



**FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL USO DE PANELES LAMINADOS
PARA REVESTIMIENTOS INTERIORES DE VIVIENDAS EN BASE A BAMBÚ
EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN DE CHILE**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:

Bastían Mauricio Riquelme Fritz

Profesor Guía:

Carlos Alberto Cabaña Chávez

Fecha:

Junio 2022

Santiago, Chile

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, padre, hermana y polola por ser personas importantes en mi vida y espero que con el término de esta etapa se sientan muy felices y orgullosos.

SOLO USO ACADÉMICO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a cada persona que estuvo involucrada en el desarrollo de este proceso.

Comenzando por mi madre Mónica y padre Mauricio, quienes son los principales promotores de mis sueños, siempre me han brindado apoyo, contención, amor incondicional y sobre todo nunca han dejado de creer en mí, gracias a ustedes he llegado hasta aquí, desde que me dieron la vida hasta la posibilidad de estudiar una carrera universitaria, con la finalidad de tener un mejor futuro.

A mi hermana Nicole por siempre estar preocupada en el desarrollo de este trabajo y por ser un ejemplo para mí, quien me ha demostrado que nada imposible porque es la persona más fuerte que conozco.

A mi polola Catalina quien ha sido un pilar fundamental en el transcurso de la universidad y que he crecido como persona gracias a sus consejos, donde ha estado en cada etapa y decisión que quiero tomar, gracias por su paciencia, por el amor que me ha dado y siempre estar en los momentos difíciles cuando pensaba que no lo iba a poder lograr.

Al profesor Francisco Sanhueza quien me guio para poder comenzar el desarrollo de este trabajo y estoy agradecido hasta donde se pudo llegar.

Al profesor Carlos Cabaña quien me acogió para poder finalizar este proyecto entregando su buena disposición, herramientas y ayuda siempre cuando lo necesite, dar consejos quien me hizo reflexionar como persona, logro que no me ofusque y me motivo para que termine el proyecto.

A Don Carlos Kahler por entregar sus conocimientos y experiencias en relación al bambú para poder desarrollar de mejor forma mi proyecto de título.

Estaré eternamente agradecido con cada uno de los nombrados en este apartado, porque sin ellos no habría podido llegar a cumplir una de mis metas, que era obtener mi título de constructor civil y ser un profesional.

¡Muchas Gracias!

RESUMEN

A lo largo de la historia, el bambú se ha usado como un elemento constructivo que muchas veces denotaba precariedad, pero al día de hoy esta percepción ha ido cambiado producto de la incorporación de lineamientos sustentables en la industria, bajo lo cual este material presenta un gran potencial.

Es por esto que la presente investigación toma como sentido principal motivar a pensar tanto a las industrias como a las personas en buscar la forma de utilizar productos que sean amigables con el planeta, buscando materias primas sostenibles y aprovechando el avance tecnológico.

En efecto, se desarrolla este proyecto mediante una investigación bibliográfica, junto con el apoyo de un experto en bambú en Chile y los paneles laminados de este mismo elemento, que en este caso al producir paneles les da un valor agregado sobre la materia prima, para que pueda ser una alternativa industrializada y sostenible en el rubro de la construcción.

Primero se dan a conocer las características de la materia prima, la situación en el mundo y en Chile, sus usos en la construcción como elemento estructural y terminaciones, con esto poder ir descubriendo cuales son los factores técnicos, económicos y ambientales que intervienen en el uso de paneles laminados de bambú, enfocándose en el uso de revestimientos interiores de viviendas.

Luego como en Chile aún se llega al nivel de introducirlo al sector construcción, principalmente porque no existen industrias relacionadas con el bambú, hay desconocimiento, poco desarrollo e investigaciones, además de la falta de políticas para introducir este material como solución constructiva. Todo lo anterior implicó una gran limitante dentro del desarrollo de la investigación, para esto el proyecto se sostiene en relación a fuentes extranjeras. Con la información recolectada se desarrollan los factores y además se comparan con los paneles laminados de madera para poder llegar a una conclusión si es una buena opción o no, poder utilizar los paneles de bambú como una solución constructiva, en relación a los factores, ya que es importante que cumpla con lo técnico, que sea competitivo en el mercado en relación a lo económico, que sea durable y amigable con el medio ambiente.

Por último, es necesario realizar más estudios sobre el bambú, sobre todo en Chile donde el sector de la construcción es una industria que aporta bastante a la economía y se podría desarrollar modelos constructivos con alto valor agregado y de calidad.

Palabras Claves: Bambú, Factores, Panel laminado, Revestimiento interior, Construcción, Desarrollo sostenible.

SUMMARY

Throughout history, bamboo has been used as a construction element that often denoted precariousness, but today this perception has been changing due to the incorporation of sustainable guidelines in the industry, under which this material has great potential.

For this reason, the main purpose of this research is to motivate both industries and individuals to think about how to use products that are friendly to the planet, looking for sustainable raw materials and taking advantage of technological progress.

In fact, this project is developed through a bibliographic research, together with the support of an expert in bamboo in Chile and the laminated panels of this same element, which in this case to produce panels gives them an added value on the raw material, so that it can be an industrialized and sustainable alternative in the field of construction.

First, the characteristics of the raw material, the situation in the world and in Chile, its uses in construction as a structural element and finishes are presented, thus discovering which are the technical, economic and environmental factors involved in the use of laminated bamboo panels, focusing on the use of interior cladding of houses.

Then, as in Chile it is not yet reached the level of introducing it to the construction sector, mainly because there are no industries related to bamboo, there is lack of knowledge, little development and research, in addition to the lack of policies to introduce this material as a constructive solution. All of the above implied a great limitation within the development of the research, for this the project is supported in relation to foreign sources. With the information collected, the factors are developed and also compared with the laminated wood panels in order to reach a conclusion if it is a good option or not, to use bamboo panels as a constructive solution, in relation to the factors, since it is important that it complies with the technical, that it is competitive in the market in relation to the economic, that it is durable and environmentally friendly.

Finally, it is necessary to carry out more studies on bamboo, especially in Chile where the construction sector is an industry that contributes a lot to the economy and could develop construction models with high added value and quality.

Keywords: Bamboo, Factors, Laminated panel, Interior cladding, Construction, Sustainable development.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
2. ANTECEDENTES GENERALES	9
2.1 Pregunta de Investigación	9
2.2 Objetivos	9
2.2.1 Objetivo General	10
2.2.2 Objetivos Específicos.....	10
3. METODOLOGÍA	10
4. MARCO TEORICO	11
4.1 Aspectos generales del bambú	11
4.1.1 Ubicación del bambú en el mundo.....	11
4.1.2 Usos generales del bambú.....	12
4.1.3 Propiedades sostenibles del bambú.....	13
4.1.4 Bambú en Chile.....	14
4.4 Uso del bambú en la construcción	15
4.4.1 Uso estructural del bambú.....	18
4.4.2 Uso del bambú en terminaciones	19
4.5 Paneles laminados de bambú	20
4.5.1 Paneles laminados de bambú en mundo	21
4.6 Desarrollo Sostenible	21
4.6.1 Economía circular	22
5. DIAGNÓSTICO DE LOS FACTORES EN CHILE	23
6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	24
6.1 Paneles laminados de bambú en Chile	24
6.1.1 Tipos de tableros de bambú	25
6.1.1.1 Tableros Macizos (Glue Laminated Bamboo, Laminated Bamboo Lumber o Plybamboo).....	26
6.2 Paneles Laminados en base a madera en Chile	26
6.1.2 Tipos de tableros de madera.....	27
6.1.2.1 Tableros de Partículas.	27
6.1.2.2 Tablero MDF	28
6.1.2.3 Tablero MDP	29
6.1.2.4 Tablero HDF	30
6.1.2.5 Tableros OSB	31
6.1.2.6 Tableros Contrachapados	32
6.2 Factores	34
6.2.1 Factores Técnicos.....	34

6.2.1.1 Contenido de Humedad (CH).....	34
6.2.1.2 Propiedades térmicas.....	35
6.2.1.3 Resistencia al fuego.....	38
6.2.2 Factores Económicos.....	40
6.2.2.1 Tamaño y segmento relevante de mercado	41
6.2.2.2 Precio	44
6.2.3 Factores Ambientales.....	47
6.2.3.1 Huella de carbono	47
6.2.3.2 Sostenibilidad.....	50
6.2.3.3 Reciclaje.....	52
7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	54
7.1 Técnicos	54
7.1.1 Contenido de humedad.....	54
7.1.2 Propiedades térmicas.....	55
7.1.3 Resistencia al fuego	57
7.2 Económicos	59
7.2.1 Mercado	59
7.2.1 Precio	59
7.3 Ambientales.....	59
7.3.1 Huella de carbono	59
7.3.2 Sostenibilidad.....	60
7.3.3 Reciclaje	60
8. CONCLUSIONES.....	61
9. BIBLIOGRAFÍA.....	64
10. ANEXOS.....	67
Anexo A. Estructura del bambú.....	67
Anexo B. Determinación del contenido de humedad.....	69
Anexo C. Capítulo 5 O.G.U.C	70
Anexo D. Capítulo 4.1.10 Acondicionamiento térmico.....	71
Anexo E. Calculo de transmitancia térmica.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso del bambú chileno como revestimiento y cerco	15
Figura 2. Andamiaje de bambú en la ciudad de Kowloon, Hong Kong	16
Figura 3. Aeropuerto de Barajas, España.....	17
Figura 4. Uso estructural del bambú	19
Figura 5. Uso del bambú en terminaciones.....	20
Figura 6. Economía circular.....	23
Figura 7. Revestimiento de muros con tableros laminados de bambú chileno.....	25
Figura 8. Tipos de tableros macizos de bambú.....	26
Figura 9. Tipos de tableros de partículas	28
Figura 10. Tablero MDF	29
Figura 11. Tipos de tableros MDP	30
Figura 12. Tablero HDF	31
Figura 13. Tablero OSB	32
Figura 14. Tableros Contrachapados	33
Figura 15. Modos de transmisión de calor en los edificios.....	36
Figura 16. Distancias de traslado del bambú	48
Figura 17. Ciclo de Co ₂ en los tableros de bambú	49
Figura 18. Ciclo del bambú y sus productos.....	53
Figura 19. Solución constructiva MINVU con sus transmitancia a partir de distintos revestimientos interiores.	57
Figura 20. Clasificación resistencia al fuego Nch 935/1. Of 97	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de géneros de bambú en el mundo.....	12
Tabla 2. Características mecánicas del bambú.....	18
Tabla 3. Tipos de tableros de bambú en Chile	25
Tabla 4. Tipos de tableros de madera en Chile	27
Tabla 5. humedad permitida según la zona Climático-Habitacional en Chile	35

Tabla 6. Densidad y conductividad térmica de tableros de bambú.....	37
Tabla 7. Densidad aparente y conductividad térmica de la madera	38
Tabla 8. Clasificación europea en relación a la propagación de la llama	40
Tabla 9. Precios \$/m ² de tableros de madera.....	45
Tabla 10. Tipos de tableros de madera y sus precios en el mercado chileno.....	46
Tabla 11. Tipos de tableros de Bambú y sus precios	47
Tabla 12. Huella de carbono equivalente por kg de los tableros de bambú.	49
Tabla 13. Tasa de energía para la producción de materiales de construcción.	51
Tabla 14. Conductividad térmica de un tablero de bambú vs tablero de madera	55

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Flujo critico de ignición, laminado de bambú v/s laminado de madera	39
Grafico 2. Producción de tableros en Chile (miles de m ³)	41
Grafico 3. Uso del tablero	42
Grafico 4. Aplicación del tablero en una vivienda.....	43
Grafico 5. Lugar donde se utilizaría.....	43
Grafico 6. Consideraciones al comprar el tablero	44
Grafico 7. Co ₂ producido por distintos materiales	50
Grafico 8. Eco-costes en la producción de materiales	52

1. INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia empezar a considerar desde un inicio de diseño de un proyecto el poder integrar materiales innovadores, que sean sustentables y de esta forma contribuir al medio ambiente y mitigar el cambio climático. De esta forma se podría disminuir el impacto, ya que la industria de la construcción usa grandes recursos, como también contamina en cada proceso que desarrolla (Soler, 2017). En el caso de usar materiales naturales, más específico en la investigación el bambú, en nuestro país el problema está poco desarrollado, en cuanto a estudios, normas, procesos constructivos, ya que prácticamente hay muy poco tabulado (Gonzalez et al., 2011). Esto da a entender que no se use de forma recurrente y como consecuencia no se pueda hacer un producto que sea normalizado y es por esto que profesionales ya sean ingenieros o los arquitectos no incentivan el uso de este elemento debido al desconocimiento presente.

Por ello es importante considerar desde un inicio que la investigación se realiza mediante un estudio bibliográfico, con la finalidad de determinar los factores técnicos, económicos y ambientales, sobre el uso de paneles laminados de bambú en revestimientos de viviendas. De este modo, el documento busca profundizar en el conocimiento existente sobre el uso y desarrollo industrializado del bambú, además se apoya la información con profesional que desarrollo estudios del bambú y tableros experimentales en Chile.

Es así que se inicia presentando sus características generales, dando cuenta que es un material usado desde tiempos remotos las distintas especies de bambúes como también su localización. (Rodríguez, 2006)

Luego se demuestran sus usos, por el lado de la construcción, se da cuenta sobre las propiedades mecánicas que presentan estas cañas de bambú, factor importante dado que dan resultados con óptimas condiciones en el caso de querer emplear en una estructura, por su resistencia y cualidad destacable antisísmica.

Se dan a conocer los paneles laminados que es el objetivo del desarrollo de esta investigación sobre crear este valor agregado hacia el bambú con la generación de dichos paneles, en donde la base para esto son el desarrollo de láminas de bambú para luego ser pegadas y crear paneles, los cuales tienen excelentes acabados y varios usos.

Como también se destaca y se nombran las características que lo hacen ser un material sostenible.

El objetivo mediante la breve información es para ampliar el conocimiento y llenar las lagunas que se presentan en la actualidad sobre este material, que es una de las problemáticas. De la misma manera demostrar los factores que afectan el uso sobre el uso de paneles laminados que se puedan usar en revestimientos de viviendas, como un material industrializado, también para que sea competitivo en el mercado y de esta forma sea más valorizado por las personas

2. ANTECEDENTES GENERALES

En algunos países el bambú se considera un material “ordinario” que denota pobreza y mal gusto, debido a que los usaban en zonas rurales o personas de escasos recursos (INTEC et al., 2003). 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, debido que nuestro medio ambiente necesita de ayudas que provengan de todos los ámbitos de acción del ser humano para recuperarse del enorme daño que se le ha infringido a costa del desarrollo. (Figuerola & Sardiña, 2009).

En la construcción se hace una necesidad de cumplir con nuevos estándares; esto quiere decir, que los procesos y materiales tienen que enfocarse a ser eficientes y sustentables, pensando en cubrir las necesidades del mercado. (Ortiz, 2018).

La innovación tecnológica y el interés en el bambú de crear un valor agregado para que tenga un mayor atracción y competencia, se crean productos industrializados uno de ellos son los paneles laminados, estos son usados tanto como material estructural, revestimiento y también en muebles (Angélica Neumann da Rosa, 2016).

En Chile, es interesante saber por qué no es usado como solución constructiva y no se han desarrollado industrias como por ejemplo el de la madera que es importante y muy usado en nuestra construcción.

En este proyecto se dará un mayor énfasis a los factores que intervienen en el uso de paneles laminados para revestimientos interiores, para esto se van a descubrir las causas relacionadas con los paneles laminados de bambú, demostrando lo técnico, económico y ambiental, el cual se contrastará la información con los paneles contrachapados de madera que se comercializan en Chile y así, en el mejor de los casos pueda ser un material que tenga entrada en el mercado y su posterior uso que es el interés en esta investigación, para que sea una alternativa constructiva frente a los que actualmente se utilizan en el sector construcción, al ser un producto innovador que se estima que satisfaga las necesidades actuales y del futuro respecto al desarrollo de las industrias.

Finalmente, mediante esta investigación dar respuesta a la siguiente pregunta:

2.1 Pregunta de Investigación

¿Cuáles son los factores que intervienen en el uso de paneles laminados para revestimientos interiores de vivienda en base a bambú en el sector construcción de Chile?

2.2 Objetivos

Sobre la pregunta expuesta anteriormente se plantean los siguientes objetivos:

2.2.1 Objetivo General

Analizar los factores técnicos, económicos y ambientales que favorecen el uso de paneles laminados para revestimientos interiores de vivienda en base a bambú, en relación a los paneles de madera que se comercializan en el mercado chileno.

2.2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar los principales atributos y usos actuales de los paneles laminados en base a madera comercializados en Chile.
2. Identificar y analizar los factores técnicos, económicos y ambientales que determinan la utilización de paneles a base de bambú para revestir interiores de viviendas en Chile.
3. Establecer bajo qué factores y características técnicas es factible la utilización de paneles laminados de bambú en Chile como aporte a soluciones constructivas bajo los requisitos del MINVU.

3. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos anteriormente, se pretenden conseguir los objetivos propuestos, mediante el desarrollo de distintos trabajos que se describen a continuación.

1. Realizar una revisión bibliográfica, en páginas académicas como Google Scholar, SciELO, Scopus, incluyendo términos claves como “bambú”, “construcción con bambú”, “paneles laminados”, “construcción sustentable”, “revestimientos interiores de viviendas”. La finalidad es consultar fuentes fiables ya sean académicos, de empresas y asociaciones especializadas relativas al bambú, paneles laminados y madera.
2. Explorar en la industria de la construcción de Chile para determinar cuáles son los paneles laminados o tableros que se comercializan, enfocándose en los que son producidos a base de madera, caracterizar, detallar sus principales atributos de cada panel.
3. Investigar las propiedades del bambú para ser utilizado como panel en revestimientos interiores, determinar fuentes donde se ha desarrollado la temática, proveedores que los comercialicen, usos y las características de cada panel existente de bambú.

4. Al conocer los atributos tanto de los paneles de bambú como de madera, se van analizar factores técnicos, económicos y ambientales, destacando características de los paneles de madera junto con los laminados de bambú. Se considerarán estudios realizados a los paneles para conocer sus detalles técnicos como contenido de humedad, propiedades térmicas y resistencia al fuego, por el lado económico se va a realizar un estudio de mercado en el que la información se obtendrá de un estudio realizado en Chile sobre producir paneles de bambú, por último, el factor ambiental se van a estudiar y destacar sus características sostenibles como producto y el aporte que trae al planeta. Con los resultados obtenidos, se va a determinar la factibilidad de los paneles laminados de bambú para que sean usados en revestimientos interiores como aporte a una solución constructiva, según los requisitos del MINVU.

