar las distintas dosis de bambú.

6.2 Futuras investigaciones

Tras la realización de la investigación, y el análisis de los resultados obtenidos en la misma, se proponen las siguientes investigaciones a realizar:

- ✓ Realizar ensayos de resistencia al fuego.
- ✓ Estudiar el comportamiento termo acústico a escala real.
- ✓ Realizar ensayo de impermeabilidad.
- ✓ Realizar ensayo de adherencia.

Bibliografía

Altez, A., & Suarez, E. (2009). Intemperismo acelerado en compuestos Bambú- Plástico.

Areal, R., & Areal, A. (2003). Materiales Compuestos.

Asipla. (2011). Perfil de la industria de plástico.

Campo, A. (2008). Industrial Polymers.

Campos, J. P., R, Kalher, C., Poblete, H., & Cabrera, J. (2003). Bambú en Chile.

Castillo, Á., & Cuitiño, C. (2011). Colihue: Aporte estructural y decorativo en su aplicación como refuerzo en matrices de origen poliméricos.

Cengel, Yunus & Boles, Michel. Termodinámica. s.l.: McGrow Hill, 2009.

Cruz Ríos, Hormilson. (2009). Bambú Guadua. Colombia

Cusa, J. (1995). Revestimientos 2. España: Grupo editorial Ceac S.A.

Gómez, S. (2008). Materiales Compuestos con Propiedades a la Carta. Diseño de interfases. Madrid: Universidad Carlos III, De Madrid.

González, H. (2008). Propiedades Físicas y mecánicas de tableros de partículas de bambú (Chusquea culeou Desv.) con un agente bioc ida.

González Pacheco, Alejandra C. Propuesta de aislante térmico en base a papel de diario reciclado para el acondicionamiento de viviendas sociales considerando criterios medioambientales y técnicos. Valparaíso: Universidad de Valparaíso, 2010.

Lázaro León, K. C. (27 de Octubre de 2016). Propiedades mecánicas del material compuesto elaborado con Bambú (Guadua angustifolia Kunth) y polipropileno.

López Garrido, Christian. Evaluación técnica y económica de propuestas de aislación térmica en base a papel de diario reciclado con revestimiento de yeso para

acondicionamiento de viviendas sociales. Valparaíso: Universidad de Valparaíso, 2013.

López Vargas, Félix I. Factibilidad técnica del uso de suelo tratado con cemento, mejorado con microfibra de propileno, como revestimiento prefabricado interior. Valparaíso : Universidad de Valparaíso, 2015.

Lucerna M., Suarez A., Zamudio I.(2009) Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú para aplicaciones aeronauticas.

Martínez, E. (2008). Prototipo de un sistema constructivo para viviendas de bajo costo a partir de plástico reciclado.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Manual de Aplicación Reglamentación Acústica (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones). 2006.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica 2006

Moral, A., & Nogueira, M. (2007). Materiales de ultima generación y materiales eficientes: Materiales compuestos-composites.

Morán J., (2015).Construir con Bambú (Caña de Guayaquil) Manual de contrucción. Tercera Edición adaptada para Perú.

M. Olivares Santiago, C. G. (Marzo de 2003). LOS COMPOSITES: CARACTERÍSTICAS y APLICACIONES EN LA EDIFICACIÓN

Ortega Calderón, Julio. Confort y Carga Térmica. Valparaíso: s.n., 2015.

Patrone, J. Carlos & Evans, J. Martin. Evaluación de una vivienda de suelo cemento comparada con simulaciones digitales. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2006.

Prieto González, Mª Manuela & Suárez Ramón, Inés. Transmisión de Calor - Apuntes. Oviedo : Ediciones de la Universidad de Oviedo, 2008.

Ramírez, F. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos.

Roa, C. (Julio de 2016). Evaluación de las propiedades térmicas e ignifugas del mortero de cemento para estuco, modificado con cáscaras de Nuez. Obtenido de Evaluación de las propiedades térmicas e ignifugas del mortero de cemento para estuco, modificado con cáscaras de Nuez.

Rojo, E. (2011). Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenolica reforzados con fibras celulosicas modificadas tipo viscosa.

Skreekumar, A., & Pickering, K. (2008). Matrices for natural-fibre reinforced composites.

Strong, B. (2006). Plastic: Materials and processing.

Vallejos, M. E. (25 de Abril de 2006). Aprovechamiento integral del Cannabis sativa como material de refuerzo/carga del polipropileno.

