



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía



**"Panelización para el reacondicionamiento de envolventes
murales:
-Estudio Experimental de Paneles de Madera con aislamiento
de colchón radicular de avena-"**

POR

Marco Andres Morales Marchant

Trabajo Integrativo presentado a la Facultad de Ingeniería & Facultad de Arquitectura, Urbanismo
y Geografía de la Universidad de Concepción para optar al grado académico de
Magíster en Construcción Industrializada en Madera

Profesor Guía:
Andrea S. Martínez Arias, Ph.D.

Marzo de 2025
Concepción, Chile

©2025 Marco Andres Morales Marchant

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradezco al proyecto Fondecyt – Mejoramiento de Escuelas – por hacer posible el desarrollo y financiamiento de mi trabajo final integrativo del Magister en Construcción Industrializada en Madera. A mi profesora guía, Andrea S. Martínez Arias, Ph.D., por su orientación, dedicación y constante apoyo a lo largo del proceso, y al laboratorio Classroom Retrofit por la ayuda de sus colaboradores y bases de datos. Gracias a su apoyo, este trabajo pudo ser llevado a cabo de manera integral y significativa.

Dedicado a mis pilares,
Marco Morales Cofré
Jeannette Marchant
Franco Morales
Moirá Fuentes
Atena
Arya
Gracias por ser mi fuerza, mi refugio y mi inspiración.

RESUMEN

Este trabajo se enmarca en el proyecto Fondecyt –Mejoramiento de Escuelas-, cuyo objetivo es abordar las problemáticas de habitabilidad en las escuelas construidas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales (SCEE), puntualmente con lo que respecta a la envolvente de los edificios, lo que afecta negativamente las condiciones de confort térmico en las salas de clases. La investigación tiene como propósito proponer una solución panelizable para el reacondicionamiento térmico de las envolventes murales, con el fin de dotarlas de las cualidades térmicas necesarias para crear un ambiente óptimo para sus usuarios.

Se propone un sistema panelizado con un aislante de colchón radicular de avena, diseñado para mejorar las cualidades térmicas de la envolvente mural del colegio. Para evaluar su efectividad, se analiza el impacto de la implementación de paneles prefabricados de madera con aislación de colchón radicular de avena en las temperaturas del aire, superficial y radiante, mediante una metodología cuantitativa-experimental. El caso de estudio se realizó en la Escuela Colonia Árabe en los Ángeles, donde se compararon dos salas: una de control y una intervenida con los eco-paneles. Se realizó un monitoreo de 12 días para medir la incidencia de los paneles en los parámetros higrotérmicos, evaluando los parámetros medidos a partir de la intervención.

El sistema de panelizado fue diseñado para ser replicable a nivel nacional en las "Escuelas Tipo" de la SCEE, buscando ofrecer una solución transversal para el problema común que enfrentan estas escuelas. Los principales resultados demuestran que la solución propuesta es una opción sostenible viable, y mejorando significativamente las propiedades térmicas de la envolvente del establecimiento educativo. La intervención logró reducir los valores U y se registraron T° superficiales más bajas que las del muro sin intervenir, cumpliendo con las normativas vigentes al momento ejecutar proyectos educacionales.

Palabras Clave: Mejoramiento infraestructura escolar existente, eco-aislantes, temperatura y confort, eficiencia energética y panelizado.

ABSTRACT

This work is part of the Fondecyt project – "School Improvement", which aims to address the habitability issues in schools built by the Society of Educational Establishments Builders (SCEE), particularly concerning their envelope, which negatively impacts the thermal comfort conditions in classrooms. The research aims to propose a panelizable solution for the thermal rehabilitation of the wall envelope, in order to provide the necessary thermal properties to create an optimal environment for its users.

A panelized system using oat root mattress insulation is proposed to improve the thermal qualities of the school's wall envelope.

To assess its effectiveness, the impact of prefabricated wood panels with oat root mattress insulation on air, surface, and radiant temperatures is analyzed using a quantitative-experimental methodology. The case study was conducted at the Colonia Árabe School in Los Ángeles, where two rooms were compared: one control and one treated with the eco-panels. Monitoring was carried out for 12 days to measure the incidence of the panels on the hygrothermal parameters, evaluating the results obtained from the intervention.

The panelized system was designed to be replicable nationwide in the "Typified Schools" built by SCEE, aiming to provide a cross-cutting solution to the common problem faced by these schools.

The main results show that the proposed solution is a viable sustainable option, significantly improving the thermal properties of the building envelope. The intervention reduced the U-values and achieved lower surface temperatures than the untreated wall, complying with the current regulations for educational building projects.

Keywords: Improvement of existing school infrastructure, eco-insulation, temperature and comfort, energy efficiency, and panelization.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Chile, nos enfrentamos a una problemática de habitabilidad en los espacios educacionales construidos por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales (SCEE) entre los años 1937-1987, ya que, estos poseen grandes falencias con respecto a su confort térmico, requiriendo de forma urgente reacondicionamientos y mejoras de infraestructura. A esto, se suma otra problemática que es la necesidad de utilizar nuevos materiales con menor impacto medioambiental a los que comúnmente se utilizan en la industria de la construcción, llevándonos a analizar un nuevo material más sustentable.

En la actualidad, la construcción moviliza el 10% de la economía mundial y es responsable de la emisión de 6,8 GtCO₂. Por esto es imprescindible la aplicación de criterios de sostenibilidad en la industria de la construcción (IPCC,2023).

La Organización de las Naciones Unidas, indica que las emisiones de CO₂ derivadas del funcionamiento de los edificios como lo son la calefacción o ventilación, alcanzaron alrededor de 10 Gt de CO₂ (ONU,2020). Siendo responsable la construcción del 38% de emisores de gases de efecto invernadero a nivel global (MINVU,2021). Según el quinto informe sobre el cambio climático, es crucial el financiamiento para implementar medidas en el diseño, planificación y monitoreo de infraestructuras que contribuyan a reducir las brechas de adaptación al cambio climático (MMA,2018).

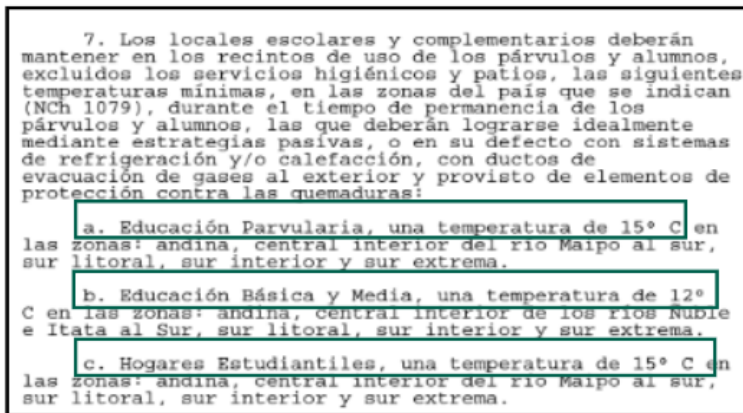
Es por ello, que la sostenibilidad en la construcción enfrenta hoy una problemática con necesidad de ser investigada, centrando los esfuerzos principalmente en los potenciales ahorros de futuros proyectos, sin embargo, las construcciones existentes representan el 40% del consumo energético mundial (Wang, Xia, and Zhang 2014). Las nuevas construcciones representan el 1% al año, mientras que el otro 99% de edificaciones producen el 27% de gases de efecto invernadero (GEI) del del mundo (Power, 2008). La tasa de rehabilitación de edificios existentes no supera el 3% anual; Sumado a estos valores se debe mencionar que, la sostenibilidad va más allá de números y trasciende como una labor social, que debemos atender como constructores y arquitectos. Autores como Brian Edwards indican que la sostenibilidad es: “la nueva vanguardia de la ciencia, la base de tecnologías y proyectos innovadores, el análisis de materiales sostenibles ciclo de vida y su aplicación en la construcción paradigma más reciente de la equidad social (...) es el camino que nos llevará a una arquitectura más rica, más sensible al medio ambiente y más humana” (Edwards, 2004). Asimismo, Novoas plantea que “Las condiciones habitacionales determinan en gran parte el nivel de la calidad de vida de la población (Novoas,2010).

Por consiguiente, este trabajo se encuentra enfocado en la infraestructura educacional creada bajo el ala de la Constructora de Establecimientos Educacionales (SCEE) que

ejecutó proyectos educacionales en diferentes períodos políticos. Planificó, diseñó y en variadas ocasiones construyó los edificios educacionales, con el fin de resolver el incumplimiento de la “obligación escolar” vigente en Chile desde 1920. Esto, debido a que la cantidad de establecimientos escolares existentes en el país a principios de siglo no daba abasto para albergar la cantidad de niños escolarizables a nivel nacional (Torres,2015).

El periodo SCEE comienza el 14 de enero de 1937 con la promulgación de la Ley N° 5.989, creando una Sociedad Anónima bajo un modelo de capital mixto público-privado, meses más tarde, el Decreto del Ministerio de Hacienda N°3.111, del 26 de agosto, declaraba legalmente instalada esta empresa.

Hasta 1965 fueron estructuras acordes a la primera normativa general de construcción chilena (1929) con muros macizos de 30-40 cm. En el año 1965 se introdujo la prefabricación y el uso de estructuras metálicas, con diseños “tipo” que permitían desarrollar proyectos de construcción simultánea en varias localidades (SCEE, 1987). Definiéndose como estructuras -Tipo económico (Ley N° 11.766,1954) Respondiendo de forma rápida y eficientemente al déficit de establecimientos que se había acumulado hasta la fecha. (Celedón,2021). Sin embargo, muchos de estos proyectos no cumplían con las exigencias del Decreto 548 (1989), que especifica una temperatura mínima adecuada para las aulas de educación básica y media, lo que resultaba en deficiencias térmicas en las estructuras construidas previamente.