4. MARCO TEORICO

4.1 Aspectos generales del bambú

Los bambúes son plantas de la familia de las gramíneas (Poaceae) como el arroz, maíz y la caña de azúcar. A diferencia de ellos la lignina (Es un polímero fenólico natural que confiere rigidez a la pared celular de las plantas maderables; es esencial, junto con la celulosa, para el soporte mecánico de tallos, ramas y hojas) de sus tejidos al pasar los años toma un estado más sólido lo que da como resultado que tenga una estructura dura como la madera, pero es más flexible y liviana, a pesar de que los catalogan como madera esta hierva tiene una estructura, proceso de crecimiento y propiedades mecánicas superiores. (Reyes et al., 2015) “Durante muchos años, se creyó que el bambú era una especie primitiva de hierba, pero recientes pruebas sobre su ADN demuestran que es una de las especies de hierba más evolucionadas”. (Figueroa & Sardiña, 2009). Algunos son herbáceos y otros leñosos, y desarrollan varios culmos (o tallos) al año, con alturas que van de 1 a 60 m de altura y un diámetro de hasta 30 cm cerca de la base, existiendo especies capaces de desarrollar brotes con diámetros que sobrepasan los 18 a 22 cm y sobrepasar los 20 m de altura a las ocho semanas (Sc Gabriela Barraza Jáuregui et al., 2015), incluso dependiendo del tipo de bambú estos “pueden crecer de 30 cm. hasta 1 m por día, dependiendo también del tipo de suelo en el que esta cultivado, la fertilización y de las condiciones del ecosistema” (Figueroa & Sardiña, 2009). Casi todos son erectos, aunque algunas especies tienen tallos flexionados en las puntas, unos crecen en forma aglutinada, formando espesuras impenetrables y otros en forma lineal. (CONAFOR, 2002).

4.1.1 Ubicación del bambú en el mundo

En el planeta existen 1,200 especies y 90 géneros de bambú, distribuidas en los cinco continentes, en donde se desarrolla en climas templados, soportando temperaturas de hasta -22°C, aunque se asocian principalmente en áreas tropicales y subtropicales, solamente en Europa no existen especies nativas. (CONAFOR, 2002)

En América se tienen identificadas 345 especies (Bambuterra, 2013), se encuentran distribuidas desde el sur de Estados Unidos, pasando por México, a lo largo y ancho de Centroamérica, en las Islas del Caribe y en América del Sur hasta el sur de Chile.

Respecto a los géneros presentes en el planeta principalmente se dividen en 5 como *Bambusa*, *Chusquea*, *Dendrocalamus*, *Guadua*, *Phyllostachys*., si bien estos géneros la componen varias especies y se originan en distintos lugares, su gran diferencia son los diámetros y altura, otro detalle a destacar son que todos tienen una misma estructura a excepción del chileno que es de bajo diámetro y altura como también un tallo sólido como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Detalle de géneros de bambú en el mundo

GÉNERO	ORIGEN	ALTURA	DIÁMETRO	DETALLES	PRINCIPALES ESPECIES
BAMBUSA	China, India, Birmania y Taiwán	6-30 m	3-18 cm	Es la especie más común en esas zonas de Asia.	<i>Bambusa balcoa</i> , <i>Bambusa disimulator</i> , <i>Bambusa Edils</i> , <i>Bambusa polymarpha</i> , <i>Bambusa bambos</i> , <i>Bambusa nepalensis</i> , <i>Bambusa oldhamimunro</i> , <i>bambusa vulgari</i> .
CHUSQUEA	Chile y Argentina	4-6 m	2-4 cm	Crece en las zonas más al sur del planeta. Son muy rígidos y de cuerpo solido	<i>Chusquea culeu</i> , <i>Chusquea culeou Desvaux</i> (<i>culeú en Chile</i>), <i>Chusquea quila kunth</i> (<i>quila en Chile</i>)
DENDROCALAMUS	India, Birmania, Sri Lanka y Taiwán	20-35 m	20-35 cm	Es un Grupo con muchas variedades. Alcanzan un gran tamaño y son muy importantes para la construcción	<i>Dendrocalamus balcoa</i> , <i>Dendrocalamus giganteus</i> , <i>Dendrocalamus asper</i> , <i>Dendrocalamus latiflorus</i>
GUADUA	Colombia, Ecuador, México, Bolivia y Panamá	10-30 m	3-12 cm	La Guadua es un tipo de especie endémica del Sur de América donde su bosque se denomina "Guaduales"	<i>Guadua angustofolia Kunth</i> , <i>Guadua aculeata</i> , <i>Guadua chacoensis</i> , <i>Guadua paniculata Munro</i> , <i>Guadua superba Huber</i>
PHYLLOSTACHYS	China y Japón	5-22 m	2-17 cm	El Bambú de este grupo crece en zonas templadas y tiene características de formar nudos en zigzag. Es originaria de china, sin embargo muchas especies son cultivadas en Japón, América y Europa.	<i>Phyllostachy aurea</i> , <i>Phyllostachy bambusoides</i> , <i>Phyllostachy nigra</i> , <i>var. Henonis</i> , <i>Phyllostachy pubescens (moso)</i> , <i>Phyllostachys vivax</i>

Fuente: Soler. (2017). Detalle de géneros de bambú en el mundo. [Tabla] El Uso del bambú en la arquitectura contemporánea.

4.1.2 Usos generales del bambú

Los bambúes son plantas conocida como “la planta mil usos” (Bambuterra, 2013), desde su diversidad, han desarrollado un rol importante en el desarrollo de muchas culturas. En culturas como las asiáticas los bambúes tienen connotaciones místicas, pasando por sus usos en la construcción y la alimentación. En América Latina, especialmente en Perú, Ecuador y Colombia, existe una vasta tradición y conocimiento de construcciones con bambúes. (Añazco & Rojas, 2015)

Para Morán (2001), cada especie de bambú tiene uno o más usos específicos; en la mayoría de los bambúes, cada parte de la planta puede ser utilizada y cada una de aquellas puede tener determinados usos de acuerdo a las características de su especie; el número de usos del bambú es ilimitado. Cada continente, país, región y grupo humano han desarrollado sus propios usos, mientras que hay países como China que transforma y usa sus bambúes en su mayoría como resultado de procesos industriales, hay otras regiones donde su uso se realiza de manera tradicional y nativo.

China es actualmente el país con mayor producción de bambú ya sea en su estado natural como industrializado, concentra el 92% de la producción mundial. El 8% de producción es en América latina países como Colombia, Ecuador y Brasil, concentran gran porcentaje de recursos, donde ellos se orientan principalmente al mercado doméstico y exportaciones. (INTEC et al., 2003)

Es así como los usos más frecuentes son para obtener alimento, ropa, material para construcción, celulosa para papel y medicinas. Igual que otras plantas, protege el suelo y captura dióxido de carbono, pero en un mayor porcentaje.

4.1.3 Propiedades sostenibles del bambú

La explotación descontrolada de la madera participa directamente en el cambio climático que se refleja en una devastadora inestabilidad hidrogeológica de los suelos y en el aumento de dióxido de carbono con serias consecuencias de calentamiento global, a causa de la gestión insostenible del ser humano, se genera subida de las temperaturas y del nivel de mar, que a su vez causa desequilibrios en los distintos ecosistemas. (EcuRed, 2010).

Cuando hablamos de bambú no hablamos de que sea un árbol sino de una hierba, esta diferencia destaca que su proceso de crecimiento sea mucho más acelerado, además suministran 35% más oxígeno y absorben 40% más dióxido de carbono que los árboles. (Rina, 2020). Según Gubia, (2019) Su rápido crecimiento permite obtener cosechas en periodos de entre 5 y 6 años sin necesidad de replantación, ya que crece de forma natural cada año, esto hace que el rendimiento de un bosque de bambú llegue a ser 20 veces mayor que cualquier otro y convierte a este material en uno de los más sustentables actualmente.

Del punto de vista de la construcción, son una ventaja para el desarrollo de esta industria, porque entrega un producto sustentable debido a las características que presenta, dos de ellas son su abundancia y su velocidad de crecimiento, alcanzando 1mt en 24 horas en algunas subespecies. (Figuerola & Sardiña, 2009).

Según lo anterior se da a entender que se puede obtener un material con cualidades positivas para mitigar el cambio climático que se está viviendo actualmente. Por estas razones se ha denominado frecuentemente al bambú como la: “madera del III Milenio” (INTEC et al., 2003).

4.1.4 Bambú en Chile

En Chile existen 11 especies, las de mayor importancia es *Chusquea culeou* (coligue) y *Chusquea quila* (quila), que se distribuyen entre la V y XI región. Su mayor concentración es en las regiones IX a XI, se estima que tiene una cobertura de 3.5 millones de hectáreas y de ellas 900.000 podrían ser aptas para una utilización industrial. (INTEC et al., 2003)

El bambú en Chile, es usado desde culturas prehispánicas, en particular la etnia mapuche, utilizaba los culmos en las estructuras de sus viviendas o rucas, en la fabricación de instrumentos musicales y en la elaboración de armas, como lanzas, arcos y flechas. Pero las personas que habitan cerca de estos bosques de bambú lo consideran como una especie invasora ya que son un obstáculo para habilitar terrenos para la agricultura o plantaciones forestales, además dificultan la accesibilidad y el desarrollo de actividades silvoagropecuarias, llegando a pagar por su eliminación, lo que genera en las personas una mira negativa a estas especies, siendo que pueden sacar provecho de este recurso natural como nuestras generaciones pasadas. (INTEC et al., 2003)

Quienes mayor utilidad sacan de ellas son las comunidades rurales, aunque como su mercado es informal, no existen estadísticas fidedignas de producción y utilización y no se valoriza su aporte a las economías locales rurales o de la región. (INTEC et al., 2003). En el año 2000 se tuvo un mercado marginal donde se comercializaron alrededor de 5 millones de cañas, por un valor equivalente de un millón de dólares. (FONDEF, 2008)

Las especies autóctonas poseen culmos sólidos y son de pequeño diámetro, a diferencia con especies de otros países son cañas huecas, de mayor diámetro y altura lo que hace que su utilización sea común tanto en construcción de forma natural o industrializada.

Debido a su tamaño y el poco interés en su desarrollo por considerarlo culturalmente como una plaga el aprovechamiento de este recurso es en los sectores rurales, con baja incorporación de valor agregado desprendiendo las siguientes utilidades:

1. En mueblería y artesanía de mimbre utilizándolo como material estructural.
2. Industria minera donde se usan las cañas para la colocación de explosivos en las tronaduras.
3. Forraje de invierno para alimentar los ganados cuando escasean los pastos.
4. Actividad forestal se utilizan como elemento que sostenga plantaciones jóvenes para que no se dañe por efectos del viento.
5. En agricultura se utiliza como estructuras de invernaderos y tutores (elemento que permite que la planta pueda crecer en forma vertical) en distintos sectores como viñas y horticultura.
6. En viviendas y construcción, su uso es principalmente en casas rurales o viviendas de agrado localizadas en la costa, como revestimientos de muros laterales, o cielos, material para estructura de construcciones livianas, sombreadores para personas o ganado y en construcción de cercos. (INTEC et al., 2003) Como se puede observar en la Figura 1. el uso como revestimiento de casa del sector rural de Paillaco y cerco ubicado en la localidad de Quintay.

Figura 1. Uso del bambú chileno como revestimiento y cerco



Fuente: INTEC et al. (2003). Revestimiento de construcciones rurales en Paillaco y Uso como cerco en Paillaco [Figura] El Uso del bambú en la arquitectura contemporánea.

4.4 Uso del bambú en la construcción

El bambú es uno de los materiales usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar (Rodríguez & Morales, 2007)

Gran parte de la humanidad utiliza a diario el bambú debido a que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y tal vez a un futuro su utilización sea de forma masiva, como fuente de energía y reemplazo de madera de árboles por tratarse de un material fácilmente renovable. (Rodríguez, 2006).

Más de 1 billón de personas habitan en casas de bambú, alcanzando en algunas regiones del mundo una importancia gravitante, este es el caso de Bangladesh donde el 73% de sus habitantes habita en este tipo de viviendas, otro ejemplo es la ciudad de Guayaquil donde el 50% habita en este tipo de casas, lo que corresponde a 1 millón de personas. (Rodríguez, 2006)

Se ha utilizado cultural y tradicionalmente en la construcción de todo tipo de vivienda rural; en la ciudad en edificaciones urbanas marginales y tradicionales, especialmente del sistema de bahareque (cañas entretejidas con barro de acabado), llegando hoy en día a las majestuosas obras tecnificadas realizadas en diversos países. Si bien históricamente se ha utilizado en viviendas sociales y esto lo cataloga como “madera de los pobres”, su utilización ha sido masiva en toda Asia donde lo usan en zonas rurales para puentes, desde construcciones simples hasta sofisticados puentes suspendidos, en Japón y Hong Kong se ha empleado en rascacielos y para la construcción de andamios, (INTEC et al., 2003) en la Figura 2. se puede observar un andamio completamente construido con bambú, además

la envergadura que tiene abarca alrededor de 10 plantas, dejando claro las altas aptitudes que tiene y podría fácilmente reemplazar los andamios de metal como se acostumbra a ver.

Figura 2. Andamiaje de bambú en la ciudad de Kowloon, Hong Kong



Fuente: García, (2015). Uso del bambú como andamiaje en Hong Kong [Figura] Bambú Como Material Estructural: Generalidades, aplicaciones y modernización de una estructura tipo.

En Países como Perú, Brasil, Ecuador, Colombia, España se han desarrollado grandes proyectos arquitectónicos demostrando el gran valor que tiene una construcción de bambú como, por ejemplo, en Colombia se construyó un puente de 30 mts de largo, en España el Aeropuerto de Barajas como se puede ver en la Figura 3. el bambú puede trabajar en conjunto con otros materiales, en este caso el acero, como también generar grandes proyectos de construcción y arquitectónicos, siendo que Europa es un país que no presenta estas especies, es un gran impulsor en el uso de este teniendo empresas que produce productos en base a bambú como lo son “Grupo Gubia” y “Moso Bamboo” donde ellas importan desde países asiáticos y desarrollan productos a grandes escalas y con un gran valor agregado, es una de las fuentes de ejemplo y motivación para poder desarrollar la investigación.

Figura 3. Aeropuerto de Barajas, España



Fuente: García, (2015). Cubierta del aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas [Figura] Bambú Como Material Estructural: Generalidades, aplicaciones y modernización de una estructura tipo.

La prueba física mecánica muestra que la especie cuenta con altos grados de resistencia, compresión, tracción y flexión, que la hace ideal para ser usada en construcciones de cualquier tamaño, ya que se presentan altamente seguras y con características sismorresistentes. Según Romo & Carlos,(2006) “Hay experiencias, en Costa Rica, durante el terremoto en Puerto Limón de 1991, las únicas viviendas que resistieron fueron las construidas con bambú”. Igualmente tiene como ventaja que las viviendas de bambú aíslan del frío, del calor y del ruido por las cámaras de aire que forman los troncos de bambú.

Asimismo, las propiedades estructurales sobresalientes que posee, le permiten ser comparada con la resistencia de una fibra de acero. (*Bambuterra*, 2013)

La gran versatilidad del bambú se debe en gran parte a su estructura anatómica y morfológica. La sección circular ahuecada presenta algunas ventajas estructurales en comparación con secciones macizas o rectangulares de otros materiales. “El bambú requiere solo el 57% de su masa cuando es usado como viga y solo un 40% cuando es usado como columna” (García, 2015)

Como se puede observar en la Tabla 2. las características mecánicas del bambú frente a otros materiales comúnmente usados, al analizar el cuadro deja claro que por ejemplo en comparación a la madera tiene altas aptitudes para poder ser usado en construcción.

Tabla 2. Características mecánicas del bambú

MATERIAL	RESISTENCIA DE DISEÑO (R), (kg, cm ²)	MASA POR VOLUMEN (M), (kg, m ³)	RELACIÓN DE RESISTENCIA (R/M)	MÓDULO DE ELASTICIDAD E → kg, cm ²	RELACIÓN DE RIGIDEZ (E/M)
CONCRETO	82	2400	0.032	127400	53
ACERO	1630	7800	0.209	2140000	274
MADERA	76	600	0.127	112000	187
BAMBÚ	102	600	0.170	203900	340

Fuente: Arkibambu (2015). Recuperado de <http://arkibambuaguaduacolombia.blogspot.com/>

Para que pueda ser utilizado en la construcción las cañas de bambú primero tiene que cortarse cuando ya tienen entre 4 a 5 años, quiere decir en la etapa madura del bambú, esta edad es la óptima para cortar y ser usado, posteriormente tienen que pasar por un proceso de tratado para obtener una mayor durabilidad, de esta forma evitar que se contamine con agentes biológicos como insectos y hongos, de esta forma alargar la vida útil del bambú, dado que sin tratamiento puede durar entre 1 a 3 años siendo usado en construcción y en contacto con el suelo. De 4 a 7 años si es usado en interiores y si se hacen los tratamientos adecuados puede durar entre 10 a 20 años. (Soler, 2017) Estos tratamientos tiene como finalidad disminuir la humedad presente en las cañas para que de esta forma evite la generación de plagas, donde existen dos tipos tratamientos el tradicional y el químico, la gran diferencia entre estos dos está en que el tradicional solo deja el bambú seco disminuyendo la humedad de esta forma aumenta su resistencia y mejoramiento de propiedades mecánicas, además de disminuir los azúcares y almidones que son el alimento de las plagas, en cambio los químicos inmunizan el culmo inyectando preservadores que también son utilizados en la madera, en las paredes de los culmos o tallos del bambú, como sales de Arseniato de cobre cromatado CCA y los compuestos de boro (ácido bórico y bórax), para que se distribuyan a través de las células que forman su tejido leñoso, asegurando un mayor vida útil. (CONAFOR, 2002)

Una vez hecho el proceso de tratamientos que se haya seleccionado, el bambú debe quedar almacenado en un lugar cerrado y sin contacto con la humedad, donde posteriormente una vez que sea comercializado le den el uso que quieran como estructural o en terminación.

4.4.1 Uso estructural del bambú

En el ámbito estructural, tiene múltiples usos como también las técnicas de construcción son diversas, países como Perú, Ecuador tienen manuales de construcción, donde enseñan y recomiendan los cuidados, uniones, como usarlo con otros materiales dando a conocer

que se pueden realizar estructuras simples como amarrar un grupo de cañas entre sí, formando cubiertas, estructuras de techumbres o más complejas como puentes, casas, edificios o andamiajes, esto le da la cualidad que pueda ser usado casi en la totalidad de las partes de una estructura gracias a las propiedades que presenta y dando la posibilidad de usar como elemento de vigas y columnas, ya sea en su estado natural (García, 2015), o gracias a la tecnología desarrollada actualmente utilizar materiales tipo laminado y prensado entregando un material con mayores características positivas para una vivienda (Takeuchi, 2014), debido a que muchas veces el inconveniente de usarlo en estado natural es que no son rectos teniendo deformaciones, esto trae como consecuencia que sus resistencias no sean iguales en toda la sección en cambio con procesos industrializados estos problemas se corrigen. (Figuerola & Sardiña, 2009)

Figura 4. Uso estructural del bambú



Fuente: Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR. (2015). Uso estructural del bambú[Figura]. EN CONSTRUIR CON BAMBÚ.

