

Muro panel térmico estructural compuesto en guadua y cartón

Modelo experimental aplicado al clima de la zona cafetera

Renato Cassandro-Cajiao

Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia)

Facultad de Diseño

Maestría en Diseño Sostenible

Cassandro-Cajiao, R. (2018). Muro panel térmico estructural compuesto en guadua y cartón. Modelo experimental aplicado al clima de la zona cafetera. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 20(2), 90-109. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.2.2116>

<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.2.2116>



Arquitecto, Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia).
Magíster en Diseño Sostenible, Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia).

Docente del Programa de Arquitectura, Facultad de Diseño, Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia).

<https://orcid.org/0000-0001-8064-4655>

rcassandro@ucatolica.edu.co

Resumen

Se propone un prototipo de panel compuesto, tipo SIP (Structural Insulated Panel), panel térmico estructural, como muro envolvente de vivienda, elaborado con materiales de origen natural renovables, específicamente guadua y cartón reciclados. El panel se compone de dos tableros externos OSB (Oriented Strand Board), tablero de virutas orientadas, y un aislante intermedio de cartón. En el estudio se elaboran dos modelos SIP experimentales con procesos de fabricación diferentes, los cuales son analizados y comparados con cuatro referentes comercializados a nivel mundial. Todos los paneles son simulados térmica y acústicamente en condiciones climáticas y meteorológicas de la ciudad de Pereira (Risaralda), con el fin de evaluar y comparar los resultados, lo que demuestra la viabilidad y competitividad del panel propuesto. Este estudio espera servir, además, como referencia de futuras investigaciones en la búsqueda de mejores materiales sustentables para la construcción.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, contaminación ambiental, materiales de construcción, panel OSB, panel SIP, recursos forestales, sostenibilidad ambiental.

Structural thermal panel wall composed of bamboo and cardboard. Experimental model applied to the climate of the Coffee Region

Abstract

This paper proposes a SIP (Structural Insulated Panel) type composite panel prototype, a structural thermal panel, as a building envelope wall made of renewable natural materials, specifically bamboo and recycled cardboard. The panel consists of two external OSB (Oriented Strand Board) boards, oriented chipboard, and an intermediate cardboard insulation. In the study, two experimental SIP models are developed, using different manufacturing processes, which are analyzed and compared with four commercial references worldwide. All the panels are simulated thermally and acoustically in the climatic and meteorological conditions of the city of Pereira (Risaralda), in order to evaluate and compare the results, demonstrating thus the viability and competitiveness of the proposed prototype. In addition, this study aims to serve as a reference point for future research in the search for better sustainable construction materials.

Keywords: Life-cycle analysis, environmental contamination, construction materials, OSB panel, SIP panel, forest resources, environmental sustainability.

Muro painel térmico estrutural composto de bambu e papelão. Modelo experimental aplicado ao clima da zona cafeeira

Resumo

Propõe-se um protótipo de painel composto, tipo SIP (Structural Insulated Panel), painel térmico estrutural, como muro envolvente de moradia elaborado com materiais de origem natural renováveis, em específico bambu e papelão reciclado. O painel está composto de duas placas externas OSB (Oriented Strand Board), placas de aparas orientadas e um isolante intermediário de papelão. Neste estudo, foram elaborados dois modelos SIP experimentais com processos de fabricação diferentes, os quais são analisados e comparados com quatro referentes comercializados no mundo inteiro. Todos os painéis são simulados térmica e acusticamente em condições climáticas e meteorológicas da cidade de Pereira (Colômbia), a fim de avaliar e comparar os resultados, o que demonstra a viabilidade e competitividade do proposto. Este estudo espera servir, além disso, como referência para futuras pesquisas na busca de melhores materiais sustentáveis para a construção.

Palavras-chave: análise de ciclo de vida, poluição ambiental, materiais de construção, painel OSB, painel SIP, recursos florestais, sustentabilidade ambiental.

Recibido: mayo 23 / 2018

Evaluated: julio 30 / 2018

Aceptado: agosto 13 / 2018

Introducción

El contexto

Este artículo presenta los resultados de la investigación “Muro panel compuesto en guadua para vivienda” realizada como trabajo de grado para optar por el título de magíster en Diseño Sostenible de la Universidad Católica de Colombia, adscrito a la línea de Diseño y Tecnología. El proyecto se realizó entre los años 2015 a 2017, y su objetivo principal fue desarrollar un modelo de muro panel compuesto elaborado a partir de materiales de origen natural renovable, como elemento envolvente o muro exterior para la vivienda en zona tropical cálida.

El continuo crecimiento de la población mundial y su demanda de vivienda hace que su construcción sea un tema de investigación constante en la búsqueda de optimizar los materiales referidos a la resistencia, durabilidad, funcionalidad, economía, bajo impacto ambiental y consumo energético en su ciclo de vida.

Reemplazar los materiales convencionales de la construcción de vivienda por materiales naturales renovables como la guadua, en lugares donde existen cultivos y producción, es una alternativa tangible de sostenibilidad social y económica, ya que su industrialización tendrá beneficios, como la generación de empleo, y bajos costes de construcción habitacional con confort interior.

La importancia de este árbol o gramínea en la construcción y la industria en Colombia es evidente y con futuro promisorio. Según afirman el ingeniero Edgar Giraldo (2003, p. 19) y Mejía, et al. (2009), “en Colombia aproximadamente 100.000 personas derivan su sustento del aprovechamiento, manejo y comercialización de la Guadua”. Sus beneficios van desde su plantación como la mejor captadora de contaminantes de CO², hasta su generación de oxígeno, rápido crecimiento y multiplicidad de aplicaciones (construcción, textilería, ornamentación y medicina).

Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) son las entidades encargadas de velar por el cuidado y aprovechamiento de los recursos naturales, por medio del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015), y el Estatuto Forestal de la región el cual reglamenta los aprovechamientos de esta y de otras especies. En este caso, la entidad reglamenta el manejo sostenible de la guadua desde sus plantaciones hasta la ejecución de proyectos que permitan su desarrollo con beneficio económico y social para la región donde existe la mayor cantidad de plantacio-

nes, es decir, el eje cafetero, que comprende los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, Tolima y Valle del Cauca (Mejía y Moreno, 2013).

De acuerdo con una visita de campo realizada a mediados de junio del año 2017 a las fábricas o industrias de Induguadua en la Tebaida, y Armeideas en Guadua en Calarcá, localizadas en la zona cafetera, se pudo evidenciar que el porcentaje de residuos resultantes oscilaban entre un 30 a 40%, constatando que en la mayoría de los casos estos son utilizados como combustible para el proceso de secado de la misma guadua o la elaboración de carbón, lo que produce gran cantidad de CO² y contamina aún más el ambiente. Por tal razón, es prioritario proponer alternativas de utilización de los residuos que no contaminen y se aprovechen sus grandes cualidades físicas, mecánicas y estéticas para una diversidad de usos.

La situación mundial por el cambio climático, la contaminación ambiental y el aumento de la población obliga a la búsqueda permanente de alternativas y soluciones más eficientes de sostenibilidad, vistas desde su proceso de producción, fabricación, utilización y reciclaje, hasta la reducción de consumo energético, con la mínima producción de emisiones de CO² y otros gases contaminantes.

El impacto ambiental y consumo energético de los materiales convencionales para la construcción, como cemento, concreto, arcilla y PVC, representa una de las grandes preocupaciones mundiales, lo que hace necesario repensar la arquitectura de la edificación volviendo a sus orígenes en el sector de la construcción, utilizando materiales locales con bajos costos energéticos y un mínimo impacto ambiental.

En la historia de Colombia, en los asentamientos informales de la población en torno a las ciudades principales, la guadua ha tenido –y sigue teniendo– una presencia constante y representativa, siendo uno de los motivos que dio paso al despectivo término de madera de pobres (Colorado, s.f).

La idea generalizada que la guadua no ofrece seguridad para construcciones complejas y que su uso debía limitarse únicamente a viviendas de tipo popular caló de tal forma en los arquitectos e ingenieros, que durante años desconocieron testimonios históricos que hablaban de una tradición que se desarrolló desde finales del siglo XIX, en la que fue precisamente el bambú el material preferido para construir y contrarrestar los sismos que sacudían la región cafetera y otras zonas de similares condiciones en el país (párr. 32).

Hoy por hoy se puede afirmar que estos antecedentes despertaron en profesionales, técnicos, investigadores y cultivadores una visión futurista



Este artículo está disponible en inglés en la página web de la Revista de Arquitectura

<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.2.2116>

Structural thermal panel wall composed of bamboo and cardboard.
Experimental model applied to the climate of the Coffee Region



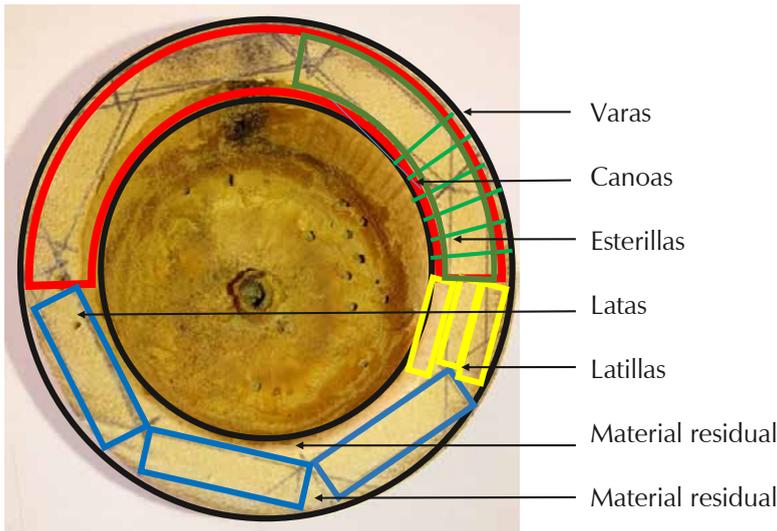


Figura 1. Elementos extraídos para la construcción
Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.

de proyección hacia el aprovechamiento de este recurso natural, renovable y sostenible, que hace urgente su materialización en proyectos puntuales.

La investigación se enfocó en el aprovechamiento de la guadua, la cual crece en condiciones climáticas específicas de zona tropical, de temperatura cálida templada, que configuran una parte representativa del territorio colombiano. Es utilizada en la construcción por sus óptimas propiedades físicas y técnicas, tanto que desde la época prehispanica (con la especie nativa "guadua angustifolia") fue protagonista en la construcción de la vivienda de pequeñas poblaciones y zonas periféricas de las ciudades (Varela y Chaviano, 2013). La guadua, en su proceso de transformación para la fabricación de varas, canoas, latas, latillas o fibras, produce un gran porcentaje de residuos, que generalmente son utilizados como combustible o transformados en carbón vegetal, lo que genera mayor contaminación ambiental.

