



UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

TÍTULO

Análisis comparativo de estrategias de diseño para
rehabilitación de envoltentes murales en
establecimientos educacionales de la comuna de
Coquimbo en base a criterios de impacto ambiental.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: Rodrigo Andrés Muñoz Rojas

PROFESORES: Dr. Rodrigo Figueroa San Martín - Dr. Gerardo Saelzer Fuica

LA SERENA, 27 de Abril de 2021

SUSTENTABILIDAD EN LA ENVOLVENTE DE ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES
IMPACTO AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN ESCOLAR - MATERIALES Y HUELLA DE CARBONO



“El año pasado, un grupo intergubernamental de expertos emitió un informe que habla de las consecuencias de mantener el calentamiento global en 1,5 grados o 2 grados. Es indispensable que no sobrepase los 1,5 grados. Eso implica que necesitamos una acción más ambiciosa de todos los países. [...] Reducir las emisiones implica un cambio radical en nuestra forma de vida“.

Patricia Espinoza, Secretaria Ejecutiva de ONU en cambio climático, 26 de
Abril 2019.

RESUMEN

Actualmente la generación de contaminantes, incorporados en cada material utilizado y el desapego a prácticas sustentables, tanto por la ciudadanía, por empresas e incluso el estado, acaba por aumentar la crisis medioambiental actual contradiciendo los acuerdos internacionales sobre cuidado al medio ambiente. Las prácticas en la construcción, las cuales generan entre el 30 - 40% del consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, nos indican que esa área es primordial para disminuir el calentamiento global. En el campo de la infraestructura educacional en Chile, donde el gasto ministerial es del orden de los M\$80.000 en las intervenciones de mejoramiento constructivo, éstas se desarrollan sin medir su Huella de Carbono (HC), por lo tanto aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) sería un aporte significativo y una responsabilidad ineludible.

Esta investigación busca contribuir a la disminución del impacto ambiental en el sector de la construcción en Chile, a través del ACV y el análisis de transmitancia térmica en mejoramientos constructivos para establecimientos educacionales, donde se identifica la HC generada en cada rehabilitación, para así obtener una línea base de soluciones sustentables, que apoyen mejores decisiones en la política pública educacional.

Respecto del estado del arte y análisis de campo se diseñaron nuevas soluciones para la envolvente de muros, verificando la HC a través de la metodología ACV y teniendo como estándar de referencia la NTM 011, con ello las soluciones cumplen con los rangos adecuados de sostenibilidad, creando una línea base comparativa y generando menores emisiones de CO₂ a la atmósfera. En esta tarea se utiliza la herramienta digital ÁBACO-CHILE, que facilita la medición de huella de carbono y el análisis económico. La metodología de cálculo de la NCh853:2007 se usa para verificar las transmitancias térmicas de cada solución. De esta manera se propuso una metodología viable y práctica que nos entregará insumos para un diseño sustentable que disminuirá los impactos ambientales en las soluciones constructivas futuras.

Los principales resultados mostraron que las soluciones más sustentables a la hora de mejorar constructivamente la envolvente de un establecimiento educacional, implica desde la etapa de diseño un análisis multifactorial. Las HC de las soluciones constructivas están determinadas por varios factores, el tipo de muro a rehabilitar, la estrategia constructiva a desarrollar y el material aislante a utilizar, y factores complementarios como elegir materiales que incluyan declaración ambiental del producto (DAP), identificar la HC incorporada en el material, la distancia desde la fabricación a la obra y la manera de cómo se ejecuta el proyecto. Se analizaron diferentes materiales para la rehabilitación comparando aislantes de origen orgánico, mineral, y sintético, y se observó que un aislante de origen orgánico no necesariamente determina una HC baja en la solución constructiva, si bien el EPS es un aislante sintético, se observaron valores similares a rehabilitaciones con Celulosa proyectada, entre 0,45 y 1,82 Ton CO₂/m². La reducción en la HC determinada en esta investigación nos muestra valores poco alentadores respecto de la expectativa planteada en la hipótesis, dado que los valores disminuyeron solo en los casos donde se utilizó material aislante local, como es el caso de la Celulosa proyectada, la HC del proyecto disminuyó entre el 0,1% y 4% según tipología de muro rehabilitado, frente a las soluciones comúnmente utilizadas como el EPS. Mientras las soluciones importadas, que incluso tenían HC negativa en la Fase de Extracción-Fabricación, aumentaron la HC final del proyecto de 1 a 3 veces respecto de una solución estándar.

