

# PANELES TIPO SANDWICH A BASE DE CELULOSA RECICLADA PARA FACHADAS

Andrés Cuba Córdoba, Laura Daniela Garzón Bernal



UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Tecnología en construcciones Arquitectónicas, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2020

**Paneles tipo sándwich a base de celulosa reciclada para fachadas**

**Andrés Cuba Córdoba, Laura Daniela Garzón Bernal**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Tecnólogo en construcciones  
arquitectónicas**

**Directora Ana Gabriela Ramírez Cuastuza**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Programa Tecnología en construcciones Arquitectónicas, Facultad de arquitectura**

**Universidad La Gran Colombia**

**Bogotá**

**2020**

### **Agradecimientos**

Primera mente agradecemos a Dios por brindarnos la sabiduría, la fuerza y paciencia, para llevar a cabo este proyecto.

A nuestra directora de proyecto la arquitecta Ana Ramírez por su orientación y disposición en el transcurso del desarrollo del proyecto.

Finalmente, a nuestras familias por el cariño y acompañamiento en cada fase que abordamos a lo largo de este camino que pese a las dificultades son ellos quien siempre estuvieron y nos dieron las fuerzas para seguir adelante.

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	12
ÁRBOL DE PROBLEMAS.....	12
PREGUNTA PROBLEMA.....	12
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>HIPOTESIS .....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
OBJETIVO GENERAL .....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>17</b>
LA CELULOSA .....	17
<i>¿Qué es?</i> .....	17
<i>Obtención</i> .....	18
<i>Efecto ambiental</i> .....	20
EL POLIURETANO .....	20
<i>¿Qué es?</i> .....	20
<i>Fabricación del panel de poliuretano</i> .....	21
<i>Impacto del poliuretano en el medio ambiente</i> .....	22
CONSTRUCCIONES INDUSTRIALIZADAS.....	23
<i>Evolución de los sistemas industrializados</i> .....	24
<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>26</b>

PANELES TIPO SANDWICH A BASE DE CELULOSA REICLADA .....	5
CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ACÚSTICA .....	26
<i>Sonido</i> .....	26
<i>Ruido</i> .....	26
<i>Velocidad de propagación</i> .....	26
<i>Rango de audición humana</i> .....	27
CONFORT TERMINEN UNA EDIFICACIÓN .....	28
AISLAMIENTO TÉRMICO .....	31
AISLAMIENTO ACÚSTICO .....	31
<i>Tipos de aislamientos</i> .....	33
PANEL TIPO SÁNDWICH.....	33
<b>MARCO NORMATIVO.....</b>	<b>34</b>
NORMA ISO 7730 2005 – ERGONOMÍA DEL AMBIENTE TÉRMICO.....	34
PANELES SÁNDWICH AUTO PORTABLES DE DOBLE CARA METÁLICA UNE-EN 14509:2014 .....	34
ISO 6946: 2007 - COMPONENTES DE CONSTRUCCIÓN Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN - RESISTENCIA TÉRMICA Y	
TRANSMITANCIA TÉRMICA - MÉTODO DE CÁLCULO .....	35
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>36</b>
<b>PANEL SÁNDWICH A BASE DE FIBRA DE CELULOSA .....</b>	<b>38</b>
FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO .....	38
ENSAYO DE TERMOGRAFÍA .....	43
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL PROTOTIPO .....	44
1. <i>Valor U (transmitancia térmica en una edificación):</i> .....	45
2. <i>Condensación de los elementos:</i> .....	46
3. <i>Humedad</i> .....	47
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>

PANELES TIPO SANDWICH A BASE DE CELULOSA RECICLADA	6
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS .....	53

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> Árbol de problemas.....	12
<b>Figura 2</b> Placas de celulosa .....	17
<b>Figura 3</b> Producción de papel el Colombia por subsectores 2015.....	19
<b>Figura 4</b> Proceso químico del poliuretano .....	21
<b>Figura 5</b> Anclaje de sistema industrializado abierto .....	24
<b>Figura 6</b> Sistema de balloon framing .....	25
<b>Figura 7</b> Rango de audición humana .....	28
<b>Figura 8</b> Sensacion termica .....	30
<b>Figura 9</b> Cuadro metodológico .....	36
<b>Figura 10</b> Diseño de panel de fibra de celulosa .....	38
<b>Figura 11</b> Dimensiones del prototipo .....	39
<b>Figura 12</b> Formaleta de moldeo para la pieza prefabricada.....	40
<b>Figura 13</b> Proceso de obtención de fibra de celulosa reciclada .....	40
<b>Figura 14</b> Preparación de la fibra.....	41
<b>Figura 15</b> Vaciado de fibra .....	41
<b>Figura 16</b> Prototipo final panel sándwich a base de fibra de celulosa reciclada.....	42
<b>Figura 17</b> Inicio de ensayo de termografía .....	43
<b>Figura 18</b> Datos de registro de temperatura .....	44
<b>Figura 19</b> Perfil de condensación de panel de fibra de celulosa reciclada.....	46
<b>Figura 20</b> Perfil de condensación de panel a base de poliuretano.....	47
<b>Figura 21</b> Humedad relativa dentro del panel de celulosa.....	48
<b>Figura 22</b> Humedad relativa dentro del panel de poliuretano.....	48

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> Información técnica de la celulosa.....	18
<b>Tabla 2</b> Velocidad del sonido en algunos materiales.....	27
<b>Tabla 3</b> Escala de sensación térmica.....	29
<b>Tabla 4</b> Clasificación de aislantes térmicos.....	31
<b>Tabla 5</b> Clasificación de materiales aislantes acústicos en función de su uso de construcción ....	32
<b>Tabla 6</b> Tabla de parámetros de datos para comparación de elementos.....	45
<b>Tabla 7</b> Parámetros evaluación de condensación de los materiales.....	46

### Resumen

Se planteo una alternativa de panel tipos sándwich a base de fibra de celulosa reciclada con el fin de demostrar una solución constructiva que funcione termo acústicamente y que a su vez gracias a la reutilización de materiales disminuya el impacto ambiental que trae la gran problemática de la alta producción de polímeros, debido a que los paneles tipo sándwich a base de poliuretano son los más comerciales en el mercado a nivel Bogotá. La alternativa fue evaluada termo acústicamente con otros materiales constructivos como muros de hormigón y ladrillos cerámicos determinando un valor U eficiente y viable como solución de aislación térmica.

*Palabras clave:* Celulosa, panel sándwich, aislamiento acústico, aislamiento térmico

**Abstract**

An alternative sandwich panel based on recycled cellulose fiber was proposed in order to demonstrate a constructive solution that works thermo-acoustically and that in turn, thanks to the reuse of materials, reduces the environmental impact that brings the great problem of high production of polymers, because the polyurethane-based sandwich panels are the most commercial in the market in Bogota. The alternative was evaluated thermo-acoustically with other construction materials such as concrete walls and ceramic bricks determining an efficient and viable U-value as a solution for thermal insulation.

*Keywords.* Cellulose, sandwich panel, acoustic insulation, thermal insulation

## Introducción

Para el diseño de una construcción es importante tener en cuenta las condiciones climáticas a las que va a estar expuesta debido que “el ambiente térmico en una edificación influye en la salud, el bienestar y la productividad de las personas, así como en el consumo energético” (Soto, 2016, p. 1) por lo que es importante la definición de y la utilidad de los materiales que componen una construcción.

La solución constructiva que se utiliza en el mercado para los materiales que no cuentan con propiedades de absorción sonora y térmica son los materiales con propiedades térmicas o acústicas que ayudan a resolver necesidades de climatización y ruido. Sin embargo, algunos de estos sistemas que se ayudan a contrarrestar estas deficiencias suelen tener elevados costos o suelen ser materiales productores de gases tóxicos y nocivos para la salud en su producción.

En aras de mitigar el impacto ambiental en la fabricación de materiales aislantes se planteó una alternativa de panel tipo sándwich reemplazando el poliuretano con la fibra de celulosa reciclada ayudando así a minimizar la huella de carbono y permitiendo a su vez generar confort termo acústico en un espacio; gracias a la versatilidad de la fibra y a sus propiedades de absorción sonora y térmica. Además, ayudando a reducir el costo de sistemas eléctricos de calefacción y refrigeración gracias a la eficiencia que posee las características del material.

La investigación determinó el diseño del panel utilizando diversos materiales que ayudaron a la homogeneidad de la fibra y la construcción del panel para que así mismo fusione convencionalmente en sistemas de construcción liviana como elementos de fachadas, finalmente logrando los objetivos estipulados en la investigación.

**Definición del problema**

**Árbol de problemas**

**Figura 1**

*Árbol de problemas*



*Nota.* Causas y efectos generados por la problemática que genera la producción de paneles tipo sandwich con polímeros. Elaboración propia.

**Pregunta problema**

**¿Qué alternativa existe para los paneles tipo sandwich que reduzca la emisión de gases tóxicos?**

El alto crecimiento de producción de termo plastos trae como consecuencia una repercusión ambiental y nociva para el ser humano, según las investigaciones realizadas por Hincapié y Ramirez (2009) las técnicas para la producción de poliuretano produce compuestos como el isocianato, producto químico generador de alto impacto ambiental y problemas a la salud para las personas, su proceso de fabricación genera residuos tóxicos aumentando la generación de gases de efecto invernadero haciendo del material poco amigable con el medio ambiente.