(Fig.1.-Decreto 548 Art. 9. Fuente: Elaboración propia en base a información biblioteca del congreso Nacional de Chile)

Por tal razón, el reacondicionamiento de los edificios escolares es esencial, ya que el consumo energético necesario para alcanzar condiciones de confort adecuado representa un alto porcentaje del gasto anual. Hasta el año 2000 muchos países construían sin aislamiento térmico adecuado (Ali and Hashlamun 2019). Las envolventes, como las fachadas y techos, son las primeras áreas que requieren intervención para lograr un

equilibrio entre el desarrollo económico y el uso racional de los recursos (Velázquez, 2015).

En Chile recientemente, con fecha 27 de mayo de 2024 se actualizó la “Reglamentación Térmica”, contenida en el artículo 4.1.10. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) (Arévalo; Maira, 2024), la cual entrará en vigor en el mes de noviembre de 2025 (Minvu, 2024). Dando los parámetros específicos que regulan las propiedades térmicas de las envolventes en edificios no residenciales, lo que anteriormente solo abarcaba edificaciones residenciales.

ZONA TÉRMICA	COMPLEJO DE TECHUMBRE		COMPLEJO DE MUROS PERIMETRALES		COMPLEJO DE PISO VENTILADO		COMPLEJO DE PUERTAS OPACAS	
	U ⁽¹⁾	Rt ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	Rt ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	Rt ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	Rt ⁽¹⁾
	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W
A	0,84	1,19	2,10	0,48	3,60	0,28	---	---
B	0,47	2,13	0,80	1,25	0,70	1,43	1,70	0,59
C	0,47	2,13	0,80	1,25	0,87	1,15	1,70	0,59
D	0,38	2,63	0,80	1,25	0,60	1,67	1,70	0,59
E	0,33	3,03	0,60	1,67	0,60	1,67	1,70	0,59
F	0,28	3,57	0,45	2,22	0,50	2,00	1,70	0,59
G	0,28	3,57	0,40	2,50	0,39	2,56	1,70	0,59
H	0,25	4,00	0,30	3,33	0,32	3,13	1,70	0,59
I	0,25	4,00	0,35	2,86	0,32	3,13	1,70	0,59

(Tabla 1: Exigencia térmica para solución constructiva. Fuente Ministerio de vivienda y urbanismo 2024)

En el año 2020, el Departamento de infraestructura educacional del Ministerio de educación (DIE MINEDUC) entrega los parámetros de eficiencia energética para nuevos establecimientos y proyectos de conservación, dichos documentos son: Guía para intervenciones de Conservación, Guía Criterios de Diseño para Proyectos de Ampliación, Reposición y Construcción Nueva. Indicando que los edificios responden a los valores U definidos en el art. 4.1.10 de la O.G.U.C según su zona climática. Una de las principales mejoras necesarias para lograr esto es el aislamiento térmico, que juega un papel fundamental en la eficiencia energética (Masso, 2012). Ya que, un edificio con buena envolvente propia crea ambiente de confort para sus ocupantes, prolongando la vida útil de la edificación (Universidad Nacional del Litoral, 2019). Dejando un parámetro al cual poder apuntar al momento de reacondicionar espacios educativos.

Agencia SE (2021), sostiene que "Actualizar y preparar nuestra infraestructura existente para que sea más resiliente, eficiente e inteligente, y un gran comienzo, puede ser terminando con los 'Colegios Iglú' en nuestro país" (párrafo 9). Dado que las condiciones actuales de muchos colegios están lejos de llegar por ejemplo a los valores U que se estipulan para los nuevos establecimientos.

La preocupación principal en establecimientos educacionales a nivel gubernamental, investigativo, profesional y apoderados es la sala de clases que es el punto principal de

actividades. Actualmente las soluciones constructivas existentes en los colegios no se les evalúan los aspectos energéticos ni se tiene base de datos de ellos, con deficiencias respecto a su confort térmico y sostenibilidad (Muñoz,2021).

Diversos autores estipulan como punto central la necesidad de proporcionar un ambiente óptimo para la enseñanza, enfatizando en las características institucionales y estructurales del entorno escolar. (Brink, Loomans, Mobach & Kort (2020). Asimismo, Bonell (como se citó en Castro y Morales,2015) “comenta que el entorno físico tiene dos elementos principales, la instalación arquitectónica y el ambiente; interactuando entre sí para fortalecer o limitar el aprendizaje de las niñas y los niños” (p.4).

Los materiales de origen biológico tienen un gran potencial para contribuir a construcciones y reacondicionamientos sostenibles (Ranefjård, Strandberg & Wadsö 2024) Gracias a sus beneficios ambientales y de salud. Su uso implica un menor consumo de energía, la reducción del agotamiento de recursos naturales y una menor contaminación. (Zilic, Elissetche, y Hernandez,2019). En Chile existe la materia prima para la fabricación de estos materiales (Urrutia, 2024). Ofreciendo una alternativa a los tradicionales aislantes utilizados en Chile que son el poliestireno expandido y la lana mineral (MINVU-DITEC, 2014)

Aislante	Origen	Coef. conductividad
Rootman	Raíces de avena	$\lambda=0,035$ W/mK / CITEC
Thermikhaus	Celulosa reciclada	$\lambda=0,040$ W/m K / dictuc
EPS	Sintético	$\lambda=0,053$ W/m K
XPS	Sintético	$\lambda=0,040$ W/m K
PUR	Sintético	$\lambda=0,040$ W/m K
Arlita	Mineral	$\lambda=0,080$ W/m K
Perlita	Mineral	$\lambda=0,040$ W/m K
Vermiculita	Mineral	$\lambda=0,065$ W/m K
Lana de vidrio	Mineral	$\lambda=0,040$ W/m K
Lana de roca	Mineral	$\lambda=0,040$ W/m K

(Tabla 2: Tabla comparativa Coef. Conductividad. Fuente Elaboración propia en base a fichas de Rootman -Thermikhaus y Trabajo fin de grado 'Materiales aislantes sostenibles' Velázquez 2015.)

Considerando los parámetros indicados con anterioridad, abordando la sostenibilidad de los materiales y formatos en que nos encontramos con ellos, el panelizado es una respuesta rápida y eficiente tanto para la construcción como para el reacondicionamiento, especialmente cuando se utiliza madera, debido a que este material presenta características inherentes como su bajo peso y facilidad de trabajo, lo que lo hace ideal

para la construcción prefabricada y modular (Gutiérrez, Negrão, Días y Guindos ,2024). Lo cual la diferencia de otros materiales como el hormigón o el acero, la madera tiene la ventaja de almacenar dióxido de carbono (Camacho ,2021). Asimismo, considerando los tiempos limitados destinados a trabajos de mejoramiento, durante el año escolar, la utilización de soluciones rápidas y eficientes resulta crucial, sin dejar de lado el enfoque sustentable de los materiales. Permitiendo abarcar la sostenibilidad en la construcción, eficiencia energética y bienestar de la infraestructura educativa desde una mirada integral.

2. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN/ HIPÓTESIS

¿Es posible alcanzar los parámetros establecidos en la actualización de la reglamentación térmica del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en cuanto a los valores U de la envolvente mural, y a la vez mejorar el comportamiento térmico del muro en los parámetros de temperatura superficial, temperatura radiante y humedad relativa?

OBJETIVOS

O.G-

Desarrollar y evaluar una solución constructiva basada en paneles prefabricados de madera con eco aislante de avena para mejorar el comportamiento térmico de los muros de la envolvente opaca de una sala de clases.

O.E

-Diseñar una propuesta panelizable en madera con el eco-aislante, prototipar escala 1:1 para poder instalar en una sala de clases.

-Monitorear la incidencia en parámetros higrotérmicos: temperatura superficial, del aire y radiante junto con la Humedad Relativa.

-Evaluar las variaciones en los parámetros medidos a raíz de la intervención.

DISEÑO METODOLÓGICO

Este trabajo de finalización utiliza una metodología cuantitativa-experimental con aplicación en un caso de estudio.

Caso de estudio: Escuela Colonia Árabe de Los Ángeles, es una instalación de 2.832 m², construida en el año 1961 por la SCEE.

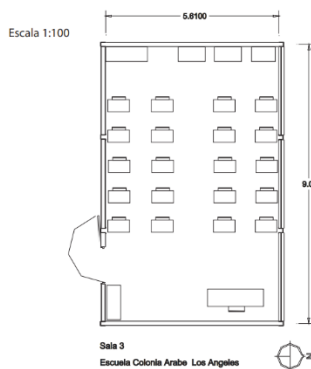
Al ser una construcción de 64 años, no cumple con las normativas actuales, como son los requerimientos térmicos establecidos en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), debido a esto es que será el caso de estudio en este trabajo ubicado en "Región del Bio Bio, provincia Bio Bio- Comuna Los Ángeles. Los Ángeles

posee un clima del tipo Csb según la clasificación climática de Köppen-Geige (Sarricolea P., MJ. Herrera, O. Meseguer-Ruiz.2017) en donde “los veranos son calurosos, secos y mayormente despejados y los inviernos son fríos, mojados y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 3 °C a 28 °C (weatherspark,2025).