Anexos

Anexo 1

1.1 Protocolo de seguridad

a) Elementos de protección personal

Para el cuerpo:

- ✓ Guantes gruesos para evitar traspaso de calor
- ✓ Overol resistente al fuego
- ✓ Zapatos de seguridad
- ✓ Casco de seguridad
- ✓ Lentes

Para las vías respiratorias:

- ✓ Mascarillas: En caso de no existir buena ventilación o extracción (Verificar que el filtro sea el adecuado).

b) Zona de trabajo

Se debe trabajar en un recinto abierto, con el suficiente espacio para realizar las maniobras de traslado y retiro de las planchas del horno con seguridad, contar con una superficie plana sin escalones para evitar cualquier tipo de accidente en las maniobras de fabricación de las planchas, no debe haber presencia de niños ya que se trabaja con elementos a altas temperaturas, procurar que el recinto esté libre de productos inflamables.

Anexo 2

2.1 Tabla de aislación térmica

A continuación, se muestran las temperaturas tomadas en las distintas planchas propuestas durante el periodo de 2 horas:

Plancha 0 % Bambú						
Tiempo (min)	**Cara Expuesta**	**Cara Fría**	**Ambiente Expuesto**	**Ambiente Frío**	**Diferencia Caras**	**Diferencia Ambientes**
0	19,56	19,83	19,93	18,75	-0,27	1,18
2	19,61	19,25	20,06	18,42	0,36	1,64
4	19,76	18,99	20,45	18,23	0,77	2,22
6	20	18,91	20,9	18,13	1,09	2,77
8	20,25	18,92	21,35	18,08	1,33	3,27
10	20,5	18,98	21,77	18,06	1,52	3,71
12	20,76	19,08	22,19	18,05	1,68	4,14
14	21,04	19,2	22,61	18,05	1,84	4,56
16	21,3	19,33	23,02	18,06	1,97	4,96
18	21,57	19,47	23,41	18,07	2,1	5,34
20	21,83	19,62	23,81	18,08	2,21	5,73
22	22,09	19,77	24,21	18,1	2,32	6,11
24	22,35	19,92	24,58	18,12	2,43	6,46
26	22,61	20,07	24,96	18,14	2,54	6,82
28	22,87	20,23	25,32	18,17	2,64	7,15
30	23,11	20,38	25,68	18,19	2,73	7,49
32	23,32	20,53	25,98	18,22	2,79	7,76
34	23,56	20,68	26,33	18,25	2,88	8,08
36	23,8	20,83	26,68	18,27	2,97	8,41
38	24,03	20,97	27,02	18,3	3,06	8,72
40	24,25	21,12	27,35	18,34	3,13	9,01
42	24,48	21,26	27,68	18,37	3,22	9,31
44	24,69	21,4	27,99	18,4	3,29	9,59
46	24,88	21,54	28,26	18,43	3,34	9,83
48	25,09	21,68	28,56	18,47	3,41	10,09
50	25,31	21,82	28,87	18,51	3,49	10,36
52	25,51	21,95	29,18	18,54	3,56	10,64
54	25,72	22,09	29,48	18,58	3,63	10,9
56	25,92	22,23	29,77	18,62	3,69	11,15
58	26,12	22,36	30,07	18,65	3,76	11,42
60	26,32	22,49	30,35	18,69	3,83	11,66
62	26,52	22,63	30,65	18,74	3,89	11,91
64	26,72	22,76	30,95	18,78	3,96	12,17
66	26,92	22,89	31,22	18,82	4,03	12,4
68	27,1	23,02	31,49	18,86	4,08	12,63
70	27,28	23,15	31,74	18,91	4,13	12,83
72	27,46	23,28	32	18,95	4,18	13,05
74	27,63	23,4	32,23	19	4,23	13,23
76	27,8	23,51	32,47	19,04	4,29	13,43
78	27,97	23,63	32,71	19,09	4,34	13,62
80	28,14	23,74	32,95	19,13	4,4	13,82
82	28,3	23,86	33,18	19,18	4,44	14
84	28,46	23,97	33,39	19,23	4,49	14,16
86	28,62	24,08	33,62	19,28	4,54	14,34
88	28,78	24,19	33,83	19,32	4,59	14,51
90	28,92	24,3	34,02	19,37	4,62	14,65
92	29,08	24,41	34,24	19,42	4,67	14,82
94	29,25	24,52	34,47	19,47	4,73	15
96	29,39	24,63	34,68	19,52	4,76	15,16
98	29,54	24,74	34,88	19,57	4,8	15,31
100	29,69	24,85	35,08	19,62	4,84	15,46
102	29,83	24,95	35,28	19,67	4,88	15,61
104	29,97	25,05	35,46	19,72	4,92	15,74
106	30,1	25,15	35,62	19,77	4,95	15,85
108	30,24	25,25	35,81	19,82	4,99	15,99
110	30,37	25,35	36	19,87	5,02	16,13
112	30,52	25,45	36,19	19,92	5,07	16,27
114	30,65	25,55	36,37	19,97	5,1	16,4
116	30,79	25,64	36,55	20,02	5,15	16,53
118	30,91	25,73	36,72	20,07	5,18	16,65
120	31,02	25,82	36,85	20,13	5,2	16,72