Por otro lado “una de las propiedades físicas de este polímero es que es termoestable, lo que descarta su reciclaje utilizando calentamiento” (Hincapié & Ramirez, 2009, p. 100) por lo que su reciclaje y manejo produce un alto consumo energético y no es viable ni confiable en su utilidad. Sin embargo, se utiliza en los paneles tipos sándwich aumentando consecuencias sin tener en cuenta que este material no reutilizable y se convierte en una desventaja para el desarrollo sostenible de la construcción. Por lo que es necesario buscar alternativas eco amigables que cumpla las funciones termo acústicas mejores o iguales que las del poliuretano.

### Justificación

Debido a esta problemática de impacto ambiental la implementación de materiales alternativos crea innovación y un claro desarrollo en el ámbito cultural fomentando el reciclaje, ya que contribuye a una seguridad pasiva ambiental gracias a las propiedades y beneficios que trae los métodos de reutilización. Se puede constatar que “las fibras de celulosa ofrecen un módulo y resistencia específica elevada, (...) baja densidad, mínima abrasión sobre los equipos de procesamiento, ausencia de riesgos para la salud durante su manipulación, biodegradabilidad y por último, bajo coste” (Ochoa, 2005, p.17) por lo que su implementación es este tipo de panel ayuda a generar mayor vida útil.

Según la investigación de placas de celulosa para revestimiento acústico de muros realizada por Barragan y Ramirez (2015) y según su experiencia: “Indagar en la posibilidad de hacer una placa tipo sándwich (..) que permita mejorar el comportamiento acústico de este tipo de elementos” (p.57). Realza nuestra fundamentación y determinación de fabricar un panel tipo sándwich a base de fibra de celulosa que brinde condiciones de confort térmico y acústico en las edificaciones, además que su fabricación demuestre el bajo impacto ambiental que produce la reutilización de materias primas como el papel reciclado, evitando la extracción de recursos no renovables para la fabricación de nuevos materiales. Indagando sobre nuevos elementos que funcionen para la construcción disminuyendo la huella de carbono en producción a diferencia de otros materiales aislantes fabricados en el mercado productores de gases de CO<sub>2</sub> como es aislamiento con espuma de poliuretano.

### **Hipotesis**

Gracias a las ventajas termo acústicas que posee la celulosa, fabricar y diseñar paneles tipo sándwich a base de su fibra es una alternativa viable que se adapta a las condiciones de generar un equilibrio térmico y acústico dentro de una vivienda. A su vez siendo un sistema de fácil fabricación como un elemento prefabricado y de fácil adaptación para los sistemas de construcciones livianos como se es utilizado normalmente este tipo de paneles, ayudando al desarrollo de la construcción sostenible.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Proponer un diseño de panel tipo sándwich a base de celulosa reciclada que funcione en fachadas proporcionando un eficiente confort termo acústico en una vivienda, y siendo a su vez de menor impacto ambiental en su fabricación.

### **Objetivos Específicos**

1. Determinar el diseño del panel tipo sándwich para fachadas
2. Fabricar el prototipo de acuerdo al diseño determinado con la investigación realizada.
3. Evaluar el comportamiento termoacústico del prototipo realizado (panel tipo sándwich a base de celulosa) con el panel tipo sándwich de poliuretano que es actualmente el más demandado en el campo de la construcción.

### Marco teórico

### Marco referencial

#### La celulosa

##### ¿Qué es?

La celulosa es un material de origen vegetal que consta de una superficie porosa y esponjosa, usado como aislante termo acústico en las construcciones. Según Venhaus Held y María (2015) este material cuenta con buenas características como aislante termo acústico, en su utilidad generalmente se mezcla con sales de bórax las cuales le proporcionan al material propiedades ignifugas, insecticidas y anti fúngicas.

#### Figura 2

*Placas de celulosa*



*Nota.* Placas de fibra de celulosa reciclada. Tomada de: "Novedoso proyecto nacional de aislación térmica mediante celulosa reciclada" por Cy Technol.2015. ([https://calidadtdf.com.ar/nota/val/209/val\\_s/15/novedoso-proyecto-nacional-de-aislacion-termica-mediante-celulosa-reciclada](https://calidadtdf.com.ar/nota/val/209/val_s/15/novedoso-proyecto-nacional-de-aislacion-termica-mediante-celulosa-reciclada))

Su aplicabilidad como aislante se da de 4 diferentes formas:

**Placas:** Las cuales generalmente se encuentran como cualquier otro tipo de panel y su espesor de comercialización es de 30 a 300 mm, como se muestra en la *figura 2*.

**Insuflado:** Bombeado llenando vacíos a través de tubos de presión.

**Proyectado:** Este procedimiento se realiza de dos maneras, con el material húmedo o spray en donde se lanza la celulosa con gran presión de agua y en seco o granel sin necesidad de ningún aditivo.

**Material suelto:** Es la comercialización del material sin ningún aditivo en diferentes proporciones para acolchonamientos de elementos.

La aplicabilidad en la arquitectura se encuentra generalmente en los diferentes sistemas de construcción “no tradicional” o sistemas de construcción “en seco” debido a la facilidad de aplicación del material dentro de estos sistemas.

**Tabla 1**

*Información técnica de la celulosa*

	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
<b>Densidad (Envasado)</b>	120 a 150	kg x m3
<b>Densidad (Insuflado)</b>	40 a 70	kg x m3
<b>Densidad (Spray)</b>	30 a 50	kg x m3
<b>Seco</b>	25 a 50	kg x m3
<b>Conductividad térmica</b>	0,039 – 0,045	W/mxK
<b>Aislación acústica</b>	49 – 54	STC
<b>Capacidad Calorífica</b>	2150	J / kg x K

*Nota.* Información técnica de las propiedades y ventajas de la celulosa como aislante termo acústico. Tomado de: “¿Qué es la celulosa? Por Iglú.2020. (<http://www.iglu.cl/la-celulosa/>)

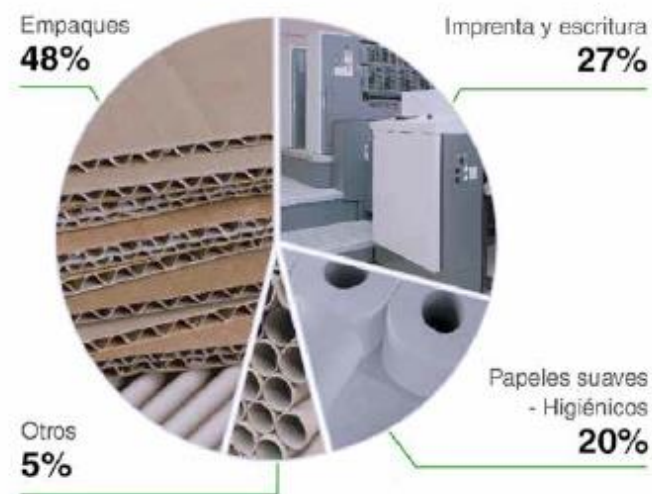
## **Obtención**

Actualmente en el mundo existen más de 500 tipos diferentes de papel utilizados para; la enseñanza, las comunicaciones, la sanidad, la higiene, el comercio, industria entre otros campos. (Vidal et al., 2019).

De acuerdo con el informe de sostenibilidad de la cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de la ANDI en el 2017, se tienen las cifras que corresponden a la producción y consumo en Colombia de papel incluyendo su exportación. En cuanto a la producción Nacional de papel las 9 empresas afiliadas a la cámara de la ANDI representan el 85% de la producción nacional **Pulpa: 422.093 ton.** En donde en el 2015 se produjo el 87% de papel y cartón para el mercado local correspondientes de la siguiente manera:

**Figura 3**

*Producción de papel en Colombia por subsectores 2015*



*Nota.* Tomado de: “industria de pulpa, papel y cartón” por ANDI, 2017. (<http://www.andi.com.co/Home/Camara/20-industria-de-pulpa-papel-y-carton>).

En la actualidad en Colombia se recicla el 8.6 % de los residuos que produce:

“De acuerdo con el Sistema Único de Información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en el 2018 el país aprovechó 690.000 toneladas de residuos de manera efectiva, como parte de un tipo de reciclaje orientado a reincorporar los materiales al ciclo productivo” (EL TIEMPO,2019)

En Colombia los materiales de reciclaje que más se reutilizan son: papel y cartón (53 %), metales (25 %), vidrio (13 %), plástico (7 %) y maderables (2 %) (EL TIEMPO,2019)

La obtención de la fibra de celulosa reciclada se da por medio de la recuperación de residuos de materia prima producidos en el mercado, separando el papel por métodos físicos de acuerdo a las características diferenciales que tiene; siendo procesado y triturado para la preparación de una nueva manipulación, como aislante, relleno de acolchonamiento entre otros.

### **Efecto ambiental**

El bajo impacto que produce el reciclado papel y cartones resulta una alternativa “ampliamente significativa desde el punto de vista ambiental y socio -económico” (Romano & Andrés, 2013) ya que reduce el volumen de desechos sólidos producidos por esta materia prima gracias a que es un material natural, reciclable, renovable y biodegradable con propiedades únicas que ayudan a la fabricación de nuevos materiales.