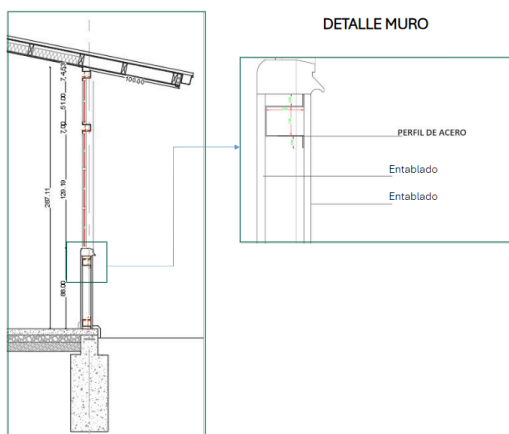
La investigación se desarrollará mediante una comparativa directa, donde las salas son continuas y poseen una estructura soportante de acero, tipo marco con tabiquería compuesta por una plancha de terciado que separa el afuera del adentro sin aislación, ni membranas.

El diseño experimental consistió en una intervención 1:1 de eco-paneles modulares de madera con aislación interior con un colchón radicular de avena que permitió comparar una sala de clases intervenida con una sin intervenir teniendo el rol de sala de control.

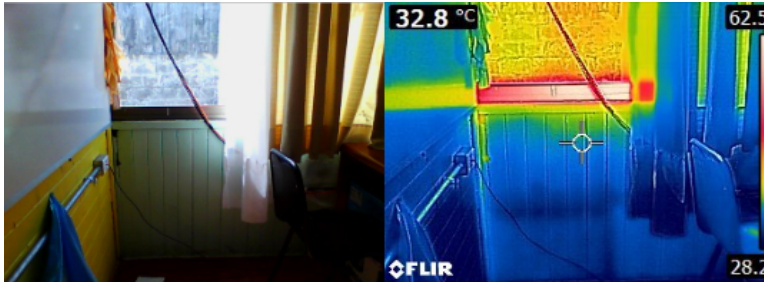
La sala por intervenir y la de control poseen las siguientes dimensiones. Compuestas por tres módulos de 3m dando un muro total de 9m de largo.



(Fig.2.-Planimetría sala de clases. Fuente: Elaboración propia en base a planos Classroom Retrofit)



(Fig.3.-Escantillón muro. Fuente: Elaboración propia en base a archivos Classroom Retrofit)



(Fig.4.-Imagen térmica de muro. Fuente: archivos personales)

-La primera fase constaba de simular el comportamiento del muro original en paralelo al muro reacondicionado mediante el software Ubakus, comparando principalmente los valores U que arroja el programa para evidenciar si la aplicación de este reacondicionamiento podía mejorar las cualidades de la envolvente mural del colegio.

-Posteriormente a esto se modeló en 3D en el programa Sketchup para poder simular posibles problemas al momento de fabricación e instalación de los paneles, permitiendo simular los cortes de las piezas y de esta forma diseñar de forma óptima minimizando las trazas que no se ocuparían.

-La siguiente fase del proceso investigativo consistió en la elección de los parámetros a medir y para esto nos guiamos por el estándar ASHRAE-55 que nos define 6 factores para lograr el confort térmico de los cuales se considerarán 3 para el presente trabajo: Temperatura de aire-Temperatura radiante-Humedad (ASHRAE,2019), debido a que son los puntos que podemos mejorar interviniendo la envolvente mural. A los cuales se les suma la temperatura superficial de muros, ya que una gran influencia en la temperatura percibida en el ambiente interior afectando por la T° sup. de muro, afectando directamente en la condensación intersticial y la formación de moho. (INN,2014)

Se medirán los parámetros higrotérmicos de los muros de las salas de clases, entre sala de control e intervenida. Comparando:

- Temperaturas superficiales
- Temperatura del aire
- Temperatura radiante
- Humedad relativa

Se identifican las variables existentes para el análisis y obtención de datos del caso:

Variables independientes

1. Tipo de Eco-Aislante
2. Condiciones Ambientales
3. Método de Instalación del Eco-Aislante (Panelizado)

Variables Dependientes

-
1. Temperaturas Superficiales
 2. Temperatura y Humedad Relativa del aire
 3. Temperatura Radiante

Estos parámetros serán monitoreados y registrados cada 5 min durante 12 días con los siguientes instrumentos:

a. Sensor OnSet 4 Channels-HX1105. Es un registrador (datalogger) que permitió medir la temperatura superficial del muro por intermedio de sondas externas.



(Fig.5.- Sensor HX1105. Fuente: Archivo personal)

b. Sensor HX1101. Permite medir temperatura del aire y humedad relativa (RH).



(Fig.6.- Sensor HX1101. Fuente: Archivo personal)

c. Sonda de globo. Instrumento que se conecta al sensor HX1101 y permite obtener la T° radiante.



(Fig.7.- Sonda de globo. Fuente: Archivo personal)

d. Cámara térmica flir. Mediante imágenes infrarrojas podemos observar las temperaturas superficiales de las salas.



(Fig.8.- Cámara Térmica Flir. Fuente: Archivo personal)

e. Sensor MX2302A. Sensor de exteriores. Permite registrar temperatura del aire y humedad relativa. Se pudo registrar la temperatura superficial del muro.



(Fig.9.- Sensor MX2302A. Fuente: Archivo personal)

f. Infrared Thermometer. Medición de temperaturas superficiales. Sirvió como instrumento de validación de las temperaturas superficiales registradas en imágenes infrarrojas.



(Fig.10.- Infrared Thermometer. Fuente: Archivo personal)

Con estos instrumentos se pudo recolectar los datos necesarios para llevar a cabo una comparativa de una sala de control v/s una intervenida.

- Fabricación de paneles a escala 1:1.
- Instalación de paneles en el caso de estudio.
- Instalación de sensores

3. RESULTADOS

Se utiliza un colchón radicular de avena como eco aislante que posee grandes prestaciones como aislante térmico, acústico y de fuego, el cual es fabricado por la industria local Rootman (Rootman, n.d.) ubicada en Los Ángeles-Bio Bio, promoviendo la industria local. Es un material versátil para un sistema panelizado por su formato y maleabilidad. Como las nuevas tecnologías aplicadas para responder a las problemáticas ambientales y requerimientos de la construcción en temas de rápida producción en entornos controlados y poco contaminantes.



(Fig.11.- Aislante hecho en base a raíces de avena. Fuente: Rootman- <https://www.rootman.com/que-hacemos/>)



(Fig.12.- Formato comercial 60x60 del aislante. Fuente: Archivo personal)

Aislante	Material	Espesor	Precio	Formato	Coef. conductividad
Rootman	Raíces de avena	70-75mm	\$7.490 m ²	60x60cm	$\lambda=0,035$ W/mK / CITEC

(Tabla.3.- Información formato de venta. Fuente: Elaboración propia con información de ficha técnica Rootman)

Resistencia térmica	Resistencia al fuego	Absorción sonora	Aislante acústico	Factor Resistencia al vapor	Densidad
R=1,45 m ² K/W(50mm) / CITEC	F90 / IDIEM	am _{áx} =0,97(1000hz) / CITEC	Rw=48 dB/CPIA - NRC= =0,75	Permeable, =3,341	m 120 140 kg/m ³ CITEC

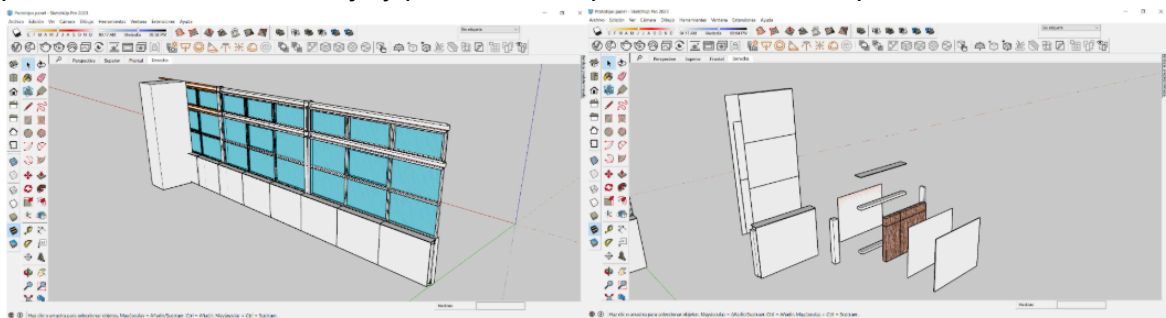
(Tabla.4.- Información técnica con sus certificaciones. Fuente: Elaboración propia con información de ficha técnica Rootman)

Con el objetivo de abordar cuestiones de sustentabilidad, eficiencia y economía el prefabricado es una excelente opción. Como señala Novoas (2010) “En la construcción se ha intentado optimizar en cuestiones de tiempo y economía, por lo que no es de extrañarse que la industria de los prefabricados se ha convertido en una opción muy atractiva en las fechas actuales” (p.1).

Esto ha dado lugar a una propuesta panelizable y sostenible que responde a la problemática que enfrentan los colegios en cuanto a su envolvente. Por lo tanto, la necesidad de avanzar hacia una arquitectura más sostenible mediante la introducción de nuevos materiales, y la exigencia de mejorar el comportamiento energético de los edificios, justifica el objetivo de llevar a cabo un estudio, medición y comparación de una sala de control con una sala intervenida.

Para ello, se diseña una unidad modular bajo los parámetros de que sea de fácil transporte, fácil instalación y replicable a nivel nacional en esta tipología de escuelas, entendiendo que todas estas estructuras se concibieron en base a módulos de 3m de largo con antepechos de 0.86m, los cuales conforman salas desde un módulo hasta salas compuestas por tres módulos, que es el caso de estudio con un largo total de 9m de muro. Sumado a esto se le suma el factor de dimensionamiento en que se encuentran las materias primas en el comercio actual y en pro de reducir lo más posible los despuntes y restos de material que no se van a utilizar.