Los criterios de impacto ambiental que se evalúan, nos entregan herramientas para establecer parámetros objetivos de decisión en el diseño arquitectónico y constructivo que se realiza. Lo cual es verificable y modificable en etapa de diseño. Esto nos permite generar una línea base de referencia de soluciones sustentables y energéticamente eficientes. La emisión de CO₂ por una rehabilitación constructiva para el Ciclo de Vida del proyecto tiene un gran porcentaje de incidencia en el medioambiente, es determinante, pero está directamente relacionada con un análisis multiobjetivo en etapa de diseño.

ABSTRACT

Currently, the generation of pollutants, incorporated in every material used and the disregard for sustainable practices, both by citizens, companies and even the state, ends up increasing the current environmental crisis, contradicting international agreements on environmental care. Construction practices, which generate between 30-40% of energy consumption and greenhouse gas emissions worldwide, indicate that this area is essential to reduce global warming. In the field of educational infrastructure in Chile, where ministerial spending is of the order of M\$80,000 in construction improvement interventions, these are developed without measuring their Carbon Footprint (CF), therefore applying the Life Cycle Assessment (LCA) would be a significant contribution and an unavoidable responsibility.

This research seeks to contribute to the reduction of the environmental impact in the construction sector in Chile, through the LCA and the analysis of thermal transmittance in construction improvements for educational establishments, where the carbon footprint generated in each rehabilitation is identified, in order to obtain a baseline of sustainable solutions, which support better decisions in educational public policy.

Regarding the state of the art and field analysis, new solutions were designed for the envelope of walls, verifying the HC through the LCA methodology and having as reference standard the NTM 011, with this the solutions comply with the appropriate ranges of sustainability, creating a comparative baseline and generating lower CO₂ emissions to the atmosphere. The digital tool ÁBACO-CHILE is used in this task, which facilitates carbon footprint measurement and economic analysis. The NCh853:2007 calculation methodology is used to verify the thermal transmittances of each solution. In this way, a viable and practical methodology was proposed that will provide us with inputs for a sustainable design that will reduce the environmental impacts of future construction solutions.

The main results showed that the most sustainable solutions when it comes to constructive improvement of the envelope of an educational establishment, implies a multifactorial analysis from the design stage. The HC of the constructive solutions are determined by several factors, the type of wall to be rehabilitated, the constructive strategy to be developed and the insulating material to be used, and complementary factors such as choosing materials that include environmental product declaration (EPD), identifying the HC incorporated in the material, the distance from the manufacturing site to the construction site and the way the project is executed. Different materials for rehabilitation were analyzed comparing organic, mineral and synthetic insulates, and it was observed that an organic insulation does not necessarily determine a low HC in the construction solution, although EPS is a synthetic insulation, similar values were observed to rehabilitations with projected cellulose, between 0.45 and 1.82 Ton CO₂/m². The reduction in the HC determined in this research shows us not very encouraging values with respect to the expectation raised in the hypothesis, since the values decreased only in the cases where local insulating material was used, as is the case of projected cellulose, the HC of the project decreased between 0.1% and 4% depending on the type of rehabilitated wall, compared to the commonly used solutions such as EPS. While the imported solutions, which even had negative HC in the extraction-manufacturing phase, increased the final HC of the project by 1 to 3 times compared to a standard solution.