Además, que por ser un material vegetal y natural la invención de nuevos productos a partir de esta fibra ayuda al desarrollo sostenible del país, generando nuevos productos gracias a la implementación de la reutilización de residuos formando a su vez un impacto social que ayuda a crear cultura en el reciclaje ya que es una de las grandes problemáticas existentes en el mundo actualmente, debido a que solo el 16% de los desechos producidos son reciclados de acuerdo con la revista (SEMANA,2019).

### **El poliuretano**

#### **¿Qué es?**

El poliuretano es la espuma obtenida a través de un tipo de alcohol “poliol” con *isocianato* que forman una reacción exotérmica para obtener la espuma. (Vargas, 2019) La utilidad del material se da en gran demanda para realizar cámaras de concentración de alimentos debido a sus ventajas de moldeo

y la resistencia de altas y bajas temperaturas. Debido a esto se empezó a utilizar en la industria y donde finalmente fue aplicado y llevado a la construcción para vender comercialmente como paneles arquitectónicos.

**Figura 4**

*Proceso químico del poliuretano*



*Nota.* Los componentes (de alcohol “poliol” con isocianato) son mezclados hasta a la homogenización formado reacción y generación de la espuma rígida de poliuretano. Tomado de: “Poliuretano” por APLICAR. (<https://aplicargg.wobiz.com.ar/poliuretano>)

Su aplicabilidad para paneles se da por medio del panel laminado inyectada formando una capa de material consistente y continuó, sin juntas ni huecos que elimina cualquier puente térmico y le genera buenas propiedades termo acústicas, se utiliza para realizar sistemas de fachadas envolventes en edificaciones como aislamiento termo acústico, según Vargas (2019) gracias a su trabajabilidad “permite utilizarlo con un esfuerzo mínimo por parte del operario que realiza su montaje” (p.20).

### **Fabricación del panel de poliuretano**

Su fabricación fue el año 1930 en Estados Unidos con el fin de reemplazar el uso de materiales como la madera en los sistemas de construcciones livianas o modulares (Vargas, 2019) como el “Steel framing” en donde la conformación de panel se daba por medio de dos laminas metálicas galvanizadas y su núcleo es el poliuretano inyectado construido por medio de un proceso previo a la unión de dos

capas adheridas a la cara superior e inferior estando a un tiempo de presión para obtener su terminado y espesor final.

Proceso de fabricación:

1. Tornar la lámina de acero galvanizado
2. Corte de lámina galvanizada
3. Inyección del material
4. Recubrimiento con la lamina

### **Impacto del poliuretano en el medio ambiente**

La producción de poliuretano trae varias implicaciones medio ambientales, estas se muestran en todas las etapas útiles del material como un polímero, que abarca desde el uso de materias primas hasta su destino final. Según Cangemi et al., 2009 la producción y la fabricación de este material causa efectos nocivos para la salud de las personas, siendo el isocianato el primer responsable ya que su forma más común de exposición es la inhalación debido a los gases tóxicos que genera, causando irritaciones en el sistema respiratorio de las personas.

Además, una de las reacciones secundarias que tiene el poliuretano con el hidroxilo al momento de su descomposición forma dióxido de carbono. Por lo que el material no es biodegradable y causa daños en la salud de las personas y en el medio ambiente, pero sin importar esto, En el proceso de investigación de Vargas (2019) se puede constar que:

“En el año 2004 se consumieron 26.7 billones de libras de poliuretano siguiendo con un crecimiento anual del 5%. Esto es consecuencia a su gran practicidad y usos múltiples. Esto ha permitido que crezca su consumo y se extienda en la industria de la construcción, y afines etc. (p. 9).

Por lo que su crecimiento en los últimos años es vidente y preocupante ya que es un material que genera un alto contenido de residuos no reciclables.

### **Construcciones industrializadas**

Las construcciones industrializadas son sistemas constructivos basados en la producción y fabricación de elementos mecanizados compuestos por subsistemas elaborados en serie, tras una fase de montaje. Una edificación prefabricada se identifica principalmente porque sus operaciones en obra son de montaje y no de elaboración, por lo que su grado de prefabricación depende de los residuos generados en obra; cuanta mayor cantidad de residuos, menor índice de prefabricación presenta la construcción (Pérez, 2010).

Existen 2 formas diferentes de producción de elementos prefabricados:

**Sistemas cerrados:** Su fabricación es conforme a especificaciones técnicas del propio sistema de construcción.

**Sistemas abiertos:** Esta forma de fabricación de elementos o productos suelen tener diferentes formas de precedencia, los cuales pueden ser implementados en las construcciones industrializadas o tradicionales, para ellos suelen tener juntas universales que ayudan a la versatilidad en la utilización de cualquier tipo de proyecto.

**Figura 5**

Anclaje de sistema industrializado abierto



*Nota.* Fijación de una vigueta de acero sobre una viga o existente de concreto. Tomado de: “Rehabilitación con acero”. V. García. 2013. (<http://vgatec.blogspot.com/2013/09/rehabilitacion-con-acero.html>)

### **Evolución de los sistemas industrializados**

La evolución de los sistemas industrializados a lo largo de la historia, han sido con el propósito de la optimización y eficiencia de los diferentes sistemas constructivos. El primer ejemplo de la construcción industrializada se lleva a cabo en el siglo XVI, gracias a Leonardo da Vinci quien recibió el cargo de planificar nuevas ciudades en Loire. El planteamiento de este diseño se llevó a cabo con diseños de elementos básicos, los cuales ayudaron a construir de forma fluida y flexible una conformación de un gran abanico de edificios versátiles y de diferentes tipologías conformadas por los mismos elementos en común.

Esta evolución de los sistemas industrializados también se presentó en la guerras y batallas donde se construyeron pabellones de madera prefabricados para albergar a los soldados transportados en los barcos para que finalmente pudieran ser cargados y descargados con gran facilidad y rapidez.

Con el paso del tiempo se fueron implementando más materiales para la composición de los diferentes elementos industrializados como el concreto, ayudando a la construcción de viviendas más económicas después de la segunda guerra mundial construyendo con mayor facilidad y versatilidad reduciendo la cantidad de elementos diferentes en una edificación.



## **Marco conceptual**

### **Conceptos básicos de la acústica**

#### **Sonido**

El sonido es un fenómeno físico “de la presión atmosférica producida por la oscilación de partículas, a través de la cual se transmite longitudinalmente la onda sonora. Este fenómeno puede producir una sensación auditiva” (Jaramillo, 2007, p. 19) y nuestro medio de recepción son los oídos.

#### **Ruido**

Su definición técnica es la misma que la del sonido, pero su diferencia es que los ruidos son aquellos sonidos no agradables para el oído o que generalmente presentan molestias al escucharlos, por lo que su definición en la acústica lleva a un sonido no deseado.

#### **Velocidad de propagación**

Las ondas sonoras que generadas por el sonido requieren un medio de propagación, por lo que la velocidad de propagación según Jaramillo (2007), depende de las características de composición del medio en donde inciden factores como la temperatura, humedad, densidad y elasticidad. En las edificaciones específicamente el medio de propagación siempre será el aire y su constante de transmisión es 340m/s, teniendo en cuenta que por actuar la onda en espacio cerrados al chocar unas con otras facilita la propagación.

Tabla 2

*Velocidad del sonido en algunos materiales*

<b>Materiales</b>	<b>Velocidad del sonido (m/s)</b>
<b>Aire</b>	340
<b>Acero</b>	6.100
<b>Madera</b>	5.260
<b>Ladrillo</b>	3.650

*Nota.* Velocidad del sonido en materiales que se utilizan en una edificación y de su medio de propagación. Tomado de: "la ciencia del sonido" A. Jaramillo. 2007. (<https://n9.cl/a1hec>)

Según Jaramillo, 2007 el sonido se encuentra compuesto por:

**Longitud de onda:** Es el ciclo completo que realiza la onda

**Periodo:** Hace referencia a la duración en segundos de un ciclo completo de la onda

**Frecuencia:** Es el número de oscilaciones que se repiten en un segundo

**Amplitud:** Se refiere a la fuerza profundidad dependiendo el medio y el punto dado.

### **Rango de audición humana**

Dentro de la naturaleza existen diferentes tipos de sonidos, los cuales son receptados por el oído humano el cual es capaz de recibir una amplia gama de sonidos en forma logarítmica dentro de una escala de rango audible que va aproximadamente de 0 a 140 *dB* (decibeles), que está definido dentro de dos ejes que son: la frecuencia y la amplitud, así como se muestra en la gráfica a continuación:

Figura 7

Rango de audición humana



Nota. Rango de percepción del sonido en el oído humano. Tomado de: "la ciencia del sonido" A. Jaramillo. 2007. (<https://n9.cl/a1hec>)

Por lo que el oído alcanza a reconocer sonidos con frecuencia de entre 20 y 20.000 Hz y amplitud de 0 y 140 *Db*. Teniendo en cuenta que a pesar de que estos sean los rangos de la percepción auditiva no es lineal a todas las frecuencias, ya que el oído humano es más sensible a las frecuencias medias, teniendo baja percepción en la frecuencias altas y bajas.

### Confort térmico una edificación

"Se define como confort térmico la condición de la mente en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico mediante una valoración subjetiva" (Soto et al., 2016, p.53) este ambiente térmico en una edificaciones se puede determinar gracias al diseño arquitectónico que se plantea en un espacio, (materiales de la construcción), vestimenta, el clima y entre otros factores.