La envolvente de una edificación tiene como función principal mantener un aislamiento térmico constante y comprende todos los elementos que dividen o separan el exterior del interior; su propósito fundamental es mantener el clima de confort interno promedio entre 18 y 20 °C.

El objetivo específico de investigación fue aprovechar este material residual resultante, que significa aproximadamente el 40% del total de la guadua (Figura 1), y transformarlo en virutas u hojuelas para la fabricación de los tableros OSB (Oriented Strand Board), de acuerdo con la normativa internacional (Garay y Damiani, 2013), a fin de constituir las superficies externas principales de un panel SIP (Structural Insulated Panel) o panel térmico estructural (Cárdenas, *et al.*, 2015) (Figura 2), conformado por un aislante intermedio en cartón reciclado para que pueda ser utilizado como envolvente de la vivienda en la región cafetera, y con esto reemplazar materiales convencionales y, a su vez, ofrecer una alternativa sostenible.

El panel compuesto SIP

La industrialización de productos a base de madera residuo o deshecho ha resuelto muchos

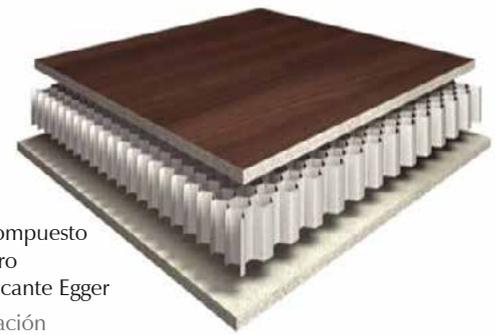


Figura 2. Panel compuesto de construcción ligero "Eurolight", del fabricante Egger
Fuente: Egger Inspiración Eurolight (2016, p. 3).

problemas de déficit de materia prima a nivel mundial, y ha abierto la oportunidad de incrementar sus aplicaciones, exaltando cualidades como el alto coeficiente de resistencia y las propiedades térmicas, lo que se refleja en el crecimiento de su producción de 12 millones de m³ en 1950, a 125 millones de m³ en la actualidad (Fernández, 1993). Uno de estos productos son los tableros OSB, conocidos como tableros de virutas cruzadas.

Estos tableros son un producto relativamente nuevo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en su base de datos estadísticos posee cifras mundiales sobre los OSB, que muestran un crecimiento del 7% en la producción y comercialización en el año 2015 con respecto al año anterior, debido a la cada vez mayor tendencia a la producción eco-sostenible (FAO, 2016). Pese a esto, en Colombia no hay producción de tableros OSB, y la demanda es muy baja, probablemente debido a la falta de conocimiento como alternativa constructiva y a los procesos de industrialización. La experiencia en otros países demuestra que estos tableros son una alternativa real, sostenible y eficiente para la construcción liviana, rápida y resistente.

Actualmente, los materiales de un tipo de panel compuesto SIP (panel de aislamiento estructural o paneles estructurales térmicos), están constituidos por dos tableros externos fabricados con hojuelas o virutas de pino o abeto (OSB), prensadas y unidas mediante adhesivos químicos y orientadas en el sentido longitudinal, y por dos internas, cruzadas en el sentido perpendicular (Figura 3). Adicionalmente, se componen de un núcleo interno como aislante térmico, generalmente en poliestireno (Arquigráfico, 2016).

El tablero OSB se comercializa generalmente en formato de 244x122 cm (8x4 ft) y espesor entre 7 y 18 mm, sus usos principales en la construcción son como bases de cubiertas, vigas, viguetas, pisos, escaleras, paneles para muros exteriores e interiores, entre otros.

Los OSB, de acuerdo con sus características y especificaciones, se clasifican en cuatro grupos, reconocidos por sus fabricantes a nivel mundial;

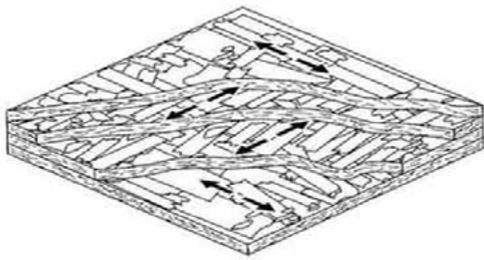


Figura 3. Orientación cruzada de virutas en el tablero OSB

Fuente: Arquigráfico (2016).

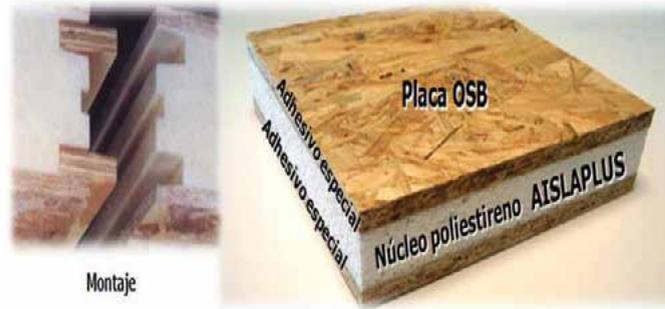


Figura 4. Sistema SIP, componentes

Fuente: Klasspanel (s. f.).

el OSB-3, desde el punto de vista del consumo, se ha estandarizado para el uso específico de panel como muro envolvente, y es el usado para esta investigación. A continuación se describen los usos de los cuatro grupos:

OSB-1. Uso interior, básicamente mobiliario. Se trata de la gama más básica y su comercialización actualmente es muy reducida.

OSB-2. Aplicaciones de carga en ambientes secos.

OSB-3. Aplicaciones de carga en ambientes relativamente húmedos, es el tipo de tablero más utilizado y el que mejor relación calidad-precio tiene.

OSB-4. Altas prestaciones de carga en ambientes relativamente húmedos (Santana, 2015).

El aislante interno más utilizado en los paneles SIP es la lámina EPS (poliestireno expandido) que está constituido por 98 % aire y 2 % poliestireno. La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su conductividad térmica, su unidad es $W/(m \cdot K)$ y depende de la densidad (kg/m^3) del material. Por tanto, la conductividad térmica es mayor en láminas con bajas densidades, disminuye a medida que aumenta la densidad y alcanza un mínimo por encima de los $30 kg/m^3$ (Grupo Isotex, 2015).

El poliestireno expandido no tiene límite de temperatura baja, la temperatura máxima permisible depende del tiempo de exposición (Figura 4). En el caso de exposición corta puede soportar temperaturas mayores a $100^\circ C$. Sin embargo, por un periodo largo tiende a deformarse y perder su rigidez.

Metodología

La investigación fue realizada teniendo en cuenta, en primera instancia, los antecedentes y productos similares que existen hoy en el mercado, utilizando un método experimental-descriptivo y considerando características específicas del panel aplicadas a un lugar y clima determinados, los cuales son simulados de manera virtual por medio de *software* térmico y acústico, que indican su desempeño; adicionalmente, se realizaron pruebas de laboratorio complementarias a

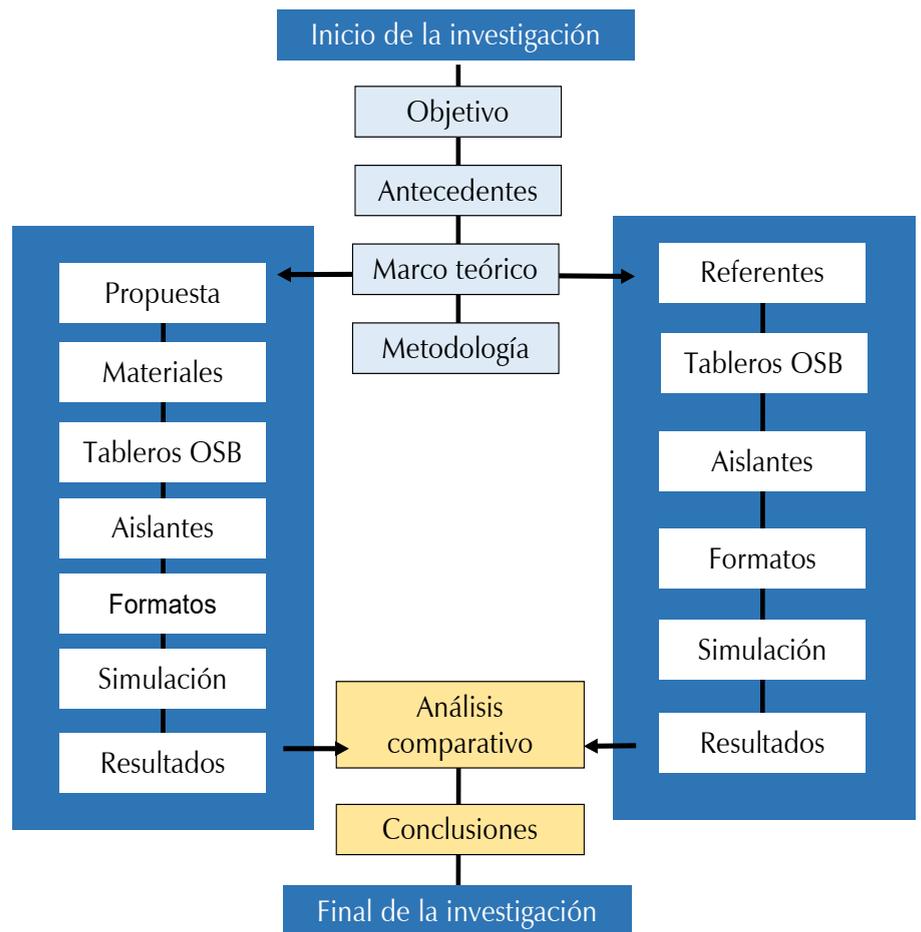


Figura 5. Mapa conceptual del desarrollo de la investigación
Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.

los modelos propuestos, con resistencia al esfuerzo horizontal y vertical, y absorción acústica.

Es importante aclarar que el alcance de la investigación se limita a la realización de modelos probeta que permiten evaluar el comportamiento térmico, acústico, peso y resistencia horizontal y vertical, para ser comparados con los valores indicados en las fichas técnicas que describe cada fabricante, de acuerdo con la normatividad de su país de origen (Apa's Corporate, 2015). Esto, sin tener en cuenta la totalidad de las características del producto final, lo cual requeriría mayor cantidad de tiempo y recursos económicos.