4.4.2 Uso del bambú en terminaciones

Como en el apartado anterior se habla sobre las distintas formas que puede ser usado en la estructura de una construcción, en terminaciones tiene infinitudes de usos como, pisos, revestimientos de exteriores o interiores, en terrazas, jardines, mobiliario, marcos y puertas. (Rodríguez, 2006) Actualmente predomina el uso de paneles laminados de bambú debido a que entregan una mejor calidad en cuanto a terminación, por este motivo es muy empleado en revestimientos, aunque esto no deja de lado el poder utilizarlo en su estado natural y tampoco deja de verse atractivo para las personas que lo quieran utilizar en sus viviendas, más bien comparando con un material conocido los usos que se pueden dar en terminaciones son los mismos que los productos de la madera, además no tiene inconvenientes con formar parte con otros materiales de construcción (Soler, 2017). Otro beneficio que puede entregar este material en terminaciones es que otorga un entorno natural, cálido y amigable con el medio ambiente. (Moso, s.f.)

Figura 5. Uso del bambú en terminaciones



Fuente: Moso bamboo (s.f). Revestimientos con laminados de bambú Recuperado de <https://www.moso-bamboo.com>

Después de lo expuesto anteriormente, en la construcción su cualidad lo convierte en un material ideal para que pueda ser utilizado en viviendas. En el que puede ser combinado con otros materiales de construcción tales como madera, arcilla, cal, cemento, hierro galvanizado, de acuerdo con su relativa eficiencia, disponibilidad y costo.

De hecho según Ana Sanchez,(2018). En Japón el bambú se usa mucho como materia prima y se le da mayor importancia que otros materiales más contaminantes como el cemento o el acero.

4.5 Paneles laminados de bambú

Según Takeuchi,(2016) la principal dificultad para trabajar con el bambú en su estado natural, es la incertidumbre en sus propiedades mecánicas; la opción de trabajar con laminados con resistencia y secciones geométricas establecidas, facilita su diseño estructural y da una garantía de calidad.

El desarrollo ha impulsado en la elaboración de paneles laminados, “Se elaboran al unir láminas de bambú por sus caras, extremos y/o cantos con adhesivos para conformar elementos que funcionan como una unidad”(Takeuchi, 2014); es una de las acciones que se toman para llevar a cabo en la actualidad, como una medida de generar alternativas a los materiales tradicionales. El rubro de los paneles, es un área importante para desarrollar e investigar, porque estos esfuerzos obedecen a razones económicas, sociales y ambientales.

4.5.1 Paneles laminados de bambú en mundo

Desde 1940 en China a la fecha se han desarrollado 28 productos y más de 100 tipos diferentes, desde que inicio la producción de paneles bambú ha crecido sostenidamente.(INTEC et al., 2003) En la actualidad en el país asiático se producen 100 mil metros cúbicos de tableros de bambú. (Rodríguez, 2006) y según estimaciones realizadas por la Asociación de la Industria del Bambú de China, el valor de producción total de la industria del bambú en 2018 fue de 39.600 millones de USD. (INBAR, 2018)

El uso de tallos (o culmos) de bambú en la fabricación de paneles sustituye actualmente la utilización de un millón de metros cúbicos de madera en pie en China y 400,000 metros cúbicos en la India (Rodríguez, 2006)

Por otra parte, en Europa, al no existir culmos, tienen un alto desarrollo actualmente importando el bambú de China. Empresa llamada “Grupo Gubia” en España y en Países Bajos la empresa “MOSO BAMBOO”, esta última es una organización que tiene un gran desarrollo en el tema dedicándose a la utilización de esta materia prima, produciendo paneles macizos y contrachapados, ya sea para revestimientos, pisos y estructuras. El factor que tiene Moso Bamboo, es que gracias al desarrollo han podido abrir el mercado a grandes empresas e internacionalmente pudiendo exportar sus productos a países, logrando demostrar lo beneficioso que es usar este tipo de material al medio ambiente al ser un producto sostenible mediante certificaciones y declaraciones medioambientales como FSC y EPD, además utilizando sus productos contribuye como crédito para obtener certificaciones LEED y BREAM.

Importantes investigaciones se han generado en países, con la finalidad de agregar valor a las cañas de bambú como India, Japón, Indonesia, Taiwán, Laos, Malasia, Filipinas, Tailandia, Vietnam, Costa Rica, Canada y en los últimos años se ha iniciado en países de Latinoamérica como Ecuador y Colombia (INTEC et al., 2003), destacando que en estos países se han desarrollado a nivel piloto o de producción a poca escala en comparación China y Europa.

Es evidente que mediante las investigaciones y el desarrollo que han tenido los países, se puede concluir que el bambú, en la actualidad se está explorando usar de diferentes maneras, siendo los laminados de bambú una opción potencial para la fabricación de diferentes elementos, pudiendo tener un alto potencial de uso en la fabricación de placas para mobiliario de casa y oficina, en elementos para piso, en revestimientos y en perfiles usados en la industria de la construcción que presenten una sección transversal similar a los existentes en la actualidad elaborados con otros materiales como madera y acero. (Guerrero & Garc, 2017)

4.6 Desarrollo Sostenible

El objeto principal de este trabajo es el bambú y como es una hierba gracias a sus propiedades aporta a un desarrollo sostenibles, utilizarlo sería un aporte a la transición desde una anticuada economía lineal a una circular, pero como también la idea es usar el bambú para producir paneles laminados para revestimientos interiores hay que evaluar

cada proceso mediante un análisis del ciclo de vida y así se podrá demostrar el impacto que nos entregaría el desarrollar este producto.

Para llegar a un desarrollo sostenible en la construcción se debe cambiar la mentalidad en la industria donde se piensa que tenemos recursos ilimitados y no se toma el cuidado necesario priorizando el reciclaje, re-uso y recuperación de materiales.

Debido que la construcción es un gran consumidor de recursos naturales, alrededor de 20% a 50% y no solo es el consumo de estos recursos, sino que también tiene un gran impacto el consumo de energía que se necesita para fabricar los productos de construcción como acero y hormigón. Todo esto repercute directamente al medio ambiente produciendo el cambio climático, pérdida de biodiversidad, deterioro de la capa de ozono, lluvia ácida, deforestación, entre otros fenómenos. (Ramírez, s.f.)

4.6.1 Economía circular

El sector de la construcción es uno de los principales consumidores de materias primas. El 40% de lo que se extrae a nivel mundial se destina a la construcción de edificios y parte importante termina en vertederos (entre un 25 y 40% de los residuos a nivel mundial provienen del sector construcción y por cada m² construido genera 0,35 m³ de residuos). En Chile, cerca del 34% de los residuos sólidos corresponden a residuos de construcción y demolición (RCD). Al año 2023, este residuo alcanzará un volumen similar a 15,5 estadios nacionales o tres cerros Santa Lucía. (Katherine Martinez, 2021)

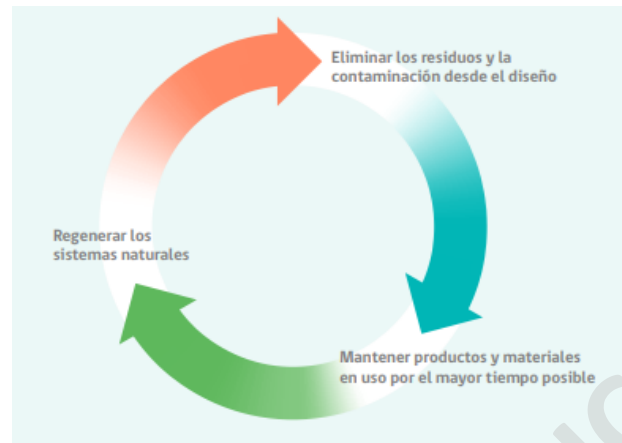
El modelo económico lineal que se utiliza, se comportan como si consideraran los recursos naturales, y por consiguiente las materias primas, ilimitados, sin tener en cuenta los impactos negativos que generan en términos económicos, sociales y ambientales sobre el entorno. Lo que quiere decir que este sistema consta de tomar la materia prima, producir, usar y desechar. (Cortés García, 2020)

La economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción, la reutilización y el reciclaje de los elementos. Es un nuevo paradigma económico, claramente disruptivo que se inspira en los ciclos de la naturaleza que no generan residuos. (Acciona, s.f.)

Los tres principios de la economía circular como lo dice la fundación Ellen MacArthur, son, diseño libre de residuos y contaminación, mantener los productos y materiales en uso, regenerar los sistemas naturales.

Estos tres se orientan en tomar decisiones desde un inicio en su etapa de diseño de algún producto, la eficiencia de los recursos evitando desperdicios, de modo que puedan ser reutilizados, reparados o re manufacturados y cuidar el medio ambiente, tratando de hacer menos daño cuando algún producto este terminando su periodo de uso pueda ser devuelto al planeta y aprovechado por el mismo como nutrientes al suelo y ecosistema. Es importante tener presentes el ciclo de vida del producto en su totalidad; la prevalencia del uso/funcionalidad sobre la posesión del producto; o la reparación, el reciclaje y la valorización. (Cortés García, 2020)

Figura 6. Economía circular



Fuente: MMA et al.,(2020). Los tres principios de la economía circular. [Figura]. Hoja de ruta nacional a la economía circular para un Chile sin basura

5. DIAGNÓSTICO DE LOS FACTORES EN CHILE

Para realizar este capítulo y poder diagnosticar los factores, el gran inconveniente es la no existencia de industrias en Chile sobre paneles laminados de bambú, por esta razón al no ser un material presente en el mercado, no se han determinado factores en relación a su uso. Trayendo como consecuencia la ausencia de datos para desarrollar lo técnico, económico y ambiental, con la salvedad que el estudio del instituto forestal realizado el año 2003, donde en su oportunidad tuvo la intención de producir paneles de bambú con especies autóctonas con fines decorativos, el cual junto con la información que entrega e investigaciones de Asia y Europa se podrá complementar los factores en relación al país de uso del material, que es Chile.

Por otro lado, se irán completando los factores con detalles de la madera, ya que los productos obtenidos de esta materia prima son muy similares a las del bambú, de esta forma se podrá obtener un mejor entendimiento del tema.

- En relación al ámbito Técnico se diagnostican los siguientes factores:
 - 1) El contenido de humedad: Es importante porque al momento de usar el material, este tendrá distintos comportamientos dependiendo de su humedad, quiere decir que, a variaciones en él se van a producir hinchamientos, contracciones, que trae con ello rajaduras y deformaciones en el tablero, como también que influya en el deterioro del panel por agentes externos.
 - 2) Propiedades térmicas: El tablero al contar con buenas características en relación a esto, puede producir un mayor confort térmico al interior de una vivienda y a la vez ahorrar energía porque disminuiría el uso de algún sistema regulador de temperatura.

3) Resistencia al fuego: Al tener un material con resistencia al fuego por un determinado tiempo produce que sea seguro al interior de una vivienda.

- En el factor económico:

Este factor, se define debido a que el valor de mercado de un tablero depende mucho si puede ser competidor y llama la atención para utilizar el material en una vivienda.

Para esto, se estudia el mercado forestal chileno y en particular el de los tableros, para detectar magnitudes y tendencias, además se toma del estudio de tableros de bambú nacionales, realizado por INFOR las encuestas hechas en el año 2003 para completar la información. Con la finalidad de valorizar el tablero de bambú y poder comparar con los productos existentes en el mercado.

- En el factor ambiental

Se investiga y se detalla que uno de sus grandes características es su gran capacidad de crecimiento, lo que con esto se podría obtener un material más sostenible en el tiempo, por otro lado, al tener en cuenta este factor también es un elemento que durante su ciclo de vida captura grandes cantidades de Co₂.

6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Paneles laminados de bambú en Chile

En Chile durante el año 2003 se desarrolla un proyecto I + D orientado en determinar la factibilidad técnica y económica de producción de tableros decorativos de bambú y promover la creación de unidades productivas de este rubro. (Campos Roasio, 2003)

Este producto corresponde al primer tablero de bambú desarrollado a nivel prototipo industrial elaborado en Chile, en el que solo se evaluó a modo experimental. Resultando un producto que cuenta con aptitudes para varias aplicaciones como revestimientos de muros interiores, muebles, puertas, cielos, artículos utilitarios y envases decorativos. Además según encuestas el interés de utilizarlos no era solo en Chile, sino que también en países como México y Brasil.(FONDEF, 2003)

Actualmente no es producido ni comercializado según comentario de Carlo Kahler experto en bambú y destacado profesional encargado de línea de estudios económicos, área de Información y economía Forestal en Instituto Forestal (INFOR), debido a problemas con la licencia del producto y nunca hubo inversionistas interesados en producir los paneles.

Figura 7. Revestimiento de muros con tableros laminados de bambú chileno.



Fuente: FONDEF, (2003). Revestimiento de muros interiores [Figura]. Producto y aplicaciones de tableros de bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile Colihue.

La diferencia de los paneles comercializados en el mundo y producidos principalmente por países como China y Europa son con bambúes huecos, en cambio el elaborado en Chile es con culmos sólidos, dadas las características de la especie autóctona y endémica de Chile el Colihue.

6.1.1 Tipos de tableros de bambú

El tablero experimental elaborado en Chile al ser un producto que no está disponible en el mercado no fue considerado para describir los tipos de tableros que existen y se comercializan actualmente.

Considerando la falta de información sobre los laminados de bambú se rescata mediante fuente bibliográfica lo relevante en relación al proyecto.

Tabla 3. Tipos de tableros de bambú en Chile

Tipo de panel	Especie Principal Utilizada	Producción en Chile	Comercialización en Chile
Tablero macizo monocapa	Phyllostachys pubescens	NO	NO
Tablero macizo multicapa	Phyllostachys pubescens	NO	NO

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.1.1 Tableros Macizos (Glue Laminated Bamboo, Laminated Bamboo Lumber o Plybamboo)

Los tableros macizos de bambú, se fabrican encolando y prensando varias laminas en filas consecutivas o cruzadas entre sí (horizontal, vertical y perpendicular), para conseguir mejores prestaciones y homogenizar el material. Estas son de poco espesor (4cm aprox) y anchura variable para conformar elementos de mayores dimensiones proporcionando una alta estabilidad dimensional. La disposición de láminas puede ser variable, diferenciando entre monocapas y multicapas, sin embargo, una de las características más notorias de este tablero de bambú es su exclusivo canto que, en función de su composición, muestra combinaciones muy interesantes que se pueden dejar vistas, aportando un toque de originalidad a cada tablero de bambú.

El tablero macizo de monocapa, es considerado como un panel decorativo por tener un menor espesor, es utilizado para revestimientos de muros, cielos y muebles.

El tablero de multicapas se puede emplear en la construcción como muro estructural, escaleras, encimeras, repisas y también para pisos tipo parquet o deck.

Figura 8. Tipos de tableros macizos de bambú



Fuente: Moso bamboo (s.f). Tipos de tableros de bambú. Recuperado de <https://www.moso-bamboo.com>

6.2 Paneles Laminados en base a madera en Chile

Desde hace ya muchos años que los carpinteros no solo trabajan con madera natural, de hecho, actualmente es más común utilizar diferentes tipos de tableros derivados de la madera que la propia madera natural, (GREEMAP, s.f.) además hoy en día existen en el mercado para la necesidad que se presente en el proceso constructivo con espesores de 5 mm a 30 cm, que están compuestos de madera en forma de tablillas unidos por resinas o también conocidas como adhesivos y otros de fibras o pequeñas virutas. Esta madera en su mayoría es de pino radiata y otros de eucalipto, aproximadamente el 56% de la superficie de 2.303.886 hectáreas en Chile ubicadas principalmente entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos son de pino radiata, el 25% eucalipto y el resto de otras especies. Estos tableros de madera industrializada surgen como alternativas interesantes para las

industrias de la construcción y la mueblería, al proponer piezas con apariencia natural, facilidades de curvado y presión, al igual que de resistencia al fuego y la humedad, además muchas veces el precio es más económico, o bien son más fáciles de trabajar o de mantener. (Medina, 2020)

6.1.2 Tipos de tableros de madera.

Existe una variedad de tableros de madera o productos derivados de esta, como se demuestran a continuación los principales tipos, de que están compuestos, características y sus usos.

Tabla 4. Tipos de tableros de madera en Chile

Tipo de panel	Especie Principal Utilizada	Producción en Chile	Comercialización en Chile
De partículas	Pino Radiata /Eucalipto Globulus	SI	SI
MDF	Pino Radiata	SI	SI
MDP	Pino Radiata /Eucalipto Globulus	SI	SI
HDF	Pino Radiata	SI	SI
OSB	Pino Radiata/Álamo/ Eucalipto Nitens	SI	SI
Contrachapados	Pino Radiata/ Álamo	SI	SI

Fuente: Elaboración propia basado en La Industria y Chapas 2019

6.1.2.1 Tableros de Partículas.

También conocidos como tableros de aglomerado, se fabrican mediante la aplicación de calor y adhesivo en partículas de madera ya sea aserrín, virutas de madera, donde por lo general se usan maderas blandas como pino y en algunos casos el eucalipto, en el mercado existen formatos tradicionales que no tienen algún compuesto extra, resistentes a la humedad ofreciendo un mejor comportamiento ya que es su principal desventaja, y resistentes al fuego que son retardantes debido a que se agregan aditivos ignífugos.

Sus principales características son que en su proceso de construcción permite el mayor aprovechamiento del árbol, tienen buena trabajabilidad y en algunos casos se puede revestir con melanina u otro producto, dejando una superficie para cualquier diseño o estilo y en el mercado es un producto conveniente debido a su bajo costo.

La desventaja que destaca en este tipo de tablero es que su resistencia a la humedad es limitada, por eso es aconsejable usarlo solo en interiores ya que al estar en un ambiente húmedo estos tableros se hinchan o se parten sin posibilidad de reparar, como también los cantos ofrecen un pobre resultado con relación a lo estético, siendo necesario taparlos con algún otro material.

Sus usos son: Carpintería (puertas, encimeras), mobiliario, decoración (base de cubiertas, de suelos, prefabricados) y revestimientos.

Figura 9. Tipos de tableros de partículas



Fuente: Google imágenes (s.f). Tableros de Partículas. Recuperado de <https://www.google.cl>

6.1.2.2 Tablero MDF (de fibra de densidad media o Medium density fiberboard).

Tienen una densidad superior a la de la madera, que está entre los 500 kg/m³ a los 800 kg/m³ son producidos en base a fibras de madera de pino radiata, que se obtienen mediante un proceso de desfibrado termo mecánico, sometido a altas presiones las fibras junto a adhesivos y se pueden agregar otros componentes para hacerlos resistentes al fuego, humedad, teñirlo o agregar alguna chapa de madera para obtener un acabado semejante a la madera natural, estos tableros son conocido como trupán.