A principios del siglo XX AP Gagge empezó el estudio formal del confort térmico, en 1936 *publico el modelo de nodos* el cual explica el modelo térmico del cuerpo humano, siendo la base fundamental que ayudo en el estudio del intercambio de energía entre el cuerpo humano y su entorno, examinando finalmente los parámetros fisiológicos y físicos de una persona para la que realizo una tabla de niveles de sensación térmica, así como se muestra en la tabla;

**Tabla 3***Escala de sensación térmica*

<i>Valor</i>	<i>Sensación</i>
3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío

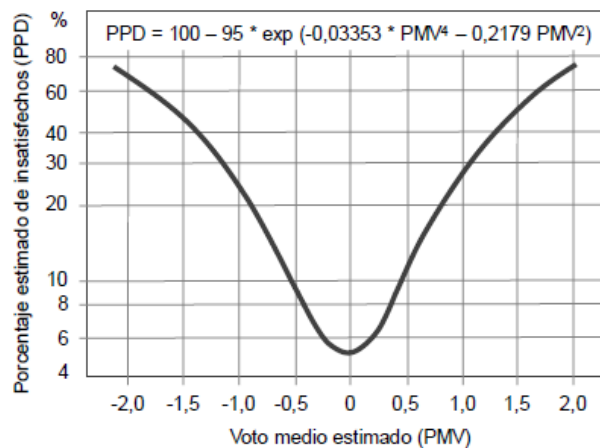
*Nota.* Tomado de: “Confort termico en viviendas de medellin”. Aenor (6), ashrae (1) 2019. (<https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a4>)

Povl Ole Fanger estudioso en campos del confort termico y la percpercion de los entornos cerrados y de vivienda, desarrollo una acuacion termica que relaciona los parametros fisicos y fisiologicos PMV “voto de medio estimado” determiando la sensacion térmica de un grupo de personas en el mismo ambiente, Soto et al., (2016) a traves de mediciones de parametros fisicos del medio, la tasa metabolica y la vestimenta de los habitantes.

Esta variacion termica que se da en un vivienda varia según lo sfactores incidencia anteriormente nombrados por lo que la ecuacion considera que la sencion termica es neutra cuando el PMV correspondiente a 0. por lo que fander tambien dertermino el PMV para las personas insatisfechas asi como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 8***Sensacion termica*

Povl Ole Fanger estudioso en campos del confort termico y la percpercion de los entornos cerrados y de vivienda, desarrollo una acuacion termica que relaciona los parametros fisicos y fisiologicos PMV “voto de medio estimado” determiando la sensacion térmica de un grupo de personas en el mismo ambiente, Soto et al., (2016) a traves de mediciones de parametros fisicos del medio, la tasa metabolica y la vestimenta de los habitantes.



*Nota.* PPD (porcentaje estimado de insatisfaccion) en funcion de PMV (Voto medio estimado). Tomado de: “Confort termico en viviend de medellin”. Ashrae (1). 2019. (<https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a4>)

La mayor parte de proyectos edificatoios de vivienda en Colombia no considera ern su diseño arquitectonico los aspectos de confort termico.

“De acuerdo con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, en el país la mayoría de los proyectos “verdes” son de uso comercial o de oficinas, registrándose 350 proyectos con certificado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) hasta diciembre del 2017” (Soto et al., 2016.p. 55). Su poca utilidad es debido a los sobre costos que genera la utilizacion de aislantes en los proyectos de vivienda.

**Aislamiento térmico**

Los aislantes térmicos son aquellos materiales que por sus propiedades de composición tienen resistencia a elevadas o bajas temperaturas “constituyendo una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente se tendera a iguales en temperatura.” (Padilla, Gomez, 2015, p.49).

**Tabla 4**

*Clasificación de aislantes térmicos*

<b>MATERIALES FIBROSOS</b>	Fibras minerales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra de amianto</li> <li>• Fibra o lana de vidrio</li> <li>• Fibra o lana de roca</li> </ul>
	Fibras vegetales	
<b>ASLANTES CON ESTRUCTURA CELULAR</b>	Aislantes minerales o vegetales	Corcho vidrio celular
<b>ESPUMAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espuma de poliuretano</li> <li>• Espuma de poliestireno</li> <li>• Espumas fenólicas</li> <li>• Espumas de cloruro de vinilo</li> <li>• Espuma de poliéster</li> </ul>	

*Nota.* Tomado de: “Aislantes termo acústicos higrotérmicos del mercado de la Construcción del NEA y su utilización en el diseño tecnológico de elementos constructivos”. Jacobo, G. J. Balanguero, C. N. & Alias, H. M.2006. (<https://cutt.ly/thoTmtd>)

**Aislamiento acústico**

El aislamiento acústico es el “conjunto de materiales, técnicas y tecnologías desarrolladas para aislar o atenuar el nivel sonoro en un determinado espacio” Gutierrez et al.,(2014) su función es impedir

el paso del ruido a otros espacios, utilizando materiales aislantes que posean propiedades de absorción sonora reduciendo la onda acústica para que no incida en otros espacios.

Los factores básicos que inciden en la consecución de un buen aislamiento acústico son:

**Factor másico:** Corresponde a la cantidad de masa del material, a mayor masa se obtiene más resistencia en la onda sonora.

**Factor multicapa:** Se refiere a los elementos constructivos que están compuestos por varias capas de materiales que tienen una frecuencia de resonancia diferente para cada uno.

**Tabla 5**

Clasificación de materiales aislantes acústicos en función de su uso de construcción

<b>ABSORCIÓN SONORA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Placas fonoabsorbentes</li> <li>• Lana de vidrio</li> <li>• Lana de roca</li> </ul>
<b>AISLACIÓN SONORA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislante vinílico alta densidad</li> <li>• Placas de yeso cartón</li> <li>• Placas de fibrocemento</li> <li>• Chapa metálica</li> <li>• Poli estireno expandido</li> <li>• Paredes móviles acústicas</li> </ul>
<b>CONTROL DE VIBRACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amortiguadores anti vibratorios</li> </ul>
<b>ATENUACIÓN SONORA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cavidades acústicas</li> <li>• Pantallas acústicas</li> <li>• Silenciadores reactivos</li> <li>• Silenciadores expansivos</li> <li>• Mamparas</li> <li>• Cortinas acústicas</li> <li>• Ventana acústica</li> </ul>

*Nota.* Tomado de: "aislantes termo acústicos e higrótérmicos del mercado de la Construcción del NEA y su utilización en el diseño tecnológico De elementos constructivos". Jacobo, G. J. Balanguero, C. N. & Alias, H. M.2006. (<https://cutt.ly/thoTmtd>)

### **Tipos de aislamientos**

En el mercado existen diferentes tipos de aislantes térmicos que además de ser materiales que poseen propiedades que aíslan las condiciones de calor y frío, algunos también tienen la capacidad de aislar el ruido externo de los espacios, convirtiendo los aislantes en métodos muy efectivos para la mejora del confort en una edificación. Dentro de la gran variación de aislantes, encontramos:

**Lana de roca:** Su obtención se da a través de la fusión de rocas a altas temperatura con ayuda de aditivos y aglomerantes que ayudan a su homogeneidad.

**Poliuretano expandido:** Se obtiene a través del refinamiento del petróleo, se encuentra en el mercado extruido o expandido

**Poliuretano:** Su origen es 100% petroquímico, su proceso de fabricación contiene una gran demanda de energía y carga química, en el mercado se encuentra en espuma o planchas.

**Lana de vidrio:** La obtención de este aislante es por medio de los residuos de vidrio, realizando paneles rígidos, su instalación y fabricación pueden ser cancerígenos.

### **Panel tipo sándwich**

Los paneles tipo sándwich son elementos constructivos prefabricados que se utilizan generalmente en construcciones industrializadas, sus funciones principales son en:

- Cerramientos para fachadas y cubiertas
- Comportamiento de espacios de interiores

Está conformado por dos caras externas que sirven para proteger el material aislante. Su comportamiento y dimensión se determina de acuerdo a su utilidad por lo que se encuentra en diversas dimensiones. La fijación de estos elementos se da a través de una estructura metálica y elementos mecánicos como tornillos, clips, pletinas, etc. (MAPFRESEGURIDAD, 2007).

Las características propias de este tipo de paneles se son:

- Modulares
- Instalación estandarizada para sistemas de estructura metálica
- Prefabricación
- Ligereza y rápida instalación frente a otros sistemas constructivos

Su fácil instalación y prefabricación disminuye tiempos y mano de obra lo cual hace que el sistema de paneles tipo sándwich sea una alternativa optima y eficaz en estos sistemas constructivos.

### **Marco Normativo**

#### **Norma ISO 7730 2005 – Ergonomía del ambiente térmico**

Normatividad internacional utilizada para la determinación analítica del bienestar térmico. Presentando métodos para la sensibilidad térmica que posee el cuerpo humano determinado los criterios de bienestar en un espacio.

La norma ISO 7730:2005 clasifica los ambientes térmicos en tres categorías: A, B y C; para cada una establece temperaturas óptimas e intervalos de temperatura aceptables. Para espacios en los cuales se desarrollan actividades sedentarias, como las realizadas en una vivienda, estas temperaturas óptimas son  $24 \pm 1,0$  °C para la categoría A,  $24 \pm 1,5$  °C para la B, y  $24 \pm 2,5$  °C para la C.