Tabla A.2.1 Tabla diferencia de temperatura 0% bambú.

Fuente: Propia, (2018).

Plancha 30 % Bambú						
Tiempo (min)	**Cara Expuesta**	**Cara Fría**	**Ambiente Expuesto**	**Ambiente Frío**	**Diferencia Caras**	**Diferencia Ambientes**
0	23,16	22,95	24,87	23,82	0,21	1,05
2	23,38	22,93	25,37	23,76	0,45	1,61
4	23,73	22,98	25,97	23,69	0,75	2,28
6	24,14	23,09	26,56	23,64	1,05	2,92
8	24,55	23,24	27,11	23,59	1,31	3,52
10	24,95	23,4	27,36	23,55	1,55	4,05
12	25,34	23,59	28,07	23,51	1,75	4,56
14	25,71	23,79	28,54	23,48	1,92	5,06
16	26,08	24	28,97	23,45	2,08	5,52
18	26,43	24,21	29,35	23,43	2,22	5,92
20	26,74	24,42	29,72	23,4	2,32	6,32
22	27,04	24,62	30,08	23,39	2,42	6,69
24	27,35	24,81	30,46	23,37	2,54	7,09
26	27,65	24,99	30,82	23,36	2,66	7,46
28	27,95	25,18	31,21	23,34	2,77	7,87
30	28,27	25,36	31,65	23,33	2,91	8,32
32	28,58	25,54	32,06	23,32	3,04	8,74
34	28,88	25,71	32,41	23,31	3,17	9,19
36	29,13	25,88	32,72	23,3	3,25	9,42
38	29,39	26,04	33,05	23,3	3,35	9,75
40	29,63	26,19	33,37	23,3	3,44	10,07
42	29,87	26,34	33,68	23,29	3,53	10,39
44	30,11	26,49	34	23,29	3,62	10,71
46	30,37	26,62	34,36	23,29	3,75	11,07
48	30,62	26,76	34,72	23,29	3,86	11,43
50	30,87	26,89	35,06	23,3	3,98	11,76
52	31,09	27,03	35,37	23,3	4,06	12,07
54	31,32	27,15	35,67	23,3	4,17	12,37
56	31,54	27,28	35,97	23,31	4,26	12,66
58	31,75	27,4	36,27	23,31	4,35	12,96
60	31,97	27,51	36,58	23,32	4,46	13,26
62	32,18	27,63	37	23,33	4,55	13,53
64	32,38	27,74	37,32	23,34	4,64	13,81
66	32,59	27,86	37,65	23,35	4,73	14,14
68	32,81	27,97	37,98	23,36	4,84	14,45
70	33,04	28,08	38,24	23,37	4,96	14,74
72	33,23	28,19	38,49	23,38	5,04	14,99
74	33,41	28,3	38,76	23,39	5,11	15,27
76	33,59	28,4	39,02	23,4	5,19	15,49
78	33,78	28,5	39,29	23,41	5,28	15,74
80	33,98	28,6	39,56	23,43	5,38	16
82	34,16	28,69	39,85	23,44	5,47	16,27
84	34,35	28,77	40,08	23,46	5,58	16,5
86	34,52	28,84	40,3	23,47	5,68	16,72
88	34,68	28,89	40,52	23,49	5,79	16,92
90	34,84	28,94	40,74	23,51	5,9	17,12
92	34,99	28,96	40,91	23,52	6,03	17,31
94	35,11	28,98	41,07	23,54	6,13	17,45
96	35,23	29	41,24	23,56	6,23	17,59
98	35,24	29,04	41,42	23,58	6,3	17,75
100	35,47	29,07	41,6	23,6	6,4	17,9
102	35,6	29,09	41,77	23,61	6,51	18,08
104	35,71	29,11	41,94	23,64	6,6	18,21
106	35,83	29,14	42,13	23,65	6,69	18,4
108	35,95	29,17	42,31	23,66	6,78	18,56
110	36,06	29,19	42,49	23,68	6,87	18,72
112	36,18	29,22	42,67	23,7	6,96	18,88
114	36,3	29,25	42,84	23,72	7,05	19,04
116	36,42	29,27	43,02	23,73	7,15	19,2
118	36,54	29,3	43,2	23,75	7,24	19,36
120	36,65	29,33	43,38	23,77	7,33	19,52

Tabla A.2.2 Tabla diferencia de temperatura 30% bambú.

