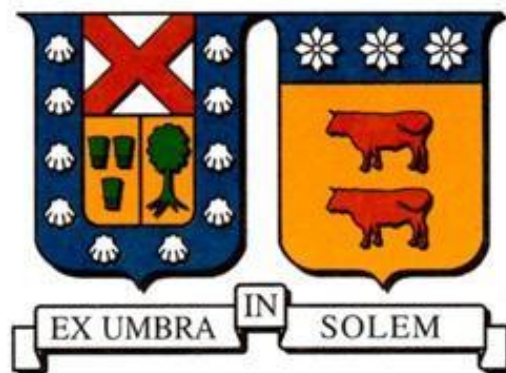




UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA

CONCEPCION

**ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DEL TALLER DE
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO
SANTA MARÍA, SEDE CONCEPCIÓN**

ALEJANDRO ERNESTO RODRÍGUEZ SAN MARTÍN

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BÉLGICA”

ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DEL TALLER DE CONSTRUCCIÓN

**DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, SEDE
CONCEPCIÓN**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

ALEJANDRO ERNESTO RODRÍGUEZ SAN MARTÍN

PROFESOR GUÍA: CRISTOPHER ALEXIS PÉREZ MARÍN



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado
ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DEL TALLER DE CONTRUCCIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE
Título del trabajo: CONCEPCIÓN

Nombre del candidato(a): Alejandro Ernesto Rodríguez San Martín

Carrera / Grado: Ingeniería en Construcción con Licenciatura en Ingeniería

Campus: Concepción Departamento: Construcción y Prevención de riesgos

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristopher Alexis Pérez Marín, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a)
del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24-08-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21 de ago. de 2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a Dios, por acompañarme a lo largo de este camino, por darme fortaleza en los momentos difíciles, claridad cuando aparecieron las dudas y la oportunidad de llegar hasta esta etapa tan importante de mi vida. Este logro representa años de esfuerzo, aprendizaje y perseverancia, y siento que no habría sido posible sin la fe que me permitió seguir adelante incluso cuando el camino parecía más complejo.

A mis padres, mi más sincero y profundo agradecimiento. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio, por cada palabra de apoyo y por creer en mí incluso en aquellos momentos en que yo mismo podía dudar de mis capacidades. Ustedes han sido una parte fundamental de mi formación, no solo profesional, sino también personal. Los valores, la perseverancia y la responsabilidad que me han transmitido durante toda mi vida están presentes en cada paso que me ha permitido llegar hasta aquí. Este logro también es de ustedes.

A mis hermanos, gracias por estar presentes, por acompañarme durante este proceso y por ser parte esencial de mi vida. Cada muestra de apoyo, cada conversación, cada consejo y cada momento compartido fueron importantes para seguir avanzando. Tener una familia en la cual encontrar respaldo y cariño ha sido una de las mayores fortalezas durante estos años.

Finalmente, agradezco por todas las experiencias vividas durante mi formación, tanto las buenas como aquellas más difíciles, porque cada una de ellas me permitió crecer, aprender y comprender que los objetivos importantes requieren dedicación, paciencia y constancia.

Hoy cierro una etapa muy significativa de mi vida con gratitud, llevando conmigo la fe, el amor y el apoyo de mi familia, quienes han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

RESUMEN

El presente Trabajo de Titulación desarrolla una propuesta de acondicionamiento térmico pasivo para el Taller de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción. La metodología integra levantamiento geométrico y constructivo, inspección visual, termografía, monitoreo ambiental mediante HOBO MX CO₂ Data Logger, cálculo de transmitancia térmica conforme a NCh853, contraste con la reglamentación vigente y evaluación económica mediante siete Análisis de Precios Unitarios (APU). La actualización del artículo 4.1.10 de la OGUC, vigente desde noviembre de 2025, incorpora exigencias para edificaciones educacionales y ubica a Concepción en Zona Térmica E, con U máxima de $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en techumbre, $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en muros y $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en ventanas [5][6]. El TDRe MOP para Zona 6 SL se emplea como referencia complementaria de desempeño [7].

El diagnóstico identifica cerramientos opacos con transmitancias aproximadas entre $2,09$ y $2,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $64,00 \text{ m}^2$ de ventanas superiores de vidrio simple, $13,60 \text{ m}^2$ de celosías abiertas asociadas a ingreso permanente de aire, franjas translúcidas de bajo desempeño y una techumbre Instapanel de 50 mm cuyo núcleo no pudo verificarse destructivamente. El archivo original del HOBO contiene 2.023 registros continuos tomados cada 10 minutos entre el 14 y el 28 de abril de 2026 . La temperatura mínima fue $10,32 \text{ }^\circ\text{C}$, el promedio $16,08 \text{ }^\circ\text{C}$ y el máximo $20,86 \text{ }^\circ\text{C}$; $81,27$

% de los registros se ubicó bajo 18 °C. La humedad relativa presentó un promedio de 66,21 %, con 79,09 % de los registros sobre 60 %. El CO₂ alcanzó un promedio de 456,63 ppm y un máximo de 945 ppm, sin registros sobre 1.000 ppm. La baja concentración de CO₂ es compatible con una elevada renovación de aire, pero no demuestra por sí sola infiltración; esta interpretación se complementa con la inspección de las celosías y discontinuidades de la envolvente.

Se proponen siete intervenciones: completar el cajón térmico del muro bajo de la pared cancha; aislar la franja superior opaca; reforzar el muro de la pared pasillo con lana de vidrio de 80 mm, EPS continuo de 40 mm y fibrocemento; reemplazar 64,00 m² de ventanas superiores por termopanel fijo con marco de aluminio estándar y desempeño acreditado; sustituir las celosías abiertas por un sistema regulable de mayor estanqueidad; reemplazar 12,00 m² de franjas translúcidas por policarbonato alveolar multicámara de 16 mm; e incorporar lana de vidrio de 80 mm con foil de aluminio bajo 495,00 m² de techumbre. Las verificaciones proyectadas entregan $U_p \approx 0,374 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para el muro pasillo y $U \approx 0,301-0,309 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para la techumbre, por lo que ambas soluciones cumplen la exigencia OGUC vigente.

La evaluación económica actualizada determina un costo directo neto referencial de \$21.330.380, IVA de \$4.052.772 y total de \$25.383.153 IVA incluido. El reemplazo de las ventanas superiores concentra aproximadamente 50,6 % del costo directo. En consecuencia, el mejoramiento pasivo de la envolvente resulta técnicamente viable y constituye una etapa previa recomendable a una futura climatización activa, ya que reduce pérdidas por conducción, controla fuentes

relevantes de infiltración y mejora la capacidad del recinto para conservar condiciones térmicas interiores.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO NORMATIVO.....	2
MARCO TEÓRICO.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
METODOLOGÍA.....	6
CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE LA ENVOLVENTE	8
1.1. Levantamiento geométrico y constructivo.....	9
1.2. Memorias de cálculo de la línea base	17
1.3. Evaluación normativa y brechas.....	19
1.4. Monitoreo ambiental y termografía	21
1.5. Diagnóstico integrado	25
CAPÍTULO 2. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO TÉRMICO PASIVO DE LA ENVOLVENTE	27
2.1. Criterios de diseño y validación.....	28
2.2. Resumen de soluciones seleccionadas	28
2.3. Mejoramiento del muro bajo de la pared cancha.....	30
2.4. Franja superior opaca de la pared cancha	31

2.5. Muro opaco de la pared pasillo.....	31
2.6. Reemplazo de ventanas superiores por termopanel.....	32
2.7. Control de infiltraciones en celosías.....	33
2.8. Reemplazo de franjas translúcidas.....	34
2.9. Aislación complementaria bajo techumbre Instapanel	35
2.10. Síntesis técnica.....	36
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS SOLUCIONES	
CONSTRUCTIVAS SELECCIONADAS.....	37
3.1. Criterios económicos adoptados	38
3.2. Presupuesto global resumido	39
3.3. Análisis de incidencia	41
CONCLUSIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	44
ANEXOS	46
Anexo A. Análisis de precios unitarios.....	47
Anexo B. Modelo BIM y planos de apoyo	51
Anexo C. Registros y fichas técnicas.....	52

SIMBOLOGÍA

U: Transmitancia térmica, $W/(m^2 \cdot K)$.

R: Resistencia térmica, $m^2 \cdot K/W$.

Rt: Resistencia térmica total del complejo, $m^2 \cdot K/W$.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior, $m^2 \cdot K/W$.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior, $m^2 \cdot K/W$.

λ : Conductividad térmica, $W/(m \cdot K)$.

e: Espesor de una capa constructiva, m.

Up: Transmitancia térmica ponderada de un elemento heterogéneo, $W/(m^2 \cdot K)$.

A: Superficie o fracción superficial según contexto.

HR: Humedad relativa, %.

CO₂: Dióxido de carbono, ppm.

APU: Análisis de Precio Unitario.

OGUC: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

TDRe: Términos de Referencia Estandarizados de Confort Ambiental y Eficiencia Energética.

TERMOPANEL: Sistema de acristalamiento aislante compuesto por dos vidrios separados por una cámara sellada.

EPS: Poliestireno expandido.

BIM: Building Information Modeling.

RPT: Rotura de puente térmico.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética y el confort térmico en edificios de uso público constituyen variables relevantes para la calidad ambiental interior, el desempeño de los usuarios y la operación energética de los recintos. En establecimientos educacionales del centro-sur de Chile, las bajas temperaturas exteriores, la elevada humedad y la presencia de envolventes antiguas o discontinuas pueden generar pérdidas de calor, condensación, infiltraciones y condiciones de uso alejadas del confort esperado.

El Taller de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción, es un recinto de formación práctica de gran volumen interior y elevada superficie de envolvente. Durante el levantamiento se observaron cerramientos con aislación insuficiente, ventanas superiores de vidrio simple, celosías abiertas y puntos de discontinuidad térmica. Paralelamente, la Universidad ha evaluado la posibilidad de incorporar sistemas de climatización activa. Sin embargo, instalar equipos de calefacción o climatización sobre una envolvente con pérdidas significativas puede aumentar la potencia requerida y el costo de operación, por lo que resulta técnicamente conveniente priorizar primero el acondicionamiento pasivo.

Este trabajo tiene como propósito diagnosticar la condición térmica actual del taller, contrastarla con la normativa vigente y con criterios de desempeño aplicables a edificios públicos, proponer soluciones constructivas de mejoramiento y cuantificar su costo mediante APU. El estudio se apoya en inspección in situ, levantamiento

geométrico, modelación BIM disponible, termografía, datos ambientales registrados con HOBO MX CO₂ Data Logger y memorias de cálculo de transmitancia térmica.

El alcance se limita al mejoramiento pasivo de los elementos críticos de la envolvente —muros, vanos superiores, celosías, franjas translúcidas y techumbre— y a su evaluación económica referencial. No se desarrolla el dimensionamiento final de equipos de climatización, simulación energética anual completa ni diseño de ventilación mecánica. Asimismo, cuando la composición exacta de un elemento existente no pudo verificarse de manera destructiva, se trabajó con escenarios técnicamente plausibles y se explicitó dicha limitación.

MARCO NORMATIVO

La base legal principal corresponde al artículo 4.1.10 de la OGUC, actualizado mediante la nueva Reglamentación Térmica y vigente desde el 28 de noviembre de 2025. Esta modificación incluye expresamente a edificaciones de uso equipamiento de las clases educación y salud [5][6]. La nueva zonificación térmica utiliza nueve zonas identificadas de A a I; Concepción se ubica en la Zona Térmica E conforme a la NCh1079:2019 [3][6].

Para edificaciones de educación en Zona E, la OGUC establece U máxima de 0,33 W/(m²·K) para techos, 0,60 W/(m²·K) para muros y pisos ventilados, y 3,00 W/(m²·K) para ventanas. Las ventanas emplazadas en techumbre, entre las zonas B e I, deben presentar $U \leq 3,60$ W/(m²·K) [5][6]. Además, la reglamentación vigente incorpora exigencias de condensación, infiltración de aire, permeabilidad de puertas y

ventanas y ventilación; para educación, el diseño de ventilación debe asegurar al menos las tasas indicadas por NCh3308 [5][6].