#### **Paneles sándwich auto portables de doble cara metálica UNE-EN 14509:2014**

Norma española que especifica los parámetros de diseño para la fabricación para paneles tipo sándwich con doble cara metálica teniendo en cuenta cada una de las aplicaciones que pueden tener este tipo de paneles en una edificación; cubiertas, paredes y revestimientos y cielorraso. Incluyen las especificaciones que debe tener un panel compuesto por aislantes de espuma de poli estireno extruido, fibra de vidrio o lana mineral.

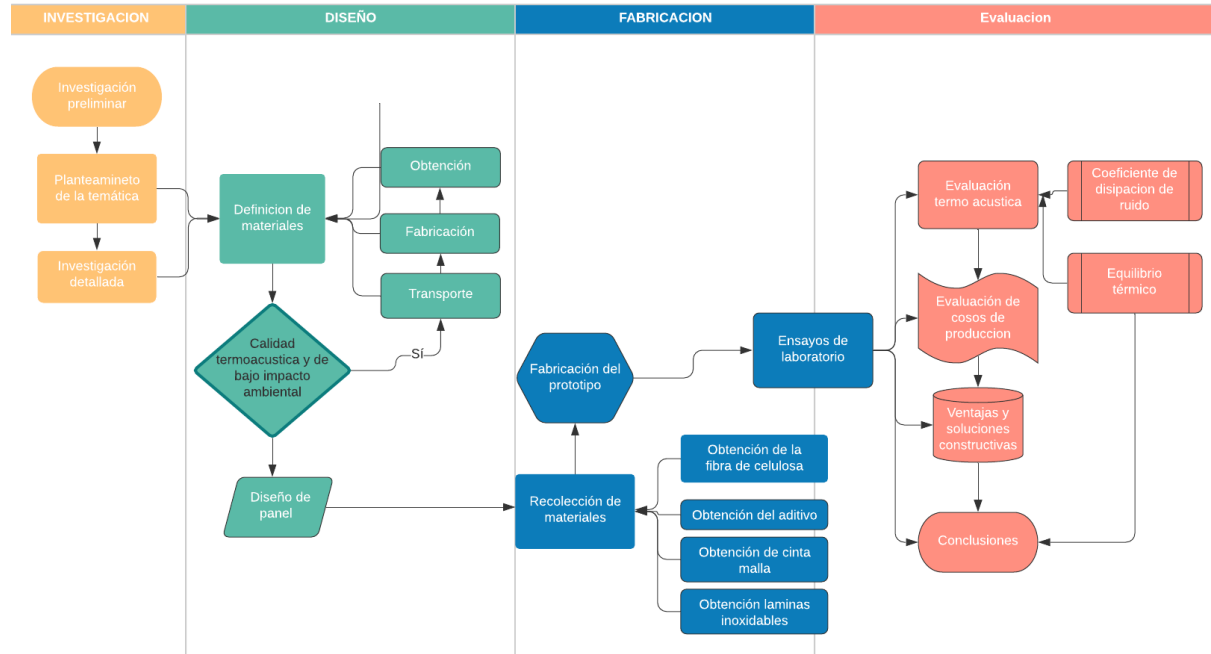
**ISO 6946: 2007 - Componentes de construcción y elementos de construcción - Resistencia térmica y transmitancia térmica - Método de cálculo**

Dentro De esta norma se encuentran los métodos de cálculo para poder encontrar la resistencia térmica que poseen los diferentes elementos constructivos. El método de proporción del cálculo se basa en la conductividad térmica que tienen el elemento de acuerdo a su funcionamiento.

Metodología

Figura 9

Cuadro metodológico



Nota. Elaboración propia

La metodología del estudio tiene cuatro etapas que constan:

- 1. Investigación:** En esta etapa se realizó una indagación detallada para determinar el tema de estudio de acuerdo a nuestra área de interés (La construcción).

La temática a abordar fueron los paneles tipo sándwich los cuales, debido a la demanda de venta a base de polímeros (generadores de residuos y productores de gases tóxicos), se determinó diseñar una alternativa de panel tipo sándwich a base de celulosa.

- 2. Diseño:** En esta etapa se evaluó los componentes necesarios para realizar el diseño de un panel a base de fibra de celulosa reciclada, definiendo los materiales y elementos a utilizar teniendo en cuenta, la obtención, fabricación y transporte determinado el alcance del

proyecto y verificado que su vez cumpla con las condiciones termo acústicas que brinden confort en una vivienda.

- 3. Fabricación del prototipo:** La etapa de fabricación inicia desde la recolección de los materiales determinados (tapas del panel, aislante y aditivos) hasta su terminación para la elaboración de ensayos en laboratorio.

El prototipo que se diseñó realizar corresponde a las medidas de 0.40 m x 0.40 m con un espesor de 0.05 m para que finalmente pueda ser comparado y evaluado con un panel tipo sándwich de poliuretano existente en el mercado.

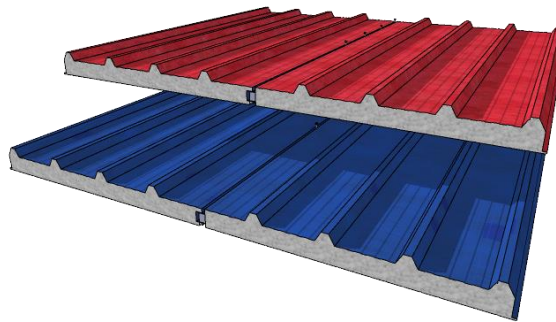
- 4. Evaluación:** Finalmente en esta etapa se realizaron las pruebas correspondientes para determinar la funcionalidad eficiente del panel.

### Panel sándwich a base de fibra de celulosa

Este panel para cerramientos de fachada está compuesto por dos laminas metálicas calibre 18, una de cara lisa y otra cara trapezoidal, su núcleo de composición es fabricado con fibra de celulosa proveniente de papel blanco reciclado, para la mejora del comportamiento ignifugo del material fue tratado con sales bóricas que a su vez ayuda a la prevención de insectos y hongos.

#### Figura 10

*Diseño de panel de fibra de celulosa*



*Nota:* Elaboración propia.

Su espesor de fabricación depende su utilidad de acuerdo a las necesidades industriales, comerciales, de vivienda y entre otras.

#### Fabricación del prototipo

Para la realización del prototipo se tuvo una metodología que consistió en 2 fases:

##### Fase de diseño

Dentro de la fase de diseño se estipulo cada uno de los elementos de composición del panel, siguiendo de esta manera las medidas y diseños estandarizadas para los paneles tipo sándwich. En esta etapa de diseño se realizaron pruebas previas de manejo del material para ver su trabajabilidad con los aditivos a utilizar y así lograr determinar los siguientes elementos:

1. 2 kg de papel reciclado blanco
2. 400 gr de colbón papa papel
3. Teja metálica trapezoidal
4. Lamina lisa (Steel deck)
5. Aditivo PL285
6. Sales de boro
7. Fórmata o cajón para moldeo de la pieza prefabricada
8. Elemento para compactar

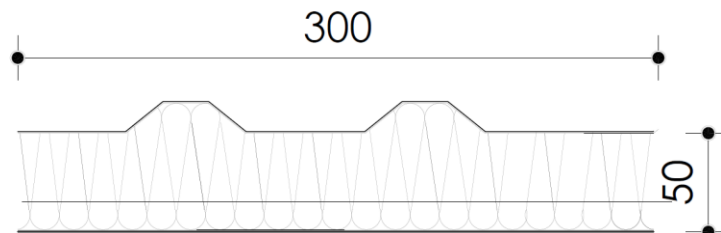
### Dimensiones

Las dimensiones planteadas para el diseño del panel se basaron para poder realizar las pruebas termo acústicas y así evaluar el comportamiento con los paneles tipos sándwich a base de poliuretano.

Las dimensiones son 300 x 300 mm con un espesor de 50 mm.

**Figura 11**

*Dimensiones del prototipo*



*Nota:* Dimensiones del prototipo de investigación. Elaboración propia.

### Fabricación

Para la trabajabilidad del panel se empleó una pieza metálica de moldeo para una mejor compactación de la fibra la cual tienen unas dimensiones de 500 x 500 mm teniendo en cuenta que la

pieza tiene un diseño de modo adaptable para trabajar las diversas medidas finales en las que se planteó realizar el panel.

**Figura 12**

*Formaleta de moldeo para la pieza prefabricada*



*Nota:* Pieza de moldeo para panel: diseño planteada (Izq.) resultado final (Der.)

**Pasos**

1. Se rasgo en papel en pedazos pequeños y se sumergieron en canecas con agua en un periodo de 3 a 4 horas para facilitar la trabajabilidad del papel y la obtencion de la fibra.

**Figura 13**

*Proceso de obtención de fibra de celulosa reciclada*



*Nota.*Procedimiento para la obtencion de la fibra de celulosa reciclada para elaboracion de prototipo: papel reciclado(Izq.) remojo del papel (Cent.) triturado del papel (Der.). Elaboracion propia.

Luego de escurrir el contenido de agua en el que se había dejado el material. Posteriormente para su trituración se le agrego más contenido de agua para obtener una fibra semi homogénea.