De acuerdo con la Figura 5, correspondiente al mapa conceptual del desarrollo de la investigación, se llevaron procesos paralelos entre los referentes y las propuestas, de tal modo que direccionaran los ajustes o inconvenientes de la propuesta.

Procedimiento experimental

1. Selección de cuatro referentes que se muestran en la Tabla 1. Estos fueron definidos de acuerdo con varios aspectos: la similitud entre ellos, en cuanto a sus dimensiones referidas al espesor total de aproximadamente 100 mm, a los materiales de los tableros (madera aglomerada) y al uso específico del panel como pared exterior o envolvente de la edificación (objetivo del modelo propuesto); adicional a esto, que estuvieran dentro de la mayor representación comercial a nivel internacional.
2. Realización de las simulaciones térmica y acústica de cada referente (Tabla 2), por medio de los *software* Therm 7.5 y DBK AISLA 3.01, tomando como datos climáticos los de la ciudad de Pereira (Risaralda), la cual fue seleccionada por ser una de las mayores cultivadoras y consumidoras de guadua para sus construcciones en la zona cafetera de Colombia, con avances tecnológicos, sociales y ambientales de la región. Y en cuanto a las características térmicas del producto, se tomaron los datos de las fichas técnicas, que a su vez corresponden a tablas homologadas y estandarizadas a nivel internacional, referentes a las propiedades térmicas de los materiales de construcción (Arquimaster, s.f.).
3. Elaboración de dos modelos experimentales con el apoyo de las empresas Muiskey SAS en Bogotá y Primadera SAS en Gachancipá (Cundinamarca) para la elaboración de los tableros OSB con viruta de guadua, siguiendo las características generalizadas de los referentes en cuanto a dimensiones y espesores, y utilizando los materiales básicos propuestos de viruta de guadua y cartón reciclado.
4. Simulaciones térmicas y acústica por medio de los *software* Therm 7.5 y DBK AISLA 3.01, para los modelos experimentales, con los datos climáticos de Pereira (Risaralda).
5. Ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión y acústica de los dos modelos propuestos.
6. Elaboración de cuadros comparativos, con los resultados obtenidos en las simulaciones tanto de los referentes como de los modelos experimentales.
7. Resultados y discusión. Análisis comparativo del comportamiento térmico y acústico.
8. Conclusiones.

Resultados

Referentes

Se parte del marco teórico construido desde la documentación y fuentes bibliográficas sobre los paneles SIP (compuestos de tableros OSB y aislante intermedio), así como de sus antecedentes históricos, materiales, características técnicas y clasificación de acuerdo con las especificaciones que rigen a nivel internacional.

Se seleccionan los cuatro referentes más representativos en el mercado internacional (Tabla 1) teniendo en cuenta solo las características (espe-

sores, dimensiones, materiales, peso, resistencia y transmisión térmica) y usos similares al propuesto en la investigación. Los datos de cada panel SIP, necesarios para la simulación, fueron obtenidos de las especificaciones y fichas técnicas de cada fabricante, donde generalmente se informa el valor U (transmisión térmica) y $R = 1/U$ (resistencia térmica), mediante tablas de conocimiento y aplicación a nivel mundial (Arquimaster, s.f.; Vagge y Czajkowski, 2012), también indicando su espesor total y la composición.

La transmitancia térmica total del panel SIP es el resultado de la sumatoria de los valores de sus componentes, de acuerdo con: tablero exterior OSB + aislante + tablero interior OSB.

Se recopilan los datos térmicos principales de cada panel SIP, necesarios para la simulación, los cuales fueron obtenidos de las especificaciones y fichas técnicas de cada fabricante, donde la característica generalizada es la utilización de un aislante en poliestireno y dos tableros OSB, fabricados con virutas de pino y abeto.

Para el análisis y las simulaciones se tuvieron en cuenta las temperaturas máximas y mínimas con promedio anuales, además de precipitación y humedad relativa, datos extraídos del Ideam y de Meteonorm de la ciudad de Pereira. Cabe resaltar que se busca una única condición físico-espacial de muro, con relación exterior e interior (adentro-afuera), sin tener en cuenta espacio o ambiente alguno, ya que contaría con variables de toda índole como: tipo de terreno, cubierta, nivel de fenestración, etc., y el propósito aquí presentado es considerar el aporte individual que tendría el panel específicamente.

La humedad relativa promedio anual del 76,5% y promedio lluvias 228 días/año, son factores que inciden directamente en los valores de la resistencia del panel a la humedad (Weather Atlas, 2016). Para ello los paneles de los referentes están categorizados como los tableros OSB/3 (según la Norma Europea UNE – en 300), diseñados para funcionar en lugares húmedos y que básicamente se refieren al producto adhesivo con acción impermeabilizante, con el cual se fabrican los tableros de fachada o envolventes. Se tuvieron en cuenta además los datos de resistencia, espesor y peso por metro cuadrado de los paneles referentes, de manera tal que se puedan comparar con los modelos experimentales.

Simulación térmica de los referentes

Los resultados obtenidos en los cuatro referentes, sin considerar puentes térmicos ya que el panel pretende ser adaptado a estructuras existentes o particulares de diferente característica, presentan variables mínimas debido a su constitución similar. Su diferencia de temperatura interior de acuerdo con la condición externa nos indica valores de confort con diferencias promedio de 2,1 a 2,8 °C en las temperatura bajas o mínimas, y una disminución promedio de 3,2 a 4,0 °C en las temperaturas altas o máximas (Tabla 2).

Características referentes paneles SIP		
1. DESCRIPCIÓN	PANEL 1	PANEL 2
1.1 Fabricante	THERMOCHIP. By Cupa Group.	HEMSEC SIPS. Structural Insulated Panel
1.2 País	España	Inglaterra
1.3 Referencia producto	OSB(TOH)	PANEL THICKNESS - RESIDENTIAL
1.4 Imagen		
1.5 Página web	www.thermochip.com/empresa/sobre-nosotros/	www.hemsecsips.com/products-SIP_Residential.html
2. COMPOSICIÓN		
2.1 Formato en milímetros	2440 x 600	2440 X 1200
2.2 Composicion panel tricapa	Osب + Poliestireno + Aglomerado hidrofugo	Osب + Espuma rígida + Osب
2.2.1 Tablero interno	Osب 15 mm	Osب 11 mm
2.2.2 Aislante intermedio	Poliestireno extruido 80 mm y densidad de 30 kg/m ³	Espuma rígida poliuretano 103 mm, no indica densidad
2.2.3 Aislante externo	Agglomerado hidrofugo 16 mm	Osب 11 mm
2.4 Espesor total en milímetros	111 mm	125 mm
3. ESPECIFICACIONES		
3.1 Peso total panel x m ²	19,17 kg/m ²	18,57 kg/m ²
3.2 Carga vertical máxima	1435 kg/m ²	No indica
3.3 Carga horizontal máxima	345 kg/m ²	No indica
3.4 Transmisión térmica. U total	0,360 W/M ² k	0,260 W/m ² K

Características referentes paneles SIP		
1. DESCRIPCIÓN	PANEL 3	PANEL 4
1.1 Fabricante	THE WALL. Structural Insulated Panel	LP. Building Product
1.2 País	Estados Unidos	Chile
1.3 Referencia producto	PANEL OSB-OSB	PANEL SIP TÉRMICO ESTRUCTURAL
1.4 Imagen		
1.5 Página web	http://www.thewall.cl/index.php?route=product	https://lpchile.cl/es-ES/producto/otros/lp-panelsip
2. COMPOSICIÓN		
2.1 Formato en milímetros	1220X2440	1220X2440
2.2 Composicion panel tricapa	Osب + Poliestireno + Osب	Osب + Poliestireno + Osب
2.2.1 Tablero interno	Osب 11,1 mm	Osب 9,5 mm
2.2.2 Aislante intermedio	Poliestireno expandido 92 mm y densidad de 15 kg/m ³	Poliestireno expandido 76 mm y densidad de 15 kg/m ³
2.2.3 Aislante externo	Osب 11,1mm	Osب 9,5 mm
2.4 Espesor total en milímetros	114 mm	95 mm
3. ESPECIFICACIONES		
3.1 Peso total panel x m ²	16,12 kg/m ²	15,12 kg/m ²
3.2 Carga vertical máxima	No indica	1356 kg/m
3.3 Carga horizontal tal máxima	NO indica	397 kg/m
3.4 Transmisión térmica. U total	0,364 W/m ² K	0,515 W/m ² K (1,94 m ² /w = resistencia térmica)*

Tabla 1. Características referentes paneles SIP

Fuente: elaboración propia, 2017.

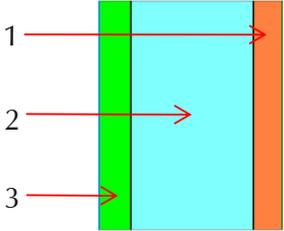
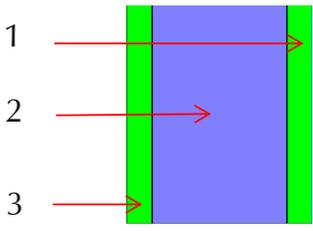
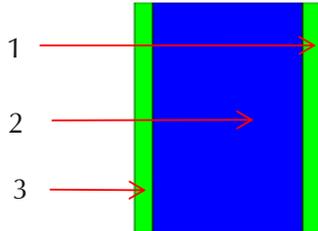
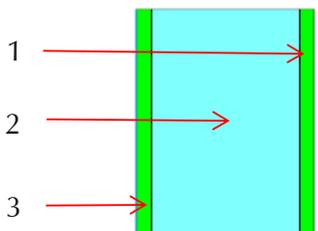
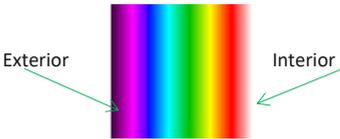
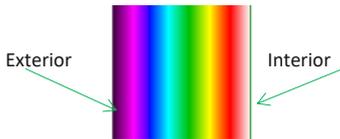
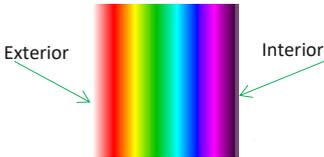
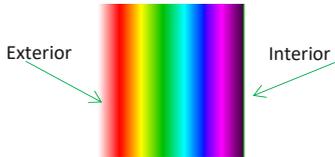
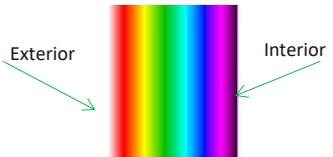
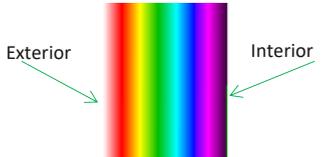
PANEL 1	PANEL 2	PANEL 3	PANEL 4
THERMOCHIP. By Cupa Group.	HEMSEC SIPS. Structural Insulated Panel	THE WALL. Structural Insulated Panel	LP. Building Product.
OSB(TOH)	PANEL THICKNESS - RESIDENTIAL	PANEL OSB-OSB	PANEL SIP TERMICO ESTRUCTURAL
			