Fuente: Propia, (2018).

Plancha 40% Bambu						
Tiempo (min)	**Cara Expuesta**	**Cara Fría**	**Ambiente Expuesto**	**Ambiente Frío**	**Diferencia Caras**	**Diferencia Ambientes**
0	19,47	18,75	18,74	18,26	0,72	0,48
2	19,7	18,76	19,54	18,24	0,94	1,3
4	20,04	18,78	20,43	18,22	1,26	2,21
6	20,44	18,84	21,35	18,2	1,6	3,15
8	20,85	18,93	22,2	18,18	1,92	4,02
10	21,23	19,06	22,98	18,18	2,17	4,8
12	21,58	19,2	23,67	18,18	2,38	5,49
14	21,92	19,36	24,31	18,18	2,56	6,13
16	22,24	19,53	24,9	18,19	2,71	6,71
18	22,54	19,7	25,42	18,19	2,84	7,23
20	22,83	19,88	25,93	18,2	2,95	7,73
22	23,15	20,05	26,46	18,22	3,1	8,24
24	23,47	20,23	26,99	18,23	3,24	8,76
26	23,79	20,41	27,51	18,25	3,38	9,26
28	24,09	20,59	28,02	18,26	3,5	9,76
30	24,41	20,77	28,51	18,28	3,64	10,23
32	24,72	20,96	29,02	18,3	3,76	10,72
34	24,99	21,14	29,47	18,32	3,85	11,15
36	25,26	21,32	29,89	18,34	3,94	11,55
38	25,54	21,5	30,32	18,36	4,04	11,96
40	25,83	21,68	30,77	18,39	4,15	12,38
42	26,09	21,85	31,18	18,41	4,24	12,77
44	26,36	22,03	31,62	18,44	4,33	13,18
46	26,64	22,2	32,04	18,47	4,44	13,57
48	26,9	22,37	32,45	18,5	4,53	13,95
50	27,15	22,54	32,83	18,53	4,61	14,3
52	27,36	22,71	33,17	18,56	4,65	14,61
54	27,56	22,87	33,47	18,59	4,69	14,88
56	27,78	23,03	33,81	18,61	4,75	15,2
58	28,03	23,18	34,19	18,65	4,85	15,54
60	28,27	23,34	34,57	18,68	4,93	15,89
62	28,48	23,49	34,93	18,72	4,99	16,21
64	28,69	23,64	35,26	18,75	5,05	16,51
66	28,88	23,79	35,56	18,79	5,09	16,77
68	29,08	23,94	35,84	18,83	5,14	17,01
70	29,26	24,08	36,11	18,86	5,18	17,25
72	29,45	24,22	36,39	18,9	5,23	17,49
74	29,65	24,36	36,69	18,94	5,29	17,75
76	29,87	24,49	37,02	18,98	5,38	18,04
78	30,07	24,62	37,31	19,01	5,45	18,3
80	30,27	24,75	37,58	19,05	5,52	18,53
82	30,48	24,88	37,87	19,09	5,6	18,78
84	30,64	25	38,12	19,13	5,64	18,99
86	30,8	25,13	38,34	19,18	5,67	19,16
88	30,97	25,26	38,57	19,22	5,71	19,35
90	31,17	25,38	38,83	19,26	5,79	19,57
92	31,35	25,49	39,07	19,3	5,86	19,77
94	31,54	25,61	39,31	19,34	5,93	19,97
96	31,7	25,73	39,56	19,39	5,97	20,17
98	31,88	25,84	39,81	19,43	6,04	20,38
100	32,03	25,95	40,04	19,47	6,08	20,57
102	32,17	26,06	40,23	19,51	6,11	20,72
104	32,32	26,17	40,41	19,56	6,15	20,85
106	32,45	26,28	40,57	19,6	6,17	20,97
108	32,63	26,38	40,81	19,64	6,25	21,17
110	32,81	26,48	41,05	19,69	6,33	21,36
112	32,97	26,58	41,29	19,73	6,39	21,56
114	33,14	26,69	41,51	19,78	6,45	21,73
116	33,29	26,79	41,72	19,82	6,5	21,9
118	33,41	26,9	41,89	19,87	6,51	22,02
120	33,53	27	42,04	19,91	6,53	22,13

Tabla A.2.3 Tabla diferencia de temperatura 40% bambú.