The environmental impact criteria that are evaluated provide us with tools to establish objective decision parameters in the architectural and constructive design that is carried out. This is verifiable and modifiable at the design stage. This allows us to generate a baseline of sustainable and energy efficient solutions. The CO₂ emission by a constructive rehabilitation for the Life Cycle of the project has a great percentage of incidence in the environment, it is determinant, but it is directly related to a multi-objective analysis in the design stage.

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 1.1 | Construcción e impacto al medio ambiente | 8 |
| 1.2 | Estrategia país: reducción de emisiones de GEI | 8 |
| 1.3 | Ministerio de Educación: Infraestructura educacional..... | 9 |
| 1.4 | Importancia de la Envolvente en la rehabilitación energética | 12 |
| 1.5 | El aula y su envolvente..... | 14 |
| 2 | HIPÓTESIS | 14 |
| 3 | OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS | 15 |
| 3.1 | Objetivo general..... | 15 |
| 3.2 | Objetivos específicos..... | 15 |
| 4 | MARCO TEÓRICO..... | 15 |
| 4.1 | Épocas constructivas de Establecimientos Educativos..... | 15 |
| 4.2 | Obras nuevas versus Mejoramientos constructivos..... | 17 |
| 4.3 | Análisis del Ciclo de Vida (ACV)..... | 18 |
| 4.3.1 | Metodología del ACV..... | 18 |
| 4.3.2 | Normativa española de ACV | 19 |
| 4.4 | Huella de Carbono (HC) | 19 |
| 4.4.1 | Homologación de Normativas internacionales para la gestión ambiental | 20 |
| 4.4.2 | Ministerio del Medio Ambiente, Programa Huella Chile | 21 |
| 4.4.3 | Impuesto verde a las emisiones de CO ₂ | 21 |
| 4.5 | Transmitancia térmica (U)..... | 22 |
| 4.5.1 | Norma Chilena 853 (NCh853)..... | 22 |
| 4.5.2 | Norma Chilena 1079 of. 2008 (NCh1079/2008) | 22 |
| 4.5.3 | Términos de referencia Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Arquitectura (TDR MOP DA) | 23 |
| 4.5.4 | Norma Técnica MINVU (NTM 011) | 24 |
| 4.5.5 | Actualización de la Norma Térmica MINVU, según Art.4.1.1.10 O.G.U.C. | 25 |
| 5 | ESTADO DEL ARTE | 26 |
| 5.1 | Sustentabilidad y Eficiencia Energética en la Infraestructura Escolar | 26 |
| 5.2 | ACV y valores de referencia medioambiental | 27 |
| 5.3 | La influencia de la envolvente en el consumo de energía de los edificios públicos..... | 27 |
| 5.4 | Aislantes térmicos y su influencia en la envolvente..... | 30 |