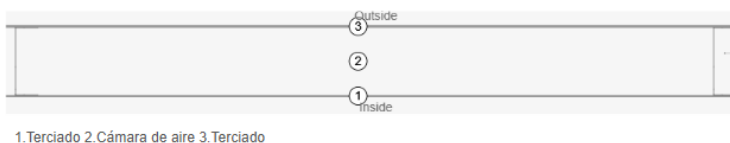
Esto concluyó en que las medidas de los paneles fueran de 1m de ancho x 0.86m de alto que corresponde a la altura del antepecho. Posterior a esto se desarrolla un modelo 3D en el programa Sketchup para poder identificar posibles incongruencias en el panel, estudiar posibles sistemas de anclaje y poder simular posibilidades de acople entre módulos.



(Fig.13.-Modelo 3D. Fuente: Elaboración propia)

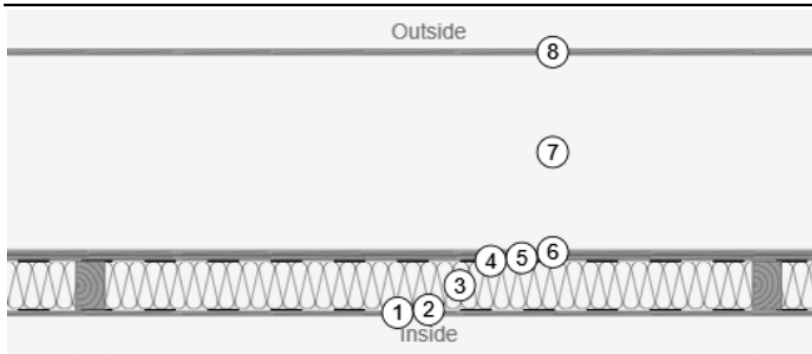
Se realiza una simulación del comportamiento térmico en el software Ubakus para obtener el valor U del muro. Arrojando como resultado:

Muro original Valor $U= 2,167 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



(Fig.14.-Simulación muro original. Fuente: Elaboración propia mediante software Ubakus-2025)

Muro intervenido con eco-panel Valor $U= 0,433 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

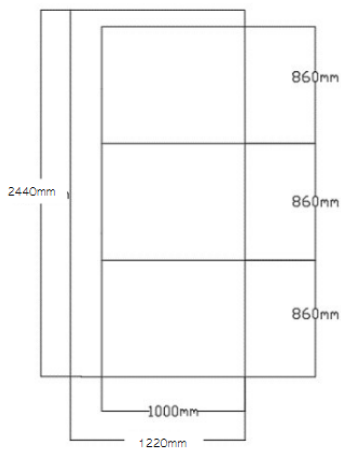


Eco-panel
1. Terciado 9mm 2. Membrana humedad 3. Aislante radicular (75mm) 4. Membrana humedad 5. Terciado 9mm
Muro original
6. Terciado 7. Cámara de aire 8. Terciado

(Fig.15.-Simulación muro intevenido . Fuente: Elaboración propia mediante software Ubakus-2025)

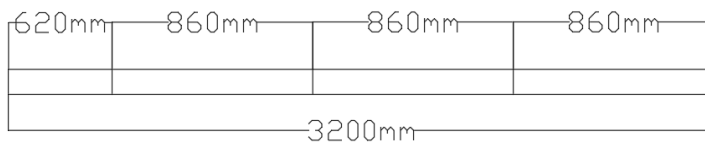
Posterior al modelado 3D y simulación en el programa Ubakus, se realiza un despiece de los paneles, identificando cada tipo de componente y contabilizando cada pieza para la totalidad de paneles para poder diseñar los planos de corte en 2D. Diseñando de esta forma un proceso de corte que minimice los despuntes y a su vez poder contabilizar la cantidad de materiales se necesitan para la fabricación de los paneles.

Panel terciado ranurado 9mm 1220x2440 mm



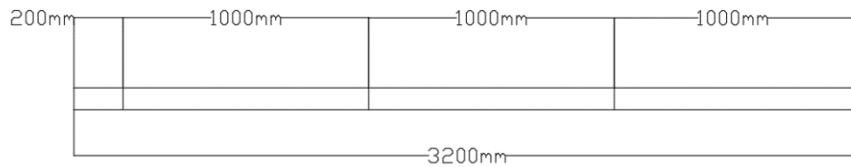
(Fig.16.-Esquema de corte terciado. Fuente: Elaboración propia)

Listones de madera Pino Certificado Seco Cepillado 1x4 - 1x2



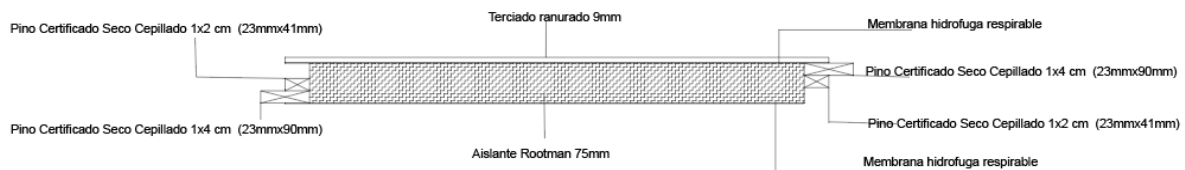
(Fig.17.-Esquema de corte listón. Fuente: Elaboración propia)

Listones de madera Pino Certificado Seco Cepillado 1x3



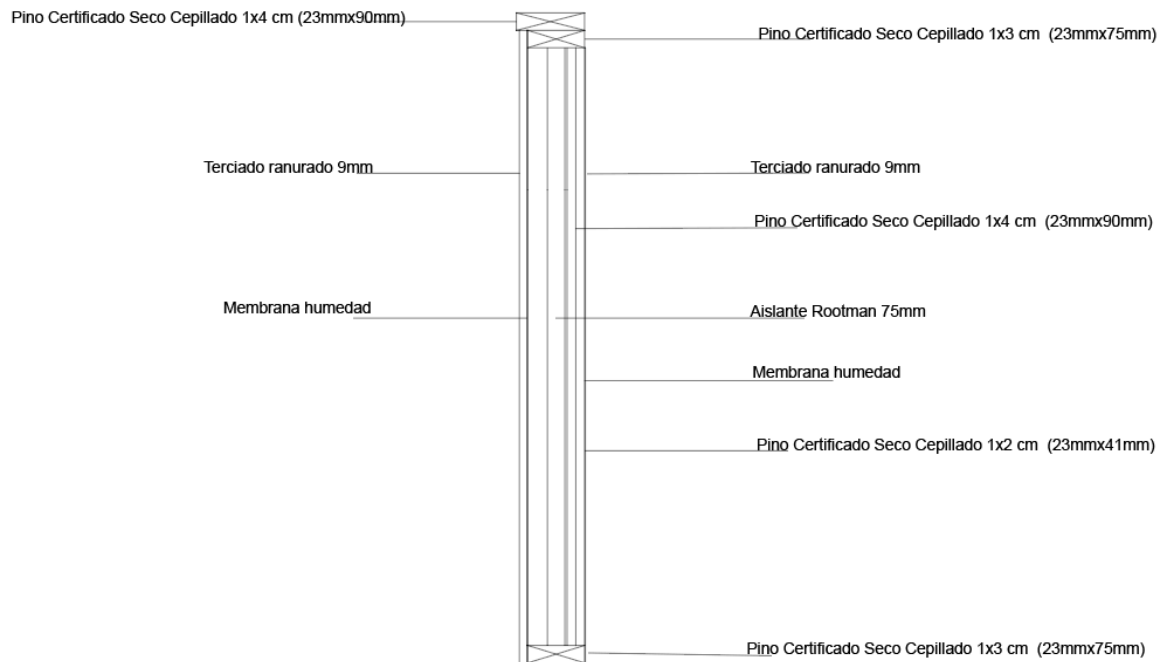
(Fig.18.-Esquema de corte listón. Fuente: Elaboración propia)

Detalle: Vista superior del panel



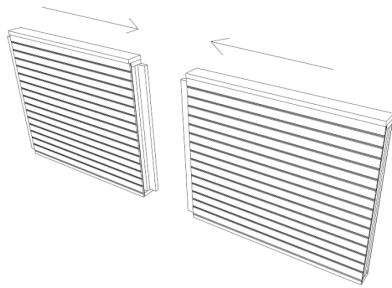
(Fig.19.-Detalle panel. Fuente: Elaboración propia)

Vista corte constructivo panel



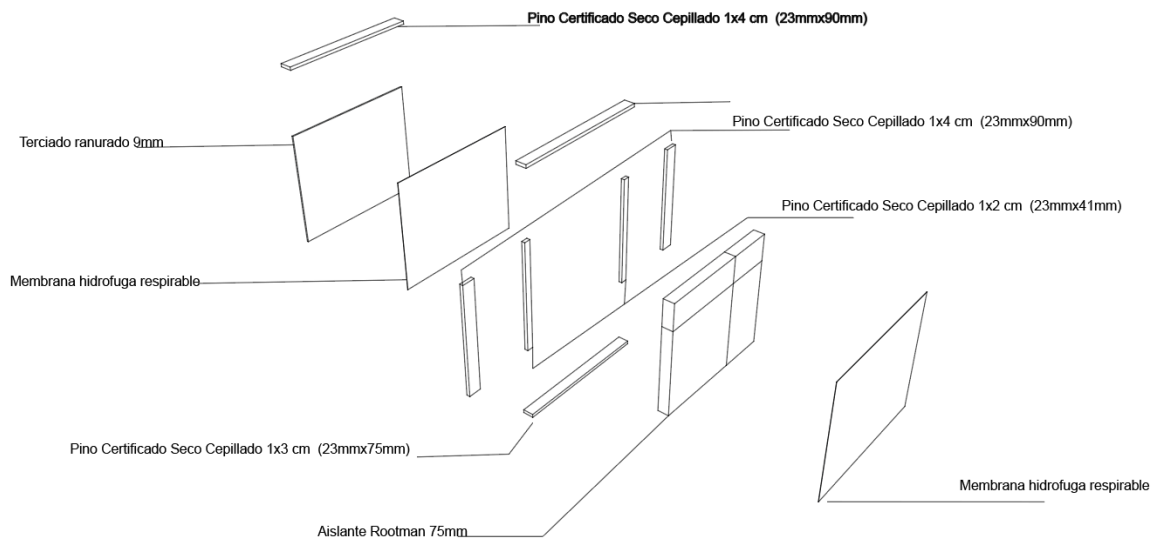
(Fig.20.-Detalle panel. Fuente: Elaboración propia)

El diseño del panel modular está realizado para que este se ensamble con el módulo continuo y de esta forma sean un solo elemento y evitar que se generen puentes térmicos entre ellos, siendo este el elemento de fijación para el panel con el muro y así mismo entre paneles.