Fuente: Propia, (2018).

Plancha 50 % Bambú						
Tiempo (min)	**Cara Expuesta**	**Cara Fría**	**Ambiente Expuesto**	**Ambiente Frío**	**Diferencia Caras**	**Diferencia Ambientes**
0	21,21	20,78	24,94	19,97	0,43	4,97
2	21,95	20,53	26,03	19,94	1,42	6,09
4	22,9	20,45	27,15	19,92	2,45	7,23
6	23,78	20,5	28,15	19,9	3,28	8,25
8	24,54	20,64	29,01	19,89	3,9	9,12
10	25,21	20,84	29,72	19,88	4,37	9,84
12	25,81	21,08	30,34	19,88	4,73	10,46
14	26,3	21,34	30,85	19,88	4,96	10,97
16	26,77	21,6	31,34	19,88	5,17	11,46
18	27,25	21,86	31,82	19,88	5,39	11,94
20	27,69	22,12	32,27	19,88	5,57	12,39
22	28,08	22,37	32,71	19,89	5,71	12,82
24	28,48	22,62	33,14	19,89	5,86	13,25
26	28,84	22,85	33,54	19,9	5,99	13,64
28	29,21	23,07	33,93	19,91	6,14	14,02
30	29,52	23,29	34,32	19,92	6,23	14,4
32	29,84	23,49	34,71	19,93	6,35	14,78
34	30,16	23,69	35,09	19,95	6,47	15,14
36	30,45	23,88	35,46	19,96	6,57	15,5
38	30,75	24,06	35,8	19,97	6,69	15,83
40	31,01	24,23	36,14	19,99	6,78	16,15
42	31,24	24,4	36,45	20	6,84	16,45
44	31,49	24,55	36,78	20,02	6,94	16,76
46	31,76	24,7	37,1	20,04	7,06	17,06
48	32,02	24,85	37,41	20,06	7,17	17,35
50	32,23	24,99	37,71	20,08	7,24	17,63
52	32,44	25,13	38	20,09	7,31	17,91
54	32,68	25,26	38,29	20,11	7,42	18,18
56	32,89	25,38	38,55	20,13	7,51	18,42
58	33,09	25,5	38,82	20,16	7,59	18,66
60	33,28	25,63	39,09	20,18	7,65	18,91
62	33,47	25,74	39,36	20,2	7,73	19,16
64	33,67	25,85	39,62	20,22	7,82	19,4
66	33,83	25,96	39,84	20,24	7,87	19,6
68	33,98	26,07	40,05	20,26	7,91	19,79
70	34,13	26,17	40,25	20,29	7,96	19,96
72	34,28	26,27	40,44	20,31	8,01	20,13
74	34,43	26,36	40,66	20,34	8,07	20,32
76	34,61	26,46	40,89	20,36	8,15	20,53
78	34,78	26,54	41,12	20,38	8,24	20,74
80	34,94	26,63	41,35	20,41	8,31	20,94
82	35,11	26,72	41,57	20,44	8,39	21,13
84	35,25	26,81	41,77	20,46	8,44	21,31
86	35,39	26,9	41,93	20,49	8,49	21,44
88	35,5	26,99	42,14	20,52	8,51	21,62
90	35,67	27,07	42,34	20,54	8,6	21,8
92	35,81	27,15	42,54	20,57	8,66	21,97
94	35,96	27,24	42,73	20,6	8,72	22,13
96	36,11	27,31	42,93	20,63	8,8	22,3
98	36,24	27,4	43,1	20,66	8,84	22,44
100	36,35	27,48	43,27	20,69	8,87	22,58
102	36,48	27,55	43,42	20,72	8,93	22,7
104	36,59	27,63	43,58	20,75	8,96	22,83
106	36,71	27,71	43,75	20,77	9	22,98
108	36,83	27,78	43,92	20,81	9,05	23,11
110	36,97	27,86	44,09	20,84	9,11	23,25
112	37,13	27,93	44,26	20,87	9,2	23,39
114	37,24	28,01	44,42	20,9	9,23	23,52
116	37,34	28,08	44,56	20,93	9,26	23,63
118	37,43	28,15	44,68	20,96	9,28	23,72
120	37,54	28,22	44,8	20,99	9,32	23,81