| | | |
|-------|--|--------------------------------------|
| 5.5 | Arquetipos escolares, Reino Unido..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6 | METODOLOGÍA..... | 33 |
| 6.1 | Protocolo..... | 35 |
| 7 | DESARROLLO DEL ESTUDIO..... | 35 |
| 7.1 | Contexto urbano y análisis climático..... | 35 |
| 7.2 | Ubicación de los EE.EE..... | 36 |
| 7.3 | Materialidad predominante en envolventes de Aula..... | 36 |
| 7.4 | Parámetros de Sustentabilidad..... | 38 |
| 7.5 | Análisis crítico de soluciones constructivas período 2015 - 2020..... | 38 |
| 7.5.1 | Proyectos de Conservación de EE.EE año 2015..... | 38 |
| 7.5.2 | Proyectos de Conservación de EE.EE año 2017..... | 38 |
| 7.5.3 | Proyectos de Conservación de EE.EE año 2020..... | 39 |
| 7.5.4 | Caso referencial, Programa de mejoramiento de eficiencia energética en infraestructura escolar pública.... | 41 |
| 7.6 | Análisis de caso..... | 45 |
| 7.6.1 | Caso 1: Escuela Coquimbo..... | 45 |
| 7.6.2 | Caso 2: Escuela Mario Muñoz Silva..... | 52 |
| 7.6.3 | Caso 3: Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer..... | 63 |
| 8 | RESULTADOS..... | 72 |
| 8.1 | Verificación de objetivos..... | 72 |
| 8.2 | Alcance de estudio..... | 74 |
| 8.3 | Metodología de cálculo..... | 74 |
| 8.4 | Análisis de inventario..... | 74 |
| 8.5 | Simulación de proyectos (plataforma ÁBACO-CHILE)..... | 77 |
| 8.5.1 | Análisis ambiental..... | 77 |
| 8.5.2 | Análisis económico..... | 81 |
| 9 | MATRIZ COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD..... | 86 |
| 10 | CONCLUSIONES..... | 87 |
| 11 | LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN..... | 89 |
| 12 | GLOSARIO..... | 89 |
| 13 | FIGURAS, TABLAS, IMÁGENES, GRÁFICOS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS..... | 90 |
| 14 | BIBLIOGRAFÍA..... | 95 |
| 15 | ANEXOS..... | 99 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Construcción e impacto al medio ambiente

El sector de la construcción moviliza el 10% de la economía mundial, representa más de la tercera parte del consumo mundial de recursos, en torno al 30 - 40% del consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero, 30 - 40% de la generación de residuos y el 12% de todo el gasto en agua dulce del planeta. Es por ello que la aplicación de criterios de sostenibilidad resulta esencial para la reconversión de esta industria. Además, es parte de las estrategias metodológicas en distintos países para lograr la disminución del calentamiento global, haciendo esfuerzos cooperativos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales (IPCC 2019).

La metodología que más se aproxima a una valoración exhaustiva del impacto ambiental de los edificios es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), establecida por las normas ISO14.040/44, en tanto permite cuantificar el impacto medioambiental global, realizando una contabilidad completa del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados a las distintas fases del ciclo de vida. El Análisis de Ciclo de Vida opone una visión a largo plazo frente a la perspectiva tradicional que aspira a la obtención de una rentabilidad inmediata con una mínima inversión inicial, ignorando sus efectos económicos y medioambientales futuros.

El tercer informe de Chile sobre cambio climático 2018 indica que se necesita financiamiento para la implementación de medidas en el área de diseño, planificación y monitoreo, para disminuir las brechas en la adaptación de la infraestructura nacional al cambio climático. Por lo tanto, se debe contar de manera urgente, con una estrategia que dirija los esfuerzos de adaptación y mitigación de los servicios de infraestructura al cambio climático en las áreas de infraestructura resiliente y baja en carbono (MMA 2018).

1.2 Estrategia país: reducción de emisiones de GEI

Según la estrategia nacional de construcción sustentable¹, Chile se compromete desde el sector de la construcción a aportar a la reducción del 20% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) tomando como base las emisiones proyectadas al año 2020.

El 19 de junio de 2017, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad aprobó el nuevo Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017 - 2022(MMA 2017). La elaboración del Plan Nacional es fruto de la colaboración de más de 20 instituciones públicas, entre ministerios y servicios, con competencias en materia de cambio climático, y contó con la coordinación de la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (Yendegaia 2017). El anuncio en 2018 de la elaboración de una Ley de cambio climático y el desarrollo de una estrategia a 2050 comprometen en Chile la creación de nuevas herramientas de gestión que permitirán al país tomar una vía sustentable y baja en emisiones, esfuerzo que irá alineado con los objetivos internacionales suscritos en el Acuerdo de París (MMA 2018).