0,360 W/m²k	0,260 W/m² K	0,364 W/m²K	0,515 W/m²K
(1)Osb + (2) Poliestireno + (3) Aglomerado hidrofugo	(1)Osb + (2) Espuma rígida + (3)Osb	(1)Osb + (2) Poliestireno + (3) Osb	(1)Osb + (2) Poliestireno + (3)Osb
			
Temperatura mínima media anual 15,8 °C	Temperatura mínima media anual 15,8 °C	Temperatura mínima media anual 15,8 °C	Temperatura mínima media anual 15,8 °C
			
Temperatura máxima media anual 26,3°C	Temperatura máxima media anual 26,3°C	Temperatura máxima media anual 26,3°C	Temperatura máxima media anual 26,3°C
			
Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,32°C	Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,7°C	Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,75°C	Variable en bajas temperaturas se eleva al interior promedio 1,58°C
Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,59 °C	Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,55°C	Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,63 °C	Variable de altas temperaturas se baja promedio 2,37 °C

Tabla 2. Resultados de transferencia de calor por conducción bidimensional de acuerdo con los componentes de los paneles
Fuente: elaboración propia, 2017.

Simulación acústica – Referentes

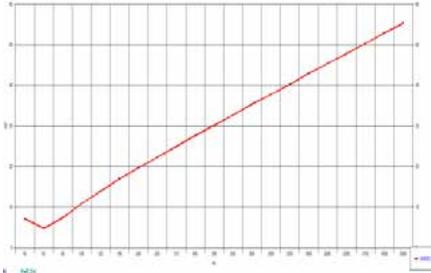
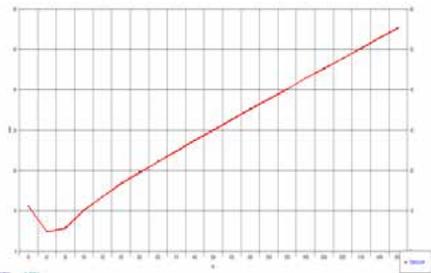
Los ruidos generalmente están compuestos por variaciones de presión de diferentes frecuencias. El sistema auditivo humano está capacitado para oír sonidos de frecuencias comprendidas entre los 20 y los 20.000 Hz. El aislamiento, en todos los casos, se muestra como una constante ascendente que presenta menor absorción de ruido cuando aumenta la frecuencia (Tabla 3). Sus variaciones son mínimas ya que el nivel de absorción va directamente a la densidad de los materiales y sus espesores, que para este caso

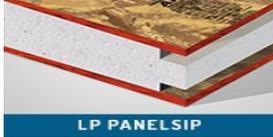
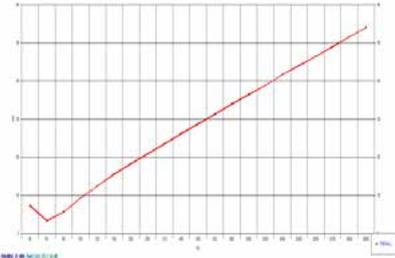
son muy similares, y se presentan como rango de referencia para este producto.

Desarrollo de la experimentación Modelo 1

Materiales

a) Hojuelas de fibra de guadua (Figura 6) elaboradas con el residuo producto de la fabricación de las tablillas, canoas, esterillas y otros cortes que se comercializan para artesanías y construcción. En este caso obtenido por intermedio de la empresa Induguadua S.A, ubicada en el Kilómetro 15 vía Armenia-La Tebaida.

SIMULACIÓN ACÚSTICA REFERENTES		
1. DESCRIPCIÓN	PANEL 1	PANEL 2
1.1 Fabricante	THERMOCHIP. By Cupa Group.	HEMSEC SIPS. Structural Insulated Panel
1.2 Referencia producto	OSB(TOH)	PANEL THICKNESS - RESIDENTIAL
1.3 Imagen		
2. COMPOSICIÓN		
2.1 Formato en metros	2,440 x 0,60	2,44 X 1,20
2.2 Composición panel tricapa	Osب + Poliestireno + Aglomerado hidrofugo.	Osب + Espuma rigida + Osب
2.2.1 Espesores en metros	0,015 m + 0,08 m + 0,016 m = 0,111 m	0,011 m + 0,103 m + 0,011 m = 0,125 m
2.2.2 Densidad total	170 k/m ³	149 K/m ³
2.2.3 Módulo de Young	11 GN/m ²	11 GN/m ²
2.2.4 Coeficiente de amortiguación	0,11	0,11
Software. BDKAISLA 3.01		
Gráfico de frecuencia vs. decibeles		
Obtenido de la base de datos del Software DBKAISLA 3.01		
RESOLUCIÓN 0627 DE 2006		
Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda urbana		
vivienda 65 DB(A) Día		
55 DB(A) Noche		
		

SIMULACIÓN ACÚSTICA REFERENTES		
1. DESCRIPCIÓN	PANEL 3	PANEL 4
1.1 Fabricante	THE WALL. Structural Insulated Panel	LP. Building Product.
1.2 Referencia producto	PANEL OSB-OSB	PANEL SIP TERMICO ESTRUCTURAL
1.3 Imagen		
2. COMPOSICIÓN		
2.1 Formato en metros	2,44 X 1,20	2,44 X 1,20
2.2 Composición panel tricapa	Osب + Poliestireno + Osب	Osب + Poliestireno + Osب
2.2.1 Espesores en metros	0,0111 m + 0,092 m + 0,0111 m =	0,0095 m + 0,067 m + 0,0095 m
2.2.2 Densidad total	140 K/m ³	176 k/m ³
2.2.3 Módulo de Young	11 GN/m ²	11 GN/m ²
2.2.4 Coeficiente de amortiguación	0,11	0,11
SOFTWARE. BDKAISLA 3.01		
Gráfico de frecuencia vs. decibeles		
Obtenido de la base de datos del Software DBKAISLA 3.01		
RESOLUCIÓN 0627 DE 2006		
Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda urbana =		
vivienda 65 DB(A) Día		
55 DB(A) Noche		
		

- b) Adhesivo para la formación de los tableros. Pegatex, Carpincol 2500: pegante sinético de PVA (poliacetato de vinilo) de alta concentración a base de agua.
- c) Tubos de cartón reciclados de papel higiénico. Estos fueron recolectados por aproximadamente dos meses, en hogares de personas conocidas (Figura 6).
- d) Adhesivo PVA – 60 de pegante para la unión de las tres capas.
- e) Barniz impermeabilizante para exterior de permanente contacto con la humedad.

Tabla 3. Simulación acústica de los referentes. Software DBKAISLA Fuente: elaboración propia, 2017.



Figura 6. Fibra de guadua reciclada y tubos de cartón reciclados Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY-ND.

MODELO 1 PANEL COMPUESTO PROPUESTA

1. DESCRIPCIÓN

1.1 Modelo experimental	Especificaciones	Observaciones
1.2 Lugar	Fábrica TALLER GUADUA	http://muisKay.wixsite.com
1.3 Dirección	Av. Carrera 68 No. 28-27sur	muisKay@hotmail.com
1.3 Ciudad	Bogotá. D.C.	



1.4 Imagen modelo	Proyecto vivienda sostenible	Empresa
1.5 Asesoría en fabricación	Arquitecto Fabián Martínez	
1.5.1 Cargo	Docencia e investigación - CTCM . SENA	
1.5.2 Contacto	fabianmartin@misena.edu.co	
1.6 Software	THERM 7.0 y OPAQUE 3.0	

2. COMPOSICIÓN

2.1 Formato en milímetros	2400 x 600
2.2 Composición panel tricapa	OSB + tubos de cartón + OSB
2.2.1 Tablero externo	14 mm
2.2.2 Aislante intermedio	90 mm
2.2.3 Aislante externo	14 mm
2.4 Espesor total en milímetros	118 mm

3. ESPECIFICACIONES

3.1 Peso total panel x m2	19,2 kg
3.2 Carga vertical máxima	418 kg
3.3 Carga horizontal tal máxima	1.040 kg
3.4 Transmisión térmica U Total	0,41 W/m²K
3.5 Aislamiento acústico	12,78%

Tabla 4. Modelo 1: panel compuesto propuesta

Fuente: elaboración propia, 2017.

Fabricación

El procedimiento realizado para su fabricación no es el normalizado (en los países donde se produce) con respecto al adhesivo utilizado ni el tipo de prensado, con él se pretende buscar una alternativa de adhesivos no tóxicos y menor consumo de energía en el prensado.

Todas las hojuelas se sumergieron dentro del adhesivo Carpincol 2500 de Pegatex, y se orientaron de acuerdo con las especificaciones de los tableros OSB, para luego prensar en frío con presión o carga de 30 MPa (1 MPa = 10,2041 kg-f/cm²) durante 3 horas y 40 minutos, luego extraerla con el fin de aplicar otra capa de adhesivo PVA, para nuevamente prensar durante 6 horas y 35 minutos.

Secado: ventilación natural por 48 horas.

Aplicación de barniz de impermeabilización Deva- TARIMEX.

Montaje del aislante con tubos dobles de cartón, reciclado de papel higiénico, pegado a los tableros externos Carpincol 2500.

Armado total del panel compuesto y secado definitivo (Figura 7).

Características

En la tabla 4 se presentan las principales características del modelo 1, panel compuesto.

Simulación térmica

Se observan temperaturas (Tabla 5).

Simulación acústica

La simulación acústica muestra niveles de aislamiento ascendentes constantes en el panel, sin variaciones de aislamiento a 40 decibeles admisibles, de acuerdo con el ruido, y frecuencias entre 50 y 250 Hz, niveles permitidos entre 55 y 65 decibeles; el aislamiento alcanza frecuencias hasta 1.750 Hz dentro del límite admisible, pero no representa valores diferentes a los que arrojan los referentes, únicamente una mayor constante de absorción en decibeles, promedio de tolerancia auditiva. La estructura de los tableros OSB externos que genera espacios entre virutas permite que una cantidad de ondas sonoras penetre a través de ellas (Tabla 6).