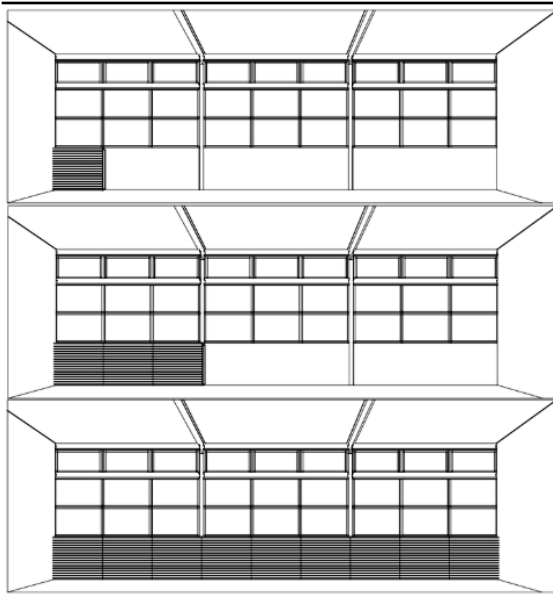
(Fig.21.-Detalle ensamble entre paneles Fuente: Elaboración propia)

Vista explotada



(Fig.22.-Detalle panel. Fuente: Elaboración propia)

Al ser modulares se facilita la instalación y permite adaptarse a la cantidad de módulos que posea cada sala. Resultando en una secuencia de montaje fácil que pueden llevar a cabo solamente dos personas.



(Fig.23.-Detalle instalación. Fuente: Elaboración propia)

Costos

Item	Precio	Cantidad	Total	Lugar cotización
Pino Certificado Seco Cepillado 1x3 cm 3,2 m (23mmx75mm)	\$1,770	6	\$10,620	Sodimac
Pino Certificado Seco Cepillado 1x4 cm 3,2 m (23mmx90mm)	\$2,590	9	\$23,310	Sodimac
Pino Certificado Seco Cepillado 1x2 cm 3,2 m (23mmx41mm)	\$1,380	5	\$6,900	Sodimac
Aislante Rootman 75mm (600mmx600mm)	\$4,494	20	\$89,880	Rootman-Los Ángeles
Terciado ranurado 9mm (1440mmx2440mm)	\$19,580	3	\$58,740	Sodimac
Tornillo para madera 10x3" 144 unidades	\$11,690	2	\$23,380	Sodimac
Tornillo para madera 8x1 1/4" 144 unidades	\$5,490	1	\$5,490	Sodimac
Membrana hidrofuga respirable 40 m2	\$21,990	1	\$21,990	Sodimac
Autoperforante hexagonal con golilla 12X3 100 unidades	\$17,990	1	\$17,990	Sodcimac
Guardapolvo Pino Finger Natural 14 mm 7x300 cm	\$3,240	3	\$9,720	Sodimac
Lijas	1,160	1	\$1,160	Easy
Guantes de protección	2,990	2	\$5,980	Easy
Brochas	1,990	2	\$3,980	Easy
Aceite de Linaza 1/4 Galón	8,990	2	\$17,980	Easy
		Total	\$297,120	clp

El costo de materiales por m2 de eco-panel fue de 0.85UF

(Tabla 5: Cubicación de materiales. Fuente Elaboración propia en base a precios retail.)

Fabricación

El proceso inicia con el acopio de los materiales para dar paso al proceso de manufactura que se separó en cuatro fases para realizar un trabajo lineal, siendo este más rápido y eficiente.

- Marcado y cortado.
- Montaje.
- Cerrado de paneles con aislación y membrana.
- Impregnación con aceite de linaza.

a_ Etapa de marcado y cortado

El proceso se basó en ir siguiendo los planos de corte en paralelo con el modelo 3D de Sketchup para realizar los cortes de forma precisa y continua.



(Fig.24.-Proceso de corte de las piezas. Fuente: Archivos personales)

b_ Etapa de montaje



(Fig.25.-Fabricación del 1er panel. Fuente: Archivos personales)

El ensamblado se lleva a cabo con tornillos de #10 [5.0]x75 en los listones de madera y para anclar la plancha de terciado se utilizaron tornillos 8 X 2 ½".

Se integra la membrana de humedad/vapor anclado con grampas a la madera en forma envolvente para proteger el interior del panel y de esta forma evitar la condensación.

Se cortan todas las piezas necesarias para poder construir los 9 paneles que se necesitan para reacondicionar la sala de clases que comprende un muro de 9m de largo y de esta forma generar una secuencia de trabajo más rápida y lineal.

c_ Fabricación en serie de paneles.

Esta etapa se basa en ensamblar las piezas ya cortadas como si fuera un rompecabezas siguiendo los planos y acorde al modelo 3D.



(Fig.26. Montaje en serie. Fuente: Archivos personales)

d_ Impregnación con aceite de linaza

Solución 100% natural para proteger la madera a diferencia del barniz que posee químicos, en pro de que en los paneles se utilicen la mayor cantidad de materiales de origen natural y sustentables que encontramos en el comercio.

Imprégnate	Origen	Biodegradable	Emisiones de compuestos volátiles (VOC)	Sostenibilidad	Rendimiento	Toxicidad	Impacto en la salud	Tiempo secado repinte
Aceite de linaza	Natural	Alta	Baja	Alta-Proviene de una planta	15-18m ² / L	Baja	Baja	12h
Barniz	Sintético	Baja	Alta	Baja-Proviene de petroquímicos	10,8 m ² / L	Alta	Potencialmente dañino	24h

(Tabla 6: Comparativa Aceite de linaza y Barniz. Fuente Elaboración propia)



(Fig.27.-Aplicación aceite de linaza. Fuente: Archivos personales)

Traslado de paneles desde la facultad a Escuela Colonia Árabe.



(Fig.28 Fuente: Archivos personales)

Se deja una cara abierta debido a que falta el aislante que será puesto in-situ para posteriormente cerrar el panel. Esto es por temas de logística, ya que la planta que fabrica el eco-aislante se encuentra en Los Ángeles al igual que el colegio a intervenir, pero en un escenario ideal los paneles van cerrados y listos para instalar.

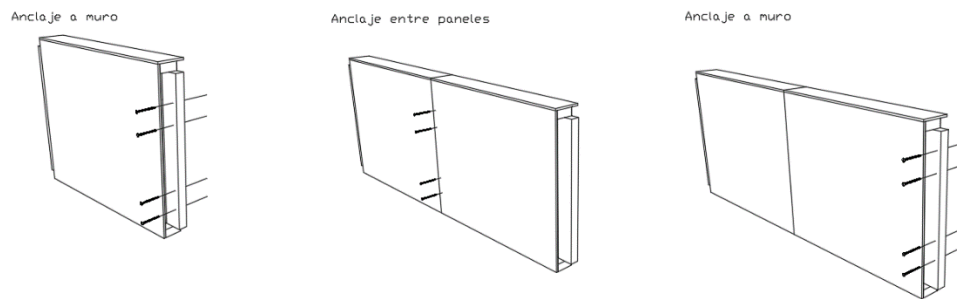


(Fig.29.- Interior de paneles con el eco aislante hecho en base a raíces de avena.Fuente: Archivos personales)

d. Instalación de eco-paneles

La instalación de paneles en cara opaca del muro fue realizada por dos personas y llevo aproximadamente una hora.

Se anclan mediante tornillos autoperforantes hexagonal c/goli. Neopre. #12-14x3" al muro existente en la zona de acople que tiene y luego se fijan entre ellos igualmente con tornillo #10 [5.0]x75. De esta forma se van anclando al muro de forma secuencial.



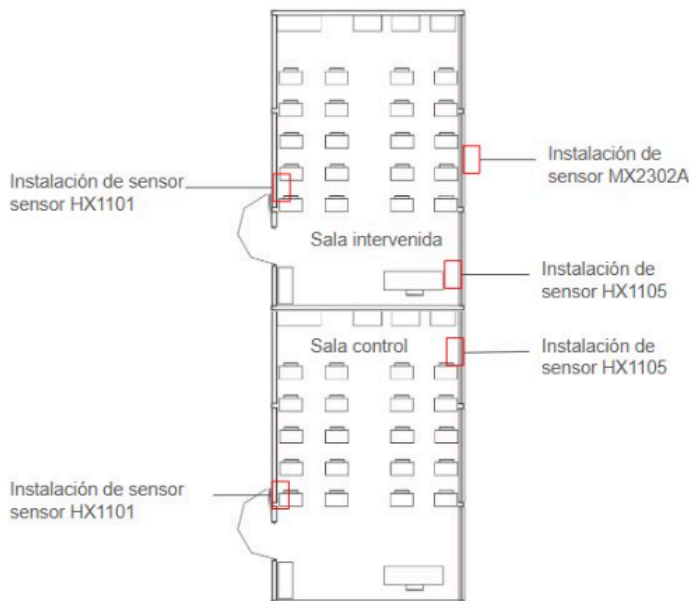
(Fig.30.-Secuencia de anclaje. Fuente: Archivos personales)



(Fig.31.-Instalación. Fuente: Archivos personales)

Se planifica instalar los sensores en planimetría para poder tener constancia de las zonas en que se instalaron para monitorear y así evitar que se pierdan, por ende, la ubicación es más bien algo técnico a algo estratégico.