Tabla A.2.4 Tabla diferencia de temperatura 50% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

Plancha Yeso Cartón						
Tiempo (min)	**Cara Expuesta**	**Cara Fría**	**Ambiente Expuesto**	**Ambiente Frío**	**Diferencia Caras**	**Diferencia Ambientes**
0	23,72	23,09	23,43	21,85	0,63	1,58
2	23,6	22,7	24,13	21,62	0,9	2,51
4	23,77	22,56	25,13	21,47	1,21	3,66
6	24,06	22,58	26,13	21,4	1,48	4,73
8	24,4	22,69	27,01	21,36	1,71	5,65
10	24,77	22,87	27,8	21,34	1,9	6,46
12	25,13	23,09	28,5	21,34	2,04	7,16
14	25,48	23,32	29,13	21,35	2,16	7,78
16	25,81	23,54	29,68	21,37	2,27	8,31
18	26,13	23,77	30,21	21,39	2,36	8,82
20	26,45	24	30,74	21,41	2,45	9,33
22	26,75	24,21	31,25	21,44	2,54	9,81
24	27,06	24,43	31,77	21,47	2,63	10,3
26	27,36	24,64	32,28	21,5	2,72	10,78
28	27,64	24,85	32,73	21,53	2,79	11,2
30	27,91	25,05	33,17	21,56	2,86	11,61
32	28,18	25,24	33,64	21,59	2,94	12,05
34	28,46	25,43	34,1	21,63	3,03	12,47
36	28,72	25,62	34,54	21,66	3,1	12,88
38	28,97	25,81	34,94	21,7	3,16	13,24
40	29,22	25,99	35,34	21,74	3,23	13,6
42	29,47	26,17	35,75	21,78	3,3	13,97
44	29,71	26,34	36,16	21,82	3,37	14,34
46	29,95	26,51	36,57	21,85	3,44	14,72
48	30,2	26,68	36,98	21,89	3,52	15,09
50	30,46	26,85	37,43	21,94	3,61	15,49
52	30,72	27,03	37,85	21,98	3,69	15,87
54	30,96	27,21	38,24	22,02	3,75	16,22
56	31,2	27,38	38,66	22,07	3,82	16,59
58	31,44	27,56	39,03	22,11	3,88	16,92
60	31,65	27,73	39,34	22,15	3,92	17,19
62	31,85	27,89	39,64	22,2	3,96	17,44
64	32,04	28,04	39,91	22,25	4	17,66
66	32,24	28,18	40,21	22,29	4,06	17,92
68	32,45	28,33	40,55	22,34	4,12	18,21
70	32,65	28,48	40,89	22,39	4,17	18,5
72	32,85	28,62	41,21	22,44	4,23	18,77
74	33,05	28,77	41,49	22,48	4,28	19,01
76	33,22	28,91	41,75	22,53	4,31	19,22
78	33,39	29,04	42	22,58	4,35	19,42
80	33,55	29,18	42,24	22,63	4,37	19,61
82	33,74	29,3	42,53	22,68	4,44	19,85
84	33,93	29,44	42,84	22,73	4,49	20,11
86	34,12	29,56	43,15	22,78	4,56	20,37
88	34,3	29,7	43,42	22,83	4,6	20,59
90	34,47	29,83	43,67	22,88	4,64	20,79
92	34,62	29,96	43,87	22,93	4,66	20,94
94	34,77	30,08	44,08	22,99	4,69	21,09
96	34,91	30,2	44,28	23,04	4,71	21,24
98	35,08	30,31	44,57	23,09	4,77	21,48
100	35,25	30,43	44,85	23,14	4,82	21,71
102	35,42	30,55	45,09	23,19	4,87	21,9
104	35,58	30,68	45,32	23,24	4,9	22,08
106	35,74	30,8	45,57	23,3	4,94	22,27
108	35,89	30,91	45,76	23,35	4,98	22,41
110	36,03	31,03	45,95	23,4	5	22,55
112	36,17	31,14	46,13	23,45	5,03	22,68
114	36,32	31,25	46,36	23,5	5,07	22,86
116	36,48	31,36	46,61	23,56	5,12	23,05
118	36,64	31,48	46,85	23,61	5,16	23,24
120	36,8	31,6	47,07	23,66	5,2	23,41

Tabla A.2.5 Tabla diferencia de temperatura Yeso Cartón.

Fuente: Propia, (2018).