Figura 7. Proceso de fabricación del tablero OSB, empresa Muiskey
Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY-ND.

SIMULACIÓN TÉRMICA
MODELO PANEL 1

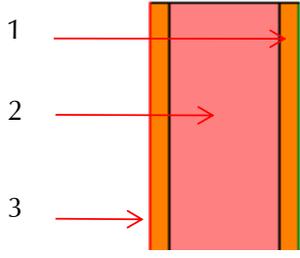
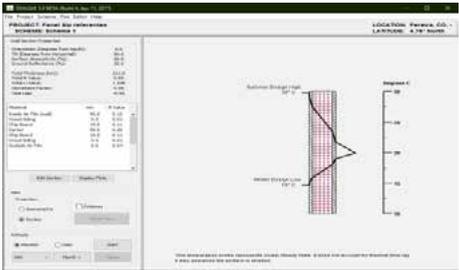
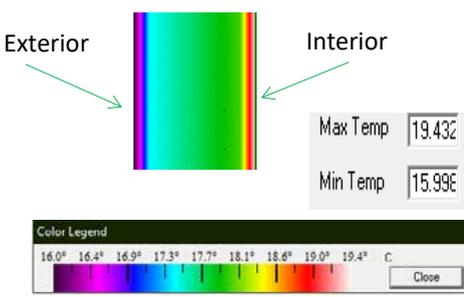
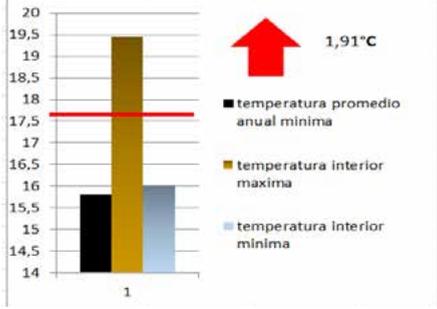
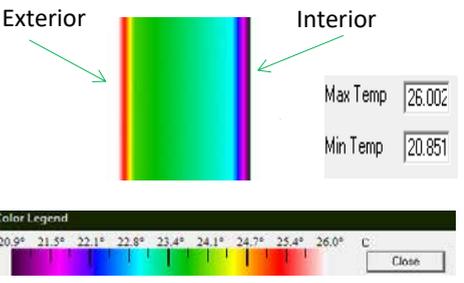
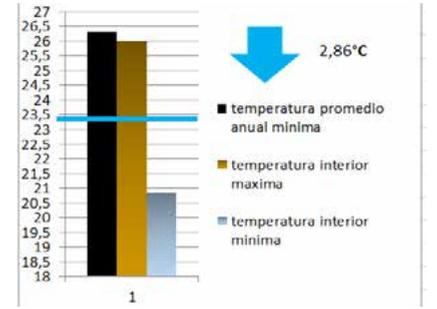
PANEL OSB-RCC-1	OBSERVACIONES
	
<p>0,360 W/m²k</p> <p>(1)Osb +(2) Tubos de cartón +(3) osb</p>	
	
<p>Temperatura mínima media anual 15,8 °C</p>	
	
<p>Temperatura máxima media anual 26,3°C</p>	
	

Tabla 5. Simulación térmica Modelo 1
Fuente: elaboración propia, 2017.

SIMULACIÓN ACÚSTICA MODELO 1

1. DESCRIPCIÓN

1.1 Modelo experimental

1.3 Imagen



2. COMPOSICIÓN

2.1 Formato en metros	2,40 X 0,60
2.2 Composición panel tricapa	OSB + tubos de cartón + OSB
2.2.1 Espesores en metros	0,014 + 0,090 m + 0,014
2.2.2 Densidad total	142,205 kg/m ³
2.2.3 Módulo de Young	11 GN/m ²
2.2.4 Coeficiente de amortiguación	0,11

Software. BDKAISLA 3.01

Gráfico de frecuencia vs. decibeles

Obtenido de la base de datos del

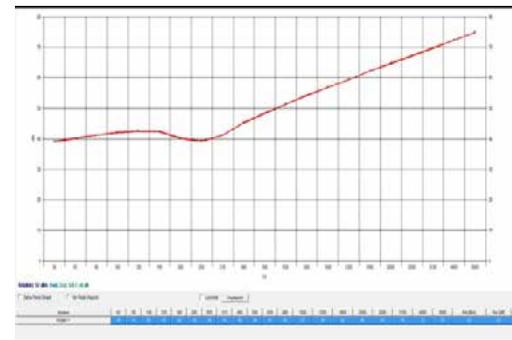
Software DBKAISLA 3.01

RESOLUCIÓN 0627 DE 2006

Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda urbana =

vivienda 65 DB(A) Día

55 DB(A) Noche



63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	RA [dB(A)]	Rw [dB]
40	41	42	43	42	40	39	41	45	48	51	54	57	59	62	65	67	70	72	75	52	52

Tabla 6. Simulación acústica Modelo 1
Fuente: elaboración propia, 2017.

Índice D, diferencia de niveles o aislamiento bruto: $D = L1 - L2$

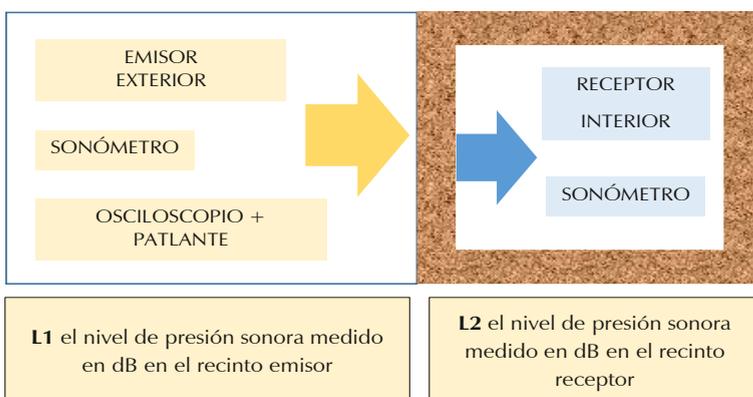


Figura 8. Procedimiento de simulación acústica en laboratorio

Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.



Figura 9. Equipos utilizados para el Laboratorio de Acústica de los paneles propuestos.

Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.



Pruebas de laboratorio

Acústica. La medición de absorción acústica se realizó en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, simulando un espacio interior cerrado con una caja de cartón de un metro cúbico como volumen, ubicando en uno de sus lados el modelo experimental. Para la medición interna se utilizó un sonómetro que tomó la lectura de los decibeles, de acuerdo con el ruido aplicado exterior, en frecuencias de menor a través de un amplificador generador de ruido que indica la frecuencia como base de datos (Figuras 8 y 9).

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos, los cuales reflejan frecuencia exterior, ruido exterior e interno, y diferencia, para hallar finalmente el porcentaje promedio de aislamiento acústico (Figura 10), lo que arroja una diferencia de 11,88 db, un resultado de porcentaje de absorción del 18 al 20%, que es representativo si se tiene en cuenta que en una vivienda intervienen adicionalmente elementos que configuran los espacios como cielo rasos, cubiertas, ventaneras, pisos, etc.

MODELO 1			
Ruido exterior en frecuencia HZ	Ruido exterior en Db	Ruido interno en Db	Diferencia en Db
1730	96,4	78,4	18
1450	90,2	77,5	12,7
1003	84,4	70,2	14,2
921	77,7	69,8	7,9
735	69,4	63,1	6,3
669	67,2	56,3	10,9
367	59,6	48,6	11
226	55,4	41,4	14
Valor promedio de aislamiento acústico			11,875

Tabla 7. Nivel de ruido exterior frente a nivel interior y porcentaje de absorción
Fuente: elaboración propia, 2017.

RESULTADOS DE RESISTENCIA FÍSICA DEL MODELO 1		
Dimensiones probeta	Unidad	Cantidad
Área	m ²	0,0625
Espesor	ml	0,118
Peso	kg	1,2
Materiales		
1. Tableros madera OSB guadua	Unidad	2
Densidad	kg/ m ³	738
2. Tubos dobles de cartón tubular	Diámetro	5
Densidad	kg/ m ³	22,32
Aplicación de la carga		
Superficie de presión de la prensa	m ²	0,0177
Carga horizontal	kg	1.040
Carga vertical	kg	418

Tabla 8. Prueba de resistencia horizontal y vertical
Fuente: elaboración propia, 2017.

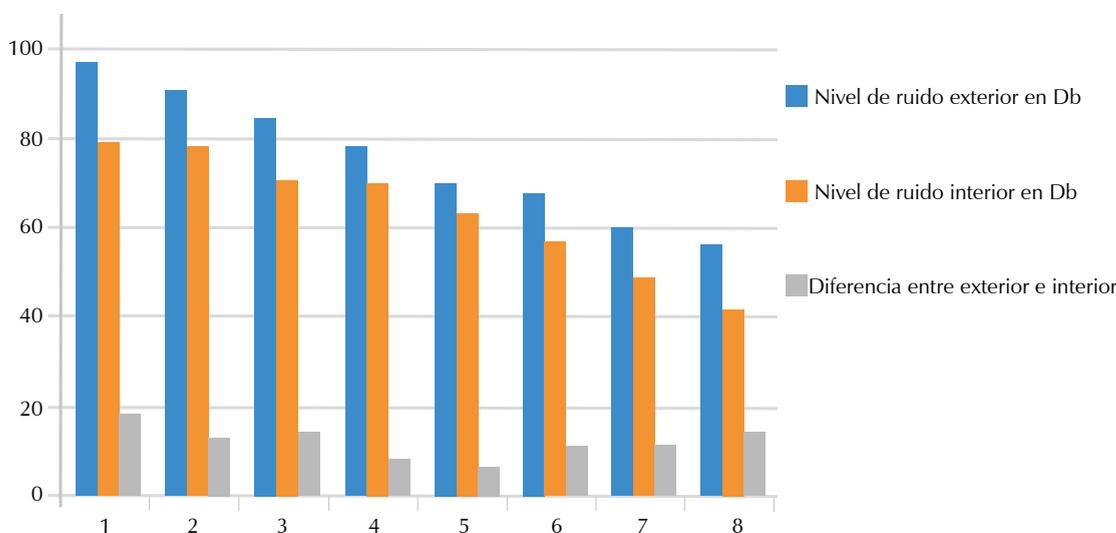


Figura 10. Resultados obtenidos del aislamiento interno frente a externo
Fuente: elaboración propia, 2017.