2. Mientras se iba efectuando el proceso de la trituración de la fibra, en un recipiente aparte se mezcló 400 gr de colbón para papel con 1 Lr de agua hasta formar una solución homogénea de agua y colbón, como se muestra en la figura a continuación:

**Figura 14**

*Preparación de la fibra*



*Nota.* Procedimiento de preparación de la fibra: solución de agua con colbón (Izq.) extracción del agua de la fibra para poder compactar el material (Der.). Elaboración propia.

3. Con la fibra ya escurrida y sin tanto contenido de agua el material fue ser vaciado y compactado en el molde. Como se muestra en la ilustración a continuación:

**Figura 15**

*Vaciado de fibra*



*Nota.* Proceso de vaciado y compactación de fibra de celulosa para prototipo de panel diseñado: vaciado de fibra (Izq.) Proceso terminado de vaciado (Der.). Elaboración propia.

4. Por último, se dejó el panel en este molde por 5 días y luego fue sacado de este para que finalmente se secase al aire libre con acción del aire y la luz solar natural. El tiempo de secado total de panel fue de 1 semana y media.

El modelo del panel se realizó en unas dimensiones un poco más grandes, las cuales fueron recortadas a las dimensiones anteriormente nombradas para así mejorar su acabado y proceso de secado.

#### **Figura 16**

*Prototipo final panel sándwich a base de fibra de celulosa reciclada*



*Nota.* Resultado final de la elaboración del panel a base de fibra de celulosa reciclada con dimensiones de 300 x 300 mm. Elaboración propia.

#### **Ensayos**

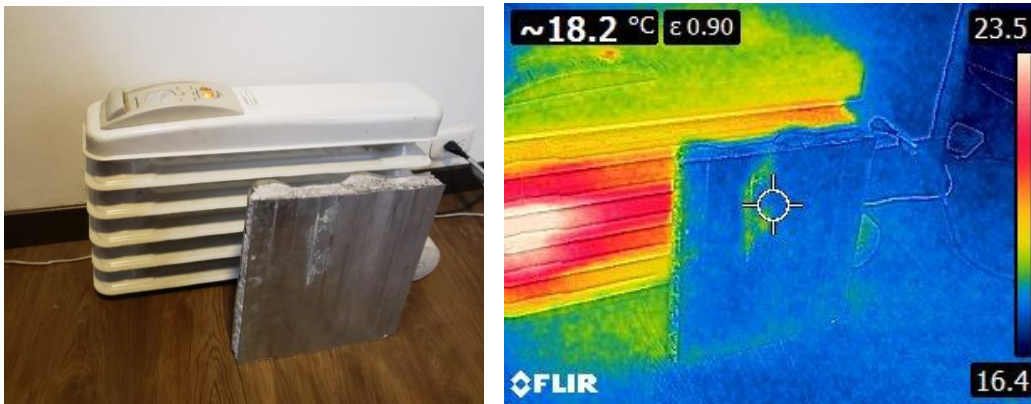
El foco principal de la utilización de panel es determinar viabilidad termo acústica de la alternativa del panel tipo sándwich a base de celulosa y las ventajas de impacto ambiental que trae la reutilización de materiales para la generación de nuevas materias primas. Así que un ensayo realizado para el panel fueron las pruebas de termografía para para determinar cuál es el almacenamiento temperatura que tiene el material con respecto a una fuente de calor.

### Prueba de Termografía

Para poder evidenciar la capacidad de aislación del panel se realizó un ensayo informal partiendo en la emisión de una fuente de calor en una cara del panel, determinado de esta manera el paso de temperatura de un lado a otro. Los datos de condiciones de temperatura durante el ensayo fueron registrados con una cámara termográfica FLIR E6 la cual proporciona una imagen térmica con la información general de temperatura en el panel.

**Figura 17**

*Inicio de ensayo de termografía*

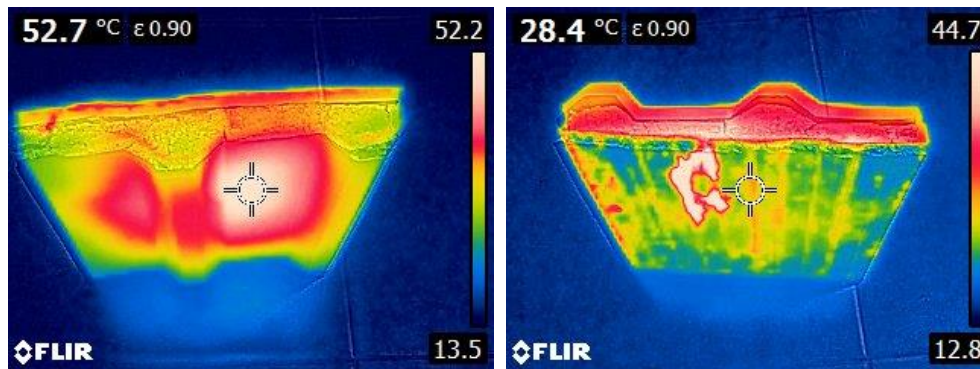


*Nota.* Fotografía de inicio de prueba informal para ensayo de termografía por el panel (Izq.) Fotografía con datos térmicos con cámara FLIR E6, temperatura inicial del ensayo 18.2°C (Der.).Elaboración propia.

La prueba tuvo una duración de cuatro horas a una temperatura constante. Al final de la prueba el lado del panel trapezoidal que estaba sometido a la fuente de calor tuvo una temperatura final de 52.7°C teniendo un punto de concentración de calor en el centro del elemento, mientras que en la otra cara tuvo una temperatura de 28.4 ° C, como se evidencia a continuación:

Figura 18

Datos de registro de temperatura



Nota. Las fotografías muestran la capacidad de aislamiento con la que cuenta la fibra de celulosa ya que en 50 mm de espesor logra aislar 24.3 °C. Elaboración propia.

En base a esta prueba realizada de forma superficial con ayuda de la herramienta termográfica se logra concluir que la fibra de celulosa funciona como aislante térmico evitando el paso de 24.3°C. Teniendo en cuenta que el panel estaba en un entorno abierto.

### Análisis y comparación del prototipo

Para lograr evaluar el comportamiento del panel frente a los demás sistemas de paneles tipo sándwich y otros materiales constructivos como los ladrillos y muros de hormigón armado, se utilizó una herramienta digital. UBAKUS es un software en línea que permite modelizar cualquier tipo de panel de fachada o cubierta calculando la capacidad de condensación, aislamiento térmico, aislamiento acústico y contribución al efecto invernadero de los diferentes materiales. Por lo que gracias a esta herramienta se pudieron determinar los diferentes parámetros de evaluación los materiales, demostrando así las ventajas de la solución constructiva propuesta:

Los parámetros de evaluación de los materiales fueron los siguientes:

Tabla 6

Tabla de parámetros de datos para comparación de elementos

<b>Circulación de aire:</b>	Aire libre
<b>Temperatura máxima:</b>	20 ° C
<b>Porcentaje de humedad relativa:</b>	60% Resistencia superficial interior (RSI)
<b>Porcentaje de humedad relativa:</b>	80% Resistencia superficial exterior (RSE)

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con estos parámetros de evaluación, se pudo determinar:

- Valor U (transmitancia térmica en una edificación):** “Es expresado en  $W/m^2 \cdot K$  y depende de la resistencia térmica de cada uno de los elementos que componen una superficie” (Franco, 2018). Gracias a este valor se logra determinar la resistencia térmica que posee un material, entre más alto sea su volumen mayor porcentaje de deficiencia de aislación térmica.

Material	Dimensiones	Valor U $W/(m^2K)$
<b>PANEL SÁNDWICH A BASE DE FIBRA DE CELULOSA RECICLADA</b>	<b>Teja trapezoidal:</b> 1.2mm <b>Celulosa:</b> 50 mm <b>Teja lisa:</b> 1.2mm	0,70
<b>PANEL TIPO SÁNDWICH A BASE DE POLIURETANO</b>	<b>Teja trapezoidal:</b> 1.2mm <b>Poliuretano:</b> 50mm <b>Teja lisa:</b> 1.2mm	0,47
<b>MURO DE HORMIGÓN ARMADO CON REVESTIMIENTO EXTERIOR “ESTUCO AISLANTE TÉRMICO” DRYMIX DE 21 MM</b>	<b>Espesor</b> 15mm  <b>espesor final:</b> 171mm.	2,99
<b>LADRILLO CERÁMICO HECHO A MÁQUINA “SANTIAGO 7” CON “ESTUCO AISLANTE TÉRMICO” DRY MIX A UNA CARA</b>	<b>Espesor:</b> 10 mm  <b>Espesor final:</b> 150mm	1,87

Nota. Los valores U de los paneles tipo sándwich a base de fibra de celulosa y el panel tipo sándwich a base de poliuretano fueron calculados a través del software Ubakus. Los demás valores fueron adaptados de: “Innovación general en sistemas constructivos”. V. Carrasco. S.f. ([http://old.acee.cl/576/articles-63166\\_recurso\\_8.pdf](http://old.acee.cl/576/articles-63166_recurso_8.pdf))

**2. Condensación de los elementos:** La condensación es el estado de cambio de la materia que se encuentra en forma gaseosa y pasa a forma líquido. Se produce en el material al momento en el que la temperatura de rocío y la temperatura ambiente del perfil llegan a un mismo punto, generando humedad y goteo en interior de la solución constructiva.