En las siguientes figuras se muestran los gráficos obtenidos para cada uno de los ensayos realizados:

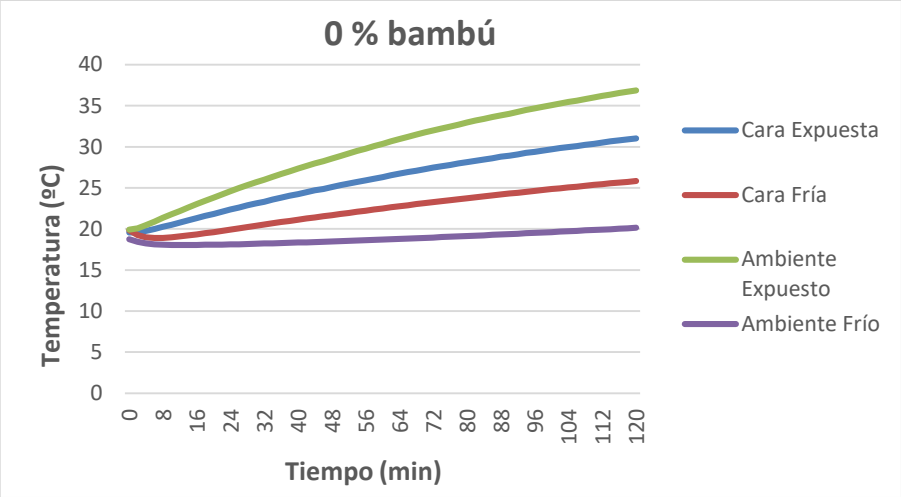

Figura A.2.1 Gráfico temperatura 0% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

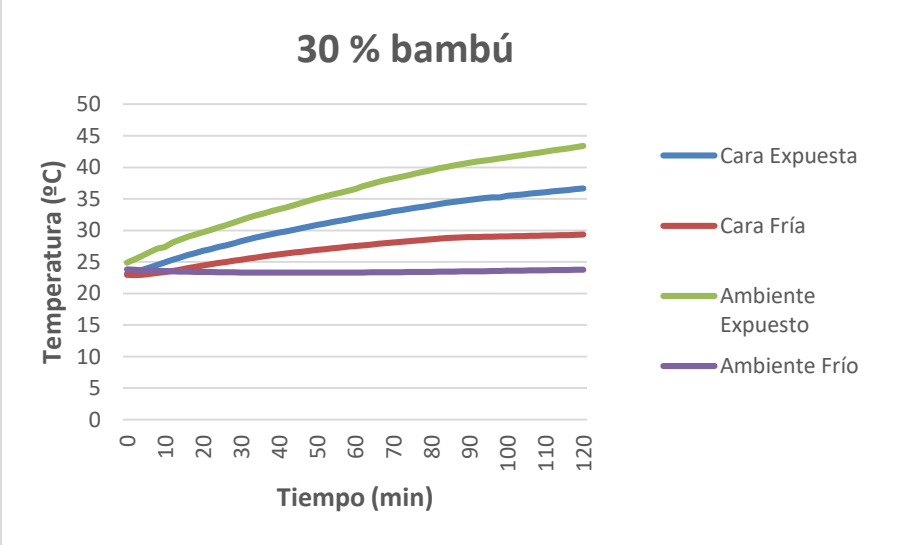

Figura A.2.2 Gráfico temperatura 30% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

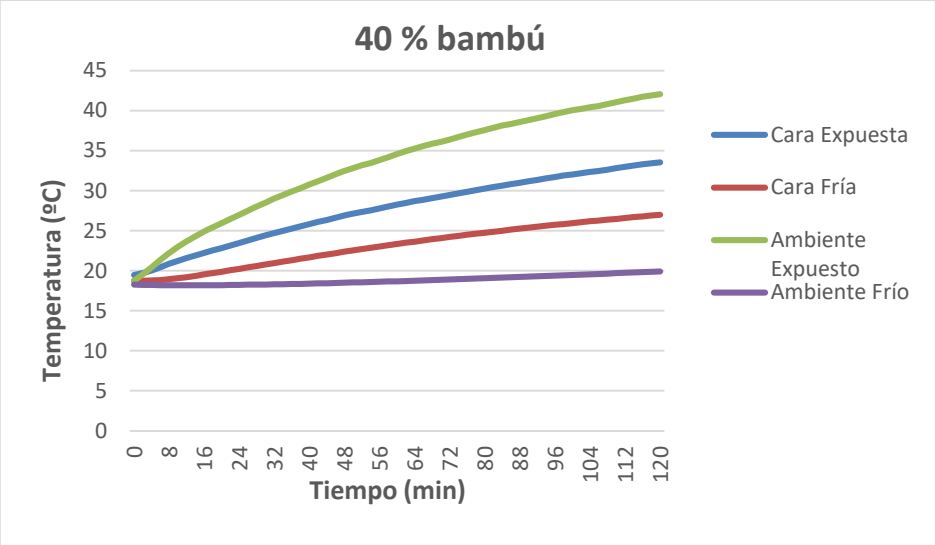

Figura A.2.3 Gráfico temperatura 40% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