Como referencia complementaria para edificios públicos se emplean los TDRe de la Dirección de Arquitectura del MOP. Para la Zona Climática 6 SL: Sur Litoral, el documento establece $U \leq 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para cubierta y $U \leq 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para muro de fachada. Para vanos acristalados, la exigencia depende del porcentaje de acristalamiento y de la orientación: hasta 40 % la U máxima es $2,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en todas las orientaciones; entre 41 % y 60 %, la orientación sur requiere $U \leq 1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; por sobre 60 % se exige demostrar eficiencia energética [7].

Es importante diferenciar el carácter de ambos instrumentos: la OGUC constituye la exigencia reglamentaria vigente aplicable al uso educacional, mientras que el TDRe MOP se utiliza en este estudio como referencia técnica complementaria de desempeño. Por esta razón, las conclusiones de “cumplimiento normativo” se refieren a la OGUC; las comprobaciones MOP se informan separadamente cuando la geometría y orientación permiten verificarlas.

MARCO TEÓRICO

Confort térmico: condición de satisfacción respecto del ambiente térmico. Su evaluación depende de variables ambientales y personales —temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire, humedad, metabolismo y vestimenta—, por lo que ASHRAE 55 no debe interpretarse como una única temperatura fija universal [1]. En este estudio, el intervalo de 18 °C a 26 °C utilizado en los gráficos se emplea

como rango operativo de referencia y no como sustituto de una evaluación PMV/PPD completa.

Envolvente térmica: conjunto de elementos que separan los espacios acondicionables del exterior o de ambientes no acondicionados. Incluye muros, cubiertas, pisos, puertas y ventanas.

Transmitancia térmica (U): flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de superficie y por diferencia unitaria de temperatura entre sus caras. A menor U, mayor desempeño térmico.

Resistencia térmica (R): oposición de una capa al flujo de calor. Para una capa homogénea se obtiene mediante $R=e/\lambda$. En un complejo de varias capas, las resistencias se suman junto a las resistencias superficiales.

Puente térmico: zona en que la continuidad del aislamiento se interrumpe o se reemplaza por un material de mayor conductividad, provocando un incremento local del flujo de calor. Las estructuras metálicas del muro pasillo constituyen un ejemplo relevante.

Infiltración: ingreso no controlado de aire exterior a través de juntas, huecos o aberturas de la envolvente. Se diferencia de la ventilación controlada porque no responde necesariamente a una estrategia de calidad de aire interior.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Taller de Construcción presenta una envolvente térmica heterogénea y parcialmente acondicionada. Se identifican zonas opacas sin aislación, estructuras

metálicas que actúan como puentes térmicos, 64,00 m² de ventanas superiores de vidrio simple, 13,60 m² de celosías abiertas y franjas translúcidas de baja resistencia. Estas condiciones favorecen pérdidas por conducción y renovación de aire no controlada, disminuyendo la capacidad del recinto para conservar ganancias térmicas.

La problemática se agrava por la actualización reglamentaria vigente desde noviembre de 2025, que incorpora exigencias específicas para educación y clasifica a

Concepción en Zona Térmica E [5][6]. En consecuencia, el trabajo requiere revisar las soluciones originalmente formuladas bajo criterios anteriores y verificar su desempeño frente a la reglamentación actual.

JUSTIFICACIÓN

La mejora pasiva de la envolvente constituye una medida previa a la climatización activa. Una reducción de la transmitancia térmica y de las infiltraciones permite disminuir la carga térmica que deberá cubrir un futuro sistema de calefacción o climatización, mejorar las temperaturas superficiales interiores y reducir el riesgo de condensación. Además, prolonga la utilidad de las intervenciones al actuar sobre la causa física de las pérdidas en lugar de compensarlas exclusivamente con consumo energético.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de acondicionamiento térmico pasivo para el Taller de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción,

mediante el diagnóstico de su envolvente, la verificación frente a la normativa térmica vigente y la evaluación técnico-económica de soluciones constructivas, con el fin de mejorar sus condiciones de habitabilidad y eficiencia energética.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las condiciones térmicas actuales del Taller de Construcción mediante levantamiento constructivo, termografía, monitoreo ambiental y cálculo de transmitancia térmica de los elementos críticos de la envolvente.
- Definir y validar soluciones de mejoramiento pasivo para muros, ventanas, celosías, franjas translúcidas y techumbre, verificando su compatibilidad constructiva y su desempeño frente a las exigencias vigentes.
- Evaluar económicamente las soluciones seleccionadas mediante Análisis de Precios Unitarios y elaborar un presupuesto global referencial de intervención.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolla con un enfoque descriptivo, analítico y aplicado, organizado en cinco etapas:

- Levantamiento geométrico y constructivo: medición de superficies, inspección de materialidades, registro fotográfico y revisión del modelo BIM/Revit disponible.

- Diagnóstico térmico: cálculo de U conforme a NCh853, identificación de puentes térmicos y contraste con OGUC Zona E y TDRe MOP 6 SL como referencia complementaria [4][5][7].
- Monitoreo ambiental: análisis de 2.023 registros de temperatura, humedad relativa, CO₂ y punto de rocío obtenidos con HOBO MX CO₂ Data Logger entre el 14 y el 28 de abril de 2026, complementados con termografía.
- Diseño de soluciones: selección de aislantes, sistemas de cierre y soluciones de montaje compatibles con el taller existente, incluyendo verificaciones de U proyectada.
- Evaluación económica: elaboración de siete APU con precios netos, 35 % de leyes sociales, 10 % de herramientas sobre mano de obra cuando corresponde, equipos de acceso y aplicación de IVA solo al presupuesto global.

CAPÍTULO 1

“DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE LA ENVOLVENTE”

1.1. LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO Y CONSTRUCTIVO

El diagnóstico se concentra en los elementos que separan el taller del exterior o de áreas abiertas: pared cancha, pared pasillo, techumbre, vanos superiores, celosías y franjas translúcidas. La nomenclatura funcional “pared cancha” y “pared pasillo” se mantiene a lo largo del documento para evitar confusiones entre orientación geográfica y uso del espacio colindante.



Figura 1-1. Vista axonométrica del Taller de Construcción y su entorno inmediato.

Fuente: elaboración propia a partir de modelo BIM en Autodesk Revit.

modificaciones, las cubicaciones de las intervenciones se sustentan prioritariamente en las mediciones verificadas en terreno y en la revisión del modelo actual.

1.1.1. Pared cancha

La pared cancha presenta una composición mixta. En su parte inferior existe un muro de albañilería de 12 cm y una mejora interior ejecutada parcialmente en aproximadamente 10 m lineales; queda un tramo cercano a 4 m sin la misma continuidad térmica. En una franja intermedia existe un paño de termopanel ya instalado de aproximadamente $14,00\text{ m} \times 1,26\text{ m}$, equivalente a $17,64\text{ m}^2$. En la parte superior se identifica un cerramiento liviano con placa interior de yeso-cartón, cámara de aire sin aislante y fibrocemento exterior. Finalmente, bajo la cubierta existe una corrida superior de vidrio simple de $20,00\text{ m} \times 1,60\text{ m}$, equivalente a $32,00\text{ m}^2$.



Figura 1-3. Ventanas superiores de vidrio simple con marco de aluminio en el taller. Fuente: registro propio.



Figura 1-4. Detalle de solución constructiva existente en el muro bajo de la pared cancha. Fuente: registro propio.



Figura 1-5. Levantamiento dimensional de la pared cancha: tramo inferior y altura de ventana registrada en terreno. Fuente: registro propio.

1.1.2. Pared pasillo

La pared pasillo limita con un área de circulación abierta. El tramo opaco corresponde a un tabique liviano con estructura metálica, placas de cierre y una cavidad sin aislante suficiente. Sobre este elemento se desarrolla una corrida superior de vidrio simple de 20,00 m $\times$ 1,60 m, equivalente a 32,00 m². Por encima o en

continuidad con los vanos se dispone una franja de celosías de aluminio de 20,00 m × 0,68 m, equivalente a 13,60 m², que actualmente permite paso permanente de aire.



Figura 1-6. Pared pasillo: ventana superior y franja continua de celosías. Fuente: registro propio.



Figura 1-7. Celosías de aluminio abiertas asociadas a infiltración permanente.

Fuente: registro propio.

1.1.3. Techumbre y franjas translúcidas

La techumbre principal está conformada por panel sándwich metálico tipo Instapanel de 50 mm. El núcleo exacto no fue verificado mediante apertura destructiva, por lo que se consideran dos escenarios plausibles para el análisis: núcleo tipo EPS/ISOPOL y núcleo de lana mineral o lana de roca. La superficie de cubierta considerada para acondicionamiento corresponde a 495,00 m². Adicionalmente,

existen aproximadamente 12,00 m² de franjas translúcidas de policarbonato que interrumpen el comportamiento térmico del panel principal.



Figura 1-8. Franja translúcida existente en la techumbre del taller. Fuente: registro propio.



Figura 1-9. Cara interior visible de la techumbre Instapanel y estructura secundaria de apoyo. Fuente: registro propio.

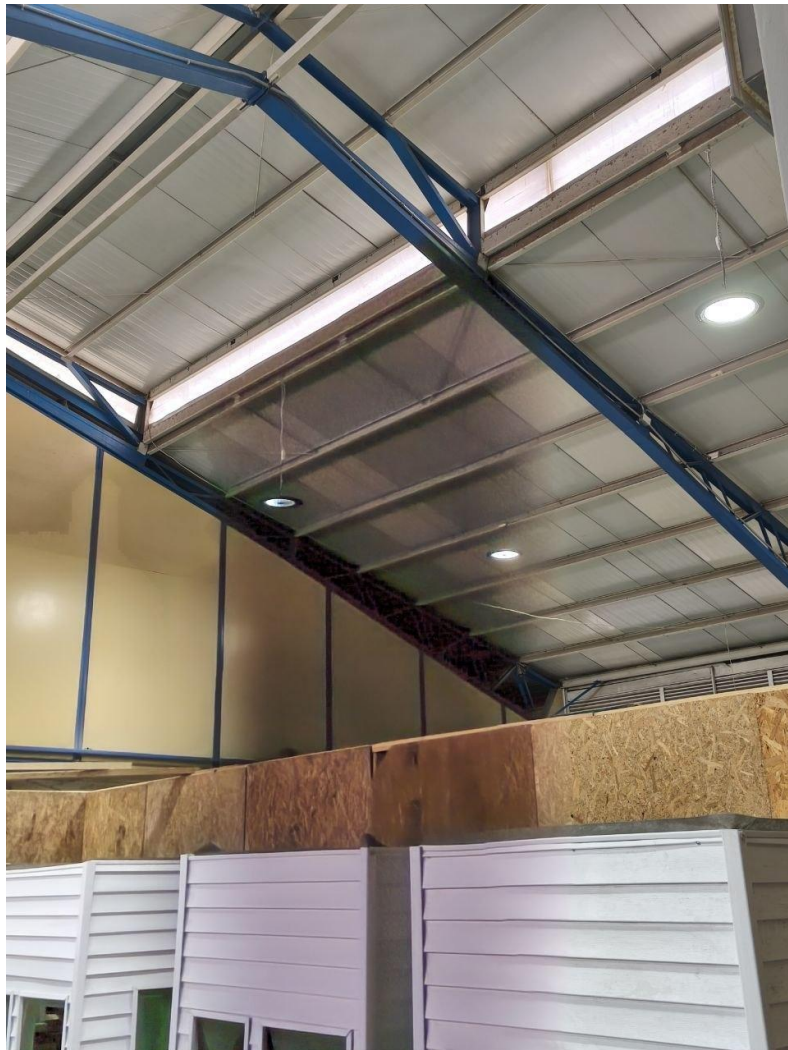


Figura 1-10. Configuración interior de la techumbre, franjas translúcidas y estructura principal del taller. Fuente: registro propio.