Pruebas de resistencia a compresión. La máquina universal de ensayos de tensión y compresión de una sola columna (Figura 11) fue utilizada para someter a compresión el panel modelo, que presentó resistencia al límite de la deformación sin rotura.

Los valores arrojados, tanto en carga vertical como horizontal, se encuentran dentro de los descritos por los referentes seleccionados del mercado en la construcción mundial. El panel funciona

como un elemento no directamente estructural y su resistencia a esfuerzos está ligada a su función como envolvente (Tabla 8).

Modelo 2

Materiales

Virutas o astillas de fibra de guadua como residuo de la elaboración de tablillas, canoas, esterillas y otros cortes que se comercializan como elementos de construcción, obtenido a través de la empresa Induguadua, Armenia-La Tebaida.

Adhesivo para la formación de los tableros:
urea formaldehído.

Aislante: triple lámina de cartón panel o
Honeycomb board (Tabla 9) E = 31 mm c/u
Fabricante Perlad SAS.

Adhesivo Carpincol 2500 - Pegatex para la
unión de las tres capas.

Barniz (uretano base solvente transparente)
para exteriores en madera.

Fabricación

Se realiza siguiendo los lineamientos princi-
pales utilizados actualmente por los fabricantes
(Apa's Corporate, 2015), con la única diferencia
de cambiar la viruta de pino y abeto por la viruta
de guadua (Figura 12).

Selección de materia prima de madera guadua
en hojuela o viruta (E = 0,6/1,2 mm) con dimensio-
nes de 10 a 20 mm de ancho por 15 a 30 mm de
largo, apta para la fabricación del tablero OSB, con
humedad a 5% a través de horno de convección.

Realización del encolado de las partículas con
resina urea-formaldehído cuyas especificaciones
eran densidad 1270 kg/m³; 65 % sólidos, forman-
do el tablero en capas el cual se ingresa a la prensa
mono-piso a una temperatura de 210°C, presión
específica de 42 kg/cm² y un tiempo de prensado
de 4 min. Finalmente se realizan los ensayos físi-
co-mecánicos en una máquina universal, donde
se midieron las propiedades de enlace interno, y
los módulos de elasticidad y de rotura.

MODELO PANEL COMPUESTO PROPUESTA		
1. DESCRIPCIÓN	MODELO 2	OBSERVACIONES
1.1 Modelo experimental		
1.2 Lugar	Planta PRIMADERA	http://www.primadera.com/
1.3 Dirección	Carretera Central Norte km 49 - Vereda la Aurora	
1.3 Ciudad	Gachancipá - Cundinamarca	
		
1.4 Imagen modelo pruebas	Fabrica PRIMADERA SAS	"Madera Urbana"
1.5 Asesoría en fabricación	Ingeniero. José A. Gutiérrez	
1.5.1 Cargo	Jefe de Procesos e Investigación	
1.5.2 Contacto	jogutierrez@pimadera.com	
1.6 Software	THERM 7.0 y OPAQUE 3.0	
2. COMPOSICIÓN		
2.1 Formato en milímetros	2400x 1200	
2.2 Composición panel tricapa	OSB + Lámina Cartón Panel + OSB	
2.2.1 Tablero externo	11 mm	
2.2.2 Aislante intermedio	100 mm	
2.2.3 Aislante externo	11 mm	
2.4 Espesor total en milímetros	122 mm	
3. ESPECIFICACIONES		
3.1 Peso total panel x m ²	21,92 kg	
3.2 Carga vertical máxima	1.970 kg	
3.3 Carga horizontal tal máxima	518 kg	
3.4 Transmisión térmica U total	0,34 W/m ² K	
3.7 Aislamiento acústico	13,13%	

Tabla 9. Modelo 2, paneles. Ficha técnica

Fuente: elaboración propia, 2017.



Figura 11. Equipos utilizados (prensa hidráulica) para pruebas de resistencia de carga horizontal y carga vertical
Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.



Figura 12. Proceso de fabricación de probetas y tablero
Fuente: Primadera SAS, 2017.

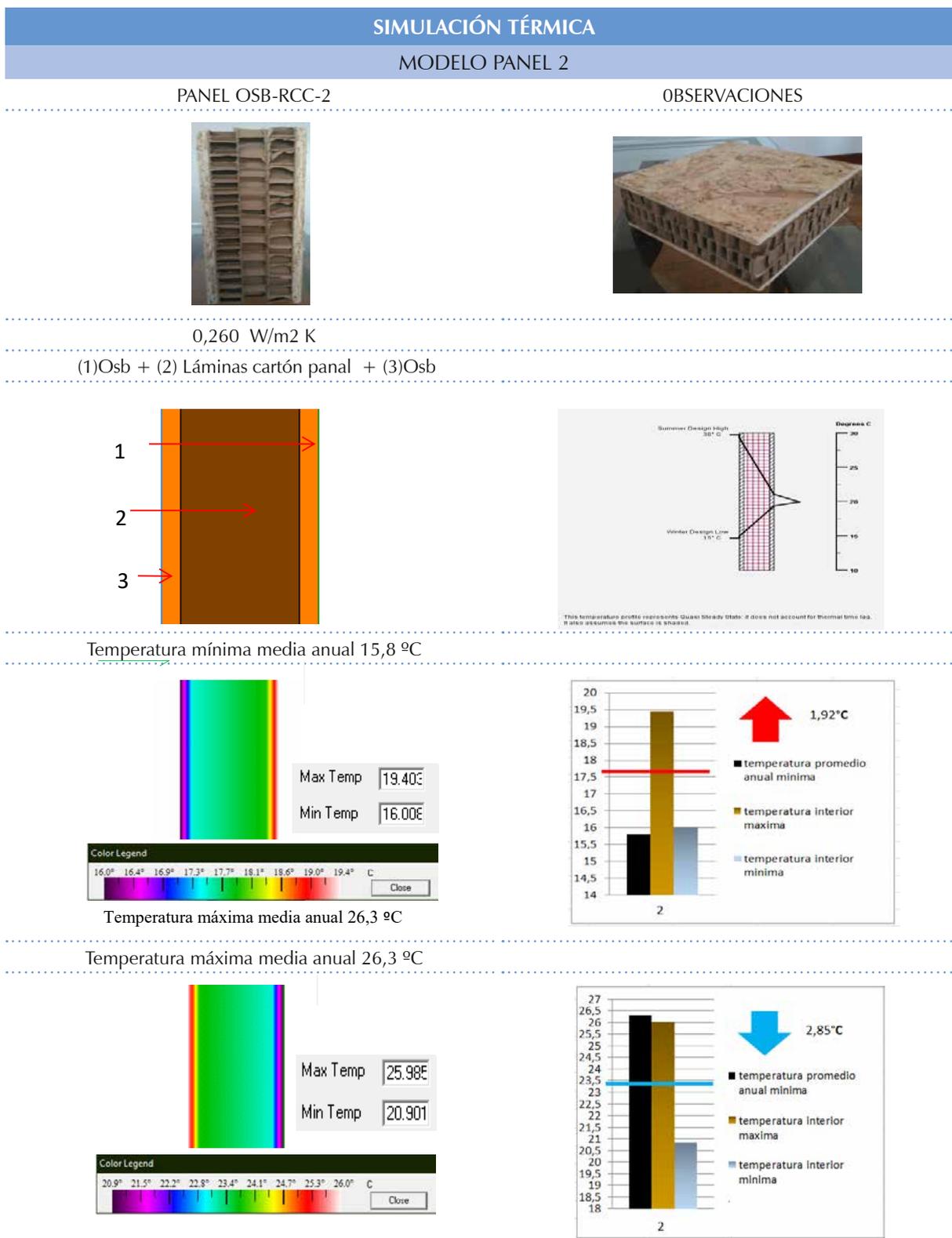


Tabla 10. Simulación térmica panel 2
Fuente: elaboración propia, 2017.



Debido a la tecnología utilizada para este caso, el tablero obtenido está más cerca de ser un tablero aglomerado que uno OSB. Por tanto, los resultados presentaron propiedades físico-mecánicas altas, como expertos en tableros aglomerados.

Características (Tabla 9)

Simulación térmica

Se observan temperaturas promedio internas similares al Modelo 1, en las mínimas exteriores de 15,8°C, con un aumento de 1,92°C, y en las máximas promedio de disminución de 2,85°C, lo cual obedece básicamente al buen aislamiento térmico producido por el vacío existente entre las celdas del sistema panel de abejas en cartón reciclado; esto representa valores importantes de control interno de la temperatura, como parte fundamental en el confort habitacional de la edificación (Tabla 10).

Simulación acústica

La simulación acústica (Tabla 11) muestra niveles de aislamiento ascendentes constantes en el panel, sin variaciones de aislamiento a 40 decibeles admisibles, de acuerdo con el ruido, y frecuencias entre 50 y 250 Hz. Dentro de los niveles permitidos entre 55 y 65 decibeles, el aislamiento alcanza frecuencias hasta 1.750 Hz dentro del límite admisible, pero que no representan valores diferentes a los que arrojan los referentes, únicamente una mayor constante de absorción en decibeles promedio de tolerancia auditiva.

Pruebas laboratorio

Acústica. En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de absorción promedio de 13,14 Db y porcentaje promedio de aislamiento acústico del 15 al 20%, porcentaje representativo que obedece básicamente a la densidad y compactación de los tableros OSB que aumenta su calidad de aislamiento.

SIMULACIÓN ACÚSTICA MODELO 2

1. DESCRIPCIÓN

1.1 Modelo experimental

1.3 Imagen



2. COMPOSICIÓN

2.1 Formato en metros	2,40 X 1,20
2.2 Composición panel tricapa	OSB + cartón hexagonal + OSB
2.2.1 Espesores en metros	0,012 + 0,090 m + 0,012 = 114
2.2.2 Densidad total	155,6 kg/m ³
2.2.3 Módulo de Young	11 GN/m ²
2.2.4 Coeficiente de amortiguación	0,11

Software. BDKAISLA 3.01

Gráfico de frecuencia vs. decibeles

Obtenido de la base de datos del

Software DBKAISLA 3.01



RESOLUCIÓN 0627 DE 2006

Máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles DB(A) para vivienda urbana = vivienda 65 DB(A) Día

55 DB(A) noche

63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	RA (dB)	Rw (dB)	del
40	41	42	43	42	40	39	41	45	48	51	54	57	59	62	65	67	70	72	75	52	52	

Tabla 11. Simulación acústica Panel 2
Fuente: elaboración propia, 2017.