Sus principales características son que presentan una terminación homogénea y lisa, no tiene vetas ni nudos, en el mercado se vende en una amplia variedad de formatos, tamaños y espesores, además su precio es relativamente bajo frente a la madera maciza o contrachapados, pero más elevando que los aglomerados.

Como desventaja si bien se venden tableros hidrófugos (resistentes a la humedad) no tienen un buen comportamiento en esos ambientes y menos si tiene contacto directo en el agua, otro gran detalle que en su proceso constructivo los adhesivos usados son altamente

tóxicos y pueden producir daños a la salud, por otro lado, sus cantos son débiles presentando baja resistencia frente a impactos y mala sujeción al usar clavos o tonillos.

Sus usos son: Mueblería, revestimientos de techo y muros, carpintería, zócalos, tapajuntas, molduras de puertas y ventanas.

Figura 10. Tablero MDF



Fuente: Google imágenes (s.f). Tableros MDF. Recuperado de <https://www.google.cl>

6.1.2.3 Tablero MDP (tableros de partículas de densidad media o Medium Density Particleboard)

Estos tipos de tableros son una evolución de los de tipo de partículas, debido a que comparten características con relación a la materialidad y construcción, se usa aserrín, virutas de madera, que son comprimidas con adhesivos y prensados en calor, pero la diferencia es el posicionamiento de las partículas, donde las finas se depositan en sus caras y las más gruesas en el núcleo, con esta disimilitud se obtiene una mayor homogeneidad, resistencia y densidad en la superficie, lo que beneficia los resultados en acabados si se toma la opción de pintarlos o también existen tableros con aplicaciones de revestimientos, ya sean con enchapados de madera, con resinas melaninas y resinas especiales para obtener tableros resistentes a la humedad.

Los tableros MDP son excelentes para ser usados en mueblerías y revestimiento de interiores, pero siempre y cuando se tome en consideración la exposición a la humedad, porque si bien existen para ese tipo de ambientes, su durabilidad es menor.

Figura 11. Tipos de tableros MDP



Fuente: Google imágenes (s.f). Tableros MDP. Recuperado de <https://www.google.cl>

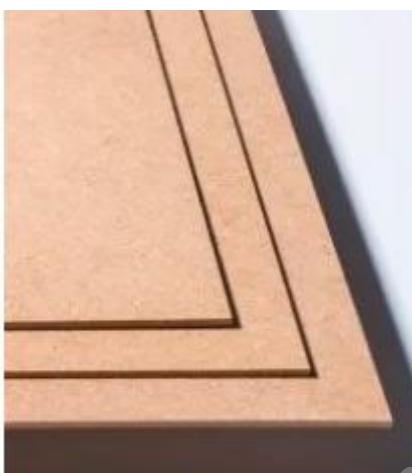
6.1.2.4 Tablero HDF (tableros de fibra de alta densidad o High density fiberboard).

Son fabricados a través de fibras de Pino Radiata comprimidos a alta temperatura y presión hasta lograr una alta densidad entre los 800 kg/m³ y 1000kg/m³, luego se aplican sellantes para aumentar la dureza superficial. Este producto en Chile es conocido bajo el nombre de Cholguan.

Son excelentes gracias a su superficie lisa para aplicar pinturas, lacas, melanina y chapas de madera natural, tiene una gran estabilidad contra la humedad, debido a que presenta un bajo coeficiente de dilatación, aunque esto no lo hace que sea un producto para usar en exteriores o que tenga contacto con el agua.

Es usado principalmente usados en suelos laminados, puertas, fabricación de mobiliario, aunque en menor medida porque su valor es más elevado que otros tableros, encimeras de cocinas que junto a su densidad y espesores son aptos para este tipo de uso.

Figura 12. Tablero HDF



Fuente: Google imágenes (s.f). Tableros HDF. Recuperado de <https://www.google.cl>

6.1.2.5 Tableros OSB (de virutas orientadas o Oriented strand board)

Son paneles fabricados a partir de virutas de madera principalmente de pino y orientadas en forma de capas cruzadas, esto para aumentar su rigidez y fortaleza unidas mediante aplicación de adhesivos a altas temperaturas y presión.

Sus características como la apariencia, es ambigua debido a que su terminación entrega un material con aspecto bruto porque fue creado para usos estructurales y no terminaciones, pero actualmente está sucediendo lo contrario y está tomando lugar en ese ámbito; gracias a la geometría que se juntan las virutas y el pegamento utilizado tiene una excelente resistencia y capacidad de carga, además debido a su composición no contiene nudos o huecos que por lo general en una madera maciza producen debilidad al material, tiene buena resistencia al fuego, humedad aunque no son resistentes al entrar en contacto directo con el agua, su construcción se considera con bajo impacto ambiental porque se tiene un mayor aprovechamiento del árbol.

Las desventajas de estos paneles sus cantos son débiles y su resistencia a la humedad es limitada, tiene un mayor peso que otros paneles y eso trae como consecuencia que agrega peso a una estructura, su superficie al no ser lisa es un problema para conseguir buenos acabados, el pegamento utilizado al ser en base a formaldehído es altamente tóxico.

En el mercado existen cuatro categorías como: osb-1 (uso general y aplicación de interior en ambiente seco), osb-2 (estructurales para ambiente seco), osb-3 (estructurales para ambiente húmedo) y osb-4 (estructurales con altos estándares para uso en ambiente húmedo)

Estos paneles actualmente están reemplazando los paneles contrachapados, tienen usos estructurales en encofrados, cubiertas, bases de techos y muros, se puede usar para

construir con paneles tipo sándwich, pisos sobre todo para entarimados, revestimiento de muros cuenta con características aislantes térmicas y acústicas.

Figura 13. Tablero OSB



Fuente: Google imágenes (s.f). Tableros OSB Recuperado de <https://www.google.cl>

6.1.2.6 Tableros Contrachapados (Plywood o terciado).

Se obtienen mediante el encolado de chapas de madera mediante el desenrollo del tronco, estas son superpuestas de manera que sus fibras formen un ángulo determinado para aumentar su resistencia y equilibrar su estructura, siempre se usan número impar de chapas y se unen de forma perpendicular, se agrega adhesivos y luego presión. Según la forma que se construya el tablero existen varios tipos: 1) tres capas o triplay, compuestos de tres chapas en general de 3 y 4 mm, 2) Multicapa, están formados en su núcleo por un número impar de chapas, dando una mayor rigidez y estabilidad, 3) Fenólico, compuesto por resinas fenólicas que le entrega una mayor resistencia al calor y la humedad, 4) Finlandés o carroceros está compuesto con madera de abedul y resina adhesivo fenólico en forma de rombos, entregando un contrachapado resistente a la humedad, abrasión, golpes y antideslizante, 5) Melaminados, son tableros revestidos de alguna melanina por lo general blancos, grises o imitando otras maderas.

Entre sus características presentan una buena resistencia y estabilidad estructural gracias a la unión de chapas en distintas direcciones y esta aumenta en relación al número de chapas, buen aislante térmico y acústico, resistentes a la humedad y fuego dependiendo de que aditivo, madera y adhesivo se utilice, además lo anterior determina si puede ser usado al interior o exterior y tiene mayor facilidad para el curvado.

Sus debilidades que presenta es donde la madera presenta nudos en los paneles produce vacíos o puntos débiles, trayendo consigo defectos en los paneles y en caso de que su fabricación sea de bajo costo, es menos controlado este tema y además se ve debilitado el tablero al usar adhesivos de mala calidad. Su precio de venta es más elevado que los paneles descritos anteriormente.

Son los tableros con mayor versatilidad incluyendo usos estructurales (muros, pisos y techos) aunque actualmente están siendo reemplazados por los tableros OSB debido a su menor precio, decorativo (recubrimientos interiores), mobiliario (madera a la vista en sillas, mesas, estanterías), industria en general (fabricación de carrocerías, buques, casas rodantes, vagones de tren), moldajes para hormigón y andamiaje.

Figura 14. Tableros Contrachapados



Fuente: Google imágenes (s.f). Tableros Contrachapados Recuperado de <https://www.google.cl>

Los paneles que se describen anteriormente, además de ser conocidos y usados comúnmente en la construcción, tienen que seguir las normas técnicas obligatorias reguladas por el MINVU, además las empresas productoras tienen un manejo responsable de los bosques que es demostrado bajo certificaciones FSC (Forest Stewardship Council) y PEFC (gestionados de forma sostenible), con ellos los que utilicen estos productos aseguran que son sustentables ya que no hay una deforestación en la producción.

6.2 Factores

6.2.1 Factores Técnicos

6.2.1.1 Contenido de Humedad (CH)

Es la relación entre la cantidad de agua y peso seco o anhidrido que se expresa en porcentaje.

Ecuación 1. Para cálculo del contenido de humedad

$$CH\% = \frac{\text{Peso Humeo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100$$

Fuente: Elaboración propia basado en (Takeuchi, 2016)

Es un factor importante porque dependiendo del CH es como se va a comportar según el ambiente que se instale en cuanto a sus propiedades, debido a que cuando tiene pérdidas o ganancias de humedad, genera en el panel contracciones o hinchamientos provocando deformaciones y rajaduras. Por otro lado, influye en su durabilidad porque puede ser atacado por hongos e insectos xilófagos, esto ocurre cuando está expuesto constantemente en la humedad o su secado no fue como corresponde y tiene un CH entre 20% y 32%.

Un porcentaje de humedad controlado del material es un aporte al comportamiento térmico dentro de una vivienda, que si es positivo trae como beneficio que sea un elemento que aporte al confort térmico.

Para poder llegar a los porcentajes de humedad necesarios tiene que pasar por procesos de secado, estos son de dos tipos:

- 1) Secado natural: consiste en dejar el bambú a la intemperie por un periodo hasta que se logre un CH en promedio al 12%
- 2) Secado en hornos: es un proceso rápido y eficiente, pero puede producir daños en las cañas porque donde es más acelerado el proceso, sus cambios en la estructura puede provocar deformaciones.

Es un proceso importante porque no solo define su comportamiento en relación a lo dimensional y ataque de hongos o insectos, también define que tenga un buen encolado durante la fabricación del panel, buena adherencia para recibir acabados, que no tenga variaciones en su resistencia mecánica en el caso de los tableros estructurales y una buena trabajabilidad con máquinas y herramientas, entregando un producto de buena calidad

Los cambios de contenido de humedad se deben a que es un material higroscópico y poroso que absorbe el agua presente en el ambiente en forma de vapor o de líquido, esta característica que no solo es del bambú, si no que igual es parte de la madera, estos materiales intercambian humedad con el ambiente hasta encontrar su contenido de

humedad de equilibrio (CHE), esto depende del % de humedad relativa (RH) y la temperatura ya sea en el exterior o al interior de la vivienda. Según la norma de Colombia NTC 5301 el bambú debe estar en un % de CH en climas tropicales entre 16% y 22% y en climas templados entre 9% y 13%, siendo este último el porcentaje óptimo para usar en la zona centro de Chile ya que contamos con un clima del tipo templado.

En Chile Se considera como madera seca aquella que posee entre 12% a 20% de humedad, madera verde 30% y madera anhidra 0%. Cabe destacar que se hace necesario estudiar el contenido de humedad antes de instalar el material, o si se instala prever que mientras se regule su humedad con el ambiente va a tener cambios en sus dimensiones y puede ocasionar daños o cambios en la instalación. Es recomendable que un panel de madera o bambú se deje en el lugar donde será usado por 24 hrs, así el material regula su porcentaje.

Por falta de información en relación al bambú se deja como referencia la humedad permitida según la zona Climático-Habitacional en Chile de la madera que entrega la OGUC artículo 5.6.8:

Tabla 5. humedad permitida según la zona Climático-Habitacional en Chile

ZONA CLIMATICO-HABITACIONAL	HUMEDAD PERMITIDA	
	MINIMA %	MAXIMA %
Norte litoral	11	18
Norte desértica	5	9
Norte valle transversal	11	16
Central litoral	11	17
Central interior	9	20
Sur litoral	12	22
Sur interior	12	22
Sur extremo	11	22

Fuente: MINVU, (2020).Humedad permitida para la madera según zona climático-habitacional en Chile [Tabla]. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

6.2.1.2 Propiedades térmicas

El flujo de calor en los edificios se lleva a cabo por cuatro fenómenos principales: conducción, convección, radiación y evaporación (o condensación). La conducción es el paso del calor a través de un material por transferencia desde las moléculas más calientes hacia las más frías en contacto unas con otras. Por convección, el calor es transferido con el flujo de moléculas de un lugar a otro con una variación en su temperatura. La radiación es la transferencia de calor a través del espacio por ondas electromagnéticas. La evaporación y condensación involucran un cambio de estado (de líquido a gas o viceversa), en este proceso se gana o se pierde calor.

Figura 15. Modos de transmisión de calor en los edificios



Ortiz, (2016). Modos de transmisión de calor en los edificios. Recuperado de <https://elblogdelprofefranco.blogspot.com/2016/08/los-materiales-en-nuestra-casa-pensando.html>

El calor puede cambiar el modo en que se transfiere durante el proceso de flujo. De esta forma es que la energía solar que alcanza un muro en forma de radiación es absorbida en la cara externa y fluye a través del material del muro por conducción. Si el muro contiene un espacio de aire, el calor fluye a través de este por convección y radiación, continúa su paso por conducción y es finalmente transferido al aire interior por convección y al resto de las superficies por radiación. Las propiedades de los materiales que afectan el índice de transferencia de calor hacia adentro o hacia afuera de un edificio y por lo tanto las condiciones térmicas interiores y el confort de los ocupantes son: conductividad térmica, resistencia y transmitancia.

Al momento de determinar la conductividad térmica del material, que se expresa en las unidades $\text{kcal/m h } ^\circ\text{K}$ (W/mK) se deben tomar en cuenta las siguientes condicionantes. Cuando el material no es isotrópico se necesita indicar la dirección de propagación del flujo calorífico; por ejemplo, para una muestra de madera hay que indicar si λ (conductividad térmica) se refiere a la dirección normal de la fibra o paralela a ella y también al ser un material higroscópico, es necesario distinguir si estos se encuentran en estado seco, o de lo contrario en qué estado de humedad se encuentran. La propagación del calor puede modificar la distribución de la humedad por efecto de los fenómenos de

difusión interna acompañados de evaporaciones y condensaciones. La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material y su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y temperatura.

Un tallo de bambú tiene una conductividad secado al horno Perpendicular a las fibras: 0,10 W/mK y Paralelo a las fibras: 0,16 W/mK. Según el estudio realizado por Darshil U. Shah, “Conductividad térmica de compuestos de bambú de ingeniería”, consiste en determinar la conductividad térmica de seis tipos de paneles laminados en base bambú, pero para este proyecto se consideraron tres por el tipo de uso que está orientado, estos primero fueron comprados y luego se regulo su contenido de humedad a un 12% a condiciones ambientales 20-22 °C, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 6. Densidad y conductividad térmica de tableros de bambú

Tipo de tablero	Espesor	Densidad	Conductividad térmica
Bambú Laminado Plyboo	20 mm	636 Kg/m ³	0,21 W/mk
Bambú laminado esterilla	15 mm	713 Kg/m ³	0,25 W/mk
Chapado de bambú	12 mm	960 Kg/m ³	0,35 W/mk

Fuente: Elaboración propia basado en (Shah et al., 2016)

En comparación a productos de la madera la conductividad térmica está definida en la Nch 853. Of 2007 sobre el acondicionamiento térmico de una vivienda:

Tabla 7. Densidad aparente y conductividad térmica de la madera

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Maderas		
- álamo	380	0,091
- alerce	560	0,134
- coigüe	670	0,145
- lingue	640	0,136
- pino insigne	410	0,104
- raulí	580	0,121
- roble	800	0,157
Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
	420	0,094
	460	0,098
	560	0,102
	600	0,103
	620	0,105
	650	0,106
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
	930	0,26
	1 030	0,28

Fuente: Minvu (s,f). Nch 853 Of. 2007Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. [Tabla]
<https://tipbook.iapp.cl/ak/7ba2f4bd8e4ba3715cad4afabda5061914006c38/embed/view/nch853#page/33>

6.2.1.3 Resistencia al fuego

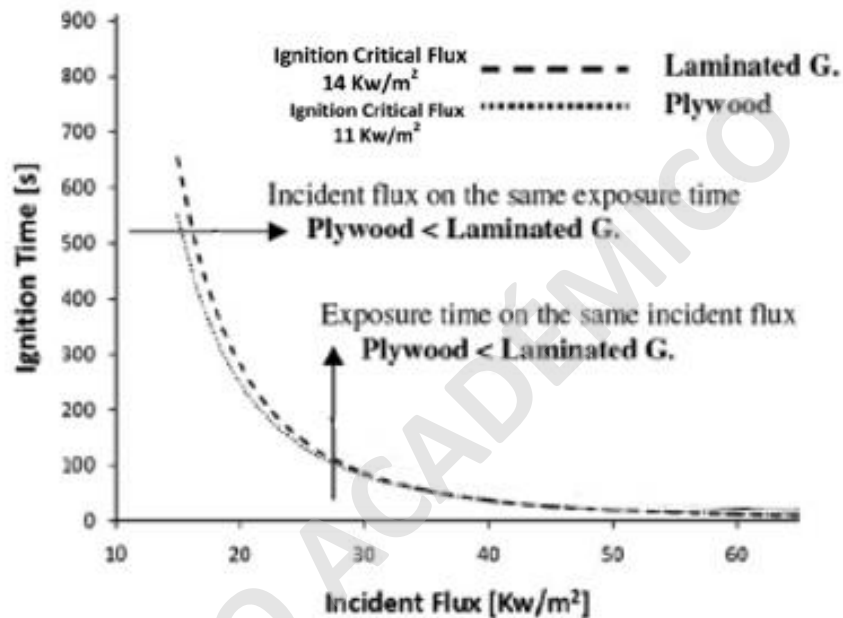
En el encendido de un material se producen procesos de descomposición química, que facilitan las emisiones de gases, que lo más probable se conviertan en llamas generando la ignición, propagación de la llama y la carbonización de la superficie expuesta.

El bambú al ser un material orgánico, la corteza tiene un alto contenido de silicio, lo cual le confiere interesantes propiedades de resistencia al fuego, por estas características en España según la norma UNE EN 13501 lo clasifican, como un material combustible que retrasa la llama Cfl-S1 y por lo tanto se cataloga como material apto incluso para fachadas de edificios públicos de manera no estructural y en Alemania según la Normativa Alemana DIN4102 se cataloga con clase B2 (poco inflamable). Para aumentar su resistencia, el material se procesa con Pentaborato, que es la mezcla de Ácido Bórico + Bórax + agua o bien, en la fabricación de los paneles, al momento de pegar las láminas se usan aditivos ignífugos, en conjunto con el adhesivo.