1.2. MEMORIAS DE CÁLCULO DE LA LÍNEA BASE

La transmitancia térmica se determina mediante el método de resistencias térmicas indicado en NCh853 [4]. Para elementos homogéneos se adopta:

$$R_t = R_{si} + \Sigma(e/\lambda) + R_{se}$$

$$U = 1 / R_t$$

En elementos heterogéneos con caminos térmicos diferenciados, como la estructura metálica del muro pasillo, se utiliza una ponderación por fracción superficial:

$$U_p = (U_1 \times A_1) + (U_2 \times A_2)$$

1.2.1. Muro de albañilería de 12 cm - pared cancha

Considerando $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, estuco interior de 15 mm con $\lambda=1,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ y ladrillo cerámico de 120 mm con $\lambda=0,47 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$:

$$R_t = 0,13 + (0,015/1,40) + (0,12/0,47) + 0,04 = 0,436 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$$U = 1/0,436 \approx 2,29 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

1.2.2. Cerramiento liviano superior sin aislación - pared cancha

El cerramiento superior combina una placa interior de yeso-cartón, una cámara de aire de gran espesor y una placa exterior de fibrocemento. Debido a que la

resistencia de cámaras de aire no aumenta linealmente con el espesor, el valor final depende de la condición de ventilación y de los parámetros de cálculo adoptados. La memoria base del proyecto obtiene una transmitancia aproximada de $U \approx 2,09$ W/(m²·K), valor muy superior al máximo de 0,60 W/(m²·K) aplicable a muros de educación en Zona E.

1.2.3. Muro opaco de pared pasillo con estructura metálica

Para la condición existente se adopta una participación aproximada de 15 % de zona afectada por perfil metálico y 85 % de zona de cavidad. La memoria base obtiene $U_1 \approx 3,97$ W/(m²·K) en el camino de mayor conductividad y $U_2 \approx 2,33$ W/(m²·K) en la zona de cámara, resultando:

$$U_p = (3,97 \times 0,15) + (2,33 \times 0,85) \approx 2,58 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

1.2.4. Techumbre Instapanel existente

Al no encontrarse confirmado el núcleo del panel sándwich de 50 mm, se mantienen dos escenarios. Para un panel tipo EPS/ISOPOL se adopta $U \approx 0,68$ W/(m²·K); para un panel con núcleo de lana mineral o roca se adopta $U \approx 0,72$ W/(m²·K). Ambos valores superan el límite vigente de 0,33 W/(m²·K) para techumbres de uso educacional en Zona E [5][6].

1.3. EVALUACIÓN NORMATIVA Y BRECHAS

Tabla 1-1. Comparación de la línea base con exigencias térmicas vigentes y referencia MOP.

Elemento	U actual [W/(m ² ·K)]	OGUC Zona E	MOP 6 SL	Diagnóstico
Albañilería 12 cm - pared cancha	2,29	≤ 0,60	≤ 0,60	Incumple
Cerramiento superior sin aislación	≈ 2,09	≤ 0,60	≤ 0,60	Incumple
Muro opaco pared pasillo	2,58	≤ 0,60	≤ 0,60	Incumple
Techumbre Instapanel 50 mm	0,68-0,72	≤ 0,33	≤ 0,40	Incumple
Ventana superior vidrio simple	≈ 5,80	≤ 3,00	Depende % y orientación	Incumple OGUC

Fuente: elaboración propia a partir de memoria de cálculo del proyecto, OGUC

vigente [5][6] y TDRe MOP [7].

1.3.1. Superficie vidriada y criterio MOP

La OGUC vigente establece, para educación y salud, una exigencia directa de transmitancia térmica máxima para ventanas —3,00 W/(m²·K) en Zona E— y no aplica a estos usos la tabla de porcentaje máximo de ventanas utilizada para vivienda [6]. Por lo tanto, desde el punto de vista reglamentario OGUC, la superficie vidriada

no se califica como “ilegal” únicamente por su porcentaje; el requisito principal es el desempeño térmico del complejo de ventana y las demás exigencias de permeabilidad e infiltración.

El TDRé MOP sí relaciona el porcentaje de vanos acristalados con la orientación. En Zona 6 SL, para 0-40 % de vanos se exige $U \leq 2,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Entre 41 % y 60 %, la fachada sur debe alcanzar $U \leq 1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; por sobre 60 % se debe demostrar eficiencia energética [7].

Para la pared pasillo, si se adopta una superficie bruta de $20,00 \text{ m} \times 6,00 \text{ m} = 120,00 \text{ m}^2$ y se considera únicamente la ventana superior de $32,00 \text{ m}^2$, el porcentaje asociado a ese paño es 26,67 %. No obstante, la verificación MOP debe considerar la totalidad de vanos acristalados de cada orientación.

En la pared cancha existe además un paño intermedio de termopanel de $17,64 \text{ m}^2$. La verificación porcentual definitiva de esta fachada requiere confirmar en el modelo Revit la superficie bruta real del paramento y la orientación geográfica. Dado que esta comprobación puede modificar la exigencia MOP de $U=2,90$ a $U=1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, el presente informe no declara cumplimiento integral MOP de la fachada cancha hasta completar esa validación geométrica. La solución de APU 4 se especifica, como mínimo, para acreditar el requisito legal OGUC de $U \leq 3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, manteniendo como objetivo $U \leq 2,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ cuando el porcentaje MOP lo permita.

1.4. MONITOREO AMBIENTAL Y TERMOGRAFÍA

Se analizó el archivo original exportado desde el HOBO MX CO₂ Data Logger. La serie contiene 2.023 registros continuos, desde el 14 de abril de 2026 a las 13:50:40 hasta el 28 de abril de 2026 a las 14:50:40, con intervalo de muestreo constante de 10 minutos y sin vacíos de información en temperatura, humedad relativa, CO₂ o punto de rocío. La duración total del monitoreo fue de 14 días y 1 hora.

Tabla 1-2. Resumen estadístico del monitoreo ambiental HOBO.

Variable	Mínimo	Promedio	Máximo	Indicador complementario
Temperatura interior	10,32 °C	16,08 °C	20,86 °C	81,27 % de registros < 18 °C
Humedad relativa	51,17 %	66,21 %	83,01 %	79,09 % de registros > 60 %
CO ₂	381 ppm	456,63 ppm	945 ppm	0 % sobre 1.000 ppm
Punto de rocío	3,40 °C	9,71 °C	15,32 °C	Variable auxiliar para análisis higrotérmico

Fuente: elaboración propia a partir del archivo original "Lecturas dispositivo

HOBO 2026.xlsx", 2.023 registros.

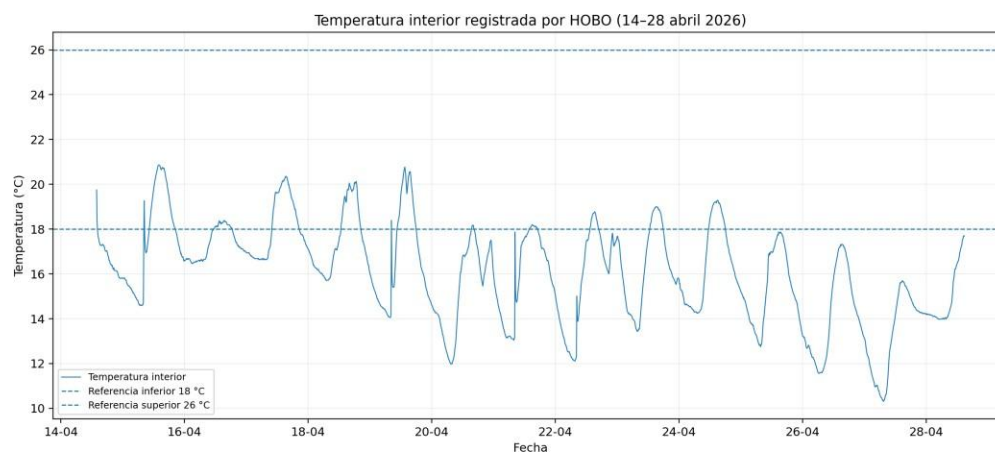


Figura 1-11. Evolución temporal de la temperatura interior y referencias de 18 °C y 26 °C. Fuente: elaboración propia a partir de datos HOBO.

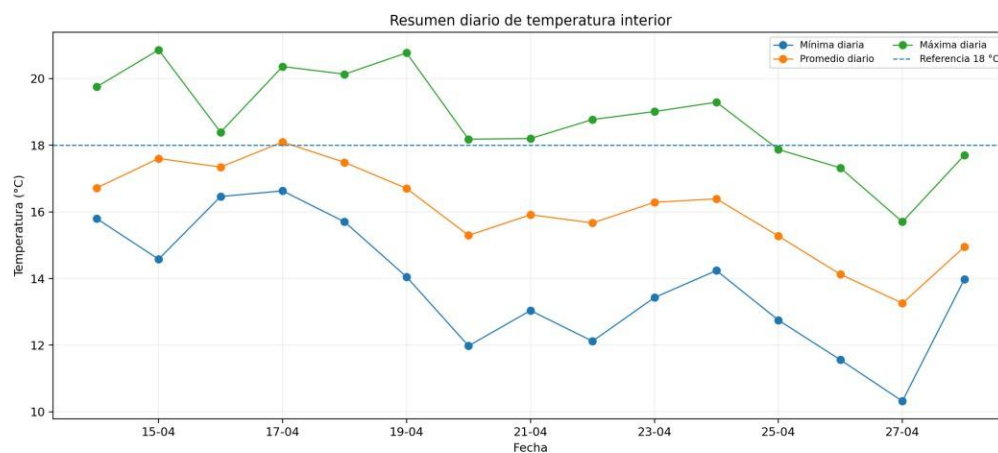


Figura 1-12. Temperaturas mínima, promedio y máxima por día durante el periodo monitoreado. Fuente: elaboración propia a partir de datos HOBO.

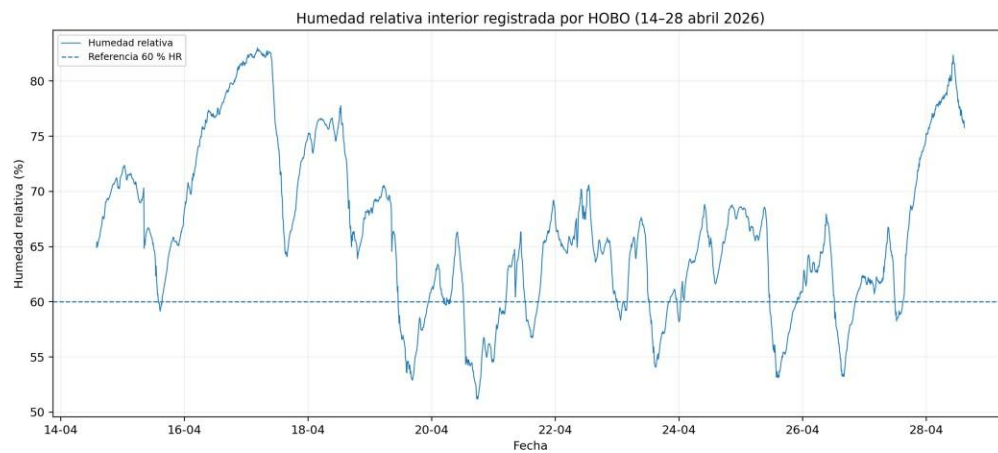


Figura 1-13. Evolución temporal de la humedad relativa interior y referencia de 60
%. Fuente: elaboración propia a partir de datos HOBO.

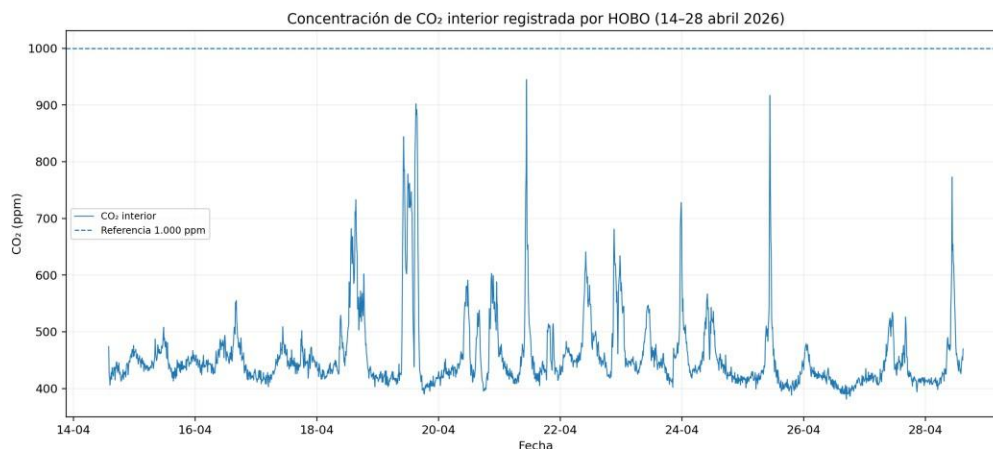


Figura 1-14. Evolución temporal de la concentración de CO₂ interior y referencia de 1.000 ppm. Fuente: elaboración propia a partir de datos HOB0.