La sala por intervenir es la Sala 5 del colegio Colonia Árabe y la sala de control es la Sala 7. Ambas salas con orientación este.



(Fig.32.- Instalación de sensores. Fuente: Elaboración propia en base a planimetría del colegio)

e. Instalación de sensores para monitoreo

Sensor instalado en la superficie del eco-panel y otro del mismo tipo en el muro de la sala de control para monitorear T° superficial de ambos muros. Al momento de instalarlos se les aisló con poliestireno expandido para evitar que otras temperaturas como la del aire incidieran y lograr medir netamente la T° sup. del muro.



(Fig.33.- Sensor HX1105 Fuente: Archivos personales)

Instalación de sensor HX1101 para monitoreo de T° radiante y RH en ambas salas.



(Fig.34.- Sensor HX1101 Fuente: Archivos personales)

Instalación Sensor MX2302A para monitorear T° exterior, RH y una sonda de T° de superficie.

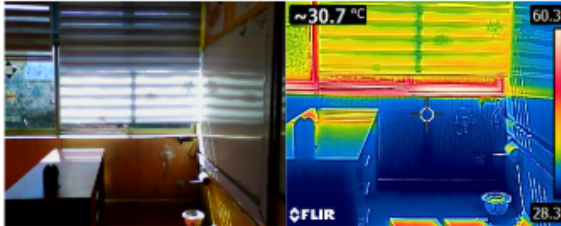


(Fig.35.- Sensor MX2302A Fuente: Archivos personales)

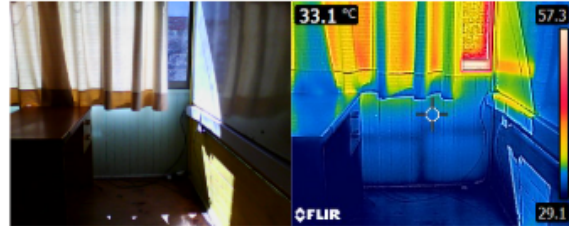
Mediante el monitoreo de los sensores se pudieron obtener las mediciones de T° superficial, RH, T° radiante y T° dentro de las salas.

Imágenes térmicas obtenidas el día 31 de Enero del 2025 que fue el día en que se instalaron los sensores y ya se evidenciaba una diferencia de T° superficial de $2,4^{\circ}$

Muro eco-Panel



Muro sala de control



(Fig.37.- Imágenes térmicas con cámara flir Fuente: Archivos personales)

En la siguiente imagen podemos observar la diferencia de T° superficial al momento que se fueron a retirar los sensores el día 12-Feb-2025 a las 11:15 hrs. Obteniendo 2.42° de diferencia en la cara opaca del muro.



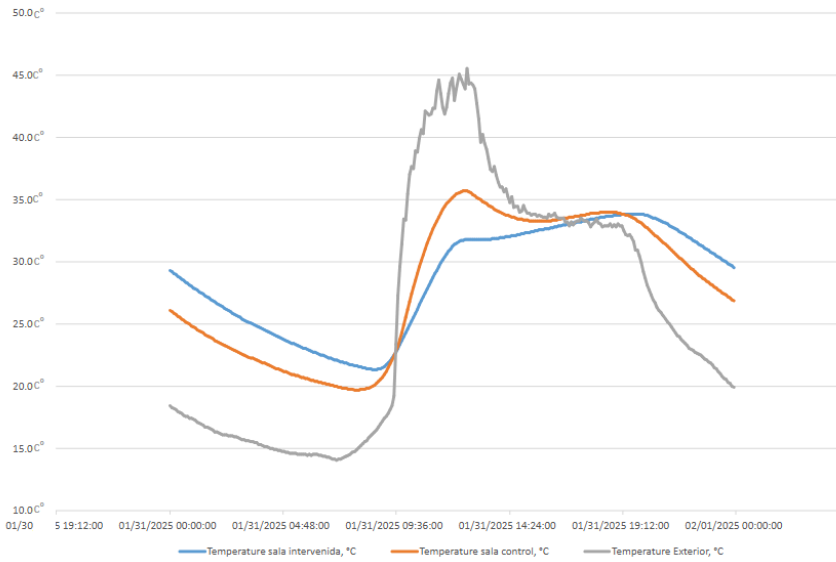
(Fig.36.- Sensores HX1105 Fuente: Archivos personales)

Se elaboraron gráficas utilizando los datos registrados durante un período continuo de 24 horas, con el objetivo de analizar en mayor detalle las oscilaciones en la temperatura superficial, la humedad relativa (HR%) y la temperatura radiante. Para ello, se seleccionó un día representativo que refleja de forma aproximada el comportamiento general observado durante todo el monitoreo. Además, se calcularon los promedios correspondientes a los 12 días de medición, con el propósito de identificar cuáles parámetros presentaron mayores variaciones y cuáles se mantuvieron más estables a lo largo del tiempo.

Los gráficos fueron generados a partir de los datos recolectados en las salas 5 y 7 de la Escuela Colonia Árabe, ubicada en la ciudad de Los Ángeles, región del Biobío, Chile.

T° Superficial cara opaca del muro

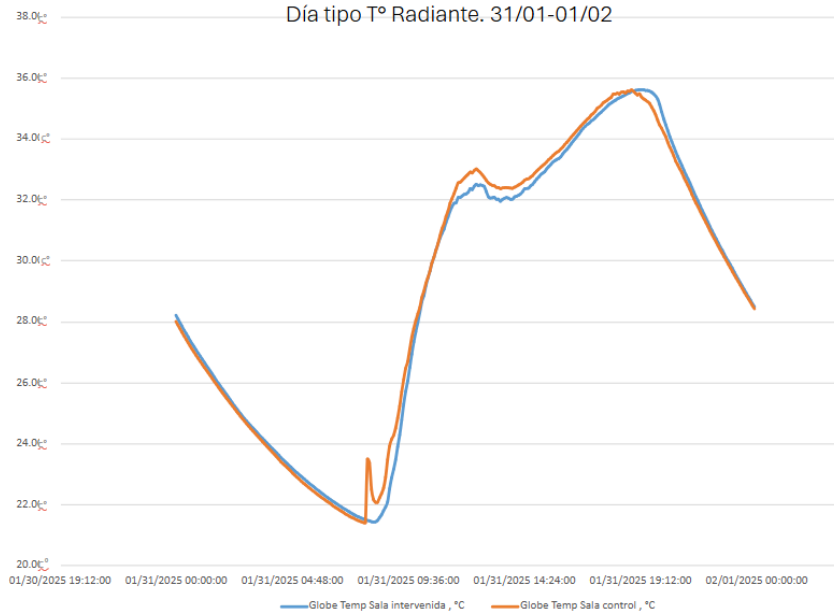
Día tipo T° Sup. 31/01-01/02



(Gráfico.1.- T° superficial. Fuente: Elaboración propia en base a medición sensor MX1105 de Sala 5-Sala 7)

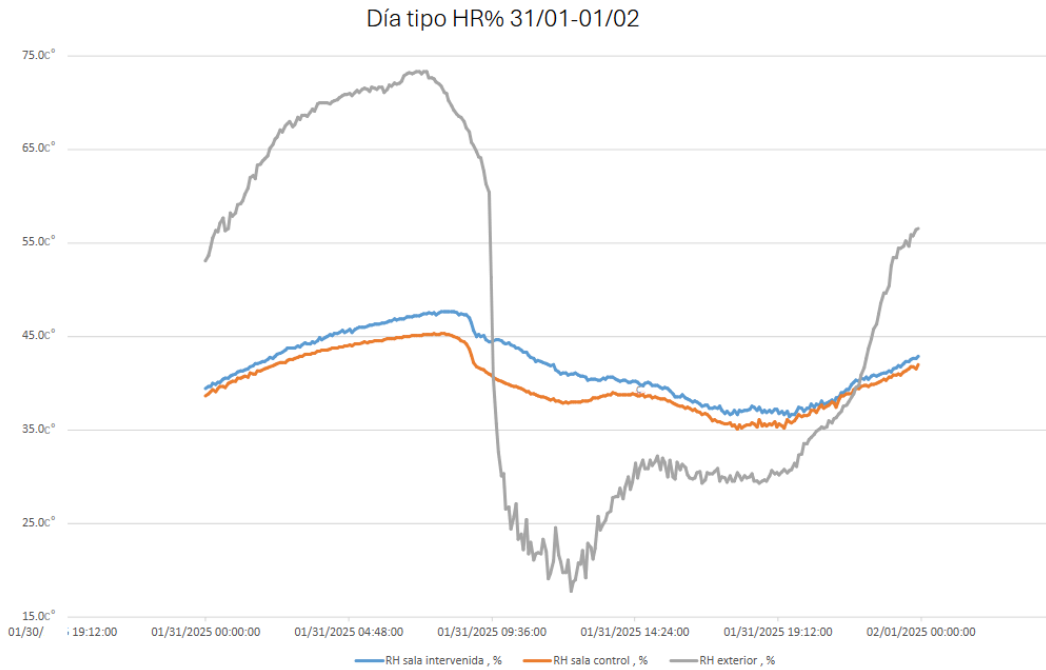
T° Radiante

Día tipo T° Radiante. 31/01-01/02



(Gráfico.2.-T° radiante Sala 5-7. Fuente: Elaboración propia en base a medición sensor MX1104)