Para determinar la resistencia al fuego de algún material, la norma ASTM E1321 sugiere determinar el flujo crítico de ignición, que es el punto de flujo de calor máximo, en el que no se produce la ignición del material, es por esto que se buscó una fuente bibliográfica sobre el panel laminado de bambú, resultado que cuando es expuesto al fuego a los 11 Min (660 Seg), obtiene su flujo crítico de ignición de 14 kW/m². Como ejemplo a modo

comparativo un contrachapado de pino a los 9 min (540 Seg) obtiene su flujo crítico con 11 kW/m², prueba que se realizó en las mismas condiciones y en paneles de espesores 9mm.

Grafico 1. Flujo critico de ignición, laminado de bambú v/s laminado de madera



Fuente: Mena et al., (2012). Flujo de calor frente al tiempo de ignición [Grafico]. Assessment of fire reaction and fire resistance bamboo

Al observar los gráficos se aprecia la diferencia que se produce entre el flujo de calor v/s el tiempo, donde el panel laminado de bambú requiere un mayor flujo de calor que la madera contrachapada para desarrollar ignición y para un mismo flujo de calor el laminado de bambú necesita un tiempo de exposición mayor para producir la ignición.

Sobre la propagación de la llama, al realizar la prueba se demuestra que necesitan un flujo crítico para los laminados de bambú de 10,4 Kw/m² y para el contrachapado 3,5 Kw/m², para que se pueda comparar con otros productos derivados de la madera, por ejemplo, los tableros HDF 6,0 Kw/m², panel aglomerado 3,1 Kw/m², Pino radiata 4,2 Kw/m². Demostrando el resultado que el producto de bambú necesita casi tres veces más de flujo de calor que el de madera contrachapada para propagar el fuego.

El resultado obtenido demuestra que el panel laminado de bambú sería un material con mejores características en resistencia al fuego que el contrachapado cuando se utilice en la construcción, debido a que el panel de madera contrachapada es el que necesita menos energía y toma menos tiempo para propagar el fuego y arder, además, es el que representa

un mayor riesgo para los residentes en comparación al laminado de bambú, brindando las condiciones más seguras para los ocupantes, ya que requiere mayor energía y tomará más tiempo para propagar el fuego y quemarse.

Por otro lado, la empresa Moso Bamboo los paneles que producen, según sus estudios y sin agregar ningún aditivo retardante al fuego, el panel de bambú obtiene una clasificación C-s2-d0 según la norma europea EN 13501-1, donde se puede ver el significado en la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación europea en relación a la propagación de la llama

CLASE	SIGNIFICADO	
A1	No combustible	Sin contribución al fuego
A2		
B	Combustible	Contribución muy limitada al fuego
C		Contribución limitada al fuego
D		Contribución media al fuego
E		Contribución alta al fuego
F		Sin comportamiento determinado

* Indicadores adicionales de opacidad de humo

CLASE	SIGNIFICADO
s1	Producción baja de humos
s2	Producción media de humos
s3	Producción alta de humos

* Indicadores adicionales de caída de gotas/partículas

CLASE	SIGNIFICADO
d0	No se producen partículas / gotas
d1	Caída de gotas / partículas no inflamadas
d2	Caída de gotas / partículas inflamadas

Fuente: Textil Batavia (s.f). Clasificación de paredes y techos (EN 13501-1).

Recuperado de <https://www.tejidosignifugos.com/noticias/renovamos-certificado-b-s1d0-con-marcado-ce/>

6.2.2 Factores Económicos

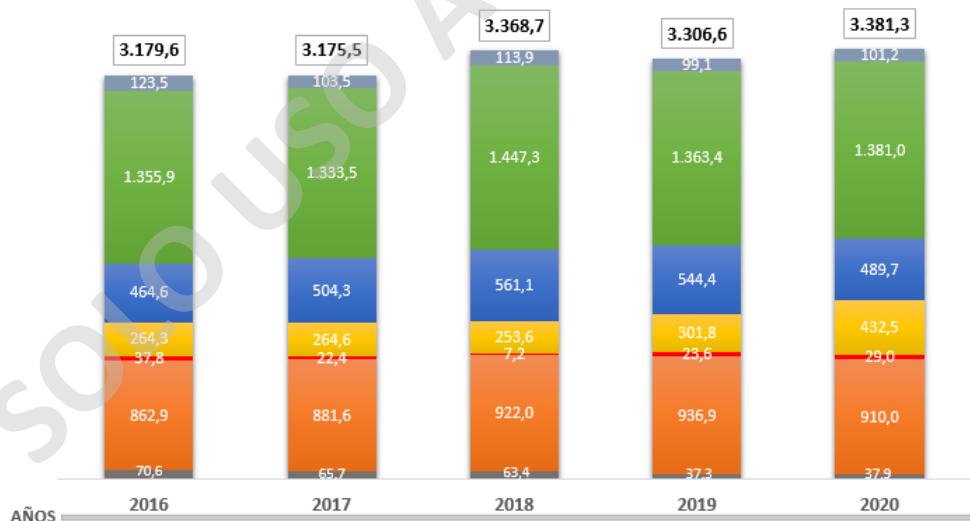
El principal productor de tableros de bambú es Asia y Europa, en cambio en Chile no existe este mercado, sino más bien solo queda en un estudio la posibilidad de producir y comercializar estos tipos de tableros, en cambio como país tiene una fuerte vocación forestal siendo uno de los 10 países con mayores exportaciones de madera y sus derivados. (CDT, 2021). Siendo así es importante conocer el mercado de la madera para evaluar económicamente la competencia de los tableros de bambú y la aprobación de los futuros clientes.

6.2.2.1 Tamaño y segmento relevante de mercado

La producción en Chile de tableros de madera contabilizado en millones de m³, entre las 30 empresas existentes, alcanza según INFOR en el año 2020 un total de 3,38, un leve aumento en comparación a los años representados en el gráfico N°XX desde el año 2016 con sus 3,37 fue la segunda producción más alta. Este aumento en el 2020 se debe a la gran demanda que tuvieron los OSB (43,4%) usado para ampliaciones y reparaciones, lo que fue impulsado por las medidas económicas que implementó el gobierno en apoyo a las limitaciones que se presentaron para trabajar a la población en el periodo de la pandemia. Por otro lado, se destacan los MDF y sobre todo los Contrachapados ante los otros tipos, de hecho, en el año 2016 tuvo un record histórico de producción con 1,4 y los MDF el año 2019 con sus 937, solo estuvo un 0,3% por abajo del año 2015 que obtuvieron 940, que a la fecha según la información recopilada no ha podido ser superado.

Por último, para poder lograr con la cantidad de producción de millones de m³ de los distintos tipos de tableros, la materia prima utilizada al 2020 fue de 4.483.000 de m³ ssc, la que representa el 10,3% del consumo total de la industria para los distintos productos que se pueden obtener de la madera, además este total no solo incluye madera en trozos, sino que también se consume madera en astillas, aserrín y en una menor parte corteza.

Gráfico 2. Producción de tableros en Chile (miles de m³)



Fuente: Elaboración propia basado en (Instituto Forestal, 2021)

La producción de paneles ha tenido un constante crecimiento sobre todo los MDF y los contrachapados, en el que según FONDEF, (2003) del total de estos tipos de tableros un 10% cuyo objetivo es para usos de revestimientos, el resto es para uso estructural. Por lo

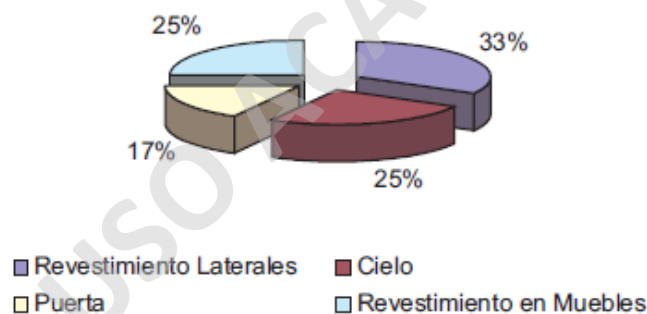
tanto, en este porcentaje y segmento es donde entran los paneles de bambú con finalidades del estudio y serían sus principales competidores.

En relación a lo anterior los paneles de bambú según sus características estéticas, ya que no se consideran sus propiedades mecánicas en cuanto a estructuras, tiene un alto potencial para ser una alternativa de revestimiento frente a los productos derivados de la madera, tal como ocurren en Asia y Europa a estos tipos de tableros le dan una infinidad de usos. Unas de las encuestas del producto en el estudio de (FONDEF, 2003), es en relación al nicho inmobiliario, consultado a empresas, pudiendo estudiar si les llama la atención, si lo usarían y en que parte de la vivienda, de esta forma se obtienen datos y se valida la viabilidad del tablero.

Según las encuestas se obtienen los siguientes resultados:

- El 100% estaría dispuesto a utilizar el material y a innovar, el 87% piensa que serán atractivos para los consumidores, el 71% dice que será difícil de comercializar y el 71% lo compraría.
- En el caso del uso que le darían al tablero, las respuestas se distribuyen según el gráfico N°3.

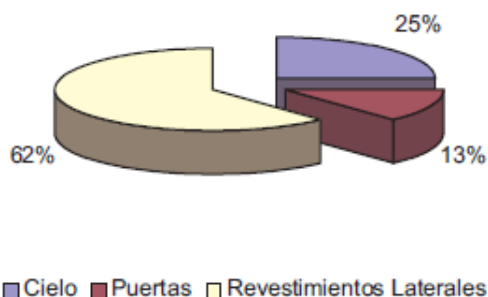
Gráfico 3. Uso del tablero



Fuente: FONDEF, (2003). Uso del tablero de bambú en una vivienda. [Gráfico] Mercados de tableros de bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile Colihue.

- La ubicación de aplicación dentro de una vivienda

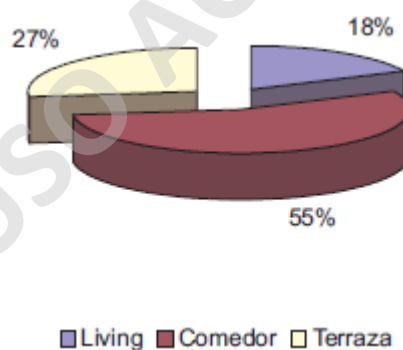
Grafico 4. Aplicación del tablero en una vivienda



Fuente: FONDEF, (2003). Lugar de aplicación del tablero de bambú en una vivienda.
[Grafico] Mercados de tableros de bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile Colihue.

- Lugar de la vivienda donde se utilizaría.

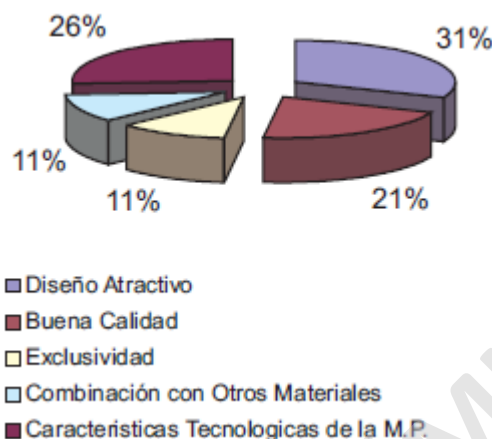
Grafico 5. Lugar donde se utilizaría



Fuente: FONDEF, (2003). Lugar donde utilizarían el tablero de bambú en una vivienda.
[Grafico] Mercados de tableros de bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile Colihue.

- Alternativas consideradas al momento de comprar el tablero:

Grafico 6. Consideraciones al comprar el tablero



Fuente: FONDEF, (2003). Alternativas consideradas al momento de comprar el tablero de bambú en una vivienda. [Grafico] Mercados de tableros de bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile Colihue.

Por lo tanto, a través de las encuestas y de los datos obtenidos representados en los grafico se puede comprender que los tableros de bambú en el mercado inmobiliario y de la construcción tendrían una buena recepción, se atreverían a usarlo que es lo importante y sobre todo en revestimientos de muros, propósito principal en la investigación.

6.2.2.2 Precio

Para estudiar el precio del tablero de bambú, se analiza lo que realmente se comercializa entre los distintos tableros con finalidades de revestimientos, actualmente hay un alza notable de los materiales de construcción, en el cual al tomar el valor del tablero en el estudio de Chile a base de bambú y traerlo a la actualidad, lo más probable que no sea el valor real, pero si será hipotético y servirá para poder comparar con los otros paneles que hay en el mercado.

El valor comercial que se estudió mediante encuestas en el estudio de Tableros de Bambú en Chile se obtuvo que debería ser comercializado entre \$ 15.000 a \$20.000, unos US\$ 29 aproximadamente, con un espesor de 8 mm y dimensiones estándar (1,22 x 2.44 mt) siendo un precio que competía entre los paneles de madera contrachapados a base de especies forestales de alto valor los que actualmente no se comercializan. Estos paneles de madera fueron los siguientes:

Tabla 9. Precios \$/m2 de tableros de madera

Producto	\$/ m ²
9 mm roble	5782
9 mm pino	3860
12 mm pino	5182
18 mm pino	5782
15 mm moldaje nativo	5808
18 mm moldaje nativo	7080

Fuente: FONDEF, (2003). Alternativas consideradas al momento de comprar el tablero de bambú en una vivienda. [Grafico] Mercados de tableros de bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile Colihue.

Al analizar el cuadro anterior, se puede concluir que, si consideramos el tamaño estándar de paneles, tendrían un valor promedio de \$17.000 o US\$ 24, siendo así, el de bambú estaría en el rango de los tableros de madera y serían sus competidores directos, independiente de sus dimensiones en relación al espesor, porque lo ideal es revestir un material o bien se venderá con un sustrato según el cliente requiera (MDF, Yeso cartón, MDP, Contrachapado)

El valor del tablero de bambú al actualizarlo al mes de junio del 2022 mediante un cálculo que se muestra a continuación (se considera el valor del tablero de bambú en dólares)

Ecuación 2. Formula del IPC para traer al valor actual

$$\text{Valor 2022} = \text{Valor 2003} * \frac{\text{IPC 2022}}{\text{IPC 2003}} \longrightarrow \$ 29 * \frac{124,02}{77,61} = \$ 46,34$$

Fuente: Elaboración propia basado en www.dineroeneltiempo.com

Considerando el precio obtenido de US\$46,34 que serían unos CLP\$43.000, en el mercado actual se investiga en páginas comerciales disponibles en el e-commerce como Easy y HomeCenter (Tabla 10), obteniendo que los paneles de madera usados en revestimientos, posicionan al de bambú en la media de los precios, dado que se encuentran valores menores pero sus espesores son iguales y en los precios más altos los espesores son distintos, en este caso mayores en los de madera, pero las terminaciones al ser de maderas duras tienen tonalidades auténticas como se produce con el bambú. No como sucedió en el estudio, que el de bambú es levemente superior en el precio que los disponibles en el mercado y según comentario obtenido de un profesional en una reunión, se debe porque el alto nivel de los materiales de construcción y además la situación que

estamos viviendo como país más allá del IPC y la inflación el resultado del panel va a ser menor, por esta razón se recomendó mediante consenso con investigador del bambú en Chile analizarlo frente el precio del dólar para equiparar y asemejar a su posible realidad frente a los productos de Chile.

Tabla 10. Tipos de tableros de madera y sus precios en el mercado chileno

Tipo de tablero	Espesor mm	Precio US\$
Terciado Ranurado Colonial	9	26,14
Terciado Enchapado en Pino	9	20,69
Terciado Natural Ranurado	9	24,61
Terciado Master	15	46,84
Melamina Enchapado en coigue	15	55,12
Melamina Enchapado en Nogal	15	61,87
Melamina Enchapado en Peral	15	49,02
Melamina Enchapado en Teka	15	51,00

Fuente: Elaboración propia basado en <https://www.easy.cl/> - <https://sodimac.falabella.com/>

Otro posible competidor en Chile aparte de los productos de madera podría ser si llegan tableros de Asia o Europa, lo ideal es encontrar un proveedor para poder llegar a negociar y evaluar de mejor manera el precio, pero al no obtener respuesta, el único recurso existente es la empresa y pagina web “DBAMBU”, ubicada en España y “BrightBamboo” de China, en donde se dedica a comercializar tableros y otros productos para decoración y diseño relacionadas con la caña sólida y natural, de igual forma se intentó contactar para obtener una mayor información por lo que no fue posible.

Los precios obtenidos en relación a los tableros de las empresas nombradas, son:

Tabla 11. Tipos de tableros de Bambú y sus precios

Tipo Tableros	Origen	Dimensiones (e x a x l) mm	Precio Flete US\$	Precio Tablero US\$	Precio Total US\$	Precio CLP\$
	Argentona (España)	5 x 1220 x 2440	234,72	101,65	336,37	308.744,0
	Argentona (España)	7 x 1220 x 2440	834,33	223,41	1.057,74	970.867,8
	Argentona (España)	16 x 1220 x 2440	834,33	287,95	1.122,28	1.030.107,1
	Ninnguo (China)	7 x 1220 x 2440	-	110,00	110,00	100.965,7
	Ninnguo (China)	12 x 1220 x 2440	-	160,00	160,00	146.859,2
	Ninnguo (China)	16 x 1220 x 2440	-	176,00	176,00	161.545,1

Fuente: Elaboración propia basado en <http://brightbamboo.com/>-
<https://tienda.dbambu.net/>

Los tableros en España tienen un alto valor en comparación a los chinos si se comparan solo con los precios de panel, debido a el país asiático al no poder comunicarse no se obtuvo un precio de traslado para ver que si realmente en ambos casos, el flete es mayor al valor del producto. Por lo tanto, si estos productos llegan al mercado chileno, al ser un precio elevado lo más probable que no tengan una buena recepción por las constructoras o personas que quieran usarlo, en comparación a los tableros de madera y los de bambú producidos en Chile ya que son mucho más “económicos”.

Por ultimo en relación al precio de 2003 y como aún sigue siendo alto en la actualidad se considera el comentario sobre el precio de los tableros, en el que se concluye que sería para un nivel socioeconómico medios y altos, además para distintos nichos donde se puede utilizar.

6.2.3 Factores Ambientales

6.2.3.1 Huella de carbono

El problema del calentamiento global en la actualidad es causado por varias fuentes, los materiales de construcción son unas de las causas que afectan directa e indirectamente al medio ambiente. El bambú es capaz, no solo de aportar oxígeno a nuestra atmósfera, sino que también es un almacenamiento pasivo de CO₂, y su obtención es absolutamente natural. Se calcula que una plantación de bambú de una hectárea de extensión puede absorber hasta 8 toneladas de dióxido de carbono anualmente y aporta hasta un 40% más de oxígeno que una hectárea de árboles. Existen estudios que afirman que más del 20 % de las emisiones de dióxido de carbono provienen de la deforestación que se está produciendo en nuestro planeta.