Los resultados evidencian una condición predominantemente fría: 1.644 de las 2.023 mediciones se ubicaron bajo 18 °C, equivalentes a 81,27 % de la serie. No se registraron temperaturas superiores a 26 °C. Paralelamente, 1.600 lecturas superaron 60 % de humedad relativa, equivalentes a 79,09 %, lo que confirma una condición interior frecuentemente húmeda durante el periodo observado.

El CO₂ se mantuvo entre 381 y 945 ppm, sin registros sobre 1.000 ppm. Este comportamiento es compatible con una renovación de aire significativa, pero no permite atribuir causalidad por sí solo a infiltraciones. Por ello, el diagnóstico combina el monitoreo con la evidencia física de celosías permanentemente abiertas, juntas y discontinuidades observadas en la envolvente.



Figura 1-15. Registros termográficos de encuentros y discontinuidades térmicas del taller. Fuente: registro propio.

1.5. DIAGNÓSTICO INTEGRADO

El diagnóstico confirma que las principales brechas se concentran en cuatro mecanismos: conducción elevada en muros y cubierta; alta transmitancia de los vanos superiores de vidrio simple; puentes térmicos asociados a estructuras metálicas; e infiltración permanente a través de celosías abiertas. En consecuencia, una estrategia

de acondicionamiento eficaz debe actuar simultáneamente sobre estos mecanismos y no limitarse a aumentar la potencia de calefacción.

CAPÍTULO 2

“PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO TÉRMICO PASIVO DE LA ENVOLVENTE”

2.1. CRITERIOS DE DISEÑO Y VALIDACIÓN

Las soluciones se seleccionan considerando: cumplimiento de la OGUC vigente para educación en Zona E; uso del TDRe MOP como referencia complementaria; continuidad con materialidades existentes; reducción de puentes térmicos e infiltraciones; factibilidad de montaje en un taller en operación; disponibilidad comercial de materiales; y compatibilidad con una futura climatización activa.

Para muros se verifica $U \leq 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Para techumbre se adopta el criterio más exigente entre OGUC y MOP, es decir $U \leq 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Para ventanas verticales se exige como mínimo $U \leq 3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ del conjunto completo de marco y vidrio; el objetivo de $2,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ se mantiene para compatibilidad con MOP cuando el porcentaje de vanos sea $\leq 40 \%$. La comprobación MOP de una eventual fachada sur con 41-60 % de acristalamiento debe verificarse por separado.

2.2. RESUMEN DE SOLUCIONES SELECCIONADAS

Tabla 2-1. Soluciones de acondicionamiento térmico propuestas.

Ítem	Elemento	Solución constructiva	Superficie	Verificación
1	Muro bajo pared cancha	Cajón térmico con lana de vidrio 100 mm y fibrocemento	4,60 m ²	$U \approx 0,36$

Ítem	Elemento	Solución constructiva	Superficie	Verificación
2	Franja superior pared cancha	Lana de vidrio 100 mm + nueva placa de yeso-cartón RH 15 mm	26,60 m ²	$U \approx 0,39$ conservador
3	Muro opaco pared pasillo	Lana 80 mm + EPS 40 mm continuo + fibrocemento	64,00 m ²	$U_p \approx 0,374$
4	Ventanas superiores	Termopanel fijo, marco aluminio estándar, U del conjunto acreditada	64,00 m ²	$U \leq 3,00$ OGUC
5	Celosías	Sistema regulable de mayor estanqueidad con marco sellado	13,60 m ²	Control infiltración
6	Franjas translúcidas	Policarbonato alveolar multicámara 16 mm	12,00 m ²	$U \approx 2,30$
7	Techumbre Instapanel	Lana de vidrio 80 mm con foil + flejes galvanizados	495,00 m ²	$U \approx 0,301 - 0,309$

Fuente: elaboración propia. Valores térmicos calculados o tomados de ficha técnica según se detalla en las secciones siguientes.

2.3. MEJORAMIENTO DEL MURO BAJO DE LA PARED CANCHA

Se propone completar únicamente el tramo faltante de 4,60 m², reproduciendo la lógica del cajón térmico existente. El APU considera estructura de pino impregnado 2×4”, lana de vidrio de 100 mm con barrera de vapor, placa de fibrocemento Volcanboard de 8 mm, fijaciones, tratamiento de juntas y sellos. La barrera de vapor se orienta hacia la cara interior caliente del recinto.

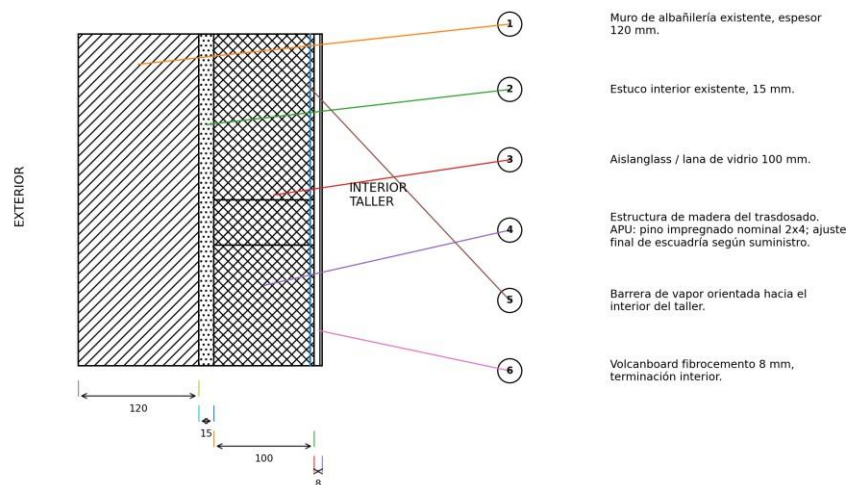
Como comprobación aproximada, incorporando el aislamiento de 100 mm al muro base de albañilería se obtiene:

$$R_t \approx 0,13 + 0,015/1,40 + 0,12/0,47 + 0,10/0,043 + 0,008/0,35 + 0,04 = 2,784 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$U \approx 0,359 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) < 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \rightarrow \text{CUMPLE}$$

D-01. Mejoramiento térmico del muro bajo - pared cancha

Corte constructivo esquemático. Dimensiones indicadas en mm. No reemplaza plano de fabricación.



Nota: se completa el tramo faltante manteniendo la lógica del mejoramiento existente. La lana no debe comprimirse de forma significativa.

Figura 2-1. Detalle constructivo esquemático del mejoramiento térmico del muro bajo de la pared cancha. Fuente: elaboración propia.

2.4. FRANJA SUPERIOR OPACA DE LA PARED CANCHA

La intervención de 26,60 m² considera retiro controlado de la placa interior existente, instalación de lana de vidrio de 100 mm con barrera de vapor y reposición mediante una nueva placa de yeso-cartón RH de 15 mm. La estructura existente se conserva y se ejecutan juntas y sellos. Para no sobreestimar el desempeño, la verificación conservadora omite el aporte de la cámara de aire residual:

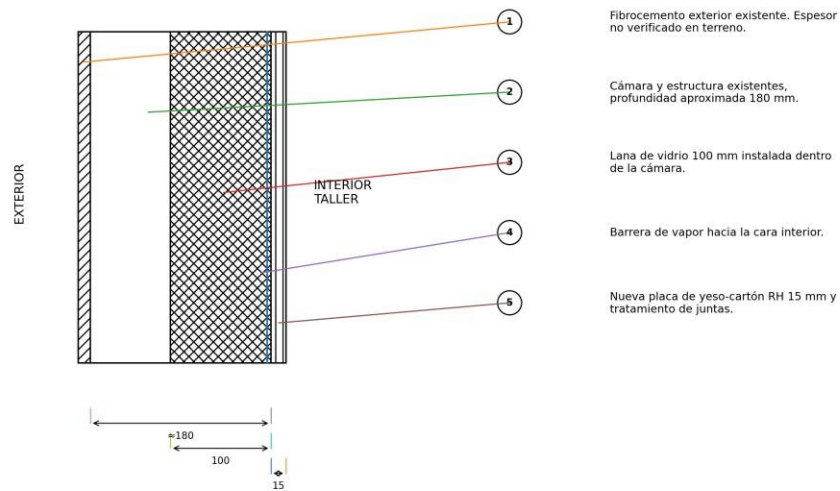
$$Rt \text{ conservador} \approx 0,13 + 0,015/0,25 + 0,10/0,043 + 0,008/0,35 + 0,04 = 2,578$$

$$m^2 \cdot K/W$$

$$U \approx 0,388 \text{ W}/(m^2 \cdot K) < 0,60 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \rightarrow \text{CUMPLE}$$

D-02. Franja superior opaca - pared cancha

Corte constructivo esquemático. Se conserva la estructura y el cierre exterior existentes.



Nota: el detalle no asigna un espesor al fibrocemento exterior porque ese dato no fue comprobado mediante apertura del cerramiento.

Figura 2-2. Detalle constructivo esquemático de la franja superior opaca de la pared cancha. Fuente: elaboración propia.

2.5. MURO OPACO DE LA PARED PASILLO

La solución definitiva corrige el espesor de EPS originalmente planteado. Se incorpora lana de vidrio de 80 mm en la cavidad, EPS de alta densidad de 40 mm como capa continua por la cara interior, subestructura de madera 2×2” y terminación de fibrocemento de 8 mm. El aumento de EPS de 30 a 40 mm se adopta porque la versión de 30 mm quedaba en el entorno del límite de los criterios anteriores y no ofrecía margen suficiente frente a los puentes térmicos.

Usando una ponderación 15 % estructura metálica y 85 % cavidad, con $\lambda_{\text{EPS}} \approx 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ y $\lambda_{\text{lana}} \approx 0,043 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, se obtiene aproximadamente $U_1 = 0,734 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ y $U_2 = 0,310 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Por lo tanto:

$$U_p \approx (0,734 \times 0,15) + (0,310 \times 0,85) = 0,374 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$0,374 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} < 0,60 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

D-03. Mejoramiento del muro opaco - pared pasillo

Corte constructivo esquemático. La capa continua de EPS reduce el puente térmico de la estructura metálica.

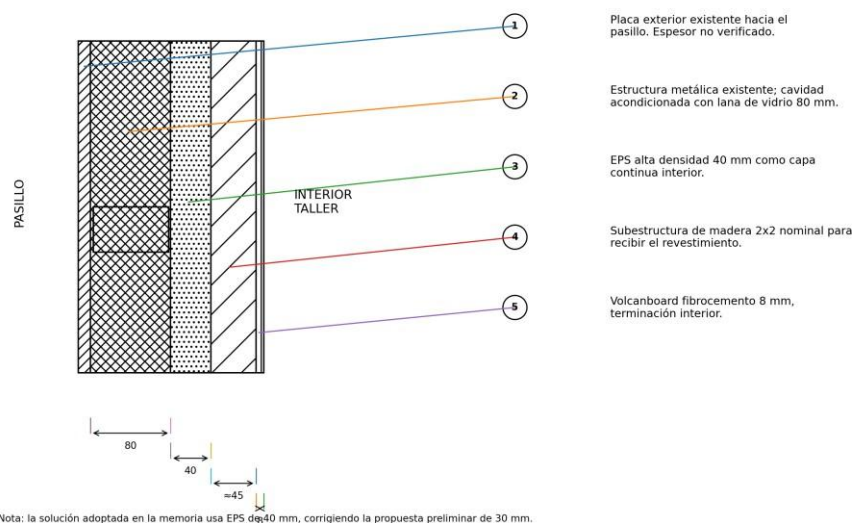


Figura 2-3. Detalle constructivo esquemático del muro opaco de la pared pasillo con EPS continuo de 40 mm. Fuente: elaboración propia.