¹ Fuente: Estrategia nacional de construcción sustentable, aprobada por Res. Ex. N°9035 de V. y U., del 6 de diciembre de 2013”

Contribución Nacional Determinada de Chile en Materia de Mitigación (NDC)

Meta de intensidad de emisiones:

a) Chile se compromete, al 2030, a reducir sus emisiones de CO₂ por unidad de PIB en 30 % con respecto al nivel alcanzado en 2007, considerando un crecimiento económico futuro que le permita implementar las medidas adecuadas para alcanzar este compromiso.

b) Adicionalmente, y condicionado a la obtención de aportes monetarios internacionales (Grant), el país se compromete al 2030 a aumentar su reducción de emisiones de CO₂ por unidad de PIB hasta alcanzar una disminución de entre 35 % y 45 % con respecto al nivel alcanzado en 2007, considerando, a la vez, un crecimiento económico futuro que le permita implementar las medidas adecuadas para alcanzar este compromiso.

Existe una responsabilidad del país respecto de los acuerdos suscritos. El 48% de las emisiones de GEI son del área de la construcción (Programme, Climate, and Research-oslo 2009), y aún en varios ministerios no se han definido estrategias ni políticas públicas que logren sumar esfuerzos para una disminución de la contaminación ambiental de manera más rápida, efectiva y concreta. Respecto de la mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, el diseño de políticas públicas de manera parcelada aún mantiene deficiencias en áreas tan importantes como la infraestructura educacional. Por lo tanto, falta incluir variables ambientales en la elección de proyectos de infraestructura educacional que permitan incentivar de manera más amplia parámetros de entrada cuantitativos, para alcanzar construcciones con bajo impacto ambiental.

1.3 Ministerio de Educación: Infraestructura educacional

El gobierno de Chile, a través del Ministerio de Educación, establece políticas públicas con orientaciones a estrategias de sustentabilidad, mas no incorpora en áreas relevantes de la cartera de proyectos de construcción políticas que apoyen una disminución en la huella de carbono generada. El Ministerio de Educación de Chile entrega recursos a los municipios, corporaciones y servicios locales de educación, todos sostenedores de la educación pública actualmente, para el mejoramiento de los establecimientos educacionales existentes en el país. Esta política educacional tiene 2 principales líneas de financiamiento: el Fondo de Apoyo a la Educación Pública (FAEP), el cual entrega recursos anualmente de forma regular vía transferencia de fondos, y el programa Fortalecimiento a la Educación Pública (FEP), que entrega recursos vía proyectos presentados por los sostenedores (Ministerio de Hacienda 2019). En la Tabla 1, se presenta la cifra de recursos para la Región de Coquimbo entregada por este concepto en el año 2019, la cual superó los M\$4.000 con más de 30 proyectos de mejoramientos y rehabilitación de infraestructura educacional.

Las decisiones técnicas sobre los proyectos a ejecutar en los establecimientos educacionales incluyen factores de costos, tiempo de ejecución, distancias de proveedores, normativas existentes, pero no se incorpora la medición de la HC generada por las soluciones constructivas a implementar, lo cual implica una contaminación indeterminada y variable. Se observan decisiones en la utilización de los recursos sin incorporar la variable medioambiental, lo que no incentivaría al privado a desarrollar construcciones más sustentables. Esto se demuestra en los porcentajes de ponderación en licitaciones públicas para los proyectos de infraestructura educacional, donde el precio y el plazo de ejecución son mayormente valorizados en la adjudicación de proyectos.