En la construcción los materiales que se utilizan en general como el hormigón y el acero producen grandes emisiones de Co₂, debido a la cantidad de energía que se necesita para

obtenerlos, la madera por ejemplo en una edificación remueve 800 kilos de carbono por m³ en el aire, en cambio el acero produce cerca de 12.200, el hormigón 385 y ladrillo 375, es por esto que materiales como la madera y el bambú tienen una ventaja respecto a la huella de carbono.

Conocer la huella de carbono de un producto, es una forma de medir el impacto ambiental, enfocada en los gases de efecto invernadero (GEI), durante su ciclo de vida en términos de kg Co₂ equivalentes y dar a conocer al cliente información sobre el producto que está comprando, en relación si es un aporte o no al medio ambiente utilizar ciertos materiales. Buscando la neutralidad en los productos para aportar y cumplir en lo que Chile busca de llegar al carbono-neutralidad en el año 2050.

En el desarrollo del factor huella de carbono de tableros laminados, se considera para la demostración el panel macizo multicapa o plybambú de la empresa Moso Bamboo, según sus características es el que se asemeja a tableros de madera según forma de fabricación. Para analizar cuál es su huella, se estudió el Co₂ liberado o devuelto en tres etapas, la primera es sobre su fabricación desde la cuna a la puerta, es decir, desde que se tala el bambú hasta dejarlo procesado en el lugar de venta, en esta etapa del estudio se detalla las distancias de traslado las que son desde Shanghái donde se elaboran los paneles y se llevan a Rotterdam al almacén en países bajos para su comercialización, entregando un valor de huella de carbono de **1,018 Co₂eq/Kg**.

Figura 16. Distancias de traslado del bambú



Fuente: Lugt & Vogtlander, (2015). Distancias de producción de tableros de bambú [Figura] The environmental impact of industrial bamboo products Life.cycle assessment and carbon sequestration.

Luego se determina el Co₂ en relación al almacenamiento de este elemento en el ecosistema y la construcción, debido a que según el estudio el bambú captura carbono mientras está en su proceso de crecimiento y posteriormente no hay emisiones de Co₂ porque se almacena en los productos y es devuelto al final de su ciclo de vida a la atmosfera, cuando se degrada o se quema su producción, detalle que en los árboles y productos de este sucede el mismo. Como resultado el número de huella de carbono es negativo **-0,629 Co₂eq/Kg**.

Figura 17. Ciclo de Co2 en los tableros de bambú



Fuente: Lugt & Vogtlander, (2015). Distancias de producción de tableros de bambú [Figura] The environmental impact of industrial bamboo products Life.cycle assessment and carbon sequestration.

Después, se obtiene el resultado de huella de carbono al final de su vida útil, en este caso como es un estudio de Europa, en su mayoría los residuos de maderas y bambú son reciclados para generar energías en centrales eléctricas, por lo tanto, se considera que el 90% de los productos serán destinados a lo nombrado, obteniendo **-0,704 Co2eq/Kg**.

Por último, se obtiene un total de huella de carbono **-0,315 Co2eq/Kg**, considerando la sumatoria de los valores anteriores, como se puede ver en la siguiente comparando paneles macizos de una capa y multicapa, destacado el panel que se detalló.

Tabla 12. Huella de carbono equivalente por kg de los tableros de bambú.

Tipo de panel	Espesor	Huella de carbono (Co2e) por kg de producto final			
		Producción de la cuna a la puerta	Fin de vida útil	Co2 almacena miento	Co2 Total
Macizo monocapa	3,5	0,925	-0,704	-0,629	-0,4084
Macizo monocapa	4	1,008	-0,704	-0,623	-0,2795
Macizo multicapa	16, 20, 30, 40	1,008	-0,704	-0,629	-0,3150

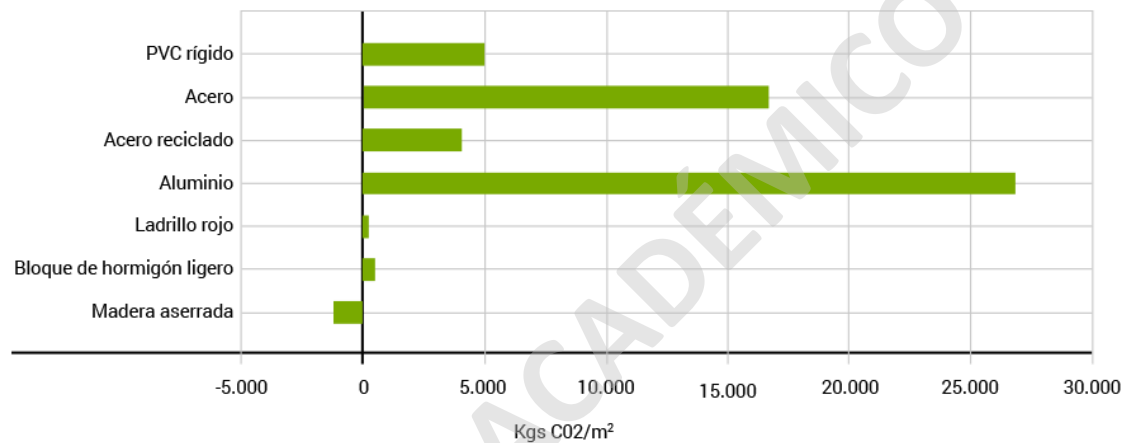
Fuente: Elaboración propia basado en (Lugt & Vogtlander, 2015)

Estudios como el de Moso Bamboo muestran que, si se optimizan los parámetros de producción de los paneles de bambú, estos productos industriales pueden tener una huella de carbono negativa durante todo su ciclo de vida, desde la cuna hasta la tumba (desde su producción al desuso). Esto significa que los créditos obtenidos a través de absorción de carbono y de la quema para producir electricidad en una planta de energía al final de la vida de cada producto, superan las emisiones causadas por los procesos de producción y transporte, este último punto es importante ya que el transporte ejerce una gran influencia en la carga de Co2 de los productos de bambú y se incrementa cuando se trata de largas distancias.

En este factor no se ha conseguido información respecto a los paneles de madera para poder comparar de una forma visible, pero las características principales en relación al

Co₂ se producen de la misma manera, en su etapa de crecimiento lo almacena mediante la fotosíntesis, se dice que el peso de un árbol el 50% se compone por dióxido de carbono; luego durante su elaboración lo retiene y finalmente liberándolo cuando termina su ciclo de vida, se podría decir que las producciones de productos industrial posiblemente tengan condiciones en cuando a la huella de carbono negativa similares a las del bambú, para confirmar lo dicho según grafico se destaca que la madera respecto a otros materiales tiene huella negativa.

Grafico 7. Co₂ producido por distintos materiales



Fuente: Madera21 (s.f). por qué madera. Recuperado de <https://www.madera21.cl/2757-2/#1480605418063-212f1493-810c>

6.2.3.2 Sostenibilidad

Los impactos ambientales que las actividades de producción y consumo han generado para satisfacer sus bienes y servicios, trae como consecuencia la explotación de recursos naturales a un ritmo mayor que el de su generación, produciendo el cambio climático que hoy en día representa una problemática a nivel mundial. Los edificios consumen el 60% de los materiales extraídos de la tierra, es por ello que el implemento de materiales renovables representa una de las alternativas para mitigar los efectos del medio ambiente, el bambú representa una opción, ya que destaca por ser una de las hierbas gigantes de más rápido crecimiento en el mundo, crece hasta un metro por día y puede llegar a su etapa madura entre 4-5 años, etapa que es apta para su utilización estructural o para producción de elementos industriales, esto hace que el rendimiento de un bosque de bambú llegue a ser 20 veces mayor en comparación a la madera, que tiene un ciclo de crecimiento mucho más lento y por lo tanto posee una capacidad de renovación más baja, alrededor de 15- 20 años. El bambú se puede cosechar sin que la planta muera ya que sigue creciendo desde el mismo tallo, por lo que no hay deforestación.

Dadas estas propiedades y resultados muestran que el bambú es un secuestrador de carbono, donde un bosque de bambú produce un aire más limpio, pues suministran 35 % más oxígeno y absorben 40 % más dióxido de carbono que los árboles. pudiendo considerarlo un material favorable, respetuoso con el medio ambiente y sostenible, esto es una necesidad porque, debido al crecimiento de la población mundial y al aumento del consumo per cápita la huella ecológica del mundo es 1,5 veces superior a la cantidad de recursos necesarios que la tierra puede producir.

Soler, (2017) indica que el bambú consume en su etapa de transformación menos energía primaria, prácticamente no hay desperdicio durante los procesos de manufacturación y se trata de procesos sencillos y limpios, a la vez produce menos impactos que otros materiales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, además en la producción de bambú se utilizan según estudios de Janseen experto en bambú, citado en (Bello & Villacreses, 2021) 30 MJ/m³ por N/mm², esto significa que si se compara con otros materiales, según la siguiente tabla que a más energía utilizada mayor producción de Co₂ es liberada a la atmosfera.

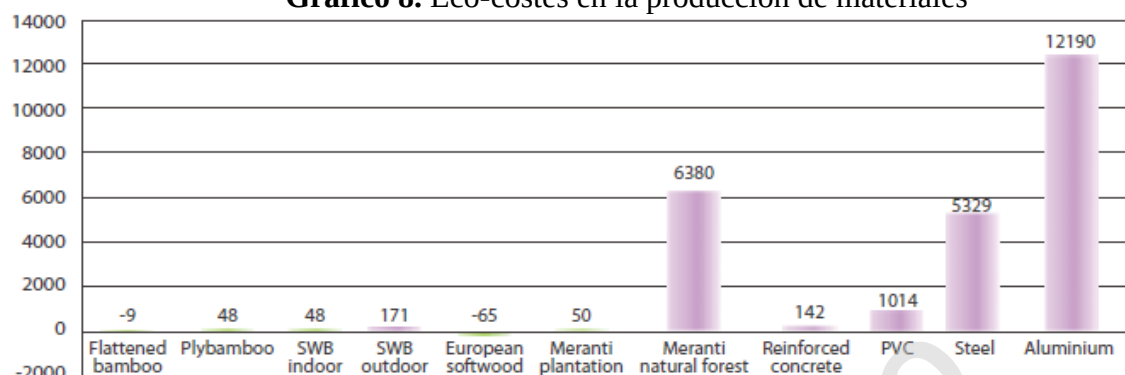
Tabla 13. Tasa de energía para la producción de materiales de construcción.

Material	Unidad	Valor
Bambú	MJ/m ³ por N/mm ²	30
Madera	MJ/m ³ por N/mm ²	80
Hormigón	MJ/m ³ por N/mm ²	240
Acero	MJ/m ³ por N/mm ²	1500

Fuente: Bello & Villacreses, (2021), Energía consumida en los materiales [Tabla]. Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social.

Por ultimo para definir si el bambú puede ser un material sostenible, mediante el ACV (análisis de ciclo de vida) que realiza en el estudio de Moso Bamboo incluyeron los eco-costes, que son una medida para expresar la cantidad de carga medioambiental de un producto sobre la base de prevención de esa carga, es decir, se trata de los costos que deben realizarse para reducir la contaminación ambiental y el agotamiento de materiales en nuestro planeta, a un nivel que esté en armonía con la capacidad de carga de nuestra tierra. Obteniendo un resultado de eco-coste para los paneles laminados (plybamboo) de 48 Euros por m³, en la siguiente tabla se puede apreciar los eco-costes de distintos materiales

Grafico 8. Eco-costes en la producción de materiales



Fuente: Lugt & Vogtlander, (2015). Costos ecologicos de los materiales [Figura] The environmental impact of industrial bamboo products Life.cycle assessment and carbon sequestration.

Concluyendo que, al considerar el resultado del acápite anterior sobre la huella de carbono negativa, la energía que se necesita para la producción de bambú y el eco-coste para reducir la contaminación, el panel de bambú comparado con otros materiales, es un material sostenible para la construcción.

6.2.3.3 Reciclaje

Principalmente, lo ideal es que los materiales utilizados en una vivienda aseguren una durabilidad prolongada, pero hay momentos que es necesario remodelar, demoler o bien el producto instalado ya está deteriorado y se tiene que cambiar por otro. Es aquí donde se debe tener en cuenta el factor de reciclaje y que es lo que se puede hacer con el material, lo ideal que el producto desde su fabricación esté relacionado con el concepto de la economía circular.

La economía circular es un concepto que se relaciona con el crecimiento sostenible de un producto, esto implica diseñar productos, servicios y cadenas de suministro que sean regenerativos, es decir, basados en energía y recursos renovables. Un sistema regenerativo no genera residuos y mantiene los productos y materiales en uso, que también se relaciona con la regla de las 5 erres: reutilizar, reparar, recuperar, reducir y si estas opciones no están disponibles, se debe reciclar o usar como producción de energía. Este tipo de economía tiene como propósito cambiar la producción y el consumo "lineal" de hoy en día, donde los recursos se extraen, es usado y se descartan, este sistema de crecimiento económico de "tomar, usar, desechar" es la causa de la mayoría de los problemas ambientales que ponen en peligro a la sociedad humana y los ecosistemas, que van desde la contaminación plástica y el cambio climático.

En el caso del bambú al igual que la madera cuando se encuentra al final de su vida útil, los productos se pueden reutilizar, reciclar o quemar como energía. Si un producto de

bambú se construye utilizando componentes completamente de base biológica, puede reutilizarse en nuevos productos y eventualmente reciclarse, por ejemplo, como recurso para hacer tableros de aglomerado, palos de bambú, cepillos de dientes, marcos para puertas y ventanas, pudiendo reemplazar materiales abióticos como aluminio. Por otro lado, los productos que incluyen pegamentos o emulsiones se convierten en carbón vegetal, pellets y gas, para su uso como energía de biomasa para crear electricidad verde, de esta manera se reduce el uso de combustibles fósiles, pero se realiza por la razón que los pegamentos actuales no son de base biológica ni biodegradables, trayendo como consecuencia que el compostaje no sea factible.

Figura 18. Ciclo del bambú y sus productos.



Fuente: Moso bamboo, (s.f). bambu compatible con Cradle to Cradle.
Recuperado de <https://www.moso-bamboo.com/es/bambu/sostenibilidad/>

Aunque los productos de bambú tienen un potencial importante para contribuir a la economía circular, un informe de Red Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR) ratifica lo anterior nombrado, ya que identifica una serie de obstáculos para que sean productos totalmente circulares. En particular, el uso de resinas, pegamentos y conservantes artificiales que no sean de base biológica en materiales y compuestos de bambú de ingeniería puede hacer que los productos no sean aptos para reciclar, en cambio, estos productos deben quemarse para obtener energía al final de su vida útil, lo cual es un uso relativamente improductivo dentro de la economía circular. Estas limitaciones actuales a menudo no son aclaradas por las empresas, que comercializan productos de bambú como una alternativa “verde”, sin un intento serio de crear un producto 100% de base biológica. Entonces, hasta que se desarrolle una alternativa de adhesivo biodegradable o de base biológica, el mejor escenario para el "fin de la vida útil" de dichos productos de bambú se limita a la incineración para la producción de energía, siempre que se queme en instalaciones de bioenergía que puedan capturar cualquier vapor nocivo tras la incineración.

7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los paneles o tableros de bambú al no existir en Chile los análisis se tuvieron que orientar en relación a información y datos de otros países, sobre todo con los tableros de Países Bajos producidos con bambú de China, a excepción del factor económico donde gracias al apoyo de un experto en bambú se consiguió el estudio relacionado con el panel experimental del año 2003 en relación a su posible producción, venta y uso nacional.

Durante en análisis de los resultados consistió en evaluar que los tableros de bambú sea un material utilizado en el sector construcción de Chile, bajo requisitos de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), documento emitido por el Ministerio de vivienda y urbanismo (MINVU), de esta forma se puede garantizar que el tablero de bambú sea un producto que cumpla en relación a lo técnico en una solución constructiva.

En cuanto a lo económico el análisis del tablero industrializado de los culmos, destacar sea factible y competidor en el mercado.

Por último, en el tema ambiental destacar el beneficio que tendría utilizar estos tipos de materiales en la construcción, con el foco de que sea en revestimientos interiores.

7.1 Técnicos

7.1.1 Contenido de humedad

En Chile en relación a las normas para evaluar el bambú no hay existencia de regulaciones en el MINVU ni en la OGUC, en efecto porque no es utilizado en el sector de la construcción y no se producen los tableros.

Pero dada la importancia que tiene el contenido de humedad en productos que utilizan materias primas con cualidades higroscópicas, su comportamiento y durabilidad depende tanto del contenido del tablero como las condiciones ambientales.

Como la madera tiene semejanza con el bambú en el comportamiento en relación al contenido de humedad, en el caso de utilizar las cañas se debería considerar las normas establecidas para los productos forestales.

El cual desde un inicio al producir un panel debería existir una norma como la Nch 176/1. Of2003 (ver anexo B. determinación del contenido de humedad), esta describe los procedimiento y ensayo para determinar el porcentaje entre la diferencia del peso antes y después del secado, pero el gran inconveniente que el alcance de la norma no es válido realizarlo para tableros, solo es para maderas aserradas y laminadas, siendo una falencia que existe en Chile en relación a los tableros.

Aparte de ello en la norma colombiana de bambú NTC 5301 menciona que debe estar en un porcentaje de CH en climas tropicales entre 16% y 22% y en climas templados entre 9% y 13%, siendo este último el porcentaje óptimo para usar en la zona centro de Chile ya que contamos con un clima del tipo templado. Por lo tanto, como no existe norma para medir CH en tableros, se relaciona el porcentaje de la NTC 5301, con el requisito de la

OGUC en el capítulo 5.6.8 sobre la humedad que debe tener la madera dependiendo de la zona que se quiera usar estando dentro de los rangos mínimos exigidos según tabla 5 del presente trabajo, de manera que según esos CH el tablero tendría un buen comportamiento y buena durabilidad en relación a la contaminación de hongos o insectos.

7.1.2 Propiedades térmicas

En las propiedades térmicas mediante la investigación bibliográfica se obtiene la conductividad de tres tableros de bambú, al considerar la Nch 853. Of 2007 se pudo comparar con valores de los productos industrializados de madera. Considerando para estos términos la relación proporcional de un material que si tiene baja densidad tendrá baja conductividad, se analiza la tabla N°14 que el bambú laminado plyboo a una densidad menor tiene una mayor conductividad, frente al tablero aglomerado de partículas, siendo así que el de madera aun teniendo densidad superior cuenta con una menor conductividad, por lo tanto, aportaría de mejor forma en una solución constructiva en relación al confort térmico al interior de una vivienda. Características que son potenciales y de gran interés para el diseño de edificios de bajo consumo energético, en el que los tableros de bambú en relación a este aspecto no sobresalen a los otros tableros.