2.6. REEMPLAZO DE VENTANAS SUPERIORES POR TERMOPANEL

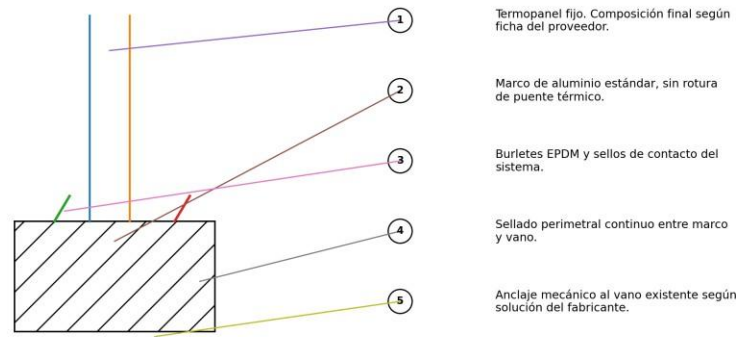
Se mantienen 64,00 m² confirmados en el modelo: 32,00 m² en cada lado. La solución base corresponde a ventana fija con marco de aluminio estándar, sin exigir RPT como condición de partida. No obstante, la especificación debe realizarse por desempeño del conjunto completo, no solo por composición del vidrio. Se exige al proveedor acreditar $U \leq 3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para cumplimiento OGUC y se establece como

objetivo $U \leq 2,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ cuando corresponda aplicar el rango MOP hasta 40 % de vanos.

El APU utiliza un termopanel de prestaciones térmicas suficientes como referencia de costo. Si una configuración convencional con el marco estándar seleccionado no permite acreditar la U requerida, deberá utilizarse vidrio de baja emisividad manteniendo el marco de aluminio estándar, o ajustarse la solución antes de ejecución. La eventual exigencia MOP de $U \leq 1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en una fachada sur con 41-60 % de vanos queda condicionada a la comprobación geométrica pendiente indicada en 1.3.1.

D-04. Ventana superior: termopanel fijo con marco de aluminio estándar

Detalle de principio. La configuración del termopanel se especifica por desempeño del conjunto, no por una cámara arbitraria.



Criterio de proyecto: acreditar U del conjunto ventana $\leq 3,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ OGUC; se adopta objetivo $\leq 2,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ para compatibilidad MOP cuando corresponda.

Figura 2-4. Detalle de principio del termopanel fijo con marco de aluminio estándar. Fuente: elaboración propia.

2.7. CONTROL DE INFILTRACIONES EN CELOSÍAS

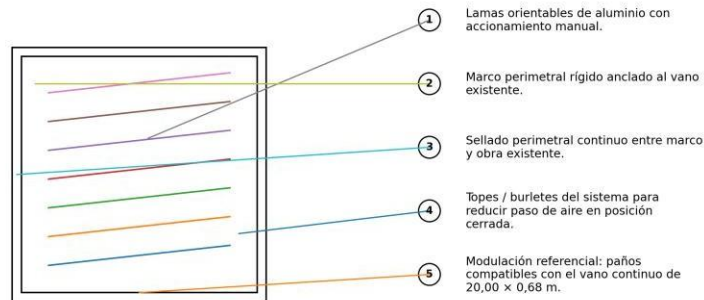
Se reemplazan $13,60 \text{ m}^2$ de celosías permanentemente abiertas por un sistema de lamas orientables de aluminio de mayor estanqueidad, con marco sellado y accionamiento manual. Se evita utilizar el término “hermético” como prestación absoluta, salvo que el proveedor cuente con certificación específica. La solución

busca permitir ventilación natural cuando sea requerida y reducir el flujo no controlado durante periodos fríos.

La mejora reduce una fuente evidente de infiltración, pero no equivale a certificar por sí sola el cumplimiento global de infiltraciones de la OGUC. Una verificación reglamentaria completa de la envolvente requiere el procedimiento de ensayo correspondiente una vez ejecutada la obra [5][6].

D-07. Sustitución de celosía abierta por sistema regulable de mayor estanqueidad

Detalle conceptual. La geometría final del módulo depende del sistema comercial seleccionado.



La memoria emplea la expresión 'sistema regulable de mayor estanqueidad'; no se declara hermeticidad absoluta sin ensayo o certificación del fabricante.

Figura 2-5. Detalle conceptual del sistema regulable de mayor estanqueidad para reemplazo de celosías. Fuente: elaboración propia.

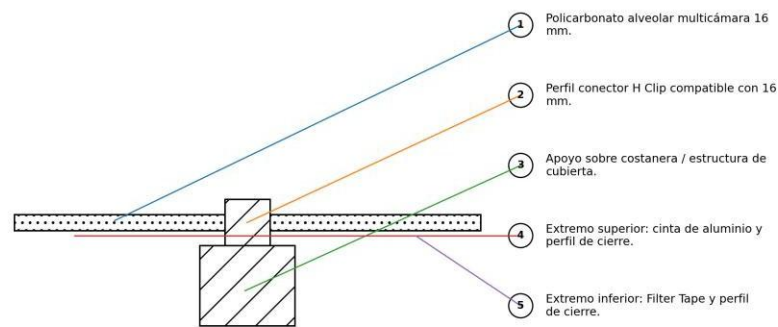
2.8. REEMPLAZO DE FRANJAS TRANSLÚCIDAS

La intervención de 12,00 m² considera policarbonato alveolar multicámara de 16 mm, perfiles H Clip compatibles, perfiles de terminación, cinta de aluminio en el extremo superior, Filter Tape en el extremo inferior, fijaciones con golilla EPDM y sellos compatibles. El montaje debe respetar el sentido de los alvéolos y la cara con protección UV.

El catálogo técnico DVP informa para policarbonato alveolar de 16 mm un factor U del orden de 2,30 W/(m²·K), inferior al máximo de 3,60 W/(m²·K) exigido por OGUC para ventanas en techumbre en Zona E [2][5]. Si el proyecto decidiera adoptar íntegramente los TDRe MOP como especificación contractual, deberá verificarse adicionalmente el factor solar modificado del lucernario, aspecto distinto de la transmitancia térmica.

D-06. Reemplazo de franja translúcida por policarbonato alveolar 16 mm

Detalle de principio para unión, cierre y fijación. Alvéolos orientados en el sentido de la pendiente.



Fijaciones con gollilla EPDM. Se debe respetar dilatación térmica y orientación UV indicada por el fabricante.

Figura 2-6. Detalle de principio del reemplazo de franja translúcida por policarbonato alveolar multicámara de 16 mm. Fuente: elaboración propia.

2.9. AISLACIÓN COMPLEMENTARIA BAJO TECHUMBRE INSTAPANEL

La solución final reemplaza la propuesta preliminar de 50 mm por lana de vidrio de 80 mm con una cara de foil de aluminio. El foil queda orientado hacia el interior y funciona como terminación visible y barrera de vapor. Los rollos se contienen mediante flejes galvanizados fijados mecánicamente a costaneras o a la estructura secundaria; no se considera la piel del panel sándwich como elemento

resistente principal. Las juntas del foil se sellan con cinta de aluminio y la lana no debe comprimirse de manera significativa.

La ficha técnica utilizada para el aislante de 80 mm informa $R_{100} \approx 185$, equivalente a $R \approx 1,85 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ [8]. Sumando esta resistencia a los dos escenarios de panel existente:

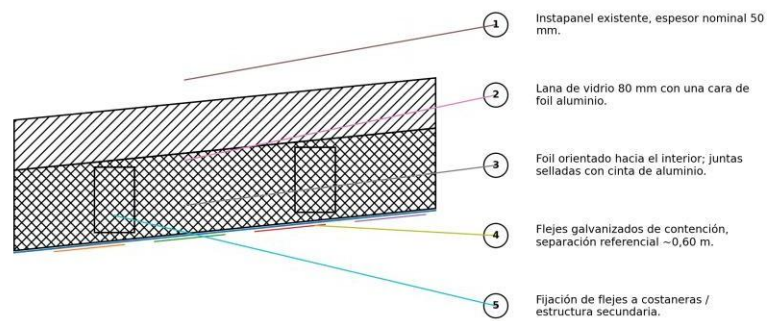
$$\text{Escenario EPS/ISOPOL: } U = 1 / (1/0,68 + 1,85) \approx 0,301 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{Escenario lana mineral/roca: } U = 1 / (1/0,72 + 1,85) \approx 0,309 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_{\text{proyectada}} = 0,301-0,309 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) < 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \rightarrow \text{CUMPLE}$$

D-05. Aislación complementaria bajo techumbre Instapanel

Corte constructivo esquemático. El foil queda visible hacia el interior del taller.



Nota: la aislación debe conservar su espesor; la piel metálica del panel no se considera soporte resistente principal del sistema de contención.

Figura 2-7. Detalle constructivo esquemático de la techumbre Instapanel con lana de vidrio de 80 mm y foil hacia el interior. Fuente: elaboración propia.

2.10. SÍNTESIS TÉCNICA

Las siete intervenciones conforman un sistema coherente de mejoramiento pasivo: los muros reducen su U por incorporación de aislamiento y control de puentes térmicos; la ventana superior sustituye vidrio simple por un sistema de desempeño acreditable; las celosías pasan de una abertura permanente a una ventilación regulable; el policarbonato mejora la resistencia de los elementos translúcidos; y la

techumbre alcanza el límite más exigente actualmente aplicable. La propuesta no elimina la necesidad de una futura estrategia de ventilación ni de un eventual sistema activo, pero entrega una envolvente sustancialmente más preparada para su incorporación.

CAPÍTULO 3

“EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS SELECCIONADAS”

3.1. CRITERIOS ECONÓMICOS ADOPTADOS

La evaluación se desarrolla mediante siete APU trazables. Los valores de materiales y servicios se consideran netos, sin IVA. Cuando el precio público se encuentra expresado con IVA, se convierte a valor neto. La mano de obra se expresa en jornadas y se utiliza un rendimiento compatible con la magnitud y condiciones de ejecución de cada partida. Las leyes sociales se consideran en 35 % y las herramientas/desgaste en 10 % de la mano de obra directa cuando corresponde. El IVA de 19 % se incorpora únicamente al presupuesto global final.

Los APU constituyen una estimación referencial para fines de evaluación técnica y económica. No incluyen una oferta contractual definitiva, reajustes futuros ni imprevistos generales. En partidas especializadas, como ventanas o celosías, se utilizan referencias de mercado o bases de precios y se evita duplicar mano de obra cuando el valor del suministro ya incluye montaje.

Tabla 3-1. Criterios generales aplicados a los APU.

Criterio	Aplicación
Precios	Valores netos actualizados a 2026 según referencias comerciales y bases de precios disponibles.
Leyes sociales	35 % según criterio adoptado para el proyecto.
Herramientas	10 % sobre mano de obra directa cuando corresponde.

Criterio	Aplicación
Acceso	Torre móvil certificada cuando el trabajo interior en altura lo requiere.
IVA	19 % aplicado solo al presupuesto global.
Imprevistos	No incorporados en el presupuesto base.
Alcance	Costo referencial de intervención, no oferta contractual.

Fuente: elaboración propia a partir de criterios de APU adoptados y planilla de costos actualizada.

3.2. PRESUPUESTO GLOBAL RESUMIDO

Tabla 3-2. Presupuesto actualizado de las siete soluciones seleccionadas.

APU	Partida	Cantidad	P. unitario neto	Total neto
1	Cajón térmico muro bajo pared cancha	4,60 m ²	\$44.707/m ²	\$205.652
2	Aislación franja superior pared cancha	26,60 m ²	\$24.456/m ²	\$650.530
3	Muro pasillo: lana 80 mm + EPS 40 mm + fibrocemento	64,00 m ²	\$36.181/m ²	\$2.315.584
4	Termopanel fijo marco aluminio estándar	64,00 m ²	\$168.772/m ²	\$10.801.408
5	Sistema regulable de mayor estanqueidad en celosías	13,60 m ²	\$212.106/m ²	\$2.884.642

APU	Partida	Cantidad	P. unitario neto	Total neto
6	Policarbonato alveolar multicámara 16 mm	12,00 m ²	\$40.280/m ²	\$483.360
7	Lana de vidrio 80 mm con foil bajo Instapanel	495,00 m ²	\$8.059/m ²	\$3.989.205
COSTO DIRECTO NETO				\$21.330.380
IVA 19 %				\$4.052.772
TOTAL IVA INCLUIDO				\$25.383.153

Fuente: planilla “APU 1 al 7 Proyecto de Título - Actualizado”, valores netos y redondeados.