RH%

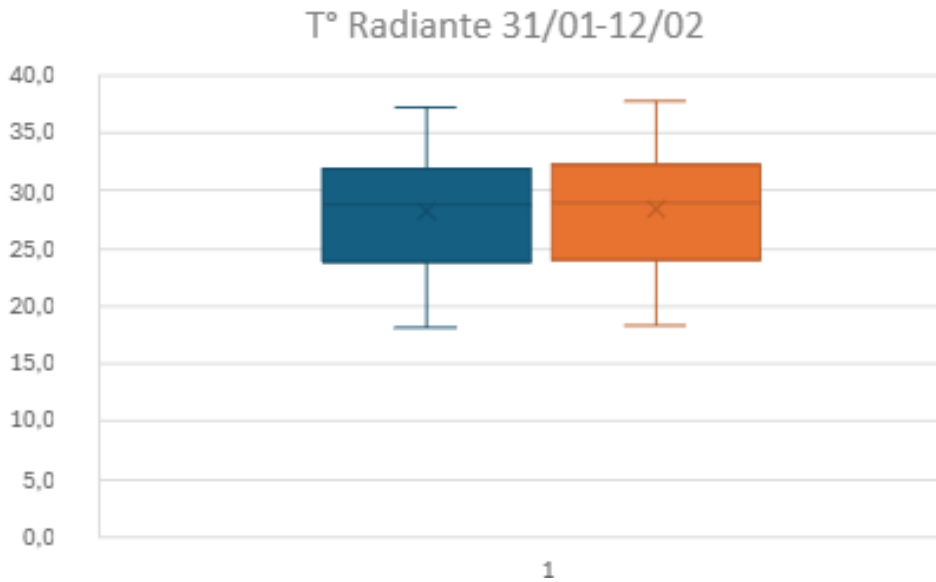


(Gráfico.3.- RH% Sala 5 y 7. Fuente: Elaboración propia en base a medición sensor MX1104 de Sala 5-Sala 7)
 Gráfico resumen de T° superficial de muro exterior, muro interior sala intervenida y muro interior sala de control. 30 de enero del 2025 hasta el 12 de febrero del 2025



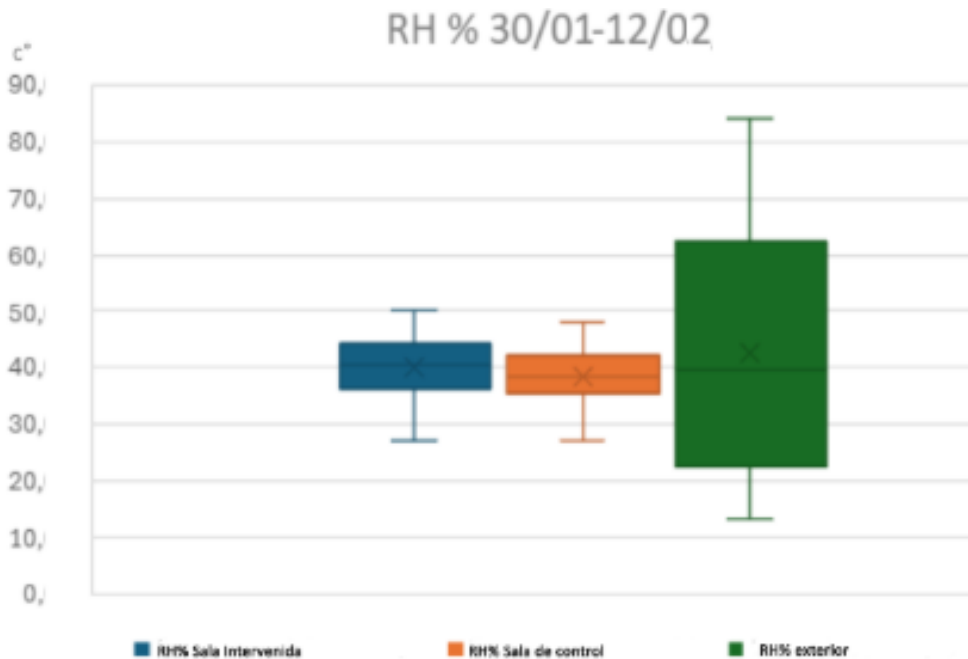
(Gráfico.4.- T° superficial. Fuente: Elaboración propia en base a medición sensor MX1105 de Sala 5-Sala 7)

Gráfico resumen de T° radiante de sala intervenida y sala de control.
30 de enero del 2025 hasta el 12 de febrero del 2025



(Gráfico.6.- T° radiante Sala 5-7. Fuente: Elaboración propia en base a medición sensor MX1104)

Gráfico resumen de RH% de sala intervenida, sala de control y exterior.
30 de enero del 2025 hasta el 12 de febrero del 2025



(Gráfico.5.- RH% Sala 5 y 7. Fuente: Elaboración propia en base a medición sensor MX1104 de Sala 5-Sala 7)

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este estudio se enmarca en el proyecto Fondecyt Mejoramiento de Escuelas, cuyo objetivo principal es abordar las problemáticas de habitabilidad que presentan las escuelas construidas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos (SCEE), particularmente aquellas relacionadas con las deficiencias térmicas de sus envolventes murales. En este contexto, la investigación propuso una solución panelizable de reacondicionamiento térmico, utilizando un sistema modular compuesto por paneles prefabricados de madera con aislante de colchón radicular de avena, cuyo objetivo es mejorar el comportamiento térmico de los muros y, con ello, optimizar las condiciones de confort en las salas de clases.

El diseño, fabricación e implementación de los eco-paneles permitió comprobar que esta solución no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino también económica y socialmente replicable. Gracias al prediseño de las piezas, se redujo el margen de error en las fases de corte y armado, facilitando un proceso constructivo eficiente. Además, su carácter modular permite un montaje sencillo, adaptable a distintas configuraciones edilicias. Esta cualidad lo hace especialmente adecuado para su implementación a gran escala en escuelas tipo SCEE, donde existe una demanda transversal por soluciones de bajo costo y rápida ejecución. Cabe destacar que, en este estudio, todo el proceso constructivo se llevó a cabo utilizando herramientas básicas como una sierra circular y un taladro, lo que demuestra que el sistema puede ser ejecutado incluso en talleres pequeños o aserraderos locales que cuenten con los planos de diseño y una lista de eco-materiales disponibles en el mercado.

Desde el punto de vista térmico, los resultados fueron altamente positivos. El muro intervenido alcanzó un valor de transmitancia térmica (U) de $0,433 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, cumpliendo con lo establecido en la tabla 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C.), que exige un valor U máximo de $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para este tipo de construcciones. Esta mejora significativa en la resistencia térmica evidencia el potencial del eco-panel como estrategia efectiva de reacondicionamiento.

A través del monitoreo continuo durante 12 días, se evidenció una mejora notable en la temperatura superficial del muro intervenido. Durante el día, se registraron diferencias de hasta $4 \text{ }^\circ\text{C}$ respecto del muro original, mientras que en las noches el eco-panel demostró mayor capacidad de retención térmica, con diferencias de hasta $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Estos datos reflejan la inercia térmica del sistema, que permite amortiguar las oscilaciones de temperatura exterior, retardando tanto la ganancia como la pérdida de calor, lo cual contribuye directamente al confort térmico interior.

En cuanto a la humedad relativa (HR), los resultados también fueron favorables, aunque con variaciones menos marcadas. Según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética

(AChEE, 2012), el rango ideal de confort se sitúa entre el 30% y el 65%, mientras que el Ministerio de la Presidencia de España (2012) propone un mínimo de 40%. La sala intervenida logró mantenerse por encima de este umbral con mayor frecuencia que la sala de control, con diferencias de hasta 4,57%. Esto es especialmente relevante en condiciones de baja humedad ambiental, ya que indica que la intervención también tiene un impacto positivo sobre la calidad higrotérmica del espacio.

Por otro lado, la temperatura radiante fue la variable que presentó las menores diferencias, con oscilaciones entre 0,2 °C y 0,6 °C. Estos resultados sugieren que la superficie intervenida no fue suficiente para generar un impacto significativo en este parámetro, abriendo la posibilidad de que una intervención de mayor escala (por ejemplo, abarcando techumbres, pisos o más muros) pueda incidir con mayor fuerza sobre esta variable.

En síntesis, la intervención mediante eco-paneles fue exitosa en mejorar las condiciones térmicas de las aulas, particularmente en lo que respecta a temperatura superficial y humedad relativa, y en menor grado, temperatura radiante. No obstante, los resultados no permiten afirmar que la problemática térmica esté completamente resuelta. Sí se establece, sin embargo, una base sólida para futuras investigaciones, especialmente aquellas enfocadas en replicar la solución en otros establecimientos y climas, o bien, ampliar la superficie de intervención para evaluar su impacto a mayor escala. Su bajo costo, facilidad de implementación y capacidad de adaptación lo convierten en una alternativa viable para mejorar la infraestructura escolar del país, respondiendo así a los desafíos actuales de sostenibilidad, eficiencia energética y confort en el aula.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio se enmarca en el proyecto Fondecyt "Mejoramiento de Escuelas", cuyo propósito es abordar las deficiencias de habitabilidad en establecimientos construidos por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales (SCEE), poniendo especial énfasis en el reacondicionamiento térmico de las envolventes murales. En ese contexto, se desarrolló un sistema panelizado con aislación de colchón radicular de avena, diseñado como una solución replicable, de bajo costo y sustentable para mejorar el confort térmico en las salas de clases. La implementación de este sistema en la Escuela Colonia Árabe, ubicada en Los Ángeles, permitió validar su eficacia mediante una metodología cuantitativo-experimental. La intervención redujo significativamente el valor de transmitancia térmica (valor U) del muro intervenido, bajando de 2,167 W/(m²K) a 0,433 W/(m²K), cumpliendo con los requisitos establecidos en la actualización del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Asimismo, se observaron disminuciones de hasta 4

°C en la temperatura superficial interna respecto de la sala de control, lo que representa una mejora considerable en la habitabilidad térmica de los espacios educativos.