Tabla 14. Conductividad térmica de un tablero de bambú vs tablero de madera

Tipos de tablero	Densidad kg/m ³	Conductividad termica W/mk
Bambu laminado plyboo	636	0,21
Tablero aglomerado de particulas	650	0,106

Fuente: Elaboración propia basado en (Shah et al., 2016) y Anexo A de la Nch 853 Of.2007

Por otra parte, al evaluar el material refiriéndose a las directrices de la OGUC en el Artículo 4.1.10 “Todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se señalan” (Ver anexo D. Tabla 1), es decir, que el tablero de bambú en conjunto con otros materiales de una solución constructiva, en relación a la envolvente de un edificio, deberá cumplir respecto al acondicionamiento térmico de una vivienda, el cual se calcula mediante la Nch 853.Of2007 para obtener la transmitancia.

La transmitancia térmica, es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencias de temperaturas ente los dos ambientes, por ejemplo, T° interior y T° exterior. Se expresa en W/(m² x K)

Ecuación 3. Fórmula para el cálculo de transmitancia térmica

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

- R_{si} : Resistencia térmica de superficie al interior, ($m^2 K/W$).
- R_{se} : Resistencia térmica de superficie al exterior, ($m^2 K/W$).
- e : Espesor del material, (**m**). (es muy importante trabajar en metros).
- λ : Conductividad térmica del material, ($W/(m K)$).

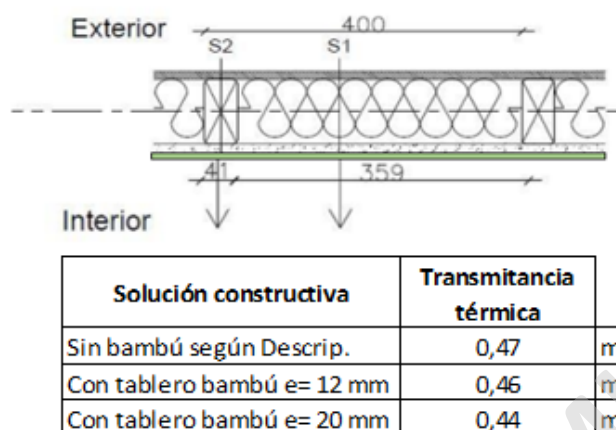
Fuente: Minvu, (2020). Transmitancia Térmica, U ($W/m^2 K$). [Ecuación] Cálculo de transmitancia

Donde el valor “U” de la solución constructiva de un muro tiene que ser, igual o menor a los valores de la Tabla 1 en el anexo 4.1.10, en el caso contrario si la U es mayor, el efecto de aislación térmica es menor.

Antes de realizar el cálculo (Anexo C.), el muro tiene una $U = 0,47 m^2 K/W$ siendo una solución constructiva aprobada por el Minvu, en la que consta de una estructura de madera, en base de pies derechos de $41 \times 90 @ 40$ cm, con una placa arriostraste OSB de 11,1 mm en el exterior y una de yeso cartón de 15 mm en el interior, entre paneles se aísla con lana de vidrio con un espesor nominal de 80mm, conforme a la Figura N°19.

Al agregar un material adicional como el tablero de bambú como revestimiento al yeso cartón y por sus propiedades era evidente que aumentarían las cualidades en relación a lo térmico, resultado para el tablero de mayor espesor $U = 0,44 m^2 K/W$ y de menor espesor $U = 0,46 m^2 K/W$ aportando netamente al confort térmico de la vivienda y siendo una opción para construir de la Zona 1 a la Zona 7.

Figura 19. Solución constructiva MINVU con sus transmitancia a partir de distintos revestimientos interiores.



Fuente: Elaboración propia basado en <https://www.minvu.cl/construccion-en-madera/>

7.1.3 Resistencia al fuego

En cuanto a la resistencia al fuego, el panel de bambú según la información estudiada de investigaciones, tiene aptitudes para este factor y en algunos países como Alemania, España y Países Bajos, está aprobado como material apto para utilizar como revestimiento en relación a la entrega de seguridad, debido al comportamiento que tiene cuando esta frente a la acción del fuego, catalogado según norma Europea C-s2,d0 indica que instalándolo en paredes y techos es combustible con contribución limitada al fuego, produce humos de opacidad media y no ocasiona gotas o partículas inflamadas.

En Chile los materiales no se estudian de esta forma y no existen normas que relacionen la seguridad que entrega el material, a través de un estudio respecto a la cantidad de humo que generan estos elementos, ni si su combustión es rápida o lenta, entre otras características que presentan los elementos en presencia de un incendio. Debido a que la OGUC no determina ensayos ni exigencias para revestimientos, por este motivo sólo hay formas de medir sus características, pero no su obligatoriedad, ya que solo diferencia entre materiales combustible y no combustibles, si son elementos estructurales o no y si estos son de protección pasiva o activa. Es por esto que analizar el tablero de bambú con las normas chilenas se hace prácticamente imposible, se necesitaría que nuevas normas en relación a los humos, generación de goteo y cuanta energía liberan al quemarse.

Pero si bien, es un material aprobado según normas alemanas y españolas hay que realizar la asimilación con lo dictado en Chile según la OGUC y las NCh, en relación al comportamiento que se exige,

En el caso del panel al no existir en Chile y al ser un material nuevo lo ideal es que se realicen pruebas en laboratorios técnicos aprobados, Cita textual “Las características de comportamiento al fuego de los materiales, elementos y componentes utilizados en la

construcción, exigidas expresamente en esta Ordenanza, que no se encuentren incluidas en el Listado Oficial de Comportamiento al Fuego, deberán acreditarse mediante el certificado de ensaye correspondiente emitido por alguna Institución Oficial de Control Técnico de Calidad de los Materiales y Elementos Industriales para la Construcción. Aquellos proyectos que cuenten con un Estudio de Seguridad podrán utilizar materiales, elementos y componentes cuyo comportamiento al fuego se acredite mediante certificado de ensayos expedido por entidades extranjeras, reconocidas internacionalmente y que efectúen los ensayos bajo normas de la Asociación Americana de Pruebas de Materiales – American Society for Testing and Materials (ASTM), de Laboratorios Aseguradores – Underwriter Laboratories (UL) o del Comité de Normas Alemán – Deutscher Normenausschuss (Normas DIN).”

Considerando lo anterior al tener el dato sobre el fuego en el estudio del apartado 6.2.1.3 se realiza por pruebas ASTM y en Alemania está certificado bajo la norma DIN, dato importante porque ya se podría utilizar como material contra el fuego según lo indicado en la OGUC, siempre y cuando el tablero de bambú aporte a la solución constructiva y no aumente las condiciones de fuego al interior de la vivienda, lo ideal para definir como es su comportamiento en una solución constructiva es a través como se indica en la Nch 935/1.Of97. Ya que, si se evalúa en una solución constructiva, mediante la prueba realizada en China, el tablero de bambú a los 11 Min propagaría el fuego, siendo así un F-0 de acuerdo a la siguiente tabla, pero tendría un efecto positivo en una solución constructiva como la estudiada en el factor térmico, por la razón que luego de los 11 minutos pasaría el fuego a calentar el material revestido que sería un yeso cartón y tienen cualidades desde los F-15 hasta los F-180.

Figura 20.Clasificación resistencia al fuego Nch 935/1. Of 97

Los elementos de construcción una vez sometidos al ensayo de resistencia al fuego, se clasifican del siguiente modo, según su duración (ver 8.8.3).

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

Fuente: Minvu (s,f). Nch 935/1 Of. 97 Clasificación de resistencia al fuego en materiales. [Figura]

<https://tipbook.iapp.cl/ak/7ba2f4bd8e4ba3715cad4afabda5061914006c38/embed/view/nch9351#page/18>

7.2 Económicos

7.2.1 Mercado

Los tableros de bambú según el estudio de mercado en el proyecto de FONDEF, tuvo buenos resultados en el sector construcción según sus encuestas, el 100% estaría dispuesto a utilizarlos, un 33% lo usaría en revestimientos para muro, 55% en el comedor, salvo que un 71 % piensa que sería difícil comercializarlo.

Sobre este último porcentaje, si se considera el competidor que puede tener de forma directa es la industria forestal, siendo que su gran tamaño de producción alrededor de 3.381,3 miles de m³ de tableros que tuvo el año 2020, no hay información en Chile para comparar con el mercado del bambú, principalmente porque no hay existencia de empresas que los produzcan, solo lo único que hay reportado fue de manera investigativa y experimental para reconocer su potencialidad. Al contrario, la industria de la madera cuenta con 30 empresas productoras de tableros, de echo los tipos que se producen y puede ofrecer el bambú son menores a los de la madera, porque en su mayoría son solo tableros que se hacen a través de uniones de láminas entregando macizos de monopaca o multicapa, en cambio los otros ofrecen laminados, de virutas y partículas, entregando una mayor opción de elección.

7.2.1 Precio

En relación al precio de tableros de bambú en Chile al no existir industrias nacionales que se encarguen de producir y comercializar no se obtienen precios actualizados, por esta razón tomando como referencia e hipotéticamente el valor definido en la investigación de FONDEF que estaba en el rango de \$15.000 a \$20.000, trayéndolo a la actualidad serian aproximadamente \$43.000, llegando a ser en comparación a los que se comercializan de madera dentro de la media, alejándose de los resultados del año 2003 porque en ese tiempo eran precios mayores a sus competencias.

En el caso de importar tableros el alto valor además del traslado o flete excede a los precios de lista en relación a los tableros de madera y el precio hipotético de los tablero con bambúes chilenos, los de China sin incluir el traslado van desde \$100.900 a 162.000 y España incluyendo el flete, el precio va desde 310.000 a \$1.000.000, como consecuencia, en el caso de utilizar estos tableros elevaría considerablemente los costos en una construcción, cuando por lo general se busca que una construcción sea eficiente en relación a la económico.

7.3 Ambientales

7.3.1 Huella de carbono

El bambú en este aspecto y en los análisis siguientes tienen similitudes en relación a los árboles en cuanto al comportamiento con el medio ambiente, a diferencia que las cañas de bambú suministran 35% más de oxígeno y observen 40 % más de dióxido de carbono.

Los tableros de bambú en relación a otros materiales de construcción como el hormigón y el PVC su liberación de gases de efecto invernadero es considerablemente menor, hasta en algunas ocasiones resultan materiales con huella de carbono negativa, como se demostró en el estudio de Moso bamboo, obteniendo que sus productos, por ejemplo un tablero macizo multicapa obtiene $-0,3150 \text{ Co}_2\text{q/kg}$, podría ser mejor ero el traslado de china a su origen en Países Bajos aporta importantes emisiones al medio ambiente.

Estos productos con huella de carbono negativa son obtenidos mediante un análisis de ciclo de vida (ACV) reconociendo desde que crece el bambú, su posterior procesamiento industrial, traslados, usos y fin de vida útil. Pero el realizar un ACV no significa que cualquiera de como resultado huella de carbono negativa porque por las características del bambú, el cual desde su crecimiento comienza a absorber carbono, luego lo retiene y lo libera al terminar su ciclo.

Con tipos de materiales con estas características instalándolos en las viviendas se puede aportar al medio ambiente y es la razón que se debe impulsar sus usos.

7.3.2 Sostenibilidad

La construcción como principal consumidor de material primas, alrededor de un 60%, representa una problemática actual porque el consumo es 1,4 veces mayor en relación a lo que demoran en recuperarse los recursos naturales.

El bambú destaca en comparación a la anterior, por su rápida tasa de crecimiento obteniendo cosechas para poder producir tableros u otros productos cada 4 – 5 años, incluso diariamente hay registros que pueden crecer hasta 1 metro por día, en relación a los árboles que demoran entre 15 y 20 años un pino radiata, otra característica que al ser una hierba gramínea una vez que se corta no necesita que sea replantado, si no que crece nuevamente sobre el mismo tallo. En China la utilización de este para la producción de tableros sustituye 1.000.000 de m³ y 400.000 m³ en India, además en el proceso el consumo de energías es menor que cualquier otro material 30 MJ/m³ por mm², en cambio la madera necesita 80 MJ/m³ por mm² y el hormigón 240 MJ/m³ por mm², lo que se traduce energía consumida menor es el co₂ que se libera a la atmosfera.

Otro punto importante es en relación a los eco-costes que son valores obtenidos a través de un ACV del producto, dando en el caso de los tableros de bambú un monto de 48 euros por m³ alrededor de \$46.000, es lo necesario para reducir la cara medio ambiental en comparación al aluminio quien requiere más recursos 12.190 euros por m³, equivalentes a \$12.000.000

7.3.3 Reciclaje

Cuando un material es producido se tiene que orientar a que cumplan una economía circular y no una lineal que actualmente predomina la de “Tomar, Usar y Botar”.

El bambú y los productos derivados como los tableros pueden ser reutilizados una vez que finaliza su uso, siempre cuando una vez que se produzcan se utilicen pegamentos en base

a materiales biológicos y no sintéticos como los usados actualmente, porque deja de ser un material totalmente ecológico, con pocas posibilidades de reciclar, limitándose solo a la opción quemarlos para la producción de bioenergía.

En cambio, al utilizar adhesivos biológicos el reciclaje se hace factible, para producir otros productos, por ejemplo, taleros de partículas, molduras para puertas y ventanas reemplazando a los materiales abióticos como el aluminio e incluso podría ser un material biodegradable al término de su uso, de esta forma podría ser un material desde sus inicios relacionado con la economía circular evitaría que se produzcan residuos y que siempre durante el ciclo se sigan aprovechando sus propiedades.

8. CONCLUSIONES

1. La motivación principal de este proyecto de título inicio porque como futuro profesional de la construcción, lo ideal es comenzar a innovar con materiales amigables hacia el medio ambiente.
2. Del desarrollo de esta investigación fue surgiendo la respuesta a la interrogante de que el no uso de tableros de bambú es debido a su ausencia en el mercado chileno. Si bien existen en países de Asia y Europa, no han llegado al mercado nacional, siendo este un gran obstáculo para profundizar en el análisis y desarrollo del proyecto.
3. El tablero de bambú demuestra que es un material con propiedades técnicas similares a las de la madera, que entrega buenas terminaciones, seguridad ante el fuego y propiedades térmicas en una solución constructiva, según requisitos del MINVU.
4. En comparación a los de tableros de madera, los de bambú (basado en datos del extranjero) ofrecen una menor variedad de productos, centrándose solo en laminados que son producidos en monocapa y multicapa, en cambio los paneles de madera se presentan en formatos laminados, partículas, fibras y virutas, de esta forma se encuentran disponibles para cualquier tipo de uso en la industria de la construcción ya sea, para terminaciones o revestimientos y con distintos tipos de colores y formas.
5. El bambú, al contar con propiedades similares a la madera, hace necesario realizar investigaciones de desarrollo y que estén al alcance de todos para poder demostrar que su uso puede beneficiar no solo al medio ambiente, sino que también al desarrollo de una construcción sustentable.
6. Existiendo bambú en Chile, no se manifiesta el interés en producir elementos industrializados como tableros para la construcción, como se indica en la

investigación que se destaca el proyecto de FONDEF, en cuanto a sus estudios podría haber sido un material apto para revestimientos y con una buena recepción en el sector de la construcción, pero principalmente la falta de inversionistas que motiven y consideren estos tipos de productos evitan su desarrollo, siendo solo utilizado de forma rustica o de forma natural para el sector minero en la colocación de explosivos de las tronaduras, y en el sector agrícola para construcciones de invernaderos, sin ninguna intención de agregar valor a las cañas de bambú para sacar provecho a las características que tiene.

7. El bambú (en relación a su contenido de humedad), dada la similitud en el comportamiento con la madera, podría ser un buen material, solo que este depende de que al momento de su producción se realicen los tratamientos y cálculos adecuados sobre el contenido de humedad para poder utilizarlo en las distintas zonas del país.
8. En cuanto a las propiedades térmicas, en primera instancia se pudo determinar que en relación a los tableros de madera a las mismas densidades su conductividad del tablero de bambú es mayor, siendo un punto desfavorable, porque al momento de utilizarlo sería un material con menos características de aislamiento que los de madera, pero estudiando la transmitancia térmica (según lo que exige el MINVU) en una solución constructiva, podría ser un material que aporte y no descuenta en relación a un muro de una vivienda, mejorando la aislación lo que trae como resultado ahorro energético y confort térmico, debido a que la pérdida de calor sería menor.
9. Estudios han demostrado que el tablero bambú tiene buenas condiciones para resistencias al fuego, pero al momento de poder asimilarlo en Chile, se descubre que las normas son muy antiguas (año 1997) y no existen actualizaciones ni requerimientos con relación a materiales nuevos, como también requisitos de resistencia al fuego para revestimientos, si se compara con países como Alemania y España.
10. Económicamente se hace necesario estudiar cómo sería un mercado en Chile, en primera instancia produciendo los tableros en el país, debido a que el presente proyecto fue realizado con un enfoque más hipotético que real. Los datos recopilados se obtuvieron gracias a una investigación antigua (FONDEF 2003) siendo este el único dato que se tiene sobre un tablero de bambú en nuestro país hasta la fecha (valor referencial \$20.000), por lo que se tuvo que simular el valor estimado del 2003, llevándolo a un aproximado más cercano a nuestra situación actual (\$43.000), de esta forma realizando el ejercicio de comparar con los tableros de madera, es un precio dentro de la media. Pero aun así no es muy referencial, ni seguro que su aprobación en el mercado sea aceptable, ni que su precio actual sea realmente el calculado.

11. La importación de paneles no se observa como una alternativa viable, debido a su alto costo; este tendría que ser utilizado en una vivienda muy específica y no sería un uso masificado. Los consumos masivos podrían generar economías de escala y viabilizar su uso
12. Los tableros de bambú son innovadores y llamativos por su beneficio medioambiental, entregando productos con huella de carbono negativa, bajos niveles de consumo de energía en su producción, utilizando materias primas sostenibles debido a su alto nivel de crecimiento.
13. Estos Tableros aportarían al medio ambiente y también al logro de una de las metas que tiene Chile, cual es, llegar a la neutralidad de carbono al año 2050.