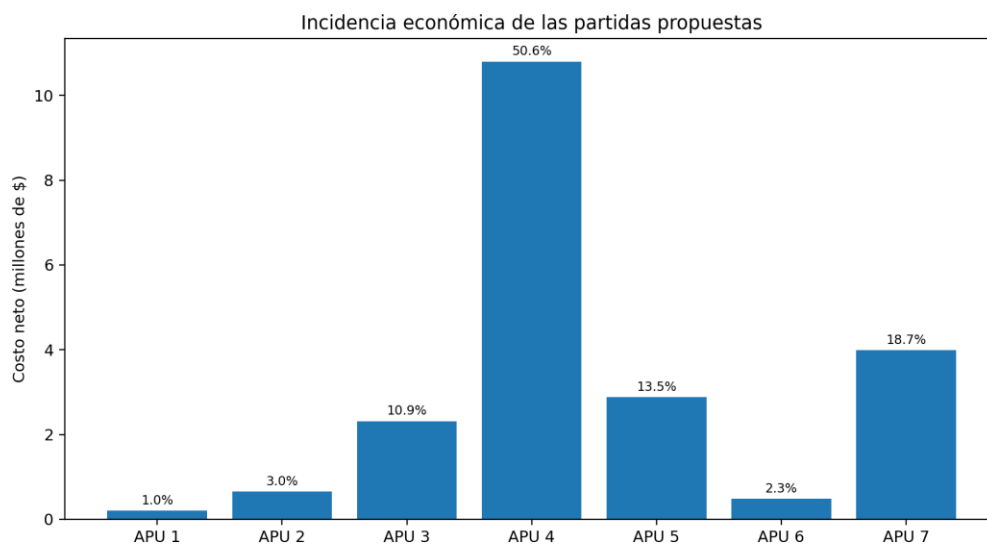


Figura 3-1. Incidencia económica de las siete partidas sobre el costo directo neto.

Fuente: elaboración propia.

3.3. ANÁLISIS DE INCIDENCIA

El APU 4, correspondiente al reemplazo de ventanas superiores, concentra aproximadamente 50,6 % del costo directo neto. Esta incidencia se explica por la superficie de 64,00 m² y por tratarse de un sistema especializado que integra carpintería, vidrio, sellos y montaje en altura. La techumbre corresponde a la segunda incidencia, con aproximadamente 18,7 %, pese a su bajo costo unitario, debido a la superficie de 495,00 m². El sistema regulable de celosías representa 13,5 % y el muro

pasillo 10,9 %. Las partidas restantes presentan incidencias individuales inferiores a 4 %.

La actualización reduce el presupuesto global respecto de la versión preliminar de \$28.918.556 IVA incluido. La disminución se explica principalmente por la revisión de rendimientos y especificaciones de los APU 3 y 7, mientras que el APU 6 aumenta al incorporar perfiles, cintas y fijaciones compatibles con una instalación técnicamente completa. El resultado actualizado debe entenderse como referencia al momento del estudio y puede variar al solicitar cotizaciones formales.

CONCLUSIONES

El estudio permitió establecer una línea base térmica del Taller de Construcción y corregir criterios que habían quedado desactualizados durante el desarrollo del proyecto. La reglamentación vigente desde noviembre de 2025 ubica a Concepción en Zona Térmica E e incorpora exigencias específicas para uso educacional. En este marco, los muros existentes analizados, la techumbre Instapanel y las ventanas superiores de vidrio simple presentan brechas relevantes frente a los límites actuales.

El monitoreo ambiental confirma una condición predominantemente fría y húmeda durante el periodo registrado: la temperatura promedio fue 16,08 °C y el 81,27 % de los datos se ubicó bajo 18 °C, mientras la humedad relativa superó 60 % en 79,09 % de los registros. La concentración de CO₂ se mantuvo baja, lo que es compatible con alta renovación de aire; sin embargo, su interpretación requiere

complementarse con la evidencia física de celosías abiertas e infiltraciones y no debe utilizarse de forma aislada como prueba causal.

Las siete soluciones propuestas constituyen una estrategia pasiva coherente. El muro bajo alcanza una U aproximada de $0,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; la franja superior acondicionada se mantiene bajo $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; el muro pasillo, corregido a EPS continuo de 40 mm, alcanza $U_p \approx 0,374 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; y la techumbre con lana de vidrio de 80 mm y foil obtiene $U \approx 0,301-0,309 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, cumpliendo el límite OGUC de $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. El policarbonato alveolar de 16 mm presenta un U de referencia cercano a $2,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, compatible con el requisito para ventanas de techumbre.

En ventanas superiores se mantiene el criterio de termopanel fijo con marco de aluminio estándar, pero la especificación se formula por desempeño del conjunto. Para cumplimiento legal debe acreditarse $U \leq 3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Si se adopta el TDRe MOP de manera contractual, la exigencia puede aumentar a $U \leq 1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en una fachada sur con 41-60 % de acristalamiento; por ello, la superficie bruta y el porcentaje total de vanos de la pared cancha deben confirmarse en el modelo antes de declarar cumplimiento integral MOP.

El presupuesto actualizado asciende a \$21.330.380 netos y \$25.383.153 IVA incluido. El reemplazo de ventanas concentra 50,6 % del costo directo, seguido por la aislación de techumbre con 18,7 %. Estos resultados permiten priorizar inversiones y muestran que la solución térmica no depende de una única partida, sino del tratamiento conjunto de conducción, puentes térmicos e infiltraciones.

Como solución alternativa de mayor desempeño para las ventanas podría considerarse carpintería de aluminio con rotura de puente térmico o sistemas de PVC,

especialmente si la verificación MOP de la fachada sur exige $U \leq 1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Esta alternativa no se incorpora al presupuesto base porque el objetivo acordado fue mantener marco de aluminio estándar y cumplir, como mínimo, la exigencia reglamentaria OGUC.

El principal aprendizaje técnico del trabajo radica en integrar diagnóstico, normativa, cálculo, constructibilidad y costo. La propuesta confirma que mejorar la envolvente antes de dimensionar climatización activa es una decisión técnicamente fundamentada: reduce pérdidas, limita infiltraciones, mejora las temperaturas superficiales y permite que una futura solución activa opere sobre un recinto más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2023.
- [2] DVP. Catálogo Policarbonato 2026. Especificaciones de policarbonato alveolar y sistemas multicámara. Chile, 2026. <https://www.dvp.cl/>
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). NCh1079:2019, Arquitectura y construcción - Zonificación climática y térmica para el diseño de edificaciones. Santiago, Chile.

- [4] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). NCh853, Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Santiago, Chile.
- [5] MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, artículo 4.1.10, texto vigente marzo de 2026. Santiago, Chile. <https://www.minvu.gob.cl/>
- [6] MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU), DITEC. Actualización Art. 4.1.10 OGUC: uso residencial, educación y salud. Presentación técnica, enero de 2026. <https://www.minvu.gob.cl/nueva-reglamentacion-termica/>
- [7] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP), DIRECCIÓN DE ARQUITECTURA. Términos de Referencia Estandarizados TDRé - Confort Ambiental y Eficiencia Energética. Zona Climática 6 SL: Sur Litoral. Chile, 2015. <https://arquitectura.mop.gob.cl/>
- [8] INNOVA PLUS SpA. Ficha técnica lana de vidrio 80 mm, una cara foil aluminio, R100 185. Chile. <https://www.innovaplus-spa.com/>
- [9] ONSET COMPUTER CORPORATION. HOBO MX CO₂ Data Logger. Documentación técnica del equipo de monitoreo utilizado. Bourne, MA, Estados Unidos. <https://www.onsetcomp.com/>

ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Se presentan a continuación los siete Análisis de Precios Unitarios utilizados en la evaluación económica. Las hojas conservan la desagregación de materiales/servicios, equipos, mano de obra, herramientas, leyes sociales y total por partida. Los valores son netos; el IVA se incorpora únicamente en el presupuesto consolidado.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Cajón térmico interior muro bajo pared cancha					
2	UNIDAD: m ²					
3						
4	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
5						
6	1	MATERIALES / SERVICIOS				
7	1.1	Pino impregnado 2x4" — montantes, soleras y cadeneta	m	4.8390	\$1,555	\$7,525
8	1.2	Placa fibrocemento Volcanboard 8 mm, 1,20x2,40 m	plancha	0.3646	\$16,493	\$6,013
9	1.3	Lana de vidrio Aislanglass 100 mm con barrera de vapor, rollo 9 m ²	rollo	0.1167	\$36,966	\$4,314
10	1.4	Tarugo + tornillo 8 mm para anclaje de soleras	un	3.6520	\$218	\$796
11	1.5	Tornillo para uniones de estructura de madera	un	14.3480	\$29	\$416
12	1.6	Tornillo para fibrocemento	un	18.0000	\$42	\$756
13	1.7	VolcanSello Híbrido para juntas y sello perimetral	cartucho	0.1141	\$10,160	\$1,159
14		SUB TOTAL N° 1				\$20,979
15						
16	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
17	2.1	Equipos especiales	gl	0.0000	\$0	\$0
18		SUB TOTAL N° 2				\$0
19						
20	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
21	3.1	Maestro carpintero	día	0.2174	\$47,500	\$10,326
22	3.2	Ayudante	día	0.2174	\$26,000	\$5,652
23	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$15,978	\$1,598
24		SUB TOTAL N° 3				\$17,576
25						
26						
27					COSTO NETO \$	\$38,555
28					LEYES SOCIALES 35% \$	\$6,152
29					APROXIMACIÓN \$	\$44,707
30						
31					TOTAL PARTIDA 4,60 m ² \$	\$205,652
32						
33	Nota: valores netos sin IVA. El IVA 19% se incorpora únicamente en el presupuesto global final.					

Figura A-1. APU 1 - Cajón térmico muro bajo pared cancha. Fuente: elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Aislación franja superior pared cancha					
2	UNIDAD: m²					
3						
4	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
5						
6	1	MATERIALES / SERVICIOS				
7	1.1	Volcanita RH 15 mm, 1,20 x 2,40 m	plancha	0.3646	\$15,459	\$5,636
8	1.2	Lana de vidrio Aislanglass 100 mm con barrera de vapor, rollo 9 m²	rollo	0.1167	\$36,966	\$4,313
9	1.3	Tornillo Volcanita #6 x 1 1/4	un	16.0000	\$10	\$152
10	1.4	Cinta papel microperforada para juntas 50 mm x 76 m	rollo	0.0109	\$4,277	\$46
11	1.5	Masilla Lista Volcán 25 kg para tratamiento de juntas	caja	0.0188	\$24,529	\$460
12	1.6	VolcanSello Híbrido para sellado perimetral	cartucho	0.0523	\$10,160	\$531
13		SUB TOTAL N° 1				\$11,139
14						
15	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
16	2.1	Torre móvil certificada / andamio móvil	día	0.1128	\$8,932	\$1,007
17		SUB TOTAL N° 2				\$1,007
18						
19	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
20	3.1	Maestro volcanitero / terminaciones	día	0.1128	\$47,500	\$5,357
21	3.2	Ayudante	día	0.1128	\$26,000	\$2,932
22	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$8,289	\$829
23		SUB TOTAL N° 3				\$9,118
24						
25						
26					COSTO NETO \$	\$21,265
27					LEYES SOCIALES 35% \$	\$3,191
28					APROXIMACIÓN \$	\$24,456
29						
30					TOTAL PARTIDA 26,60 m² \$	\$650,530
31						
32	Alcance: retiro manual de Volcanita existente, instalación de aislación 100 mm con barrera de vapor, placa RH 15 mm nueva, tratamiento de juntas y sellado. Estructura existente se conserva.					
33	Nota: valores netos sin IVA. El IVA 19% se incorpora únicamente en el presupuesto global final.					