Para determinar el riesgo de condensación en los paneles de poliuretano y de celulosa se hizo una simulación para el cálculo de la cantidad de agua de condensación, los componentes fueron expuestos al siguiente clima constante:

**Tabla 7**

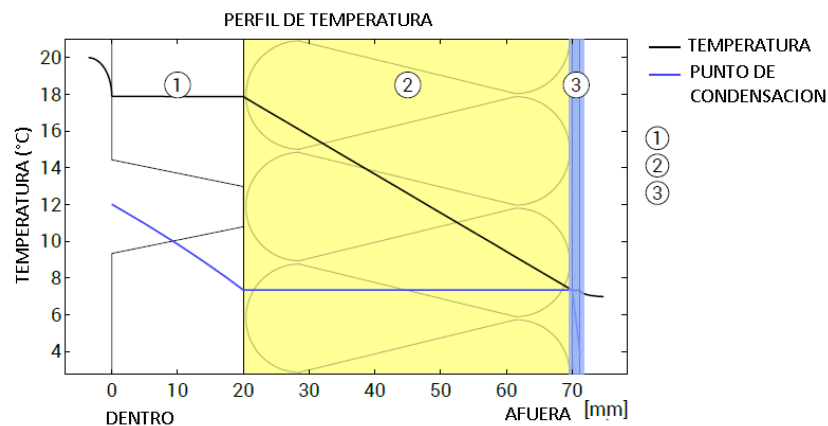
*Parámetros evaluación de condensación de los materiales*

<b>Tiempo</b>	90 días
<b>Temperatura interna</b>	20° C
<b>Humedad Interna</b>	60%
<b>Temperatura externa</b>	80%

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 19**

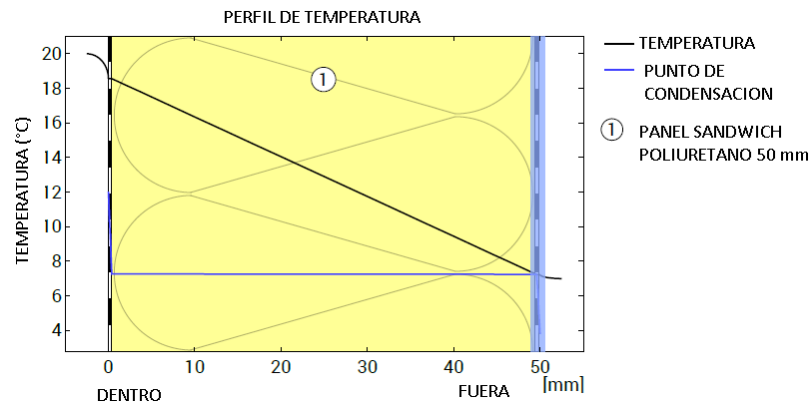
*Perfil de condensación de panel de fibra de celulosa reciclada*



*Nota:* Adaptado de: UBAKUS

**Figura 20**

*Perfil de condensación de panel a base de poliuretano*



*Nota:* Adaptado de: UBAKUS

Se puede evidenciar en las gráficas anteriores que ambos materiales (la celulosa y el poliuretano) presentan un riesgo de condensación mínimo, que puede ser solucionado con una cámara de aire en los materiales, sin embargo, no se presenta como una problemática para los paneles ya que no se evidencia un riesgo de alto riesgo, así que ambos componentes están libres de condensación bajo las condiciones climáticas dadas.

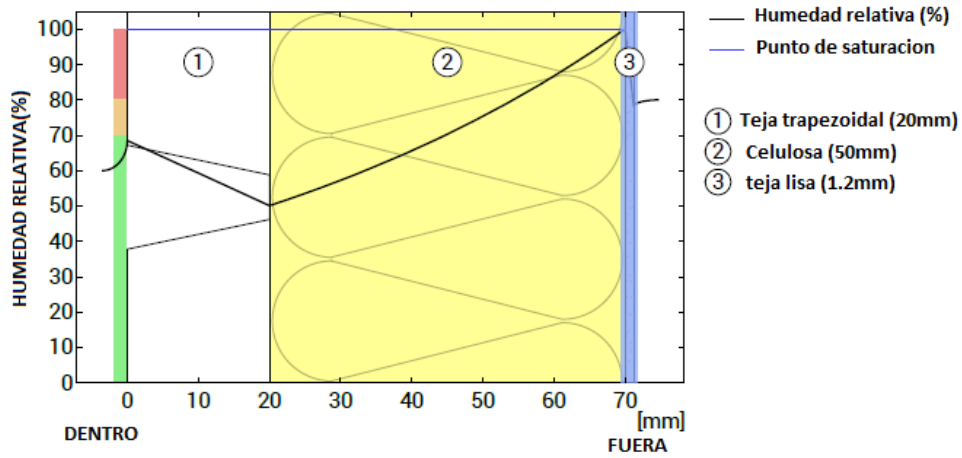
### 3. Humedad

Para el panel de fibra de celulosa reciclada la temperatura de la superficie interior es de 17,9 °C, lo que lleva a una humedad relativa en la superficie del 68%. La formación de moho no se espera en estas condiciones además que la mezcla con sales bóricas ayuda también a la reducción de estas patologías biológicas.

La siguiente figura muestra la humedad relativa dentro del componente.

Figura 21

Humedad relativa dentro del panel de celulosa

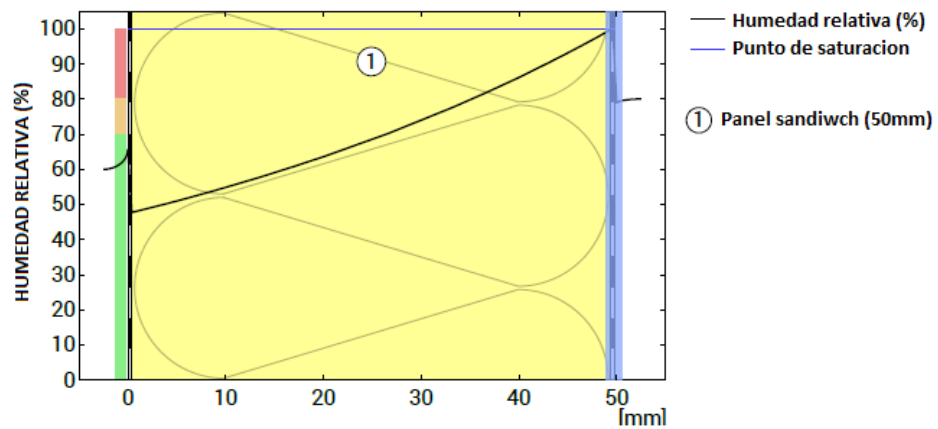


Nota: Adaptado de: UBAKUS

Para el panel de poliuretano la temperatura de la superficie interior es de 18,6 °C, lo que lleva a una humedad relativa en la superficie del 65% y tampoco presentaría moho en su superficie.

Figura 22

Humedad relativa dentro del panel de poliuretano



Nota: Adaptado de: UBAKUS

Teniendo en cuenta que el cálculo con el método Ubakus 2D-FE. La convección y la capilaridad de los materiales de construcción no fueron considerados. El tiempo de secado puede tardar más en condiciones desfavorables (sombreado, húmedo / frío veranos) que los calculados aquí.

### Conclusiones y Recomendaciones

En base a la experiencia durante el proceso de investigación, se concluye que la fibra de celulosa es un componente de fácil trabajabilidad y obtención lo cual ayuda a la creación versátil de elementos tipo sándwich con diferentes diseños.

Por otra parte, se logró evidenciar que en este proceso de fabricación es necesario el uso de una pieza de moldeo o formaleta que ayude a una mejor compactación para la resistencia del material. Además, otro factor clave para obtener este factor de resistencia incide en su proceso de secado, ya que depende de un secado uniforme en la homogeneidad de la fibra.

Es importante también resaltar que, en base al análisis realizado para la solución constructiva planteada, se demostró que el panel tipo sándwich a base de fibra de celulosa reciclada es una alternativa viable como aislante térmico. Aunque en el ensayo informal no demuestra mejores propiedades que el poliuretano, la fibra de celulosa muestra que según su punto de condensación y de humedad también puede ser implementada en elementos tipo panel sándwich contribuyendo a la reducción de impacto ambiental de la fabricación de este tipo de elementos, gracias a la reutilización de materiales, que a diferencia de otros, que usualmente se utilizan en la construcción; como el ladrillo y los muros de hormigón, el panel es un elemento que con menores dimensiones presenta mejor transmitancia térmica y una fácil instalación y adaptación ya que es un elemento prefabricado, por lo que puede ser utilizado en diferentes espacios como normalmente funcionan los paneles tipo sándwich.

A demás que sin mayor cantidad de uso de materiales y elementos se puede realizar este núcleo aislante de fibra de celulosa, quedando apto y en condiciones para brindar una buena funcionalidad termoacústica.