Resistencia a compresión. Al someter el panel a compresión, el panel modelo presentó resistencia al límite de la deformación sin rotura. Los valores arrojados, tanto en carga vertical de 518 kg, como horizontal de 1970 kg, se encuentran dentro de los valores admisibles en los referentes estudiados (Tabla 13). Se presentó mayor resistencia y menos deformación de los tableros, pero hundimiento del sistema aislante interno en cartón, con un aplastamiento en la carga horizontal y mayor resistencia en la carga vertical.

Evaluación comparativa de resultados

La evaluación de los resultados se realizó comparando las simulaciones térmicas y acústicas, tanto de los referentes como de los modelos experimentales fabricados, indicando su eficiencia en nivel de confort y permitiendo una medición objetiva y concluyente.

Aislamiento térmico

En el tema de aislamiento térmico, los valores obtenidos (Tabla 14) indican que tanto referentes como modelos experimentales mantienen una relativa homogeneidad en los niveles de confort interno. Se destacan los ubicados entre rangos de temperatura mínima de 17,71 y 21,9 °C como el mejor (Modelo 2), y entre 17,38 y 22,38 °C como el más desfavorable (LP SIP, Chile).

Aislamiento acústico

Los niveles de aislamiento, según la norma de decibeles admisibles, indican que el Modelo 2 mantiene iguales condiciones que el referente 1 de acuerdo con lo presentado en la Tabla 14, aunque dentro de los referentes existen aislamientos con frecuencias superiores, producto de aislantes más densos pero derivados del petróleo. Asimismo, entre los modelos experimentales (Tabla 15) se observan mejores niveles en el Modelo 2, debido a la densidad del cartón y el hermetismo de la composición hexagonal del cartón Honeycomb.

MODELO 2			
Ruido exterior en frecuencia HZ	Ruido exterior en Db	Ruido interno en Db	Diferencia en Db
1730	96,4	76,8	19,6
1450	90,2	75,5	14,7
1003	84,4	68,4	16
921	77,7	62,6	15,1
735	69,4	57,6	11,8
669	67,2	55,6	11,6
367	59,6	51,4	8,2
226	55,4	47,3	8,1
Valor promedio de aislamiento acústico			13,1375

◀ Tabla 12. Nivel de ruido exterior frente a nivel interior del panel y su porcentaje de absorción

Fuente: elaboración propia, 2017.

RESULTADOS DE RESISTENCIA FÍSICA DEL MODELO 2			
Dimensiones probeta	Unidad	Cantidad	Observación
Área	m ²	0,0625	
Espesor	ml	0,122	
Materiales			
1. Tableros madera OSB guadua	Unidad	2	
Densidad	kg/m ³	697	
2. Cartón panel Honeycomb	Diámetro	5	
Densidad	kg/m ³	27,4	
Aplicación de la carga			
Superficie de presión de la prensa	m ²	0,0177	
Carga horizontal	kg	1.970	
Carga vertical	kg	518	

◀ Tabla 13. Prueba de resistencia horizontal y vertical del Modelo 2

Fuente: elaboración propia, 2017.

RESULTADOS SIMULACIONES TÉRMICAS. SOFTWARE THERM 7,0

SIMULACIÓN TÉRMICA	Unidad	Referente 1	Referente 2	Referente 3	Referente 4	Modelo 1	Modelo 2
		THERMO CHIP	HEMSEC SIPS	THE WALL	LP SIP	MUISKAY	PRIMADERA
Esesor panel tricapa	mm	150	110	110	95	118	122
Valor U	W/m2K	0,36	0,26	0,364	0,515	0,41	0,34
Valor R = 1/U	K-m2/W.	2,78	3,85	2,75	1,94	2,44	2,94
Temperatura promedio mínima exterior 15,8	°C	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Temperatura interior máxima	°C	18,861	18,759	18,925	18,411	19,432	19,402
Temperatura interior mínima	°C	16,196	16,233	16,175	16,355	15,996	16,006
Diferencia promedio interior	°C	2,665	2,526	2,75	2,056	3,436	3,396
Diferencia máxima interior	°C	3,061	2,959	3,125	2,611	3,632	3,602
Diferencia mínima interior	°C	0,396	0,433	0,375	0,555	0,196	0,206
Promedio temperatura int. respecto al exterior	°C	1,729	1,696	1,75	1,583	1,914	1,904
Temperatura promedio máxima exterior 26,3	°C	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
Temperatura interior máxima	°C	25,702	25,649	25,736	25,466	26,002	25,985
Temperatura interior mínima	°C	21,702	21,86	21,611	22,382	20,851	20,901
Diferencia promedio interior	°C	4	3,789	4,125	3,084	5,151	5,084
Diferencia máxima interior	°C	0,598	0,651	0,564	0,834	0,298	0,315
Diferencia mínima interior	°C	4,598	4,44	4,689	3,918	5,449	5,399
Promedio temperatura int. respecto al exterior	°C	2,598	2,546	2,627	2,376	2,874	2,857

CONCLUSIONES. RESULTADOS	Unidad	Referente 1	Referente 2	Referente 3	Referente 4	Modelo 1	Modelo 2
		THERMO CHIP	HEMSEC SIPS	THE WALL	LP SIP	MUISKAY	PRIMADERA
Temperatura promedio mínima exterior 15,8	°C	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Promedio temperatura respecto al exterior sube	°C	1,73	1,7	1,75	1,58	1,91	1,91
Temperatura promedio máxima exterior 26,3	°C	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
Promedio temperatura respecto al exterior baja	°C	2,6	2,55	2,63	2,37	2,88	2,86

Tabla 14. Resultados simulaciones térmicas.
Fuente: elaboración propia, 2017.

RESULTADOS SIMULACIONES ACÚSTICAS

SIMULACIÓN ACÚSTICA	Unidad	Referente 1	Referente 2	Referente 3	Referente 4	Modelo 1	Modelo 2
		THERMO CHIP	HEMSEC SIPS	THE WALL	LP SIP	MUISKAY	PRIMADERA
Esesor panel tricapa	mm	150	110	110	95	118	122
Aislante densidad	kg/m ³	30	30	15K	15	22,32	27,4
Tableros densidad	kg/m ³	670,00	640,00	640,00	610Kg/m ³	548,00	738,00
Niveles de aislamiento	55 db	55 db	55 db	55 db	55 db	55 db	55 db
	hz	3.150	4.500	4.450	4.700	980	3 s150

Tabla 15. Resultados de simulaciones acústicas
Fuente: elaboración propia, 2017.

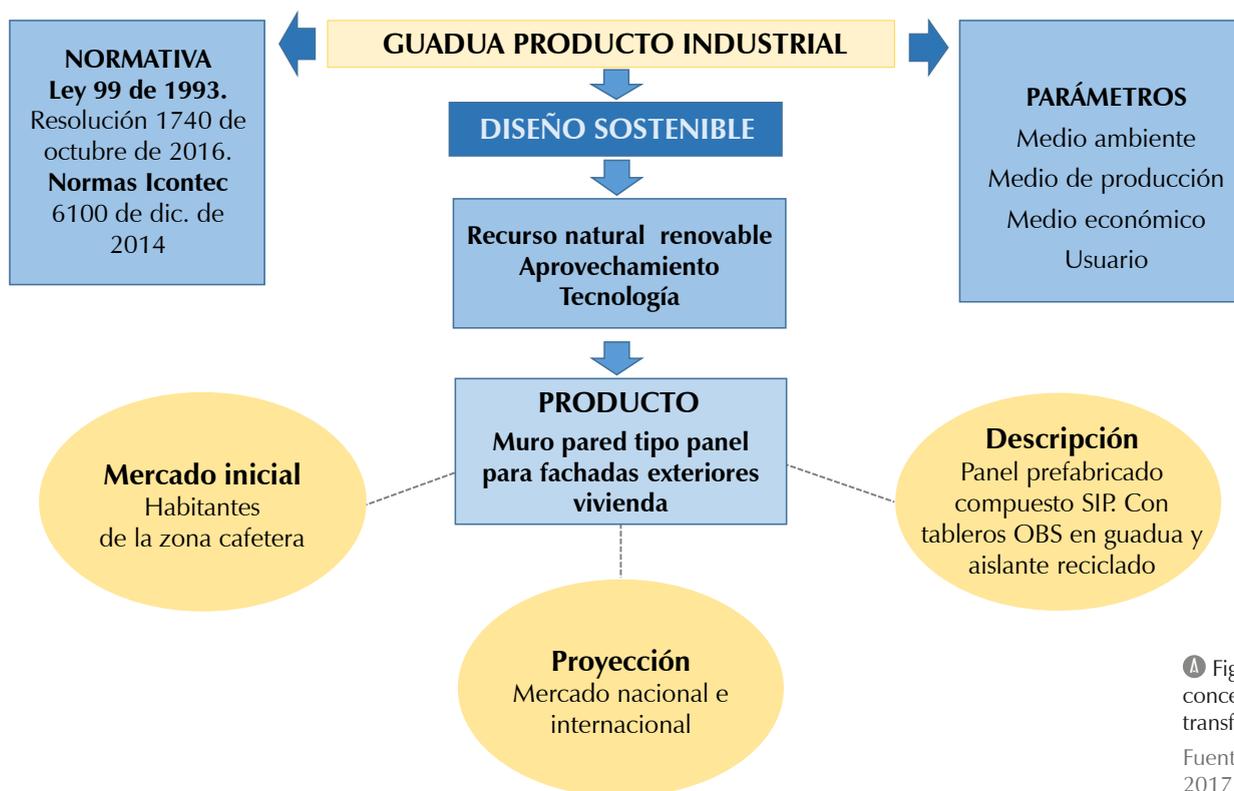


Figura 13. Marco conceptual aplicado a la transformación de la guadua
Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.

Situación actual de la industria de la guadua en Colombia

El entorno actual para la industrialización de la guadua tiene como protagonistas al marco legal dado por la Ley 99 de 1993, “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones”; la Resolución 1740 de 2016, “Por la cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales, y se dictan otras disposiciones”; las Normas Icontec NTC 6100 (2014), “etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para productos primero y segundo grado de transformación de guadua angustifolia Kunth”, y la autocertificación forestal del Forest Stewardship Council (FSC) (Consejo de Manejo Forestal); entes y normas que garantizan calidad y futuro al proyecto.