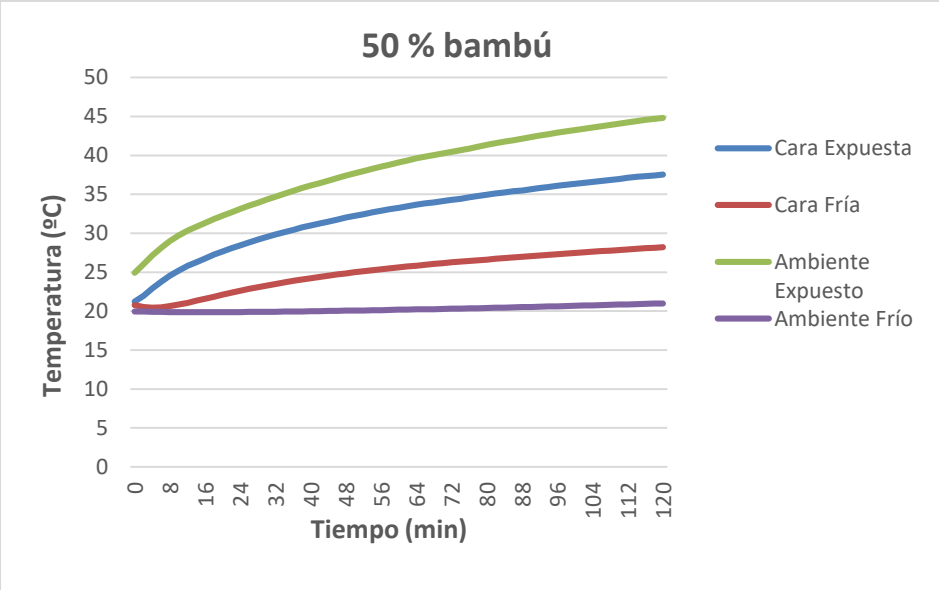

Figura A.2.4 Gráfico temperatura 50% bambú.
Fuente: Propia, (2018).

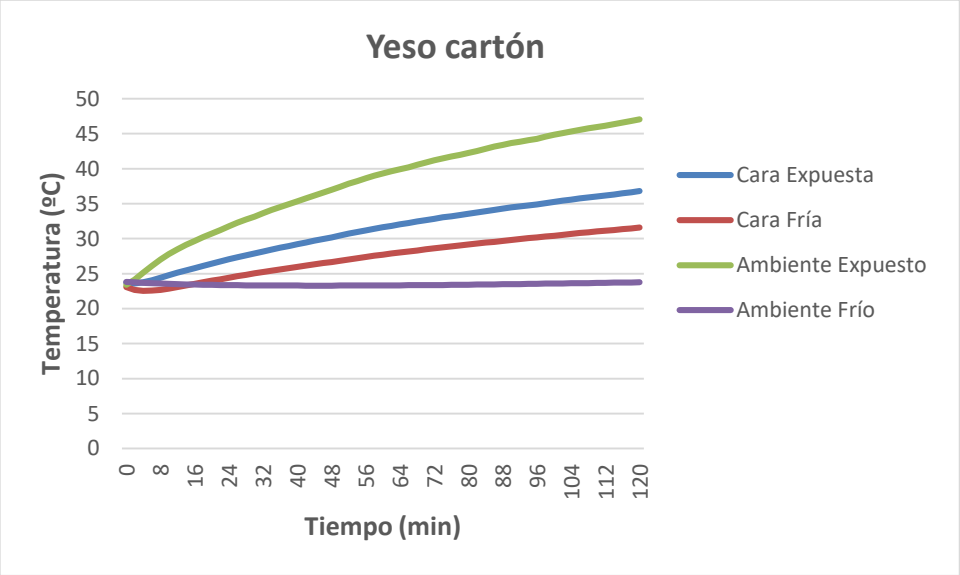

Figura A.2.5 Gráfico temperatura yeso cartón.
Fuente: Propia, (2018).