**Lista de Referencia o Bibliografía**

- Barragan, & Ramirez. (2015). *Placas de celulosa compactada para revestimiento acústico*.
- Cangemi, Dos santos, & Claro. (2009). *Química e Sociedade* (Vol. 31).
- Gutierrez, Buitrago, & Vasquez. (2014). *Estudio experimental de comportamiento del cisco del café como aislante acústico en construcciones livianas*. Universidad Libre .
- Hincapié, & Ramirez. (2009). *Biodegradacion del poliuretano residual por fermentación en estado solido*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117984>
- MAPFRESEGURIDAD. (2007). *Análisis de riesgos - costes de las opciones en el mercado de la soluciones constructivas utilizando elementos prefabricados*.
- Ochoa. (2005). *Reciclado mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa*.  
<http://oa.upm.es/341/1/05200525.pdf>
- Padilla, & Gomez. (2015). *Construcción sostenible a partir de planeles prefabricados de caña de guadua y poliuretano*.
- Pérez. (2010). *Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón*. <http://hdl.handle.net/2117/8398>
- Romano, & Andrés. (2013). *Residuos de la industria de celulosa moldeada. Producción de paneles de rellano para construcción*. [http://www.edutecne.utn.edu.ar/publicaciones/jit2013/FR-SANTA\\_FE/SF15residuos.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/publicaciones/jit2013/FR-SANTA_FE/SF15residuos.pdf)
- Serra, Díaz, & Merí de la Maza. (2017). Estudio y aplicación del sistema balloon frame a la industrialización de la vivienda: El caso de las American System-Built Houses de Frank Lloyd Wright. *Informes de La Construcción*, 69(546). <https://doi.org/10.3989/ic.15.023>
- Soto, Alvarez, Gomez, & Valencia. (2016). Confort térmico en viviendas de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 51–68. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a4>
- Vargas. (2019). *Evaluación de un proceso constructivo implementando paneles conpoliuretano para*

*viviendas temporales en el AAHH Santa Rosa.*

VenhausHeld, & María. (2015). *La celulosa de papel reciclado para la aislación térmica de edificios.*

*Aplicación a la realidad tecnológico- constructiva y económica del NEA.*

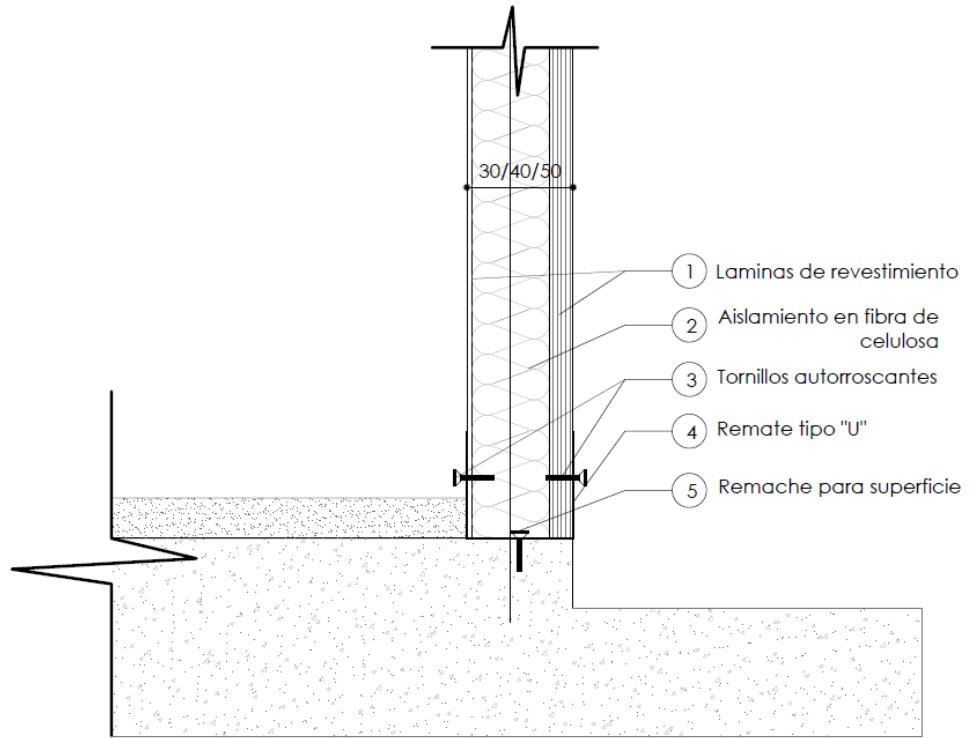
<https://revistas.unne.edu.ar/index.php/arc/article/view/4289>

Vidal, Torres, Valls, Cusola, López, Fernández, M<sup>a</sup>, Roncero, Casals, & Farré. (2019). *Potencial de la*

*Celulosa en la Construcción de Nuevos Materiales.*

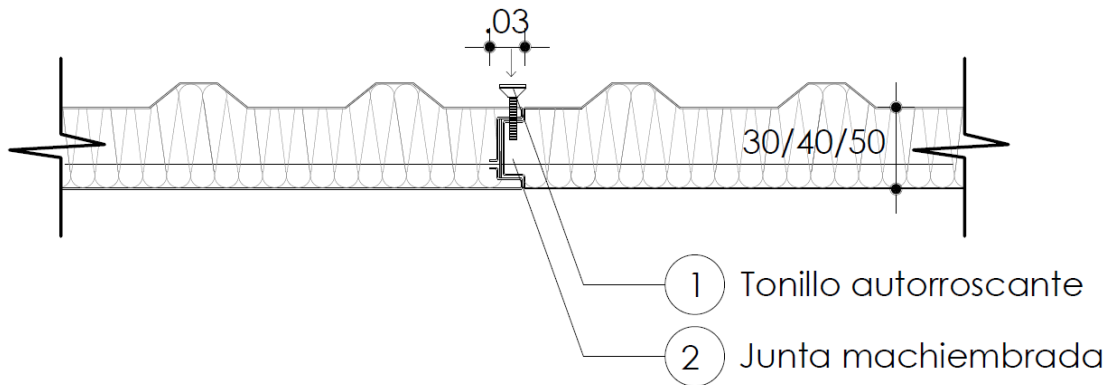
Anexos

DETALLE UNION DE PANEL SUPERFICIE



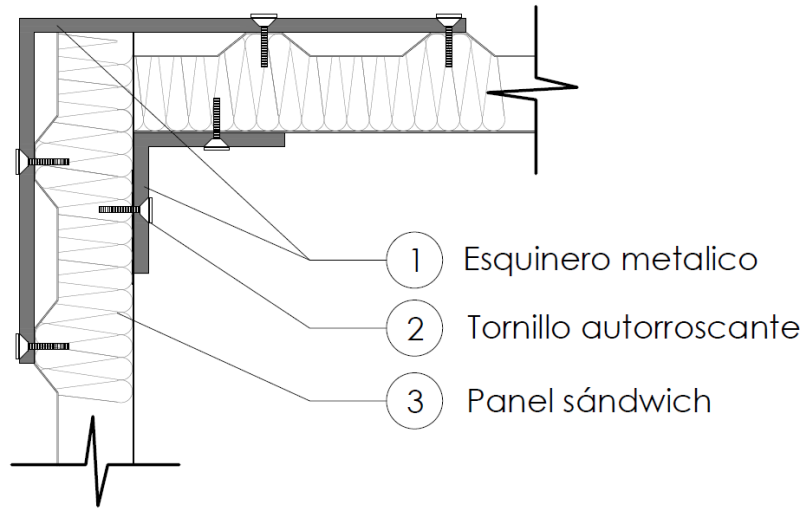
Nota. Elaboración propia

DETALLE DE UNION DE PANELES



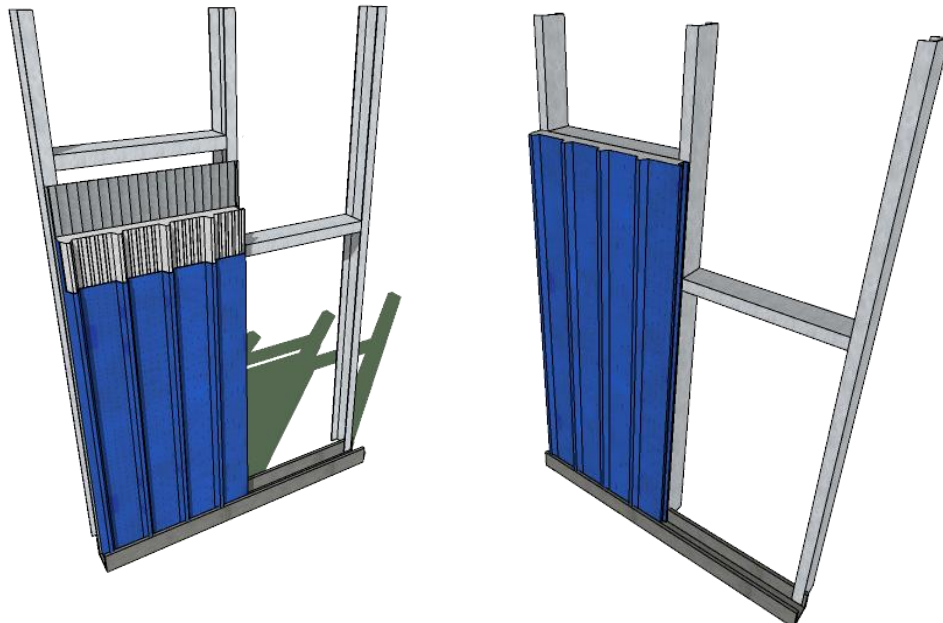
Nota. Elaboración propia

**DETALLE UNION EN ESQUINA**



*Nota.* Elaboración propia

**ANCLAJE A ESTRUCTURA METALICA**



*Nota.* Elaboración propia