Figura A-2. APU 2 - Franja superior pared cancha. Fuente: elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Mejoramiento muro opaco pared pasillo					
2	UNIDAD: m²					
3						
4	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
5						
6	1	MATERIALES / SERVICIOS				
7	1.1	Lana mineral Aislán 80 mm R188, paquete 6 m²	paq	0.1750	\$48,983	\$8,572
8	1.2	EPS alta densidad 40 mm, 20 kg/m³, plancha 1,00 x 0,50 m	plancha	2.1000	\$1,672	\$3,512
9	1.3	Pino impregnado 2x2" x 3,2 m — listones y cadenetes	m	3.5000	\$827	\$2,895
10	1.4	Placa fibrocemento Volcanboard 8 mm, 1,20 x 2,40 m	plancha	0.3646	\$17,216	\$6,277
11	1.5	Tornillo autoperforante 4" para fijación de listones a estructura	un	6.0000	\$86	\$514
12	1.6	Tornillo autoperforante fibrocemento 1 1/4"	un	18.0000	\$20	\$362
13	1.7	VolcanSello Híbrido para juntas y sellado perimetral	cartucho	0.0400	\$10,160	\$406
14		SUB TOTAL N° 1				\$22,538
15						
16	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
17	2.1	Equipos especiales	gl	0.0000	\$0	\$0
18		SUB TOTAL N° 2				\$0
19						
20	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
21	3.1	Maestro carpintero de terminación	día	0.1250	\$47,500	\$5,938
22	3.2	Ayudante	día	0.1250	\$26,000	\$3,250
23	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$9,188	\$919
24		SUB TOTAL N° 3				\$10,106
25						
26						
27					COSTO NETO \$	\$32,644
28					LEYES SOCIALES 35% \$	\$3,537
29					APROXIMACIÓN \$	\$36,181
30						
31					TOTAL PARTIDA 64,00 m² \$	\$2,315,584
32						
33	Alcance: retiro manual del fibrocemento interior existente, conservación de la estructura metálica, instalación de lana mineral 80 mm, EPS continuo 40 mm, subestructura de madera 2x2, fibrocemento 8 mm, fijaciones, juntas y sellos.					
34	Nota: el EPS fue corregido de 30 mm a 40 mm para asegurar el cumplimiento térmico del muro. Valores netos sin IVA; IVA 19% solo en presupuesto global.					

Figura A-3. APU 3 - Muro opaco pared pasillo. Fuente: elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Reemplazo de ventanas superiores por termopanel fijo con marco de aluminio estándar					
2	UNIDAD: m²					
3	SUPERFICIE CONFIRMADA EN REVIT: 64,00 m² (32,00 m² por lado)					
4						
5	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
6						
7	1	MATERIALES / SERVICIOS				
8	1.1	Carpintería fija de aluminio estándar lacado, con marco, premarco, EPDM, sellos y montaje	m²	1.0000	\$75,699	\$75,699
9		1.2				\$89,577
10		SUB TOTAL N° 1				\$165,276
11						
12	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
13		2.1				\$767
14		SUB TOTAL N° 2				\$767
15						
16	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
17	3.1	Maestro cerrajero / vidriero — retiro de ventana existente y preparación del vano	día	0.0250	\$47,500	\$1,188
18		3.2				\$650
19	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$1,838	\$184
20		SUB TOTAL N° 3				\$2,021
21						
22						
23					COSTO NETO \$	\$168,065
24					LEYES SOCIALES	\$707
25					35% \$	
26					APROXIMACIÓN \$	\$168,772
27						
28						
29	Criterio normativo: para este edificio educacional en Concepción se exigirá al sistema de ventana completo una $U \leq 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ según OGUC vigente; para mantener compatibilidad con TDRe MOP se adopta como meta $U \leq 2,90 \text{ W/m}^2\text{K}$.					
30	Se mantiene marco de aluminio estándar, sin RPT. El vidrio se especificará por desempeño: si un DVH convencional no permite acreditar la U del conjunto, deberá utilizarse un DVH de baja emisividad sin modificar la materialidad del marco.					
31	El valor de la carpintería corresponde a una referencia conservadora CYPE de aluminio gama básica instalada; el vidrio Low-E se usa como benchmark de costo para no presupuestar una solución que luego no pueda cumplir.					
32	Valores netos sin IVA. El IVA 19% se incorpora únicamente en el presupuesto global final.					

Figura A-4. APU 4 - Termopanel fijo con marco de aluminio estándar. Fuente:
elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Reemplazo de celosía abierta por sistema regulable de lamas orientables de aluminio					
2	UNIDAD: m²					
3	SUPERFICIE: 13,60 m² (20,00 m x 0,68 m)					
4						
5	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
6						
7	1	MATERIALES / SERVICIOS				
8	1.1	Subcontrato especializado: suministro e instalación de celosía de aluminio con lamas orientables, accionamiento manual, subestructura y marco; referencia CYPE/CORTIZO	m²	1.0000	\$202,925	\$202,925
9		SUB TOTAL N° 1				\$202,925
10						
11	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
12	2.1	Torre móvil certificada / torre rodante para acceso interior	día	0.1250	\$9,244	\$1,155
13		SUB TOTAL N° 2				\$1,155
14						
15	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
16	3.1	Maestro cerrajero / terminaciones — retiro de celosía existente y preparación del vano	día	0.0735	\$47,500	\$3,493
17	3.2	Ayudante — retiro de celosía existente y preparación del vano	día	0.0735	\$26,000	\$1,912
18	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$5,404	\$540
19		SUB TOTAL N° 3				\$5,945
20						
21						
22					COSTO NETO \$	\$210,025
23					LEYES SOCIALES 35% \$	\$2,081
24					APROXIMACIÓN \$	\$212,106
25						
26					TOTAL PARTIDA 13,60 m² \$	\$2,884,642
27						
28	Criterio técnico: la celosía continua se modulariza en paños de aproximadamente 2,00 x 0,68 m con accionamiento manual. La especificación debe considerar marco sellado y sellos perimetrales para reducir infiltraciones.					
29	Referencia de precio: CYPE Chile LS2031, celosía de lamas orientables de aluminio con subestructura, marco, fijaciones e instalación. Referencia técnica complementaria: Saxun O-120 móvil sobre marco con perfil 50x40 con sellado.					
30	Importante: en el informe conviene reemplazar la expresión 'sistema hermético' por 'sistema regulable de mayor estanqueidad / marco sellado', salvo que se disponga de una ficha que certifique hermeticidad.					
31	Valores netos sin IVA. El IVA 19% se incorpora únicamente en el presupuesto global final.					

Figura A-5. APU 5 - Sistema regulable de mayor estanqueidad en celosías. Fuente: elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Reemplazo de franjas translúcidas por policarbonato alveolar multicámara 16 mm					
2	UNIDAD: m²					
3	SUPERFICIE: 12,00 m²					
4						
5	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
6						
7	1	MATERIALES / SERVICIOS				
8	1.1	Policarbonato alveolar multicámara 16 mm transparente	m²	1.0150	\$21,624	\$21,948
9	1.2	Perfil conector H Clip 16 mm DVP	ml	0.4833	\$12,395	\$5,991
10	1.3	Cubrezócalo / perfil de terminación 16 mm (precio proxy Danpalon 8-10 mm, pendiente cotización exacta)	ml	0.3500	\$3,172	\$1,110
11	1.4	Cinta de aluminio DVP 25 mm, sellado superior	ml	0.1750	\$203	\$36
12	1.5	Cinta Filter Tape DVP 25 mm, sellado inferior	ml	0.1750	\$1,555	\$272
13	1.6	Tornillo para policarbonato con gollila EPDM	un	6.0000	\$132	\$792
14	1.7	Sellador compatible para remates y encuentros	cartucho	0.0300	\$10,160	\$305
15		SUB TOTAL N° 1				\$30,453
16						
17	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
18	2.1	Torre móvil certificada como apoyo interior de montaje	día	0.0830	\$9,244	\$767
19		SUB TOTAL N° 2				\$767
20						
21	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
22	3.1	Maestro hojalatero / instalador de cubierta	día	0.0830	\$47,500	\$3,943
23	3.2	Ayudante	día	0.0830	\$26,000	\$2,158
24	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$6,101	\$610
25		SUB TOTAL N° 3				\$6,711
26						
27						
28					COSTO NETO \$	\$37,931
29					LEYES SOCIALES 35% \$	\$2,349
30					APROXIMACIÓN \$	\$40,280
31						
32					TOTAL PARTIDA 12,00 m² \$	\$483,360
33						
34	Cubicación adoptada: una plancha comercial de 2,10 x 5,80 m (12,18 m²) permite cubrir aproximadamente los 12,00 m² requeridos, con corte en dos paños de 1,05 x 5,80 m.					
35	DVP recomienda perfil H Clip para 16 mm, sellado superior con cinta de aluminio y sellado inferior con Filter Tape, además de perfil de terminación en extremos.					
36	El precio del cubrezócalo específico de 16 mm no se publica actualmente; se usa temporalmente como proxy el cubrezócalo Danpalon 8-10 mm de 3 m y queda marcado para reemplazo si se obtiene cotización exacta.					
37	Valores netos sin IVA. El IVA 19% se incorpora únicamente en el presupuesto global final.					

Figura A-6. APU 6 - Policarbonato alveolar multicámara 16 mm. Fuente:
elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F
1	ITEM: Aislación complementaria bajo techumbre Instapanel con lana de vidrio 80 mm y foil aluminio					
2	UNIDAD: m²					
3	SUPERFICIE: 495,00 m²					
4						
5	Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
6						
7	1	MATERIALES / SERVICIOS				
8	1.1	Lana de vidrio Innova Plus 80 mm con una cara de foil aluminio, rollo 1,20 x 7,50 m (9 m²)	rollo	0.1167	\$27.647	\$3,225
9	1.2	Fleje / cinta perforada galvanizada de contención, fijada a estructura secundaria existente	ml	1.7500	\$945	\$1,653
10	1.3	Tornillo autoperforante con golilla para fijación de flejes a costaneras	un	4.0000	\$22	\$89
11	1.4	Cinta adhesiva de aluminio 50 mm para continuidad del foil en juntas y traslapes	ml	1.0500	\$126	\$132
12		SUB TOTAL N° 1				\$5,099
13						
14	2	MAQUINARIA / EQUIPOS				
15	2.1	Torre móvil certificada para ejecución interior en altura	día	0.0250	\$9,244	\$231
16		SUB TOTAL N° 2				\$231
17						
18	3	MANO DE OBRA INCLUIDO OTROS				
19	3.1	Maestro hojalatero / instalador de cubierta	día	0.0250	\$47,500	\$1,188
20	3.2	Ayudante	día	0.0250	\$26,000	\$650
21	3.3	Desgaste de herramientas	%	10%	\$1,838	\$184
22		SUB TOTAL N° 3				\$2,021
23						
24						
25					COSTO NETO \$	\$7,352
26					LEYES SOCIALES 35% \$	\$707
27					APROXIMACIÓN \$	\$8,059
28						
29					TOTAL PARTIDA 495,00 m² \$	\$3,989,205
30						
31	Sistema de montaje adoptado para presupuesto: rollos bajo Instapanel existente, foil orientado hacia el interior, contenidos por flejes galvanizados tensados cada ~0,60 m y anclados mecánicamente a costaneras/estructura secundaria; juntas del foil selladas con cinta de aluminio.					
32	La sujeción se fija a la estructura secundaria y no se considera la piel del panel sándwich como elemento resistente principal. La lana no debe comprimirse significativamente, pues perdería resistencia térmica.					
33	Verificación térmica: con R=1,85 m²K/W del aislante 80 mm, la techumbre proyectada resulta U=0,301-0,309 W/m²K para los dos escenarios de Instapanel evaluados.					
34	Cumplimiento: U proyectada < 0,33 W/m²K (OGUC vigente, educación, Zona E) y < 0,40 W/m²K (TDRe MOP, Zona 6 SL).					
35	Rendimiento adoptado: 0,025 jornada/m², coherente con el dossier ONDAC utilizado previamente para aislación sobre/bajo cubierta. Valores netos sin IVA.					