9. **BIBLIOGRAFÍA**

- Acciona. (n.d.). *¿En qué consiste la economía circular?* Retrieved July 2, 2020, from <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/>
- Ana Sanchez. (2018, June 23). *Tableros de bambú; usos en la construcción | Maderea*. <https://www.maderea.es/tableros-de-bambu-usos-en-la-construccion/>
- Añazco, & Rojas. (2015). *Estudio de la cadena desde la producción al consumo del Bambú (Guadua angustifolia) en Perú*. 1–180. <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-producciocc81n-al-consumo-del-bambucc81-en-perucc81.pdf>
- Angélica Neumann da Rosa. (2016). *ley guadua*. 23(45), 5–24.
- bambuterra. (2013). <https://bambouterra.wordpress.com/que-es-el-bambu/>
- Bello, J., & Villacreses, C. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Polo Del Conocimiento*, 6(9), 1987–2011. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3152>
- Campos Roasio, J. (2003). *DESARROLLO INTEGRAL DE LA UTILIZACION DE BAMBUSASEAS CHILENAS E INTRODUCIDAS*. <http://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/115171>
- CDT. (2021). *Chile, capital mundial de la madera – Portal CDT*. <https://www.cdt.cl/chile-capital-mundial-de-la-madera/>
- CONAFOR. (2002). *Manual para la construcción sustentable con bambú*.
- Cortés García, F. J. (2020). La economía circular. Ideas claves para la comprensión de un nuevo modelo... (DIGITAL). In *La economía circular*. <https://doi.org/10.32457/isbn9789568454708692020-ed1>
- EcuRed. (2010). *Bambú - EcuRed*. <http://www.ecured.cu/Bambú>
- Figueroa, V., & Sardiña, C. (2009). *Bambú en Chile, posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo*. 1–63.
- FONDEF. (s.f.). *Producto y aplicaciones*.
- FONDEF. (2003a). *Proceso productivo*.
- FONDEF. (2003b). *Tableros Decorativos de Bambú elaborados con la Especie Autóctona de Chile*.
- FONDEF. (2008). *El colihue y la quila salen al mercado | Fondef*. <https://www.conicyt.cl/fondef/2008/04/21/el-colihue-y-la-quila-salen-al-mercado/>
- García, S. (2015). Bambú Como Material Estructural : Generalidades, aplicaciones y modernización de una estructura tipo. *Bambú Como Material Estructural: Generalidades, Aplicaciones Y Modelización De Una Estructura Tipo*, 12(dificultad de transporte), 52.

- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arquitectura_con_bambú.JPG
- Gonzalez, M., Campos, J., & Cabrera, J. (2011). *Templado En Chile*. 189–216.
- GREEMAP. (n.d.). *Tipos de tableros de madera*. Retrieved October 23, 2021, from <https://greemap.es/tableros/tipos-de-tableros-de-madera/>
- Gubia. (2019). *green steel bamboo sustainability sostenibilidad*.
- Guerrero, J., & Garc, R. S. (2017). *Propiedades mecánicas de laminados de bambú guadua angustifolia kunt*. 14–24.
- INBAR. (2018). *Trade Overview 2018*.
- Instituto Forestal. (2021). *Anuario forestal 2021*.
- INTEC, U.Austral, & FONDEF. (2003). *Bambu en chile*. 421(83).
- Katherine Martinez. (2021). *Economía circular*.
- Lugt, P. Van Der, & Vogtlander, J. (2015). *The environmental impact of industrial bamboo products Life.cycle assessment and carbon sequestration* (Issue Technical Report No. 35).
- Medina, M. S. (2020). *Tableros a la medida*. <https://www.madera21.cl/blog/2020/10/16/tableros-a-la-medida-de-lo-requerido-una-revision-de-las-opciones-en-mdf-mdp-osb-y-contrachapado/>
- Mena, J., Vera, S., Correal, J. F., & Lopez, M. (2012). Assessment of fire reaction and fire resistance of Guadua angustifolia kunth bamboo. *Construction and Building Materials*, 27(1), 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.028>
- MINVU. (2020). OGUC. *MINVU*.
- Minvu, M. de V. y U. (2020). *Cálculo de transmitancia Elementos físicos de la envolvente térmica*.
- MMA, MINECON, CORFO, & ASCC. (2020). *CIRCULAR*.
- Moreno Montoya, L., Osorio Serna, L., & Trujillo de los Ríos, E. (2006). Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia. *Ingeniería y Desarrollo*, 20, 125–133.
- MOSO. (n.d.). Retrieved May 27, 2021, from https://www.moso-bamboo.com/es/?lang_selected=true
- Ortiz, G. (2018). *L g o g*.
- Ramírez, A. (n.d.). *La construcción sostenible*. 30–33.
- Reyes, H., Rodríguez, J. ., & Cardona, L. . (2015). Análisis de la electrotransformación de lignina en la guadua “Angustifolia Kunth” del Quindío. *Revista Ciencia En Desarrollo*, 6(1), 55–60.
- Rina, D. C. (2020). *Las casas modulares de bambú que podrían poner freno a la crisis filipina de vivienda*. <https://www.autodesk.com/redshift/es/casas-modulares-bambu/>

- Rodríguez. (2006). El bambú como material de construcción. *Conciencia Tecnológica*, 31, 67–69.
- Rodriguez, C., & Morales, E. (2007). *El bambú como material estructural. Análisis de un caso práctico*. 230. <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/1128?show=full>
- Sc Gabriela Barraza Jáuregui, M., Sc Leslie Lescano Bocanegra, M. C., & Gregorio Ascón Dionicio, I. M. (2015). *Marleni Blas Alvarez Sustentado Y Aprobado Ante El Honorable Jurado*.
- Shah, D. U., Bock, M. C. D., Mulligan, H., & Ramage, M. H. (2016). Thermal conductivity of engineered bamboo composites. *Journal of Materials Science*, 51(6), 2991–3002. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9610-z>
- Soler, P. (2017). Uso del bambú en la arquitectura contemporánea. *Tifig*, 75.
- Takeuchi, C. (2014). bambu laminada. *European Journal of Endocrinology*, 171(6), 727–735. <https://doi.org/10.1530/EJE-14-0355>
- Takeuchi, C. (2016). *Bambú Guadua Laminado - Material Estructural para la Construcción*. 1–12. [https://worldbamboo.net/3cmb2016/Caori Takeuchi.docx.pdf](https://worldbamboo.net/3cmb2016/Caori%20Takeuchi.docx.pdf)

10. ANEXOS

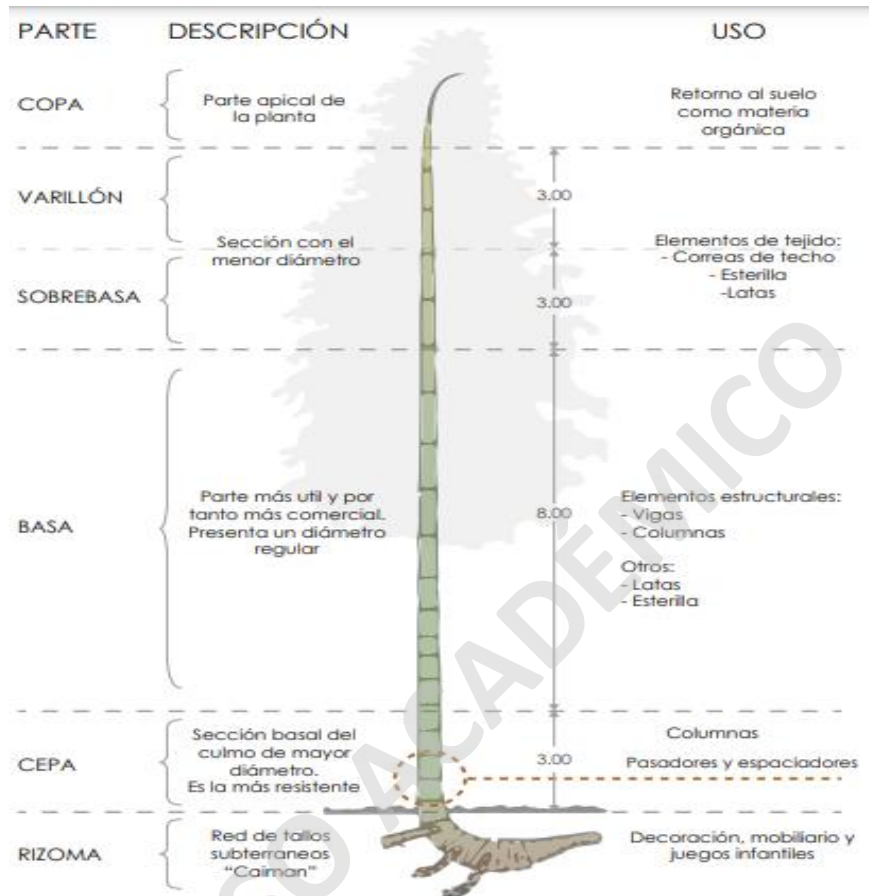
Anexo A. Estructura del bambú

Respecto a la morfología del bambú, estructuralmente está constituido por ejes vegetativos, se pueden distinguir las siguientes partes:

- **Rizoma:** Parte del bambú donde se almacenan los nutrientes. Es también el encargado de la propagación a través de sus ramificaciones
- **Culmo o tallo:** Corresponden a los vástagos que emergen del rizoma y dentro de la familia de los bambusoideas tiene la característica que no aumentara en diámetro a lo largo de la vida de la planta, además su altura máxima la alcanzan dentro de su periodo vegetativo.
- **Hojas, flores y frutos:** Una vez que el culmo termina su crecimiento comienza el crecimiento de las ramas y hojas, sin embargo, “es el culmo el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones”. (Moreno Montoya et al., 2006)

El bambú tiene varios usos, todo producto que se quiera producir mediante este recurso natural depende sobre que parte se va a explotar del culmo, la que tiene un mayor interés es la “BASA” ya que de aquí se puede obtener elementos estructurales como vigas y columnas o bien latas y esterilla que sirven para producir paneles laminados, pero si bien es la parte más comercial, el resto de igual forma tienen un uso como se puede observar en la Figura 2.

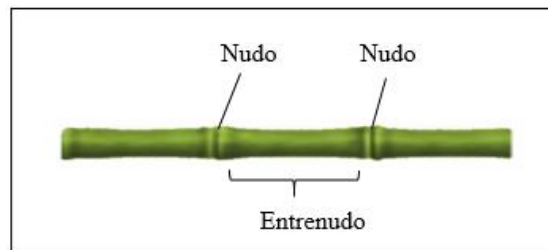
Partes del culmo y sus usos.



Fuente: Minke G. (2010). Partes del culmo y sus usos. [Figura] En manual de construcción con Bambú. (p. 7).

La estructura del bambú forma una serie de nudos y entrenudos alternados, como se muestra en la Figura 3. Por otro lado, en su mayoría son huecos, aunque también existen algunos que son semisólidos y sólidos, esto depende y van variando según la especie.

Ubicación de los nudos en el bambú



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo B. Determinación del contenido de humedad

Norma cedida temporalmente para uso de MINVU
en razón de Convenio de Colaboración y Transferencia MINVU-INN

NORMA CHILENA

NCh176/1.OI2003

Madera - Parte 1: Determinación del contenido de humedad

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Esta norma establece los métodos siguientes para determinar el contenido de humedad de la madera en forma directa: método de secado en estufa y método de destilación. El método para determinar el contenido de humedad de la madera a través del uso de xilohigrómetro se describe en NCh2827.

1.2 Esta norma incluye, en carácter informativo, la determinación del contenido de humedad a través del uso de horno de microondas (ver Anexo A).

1.3 Esta norma se aplica a maderas aserradas y maderas laminadas. Esta norma no se aplica a tableros.

1.4 Esta norma se podrá aplicar a maderas preservadas con las limitaciones indicadas en Anexo B.

Anexo C. Capítulo 5 O.G.U.C

CAPITULO 5 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Artículo 5.5.1. La calidad de los materiales y elementos industriales para la construcción y sus condiciones de aplicación a las obras quedará sujeta a las normas oficiales vigentes, y a falta de ellas, a las reglas que la técnica y el arte de la construcción establezcan.

El control de calidad de los materiales establecidos en el inciso anterior será obligatorio y lo efectuarán los Laboratorios de Control Técnico de Calidad de Construcción que estén inscritos en el Registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, según el decreto N° 10 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del 15.01.02.¹

Artículo 5.5.2. La aplicación de las normas se hará en forma que estimule el uso de materiales y elementos industriales de mejores características técnicas y económicas.

Artículo 5.5.3. No podrán emplearse materiales y elementos industriales de construcción que no reúnan las condiciones y calidades que exige la presente Ordenanza.

Artículo 5.5.4. El Presidente de la República podrá prohibir el comercio de los materiales y elementos de construcción a que se refiere el artículo anterior y, previo informe de la División Técnica de Estudios y Fomento Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, ordenar el decomiso consiguiente sin perjuicio de las demás sanciones que sean procedentes.

Artículo 5.5.5. El Director de Obras Municipales podrá disponer que se determine la calidad de los materiales o elementos industriales de construcción, mediante ensayos o análisis que serán de cargo del fabricante, del constructor o del propietario.

Artículo 5.5.6. El hecho comprobado de emplearse materiales o elementos industriales de construcción que no cumplan con las estipulaciones de esta Ordenanza, quedará sujeto a multa, sin perjuicio que se ordene la paralización o la demolición de las obras en ejecución por el Juez competente.²

¹ Modificado por D.S. 177 – D.O. 25.01.03, reemplaza inciso 2°.

² Modificado por D.S. 75 – D.O. 25.06.01, sustituye artículo.

ENERO 2003

CONST. 5-1

TITULO 5: DE LA CONSTRUCCION

CAPITULO 6

Artículo 5.5.7. Las Normas Técnicas Oficiales que se citan expresamente en esta Ordenanza serán obligatorias en tanto no contradigan sus disposiciones.

La aplicación y cumplimiento de las Normas Técnicas Oficiales a que se alude en el inciso precedente, será de responsabilidad de los profesionales competentes y del propietario de la obra.¹

Anexo D. Capítulo 4.1.10 Acondicionamiento térmico

Artículo 4.1.10. Todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se señalan a continuación:

1. COMPLEJOS DE TECHUMBRE, MUROS PERIMETRALES Y PISOS VENTILADOS:

A. Exigencias:

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica "U" igual o menor, o una resistencia térmica total "Rt" igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

TABLA 1

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m²K	m²K/W	W/m²K	m²K/W	W/m²K	m²K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

2. Muros:

Para la aplicación del presente artículo se considerará complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para muros serán las siguientes:

- a) Las exigencias señaladas en la Tabla 1 del presente artículo, serán aplicables sólo a aquellos muros y/o tabiques, soportantes y no soportantes, que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos y no será aplicable a aquellos muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.
- b) Los recintos cerrados contiguos a una vivienda, tales como bodegas, leñeras, estacionamientos, invernadero, serán considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación, y sólo les será aplicable las exigencias de la Tabla 1 a los paramentos que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.
- c) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tales como pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- d) En el caso de la albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh 2123, no será exigible el valor de U de la Tabla 1 en los elementos estructurales, tales como pilares, cadenas y vigas.
- e) En el caso de que el complejo muro incorpore materiales aislantes, la solución constructiva deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada.
- f) En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberá considerarse como superficie de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas al exterior de otros materiales no tienen exigencias de acondicionamiento térmico.

Anexo E. Calculo de transmitancia térmica.

- Muro sin revestir con tablero de bambú

RESISTENCIAS SUPERFICIALES

Resistencia Termica Superficial Interior	Rsi	0,12	m2 K/W
Resistencia Termica Superficial Exterior	Rse	0,05	m2 K/W

MATERIAL

Nombre	Espesor (m)	Conductividad Termica W/mk	Resistencia Termica de cada Material	
Yeso Carton (870 kg/m3)	0,015	0,31	0,05	m2 K/W
Lana de vidrio (11 kg/m3)	0,08	0,042	1,90	m2 K/W
Madera pino insgne	0,09	0,104	0,87	m2 K/W
OSB (690 Kg/m3)	0,0111	0,106	0,10	m2 K/W

RESISTENCIA TERMICA CAMARA DE AIRE NO VENTILADA	Rg1 =	0,14	m2 K/W
---	-------	------	--------

RESISTENCIA TERMICA TOTAL	Rt1=	2,37	m2 K/W
	Rt2=	1,19	m2 K/W

TRANSMITANCIA TERMICA	U1=	0,42	W/m2K
	U2=	0,84	W/m2K

CALCULO AREAS

Aislante	S1=	359/400	0,90
Puente Termico	S2=	41/400	0,10

TOTAL TRANSMITANCIA TERMICA	Up=	0,47	W/m2K
-----------------------------	-----	------	-------

- Transmitancia con revestimiento tablero de bambú e= 12 mm

RESISTENCIAS SUPERFICIALES

Resistencia Termica Superficial Interior	Rsi	0,12	m2 K/W
Resistencia Termica Superficial Exterior	Rse	0,05	m2 K/W

MATERIAL

Nombre	Espesor (m)	Conductividad Termica W/mk	Resistencia Termica de cada Material	
Panel de Bambú	0,012	0,35	0,03	m2 K/W
Yeso Carton (870 kg/m3)	0,015	0,31	0,05	m2 K/W
Lana de vidrio (11 kg/m3)	0,08	0,042	1,90	m2 K/W
Madera pino insgne	0,09	0,104	0,87	m2 K/W
OSB (690 Kg/m3)	0,0111	0,106	0,10	m2 K/W

RESISTENCIA TERMICA CAMARA DE AIRE NO VENTILADA	Rg1 =	0,14	m2 K/W
---	-------	------	--------

RESISTENCIA TERMICA TOTAL	Rt1=	2,40	m2 K/W
	Rt2=	1,22	m2 K/W

TRANSMITANCIA TERMICA	U1=	0,42	W/m2K
	U2=	0,82	W/m2K

CALCULO AREAS

Aislante	S1=	359/400	0,90
Puente Termico	S2=	41/400	0,10

TOTAL TRANSMITANCIA TERMICA	Up=	0,46	W/m2K
-----------------------------	-----	------	-------

- Transmitancia con revestimiento tablero de bambú e= 20 mm

RESISTENCIAS SUPERFICIALES

Resistencia Termica Superficial Interior	Rsi	0,12	m2 K/W
Resistencia Termica Superficial Exterior	Rse	0,05	m2 K/W

MATERIAL

Nombre	Espesor (m)	Conductividad Termica W/mk	Resistencia Termica de cada Material	
Panel de Bambú	0,02	0,21	0,10	m2 K/W
Yeso Carton (870 kg/m3)	0,015	0,31	0,05	m2 K/W
Lana de vidrio (11 kg/m3)	0,08	0,042	1,90	m2 K/W
Madera pino insgne	0,09	0,104	0,87	m2 K/W
OSB (690 Kg/m3)	0,0111	0,106	0,10	m2 K/W

RESISTENCIA TERMICA CAMARA DE AIRE NO VENTILADA

Rg1 =	0,14	m2 K/W
-------	------	--------

RESISTENCIA TERMICA TOTAL

Rt1=	2,46	m2 K/W
Rt2=	1,28	m2 K/W

TRANSMITANCIA TERMICA

U1=	0,41	W/m2K
U2=	0,78	W/m2K

CALCULO AREAS

Aislante
Puente Termico

S1=	359/400	0,90
S2=	41/400	0,10

TOTAL TRANSMITANCIA TERMICA

Up=	0,44	W/m2K
-----	------	-------