Sin embargo, aunque los resultados obtenidos fueron positivos —especialmente en la temperatura superficial y en menor medida en la humedad relativa— la intervención no logró resolver completamente la problemática térmica. Esto podría atribuirse principalmente a la escala reducida de la implementación, lo que sugiere la necesidad de ampliar la intervención a una mayor superficie del recinto escolar para maximizar sus beneficios. Adicionalmente, es importante señalar que las mediciones se realizaron durante el período estival (enero), lo cual no representa las condiciones térmicas más exigentes del calendario escolar. Esta limitación abre nuevas posibilidades para futuras investigaciones que aborden el comportamiento del sistema en condiciones invernales, donde la demanda térmica es más crítica. Por otro lado, este trabajo demuestra que el sistema propuesto es viable técnica y económicamente, y que puede ser replicado en otras “escuelas tipo” a lo largo del país. Su modulación, facilidad de ensamblaje y la utilización de eco-materiales accesibles, permiten responder a una necesidad estructural común en la infraestructura educativa nacional, aportando a la sostenibilidad mediante la reducción de la demanda energética y de la huella ambiental de los edificios. Además, este estudio sienta las bases para futuras líneas de investigación, como la evaluación del comportamiento acústico del panel —que presenta una alta absorción sonora (α máx = 0,97 a 1000 Hz)—, ensayos de reacción al fuego del sistema completo —considerando que el aislante posee certificación F90 otorgada por IDIEM—, y la exploración de soluciones panelizadas para elementos estructurales como pilares, que representan importantes puentes térmicos.

En definitiva, este prototipo de solución representa una contribución significativa hacia un modelo de infraestructura escolar más resiliente, saludable y energéticamente eficiente. Aunque este estudio constituye sólo un primer paso, pone en evidencia el alto potencial de esta solución para transformar las condiciones térmicas en las aulas chilenas, contribuyendo a una educación más digna, sostenible y adaptada a los desafíos del cambio climático y la equidad en el acceso al confort ambiental.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHEE (2012). *Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales*.
https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/gui_a_geeduc_-_baja
- Agencia SE.(2021). Educación, crisis climática y reactivación sostenible. Agencia SE.
- Ali, Hikmat, and Rifqa Hashlamun. 2019. "Envelope Retro Fit Strategies for Public School Buildings in Jordan." *Journal of Building Engineering* 25(June):100819.
- Arévalo, R., y Maira, P. (2022). O.G.U.C ilustrada: Tomo 2 de la arquitectura. Catálogo Arquitectura.
- Brink, Loomans, Mobach & Kort (2020) *Classrooms' indoor environment conditions affecting the academic achievement of student and teachers in higher education: A systematic literature review*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ina.12745>
- Camacho, V. (2021). "Propuesta de un sistema de entramado ligero de madera para la vivienda de interés social en Lima, Perú" Universidad politecnica de Catalunya.
https://udeconce.my.sharepoint.com/personal/cmachuca2016_udec_cl/Documents/FUENTES%20TESINA/TFM.VICTORIACAMACHO%20141021.pdf?CT=1736134254318&OR=ItemsView
- Castro, M., y Morales, M. (2015). *Los ambientes de aula que promueven el aprendizaje, desde la perspectiva de los niños y niñas escolares*. Educare. Vol. 19(3), 1409-4258. doi:10.15359/ree.19-3.11
- Celedón, A. (2021). *La sociedad constructora de establecimientos educacionales: sistemas, tipologías, modelos 1968-1978*.
<https://arquitectura.uc.cl/investigacion/grupos.htmlview=investigaciones&invId=119>
- Chile. (1994). Ley N° 19.300, Bases Generales del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago de Chile, 29 de marzo de 1994. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=14166>
- Decreto 548.(1989). *Aprueba normas para la planta física de los locales educativos que establecen las exigencias mínimas que deben cumplir los establecimientos reconocidos como cooperadores de la función educativa del Estado, según el nivel y modalidad de la enseñanza que imparten*.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=14166>

Decreto Ley N° 11.766, "FONDO PARA LA CONSTRUCCION Y DOTACION DE ESTABLECIMIENTO DE LA EDUCACION PUBLICA", Santiago de Chile, 1954.

Edwards, Brian. 2004. *Guía básica de la sostenibilidad. Book. Edited by Paul Hyett. AD+E. Arquitectura y Diseño + Ecología. Barcelona: Gustavo Gili.*

Figuerola, F., Muñoz, O., & Estévez, A. M. (2008). *La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. Agrosur, 36(2), 49-58. Recuperado de <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v36n2/art01.pdf>*

Gutiérrez, N.; Negrão, J.; Dias, A.; Guindos, P. Bibliometric (2024) *Review of Prefabricated and Modular Timber Construction from 1990 to 2023: Evolution, Trends, and Current Challenges. Sustainability 2024, 16, 2134. <https://doi.org/10.3390/su16052134>*

Instituto Nacional de Normalización (Chile). (2014). *NCh1973: Comportamiento higrotérmico de elementos y componentes de construcción – Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial – Métodos de cálculo. Instituto Nacional de Normalización.*

PCC. (2023). *Informe de síntesis del AR6: Cambio climático 2023.*

Kershaw, T., & Simm, S. (2014). *Thoughts of a design team: Barriers to low carbon school design. Sustainable Cities and Society, 11, 40–47.*

Massó, Y. (2012). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética. Recuperado de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/51488/mod_resource/content/3/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf*

Ministerio de Energía. (2021). *Estrategia nacional de calor y frío. Recuperado de https://caloryfrio.minenergia.cl/descargable/Estrategia_calor_frio_v1.1.pdf*

Ministerio de la Presidencia. (2007). *Real Decreto 1027/2007. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf>*

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2021). *Estrategia Nacional de Huella de Carbono en el Sector Construcción: Documento borrador para consulta pública. Recuperado de https://participacionciudadana.minvu.gob.cl/sites/default/files/20210611_borrador_e_nhsc_formato_consulta_publica.pdf*

MINVU. (2018). *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile. Tomo 2.*

MINVU-DITEC. (2014). *ED11.*

Muñoz, A. (2021). *Análisis comparativo de estrategias de diseño para rehabilitación de envolventes murales en establecimientos educacionales de la comuna de Coquimbo en base a criterios de impacto ambiental.*

Novoas, J. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo* (Proyecto fin de máster, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España). Recuperado de https://udeconce-my.sharepoint.com/personal/cmachuca2016_udec_cl/Documents/FUENTES%20TESINA/TESIS_MASTER_JOEL_NOVAS_CABRERA.pdf?CT=1736134247620&OR=ItemsView

Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Situación mundial de los edificios y la construcción de 2020: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector.* Recuperado de www.globalabc.org

Palomo, M. (2017). *Aislantes térmicos: Criterios de selección por requisitos energéticos.* Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf

Power, A. (2008). *Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?* *Energy Policy*, 36(12), 4487–4501.

Ranefjärd, S., Strandberg, C., & Wadsö, L. (2024). *Hygrothermal properties and performance of bio-based insulation materials locally sourced in Sweden.* Recuperado de <file:///D:/Archivos%20Antiguos/Descargas/materials-17-02021.pdf>

Rootman. (n.d.). Rootman. Recuperado de <https://www.rootman.com/>

Sarricolea, P., Herrera, M. J., & Meseguer-Ruiz, O. (2017). *Climatic regionalization of continental Chile.* *Journal of Maps*, 13(2), 66–73.

Souza, Eduardo. *"Barnices, aceites y ceras: ¿Cuáles son los acabados más adecuados para la madera?"* 10 jul 2022. ArchDaily en Español. Recuperado <https://www.archdaily.cl/cl/934341/barnices-impregnantes-aceites-ceras-cuales-son-los-acabados-mas-adecuados-para-la-madera>> ISSN 0719-8914

Ministerio del medio ambiente, 2025. *Matriz ambiental para educación básica y media 2025.*

Torres, C. (2015). *Registro y análisis de las obras construidas por la "Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos" en la zona centro del país: 1937-1960.*

Velázquez, M. (2015). *Materiales aislantes sostenibles.* Recuperado de https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.htm?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/4159/1/TFGUEX_2015_Velazquez_Rodriguez.pdf#page=1

Vergara Petrescu, J. (2006). *Crisis energética en Chile y el negocio de la arquitectura sustentable.* *Arch Daily en Español.* Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/02-1197/crisis-energetica-en-chile-y-el-negocio-de-la-arquitectura-sustentable>

Wang, B., Xia, X., & Zhang, J. (2014). *A multi-objective optimization model for the life-cycle cost analysis and retrofitting planning of buildings.* *Energy and Buildings*, 77(September 2018), 227–235.

Weather Spark. (2025). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Los Ángeles, Chile.* Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/25134/Clima-promedio-en-Los-%C3%81ngeles-Chile-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Zilic, F., Elissetche, J., & Hernandez, V. (2019). *Manufactura avanzada para la construcción en madera.* Recuperado de www.udec.cl