Figura A-7. APU 7 - Lana de vidrio 80 mm con foil bajo techumbre. Fuente:
elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G
1	RESUMEN GENERAL DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
2							
3	APU	Partida	Cantidad (m ²)	P.U. nuevo neto	Total nuevo neto	P.U. anterior	Variación
4		1 Cajón térmico muro bajo pared cancha	4.60	\$44,707	\$205,652	\$44,809	-0.2%
5		2 Aislación franja superior pared cancha	26.60	\$24,456	\$650,530	\$24,883	-1.7%
6		3 Muro pasillo lana 80 mm + EPS 40 mm + fibrocemento	64.00	\$36,181	\$2,315,584	\$46,159	-21.6%
7		4 Termopanel fijo marco aluminio estándar — desempeño U objetivo ≤2,90	64.00	\$168,772	\$10,801,408	\$166,245	1.5%
8		5 Sistema regulable de mayor estanqueidad en celosías	13.60	\$212,106	\$2,884,642	\$225,571	-6.0%
9		6 Policarbonato alveolar multicámara 16 mm	12.00	\$40,280	\$483,360	\$28,754	40.1%
10		7 Lana de vidrio 80 mm con foil bajo techumbre Instapanel	495.00	\$8,059	\$3,989,205	\$12,983	-37.9%
11							
12				COSTO DIRECTO NETO	\$21,330,380		
13				IVA 19%	\$4,052,772		
14				TOTAL IVA INCLUIDO	\$25,383,153		
15							
16	Nota de control: APU 6 conserva un precio proxy para un perfil de terminación de policarbonato de 16 mm pendiente de cotización exacta. APU 4 exige acreditar la U del sistema completo antes de compra/ ejecución.						

Figura A-8. Resumen consolidado de los siete APU y presupuesto global de intervención. Fuente: elaboración propia.

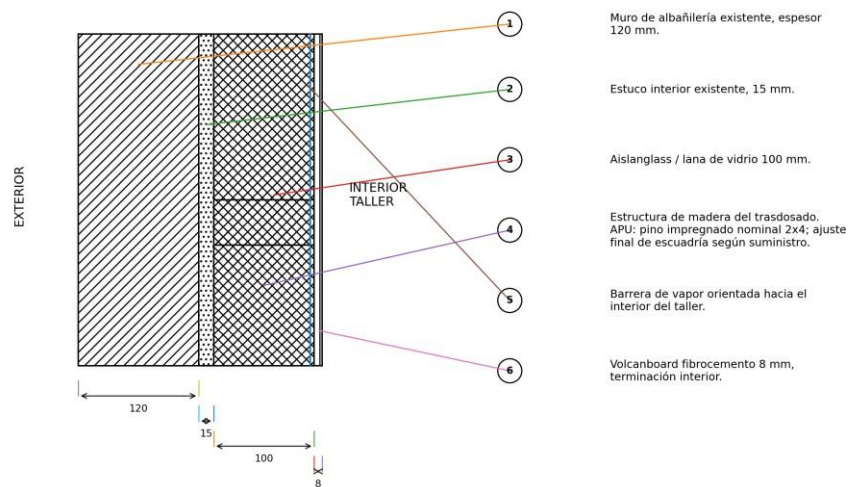
ANEXO B. MODELO BIM Y PLANOS DE APOYO



Figura B-1. Modelo BIM del Taller de Construcción y entorno inmediato. Fuente:
elaboración propia a partir de Autodesk Revit.

D-01. Mejoramiento térmico del muro bajo - pared cancha

Corte constructivo esquemático. Dimensiones indicadas en mm. No reemplaza plano de fabricación.

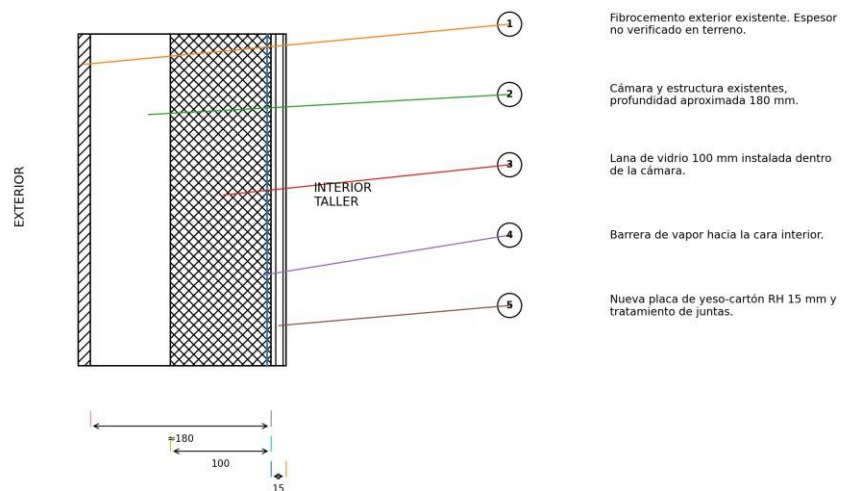


Nota: se completa el tramo faltante manteniendo la lógica del mejoramiento existente. La lana no debe comprimirse de forma significativa.

Figura B-3. Escantillón esquemático del muro bajo de la pared cancha. Fuente:
elaboración propia.

D-02. Franja superior opaca - pared cancha

Corte constructivo esquemático. Se conserva la estructura y el cierre exterior existentes.



Nota: el detalle no asigna un espesor al fibrocemento exterior porque ese dato no fue comprobado mediante apertura del cerramiento.

Figura B-4. Escantillón esquemático de la franja superior de la pared cancha.

Fuente: elaboración propia.

D-03. Mejoramiento del muro opaco - pared pasillo

Corte constructivo esquemático. La capa continua de EPS reduce el puente térmico de la estructura metálica.

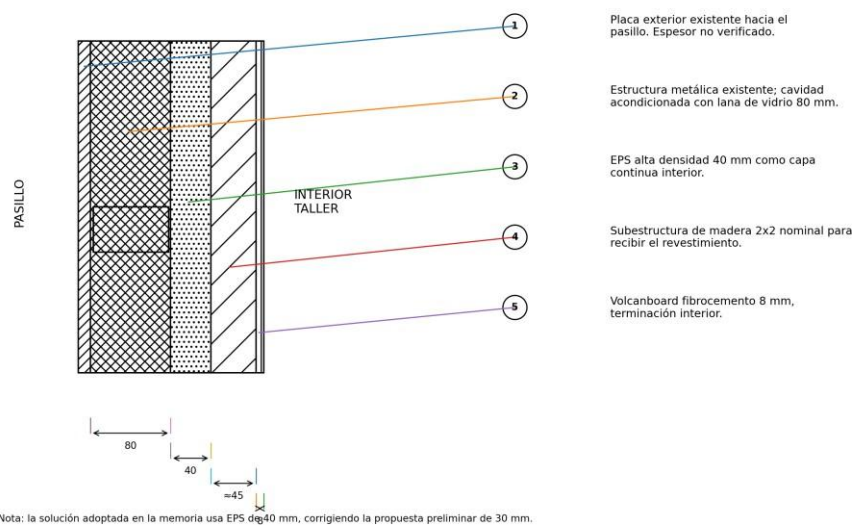
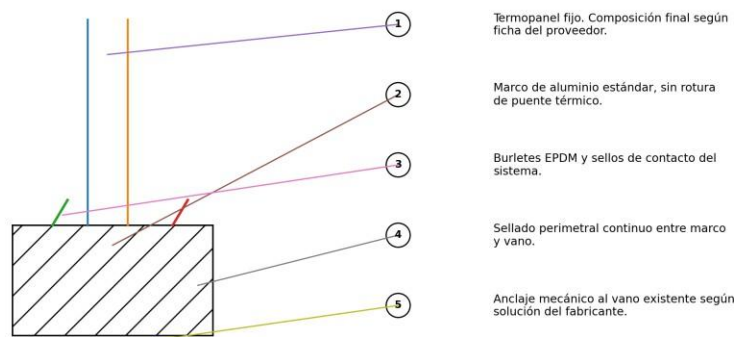


Figura B-5. Escantillón esquemático del muro opaco de la pared pasillo. Fuente:

elaboración propia.

D-04. Ventana superior: termopanel fijo con marco de aluminio estándar

Detalle de principio. La configuración del termopanel se especifica por desempeño del conjunto, no por una cámara arbitraria.

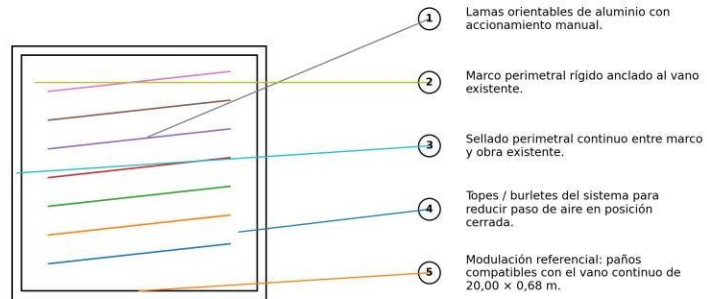


Criterio de proyecto: acreditar U del conjunto ventana $\leq 3,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ OGUC; se adopta objetivo $\leq 2,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ para compatibilidad MOP cuando corresponda.

Figura B-6. Detalle de principio del termopanel superior. Fuente: elaboración propia.

D-07. Sustitución de celosía abierta por sistema regulable de mayor estanqueidad

Detalle conceptual. La geometría final del módulo depende del sistema comercial seleccionado.

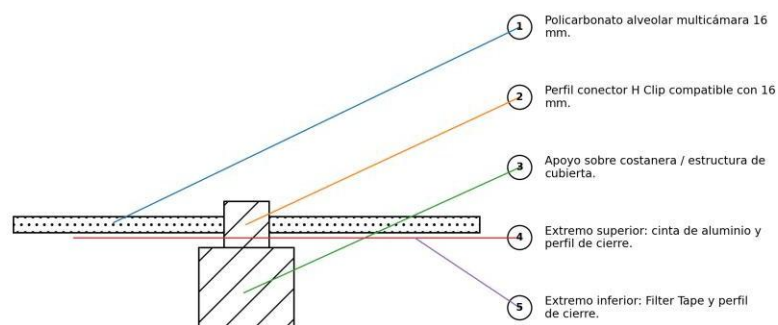


La memoria emplea la expresión 'sistema regulable de mayor estanqueidad'; no se declara hermeticidad absoluta sin ensayo o certificación del fabricante.

Figura B-7. Detalle conceptual de la celosía regulable. Fuente: elaboración propia.

D-06. Reemplazo de franja translúcida por policarbonato alveolar 16 mm

Detalle de principio para unión, cierre y fijación. Alvéolos orientados en el sentido de la pendiente.

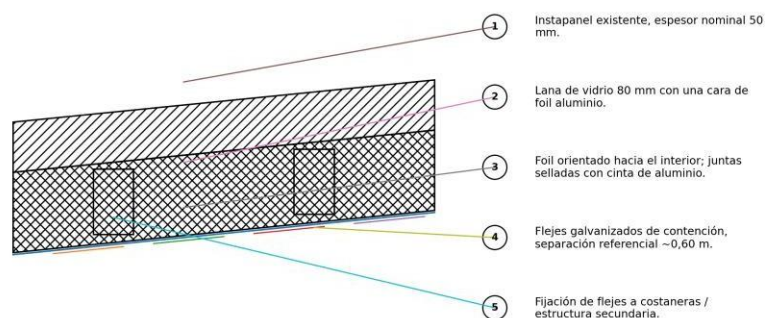


Fijaciones con golilla EPDM. Se debe respetar dilatación térmica y orientación UV indicada por el fabricante.

Figura B-8. Detalle de principio del policarbonato alveolar de 16 mm. Fuente:
elaboración propia.

D-05. Aislación complementaria bajo techumbre Instapanel

Corte constructivo esquemático. El foil queda visible hacia el interior del taller.



Nota: la aislación debe conservar su espesor; la piel metálica del panel no se considera soporte resistente principal del sistema de contención.

Figura B-9. Detalle constructivo de la techumbre Instapanel con aislación complementaria. Fuente: elaboración propia.

ANEXO C. REGISTROS Y FICHAS TÉCNICAS

El archivo original de monitoreo “Lecturas dispositivo HOB0 2026.xlsx” contiene 2.023 registros continuos y constituye el respaldo primario de las Figuras 1-11 a 1-14 y de la Tabla 1-2. Las fichas técnicas de materiales y sistemas especializados citadas en la bibliografía constituyen el respaldo de las propiedades térmicas y de las soluciones propuestas. Para la entrega al repositorio, estos archivos

pueden conservarse como anexos digitales complementarios cuando el procedimiento institucional lo permita.