Por otro lado, las organizaciones privadas de los guadueros han permitido la integración en la búsqueda de la tecnificación y mejores condiciones socioeconómicas y ambientales (Figura 13). La fabricación del producto se proyecta, en primera instancia, para consumo de sus propios habitantes de la zona cafetera y en la futura ampliación de su mercado, con la alternativa de utilizar no solo el material residual sino el reciclado.

Discusión

La investigación fundamenta el proceso de fabricación del panel SIP utilizando materiales no convencionales como la viruta de residuo de

la guadua y el cartón reciclado; sus resultados de resistencia a la compresión, aislamiento térmico y acústico demuestran ser un producto viable y competitivo comparado con los que hoy se comercializan, y evidencian que es una alternativa sostenible dentro de los principios de energía pasiva.

Los paneles SIP que se fabrican tienen dos grandes aspectos desfavorables y no sostenibles: la utilización del poliestireno (derivado del petróleo) como aislante interno y el fenol-formaldehído (resina sintética) como adhesivo aplicado en altos porcentajes.

La viruta de guadua como materia prima principal debe alcanzar un secado entre el 4 y 5 % de humedad para garantizar la adherencia entre las virutas a través del prensado; además, para su transformación en hojuelas de dimensiones y diámetros específicos, requiere de una selección previa del material residual o reciclado.

En el Modelo 1 el tablero OSB presenta una buena textura estética y evidencia claramente la disposición cruzada de las virutas u hojuelas (Figura 14), pero menor dureza, con una resistencia horizontal de 1.040 kg/m², y 418 kg/m² de resistencia vertical, similar a la indicada por los referentes. El adhesivo (poliacetato de vinilo, PVA) requiere mayor fijación sobre las virutas ya que al ser constituidas por fibras muy rígidas y resistentes dejan espacios o cavidades entre ellas. Sin embargo, en el montaje del panel SIP, sus resultados de aislamiento térmico de +2,90 °C en temperaturas altas, y de -1,9 °C en temperaturas bajas, presentan valores muy similares, y muestran además que los tubos de cartón reciclado utilizados resultan ser una buena alternativa como aislante térmico y acústico.



➤ Figura 14. Composición de los tableros OSB del referente y las propuestas 1 y 2

Fuente: elaboración propia, 2017, CC BY.

El Modelo 2 presentó una mayor compactación de la viruta de guadua en la elaboración del tablero OSB, para ello fue necesaria la mezcla de estas con otras partículas de guadua muy finas tipo aserrín, que llenaran los espacios libres resultantes entre las hojuelas cruzadas, utilizando el fenol-formaldehído en menores porcentajes, a fin de evitar su toxicidad.

Se presentaron resultados de mayor resistencia horizontal, de 1.970 kg/m², y 518 kg/m² de resistencia vertical, pero de textura irregular y menor porcentaje de hojuelas en su acabado exterior (Figura 14), los cuales son la característica propia de los tableros OSB. En la conformación del panel SIP, el aislante intermedio de cartón Honeycomb arrojó valores menores en cuanto a la absorción acústica.

Asimismo, los prototipos respecto a su peso por metro cuadrado aproximado de 19 kg están dentro del peso promedio de los referentes, y permiten de esta manera su fácil manipulación en el transporte y montaje.

Conclusiones

Para una construcción sostenible es necesario implementar estrategias en la selección de materiales, fabricación, montaje y funcionamiento que demuestren una disminución representativa en la emisión de CO₂ del producto de construcción, en este caso, durante su ciclo de vida desde la recolección, clasificación del residuo, transformación, fabricación, utilización y de nuevo su reciclaje.

Cabe anotar que en Colombia la normativa está dirigida a la fabricación de tableros aglomerados con partículas de madera, mas no a la elaboración con virutas tipo OSB de los cuales no hay producción en el país y, en consecuencia, no se fabrican paneles SIP de este tipo. De igual forma, los resultados de los factores térmico, acústico y de resistencia son comparados y validados con los de las probetas experimentales, de

acuerdo con la información incluida en las fichas técnicas de los referentes.

Partiendo de estas premisas, la investigación se proyecta como una alternativa que sirve de modelo en la utilización de recursos naturales renovables del lugar, transformados, fabricados y utilizados con bajo impacto ambiental. En este caso de estudio, la sociedad del lugar específico está ligada a la economía de la agricultura representada por el cultivo del café, donde la guadua aparece como protagonista del patrimonio socio-cultural en la construcción de vivienda, reconocida a su vez como una identidad propia del tejido social y su memoria colectiva.

El muro panel compuesto completa todo su ciclo de vida en el mismo lugar para su propia gente, desde el reciclaje de material residual, transformación, industrialización, comercialización, construcción, uso y retorno al reciclaje, de tal modo que, por obvias razones, sus consumos energéticos disminuyen al no requerir grandes exigencias para su fabricación y transporte durante todo su ciclo de vida.

Finalmente, a través de los datos obtenidos de los modelos experimentales se demostró que para la región aplicada (tropical cálida húmeda), la envolvente térmica se convierte en un sistema de conservación de calor (noche) y enfriamiento (día), manteniendo la temperatura y el aislamiento acústico, y es aporte de energía pasiva de climatización para el confort.

Además, es posible considerar el establecimiento de ajustes en la fabricación y la adaptabilidad, tanto de las estructuras existentes como por construir, lo que tendrá que considerarse como la siguiente etapa en el desarrollo de la investigación. De esta manera, inicialmente se proponen productos de ensamble con materiales de origen natural renovable para la integración arquitectónica en su conjunto, siempre dentro de la filosofía de construcción sostenible a favor de la calidad de vida.

Referencias

- Apa's Corporate (2015). *Tableros de virutas orientales*. Guía de productos. Recuperado de <https://www.apawood.org/Data/Sites/1/documents/americalatina/ex-w410-la.pdf>
- Arquigráfico (2016). *Paneles OSB, rapidez y facilidad en la construcción*. República Dominicana: arquigrafico arquitectura, ingeniería y construcción. Recuperado de <https://arquigrafico.com/paneles-osb-rapidez-y-facilidad-en-la-construccion/>
- Arquimaster (s. f.). Coeficientes de conductividad térmica de materiales (s/ NORMA IRAM 11601). Argentina. *Arquimaster.com.ar*. Recuperado de <http://www.arquimaster.com.ar/articulos/articulo410.htm>
- Cárdenas, J. P., Muñoz, E., Riquelme, C. e Hidalgo, F. (2015). Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP (*structural insulated panels*). *Revista ingeniería de construcción*, 30(1), 33-38. Doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000100003>
- Colorado, A. (s. f.). La guadua. Una maravilla natural de grandes bondades y promisorio futuro [Mensaje en un blog]. Guadua y Bambú. Recuperado de <https://guadua-y-bambu.es.tl/Maravilla-Natural-de-Grandes-Bondades.htm>
- Egger Inspiración Eurolight (2016). *Zoom Colección tableros alveolares*. EE.UU.: Egger Eurolight. Recuperado de https://www.egger.com/downloads/bildarchiv/157000/1_157736_PP_ZOOM_EUROLIGHT_ES-SWE.pdf
- Fernández González, A. (1993). Evolución del mundo tecnológico de los tableros de madera. En *I Congreso Forestal Español. Congresos forestales: ponencias y comunicaciones* (t. IV, pp. 273-282). Madrid. Recuperado de <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/view/3445/3410>
- Garay, R. M. y Damiani, F. (2013). Efecto de la densidad del tablero y combinación adhesiva sobre propiedades físico-mecánicas críticas en tableros OSB fabricados con maderas nativas chilenas. *Bosque (Valdivia)*, 34(1), 13-22. Doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002013000100003>
- Giraldo, E. (2003). Aspectos generales de la guadua angustifolia Kunth. Propagación y manejo silvicultural sostenible. En *III Seminario Internacional del Bambú* (pp. 16-29). San Felipe: Fundación para la Investigación Agrícola DANAC. Recuperado de <http://www.mucubaji.com/guaquira/ArchivosAnexos/MBambu.pdf>
- Grupo Isotex (2015). *Soluciones tecnológicas para la construcción: eps-poliestireno expandido: especificaciones técnicas*. Venezuela: Grupo Isotex. Recuperado de <http://www.grupoisotex.com/eps/>
- Klasspanel (s.f). ¿Qué son los paneles SIP? Concepción: Klasspanel Structural Insulated Panel. Recuperado de <http://www.klasspanel.cl/paneles.htm>
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial*, 41.146, de 22 de diciembre de 1993. Recuperado de http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf
- Mejía, I, Gallardo, C., Vallejo, J. J., Ramírez, L. G., Arboleda, E. C., Durango, A, et al. (2009). Plantas del género bambusa: importancia y aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. *Vitae*, 16(3), 396-405. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042009000300014&lng=en&tlng=es
- Mejía, M. y Moreno, R. (2013). *Estado del arte de la cadena de la guadua en Colombia 2003-2012*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de <http://sigguadua.gov.co/?q=download/file/fid/155>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de mayo del 2015. Recuperado de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>
- Norma Técnica Colombiana NTC 6100 (2014). *Etiquetas ambientales tipo 1. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para productos de primero y segundo grado de transformación de guadua angustifolia Kunth*. Bogotá: Icontec. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/Sello_ambiental_colombiano/NTC_6100_-SAC_Guadua_Angustifolia.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016). *La producción mundial de madera crece impulsada por la construcción y las energías verdes*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/459939/icode/>
- Primadera (2017). Laboratorio de Primadera [fotografía de Primadera SAS]. Gachancipá, Cundinamarca, Colombia: Recuperado de www.primadera.com
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (2016). Resolución 1740 de 2016, Por la cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambusales, y se dictan otras disposiciones. Recuperado de <https://diario-oficial.vlex.com.co/vid/resolucion-numero-1740-2016-652582769>
- Vagge, C. S. y Czajkowski, J. D. (2012). Impacto de la aplicación de la Ley 13059 de eficiencia energética en relación con la nueva Ordenanza de Usos del Suelo de la ciudad de La Plata y la Norma IRAM 11900 de Etiquetado de Edificios. *Ambiente Construido*, 12(2), 23-35. Recuperado de <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/17109/18759>
- Varela, I. y Chaviano, D. (2013). El bambu: recurso renovable y sostenible para el diseño y construcción. *Monografías*. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos101/bambu-recurso-renovable-y-sostenible-diseno-y-construccion/bambu-recurso-renovable-y-sostenible-diseno-y-construccion.shtml>
- Weather Atlas (2016). Colombia, previsión meteorológica e información climática: pronóstico del tiempo, Bogotá, 26 de septiembre de 2016. Recuperado de <https://www.weather-col.com>