| Año Creación | Comuna | Aporte Mineduc (\$) | Programa |
|-----------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 2019 | LA SERENA | \$ 240,677,170 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | LA SERENA | \$ 14,999,009 | Equipamiento TP |
| 2019 | LA SERENA | \$ 73,200,000 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | LA HIGUERA | \$ 145,522,666 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | LA HIGUERA | \$ 385,455,628 | Emergencia |
| 2019 | LA HIGUERA | \$ 81,000,000 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | PAIHUANO | \$ 150,000,000 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | PAIHUANO | \$ 244,184,908 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | VICUÑA | \$ 241,765,000 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | VICUÑA | \$ 24,627,829 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | ILLAPEL | \$ 241,577,974 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | ILLAPEL | \$ 245,000,000 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | CANELA | \$ 161,477,050 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | CANELA | \$ 96,945,318 | Equipamiento TP |
| 2019 | LOS VILOS | \$ 241,374,104 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | LOS VILOS | \$ 4,800,000 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | SALAMANCA | \$ 149,329,846 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | SALAMANCA | \$ 31,091,790 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | OVALLE | \$ 169,167,806 | Liceos Bicentenario |
| 2019 | OVALLE | \$ 299,985,584 | Equipamiento TP |
| 2019 | OVALLE | \$ 131,032,174 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | COMBARBALA | \$ 99,995,592 | Equipamiento TP |
| 2019 | MONTE PATRIA | \$ 99,114,071 | Equipamiento TP |
| 2019 | MONTE PATRIA | \$ 23,600,000 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | PUNITAQUI | \$ 21,511,824 | Fondo de Apoyo a la Educación Pública |
| 2019 | PUNITAQUI | \$ 69,916,180 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | PUNITAQUI | \$ 131,268,560 | Integral mayor a 5000 UTM |
| 2019 | PUNITAQUI | \$ 100,000,000 | Equipamiento TP |
| 2019 | RIO HURTADO | \$ 83,000,000 | Liceos Bicentenario |
| 2019 | RIO HURTADO | \$ 240,000,000 | Integral menor a 5000 UTM |
| 2019 | RIO HURTADO | \$ 99,998,104 | Equipamiento TP |
| TOTAL ESTIMADO | | \$ 4,341,618,187 | (Aporte en proyectos FAEP - FEP) |

Tabla 1: Proyectos de infraestructura educacional 2019, Región de Coquimbo (Fuente: elaboración propia, según plataforma de presentación de proyectos del Ministerio de Educación, www.inframineducenlinea.cl).

1. MEJORAMIENTO DE INTERNADO Y SALAS DE CLASES ESCUELA CARLOS MONDACA CORTES, COMUNA DE VICUÑA.

Licitación ID: 3613-23-LE20:

| SUBFACTORES | ÍTEM | PORCENTAJE |
|--------------------|-------------------------------------|------------|
| <i>Subfactor A</i> | Plazo de ejecución | 30% |
| <i>Subfactor B</i> | Experiencia de la Empresa | 10% |
| <i>Subfactor C</i> | Precio | 50% |
| <i>Subfactor D</i> | Comportamiento contractual anterior | 5% |
| <i>Subfactor E</i> | Cumplimiento de requisitos formales | 5% |

2. NORMALIZACIÓN Y MEJORAMIENTO ESCUELA PUNTA DE CHOROS, COMUNA DE LA HIGUERA.

Licitación ID: 3749-8-LE20:

| SUBFACTORES | ÍTEM | PORCENTAJE |
|--------------------|---------------------------|------------|
| <i>Subfactor A</i> | Plazo de ejecución | 40% |
| <i>Subfactor B</i> | Experiencia de la Empresa | 25% |
| <i>Subfactor C</i> | Oferta económica | 25% |
| <i>Subfactor D</i> | Mano de obra local | 10% |

3. HABILITACIÓN SALA KINDER ESCUELA TERESITA DE LOS ANDES, COMUNA DE PUNITAQUI.

Licitación ID: 3872-3-LE20:

| SUBFACTORES | ÍTEM | PORCENTAJE |
|--------------------|-------------------------------------|------------|
| <i>Subfactor A</i> | Plazo de ejecución | 20% |
| <i>Subfactor B</i> | Experiencia Acreditable | 20% |
| <i>Subfactor C</i> | Valor ofertado | 40% |
| <i>Subfactor D</i> | Visita a terreno | 10% |
| <i>Subfactor E</i> | Cumplimiento de requisitos formales | 10% |

Tabla 2: Bases de licitación tipo, proyectos ejecutados el año 2018 y 2019 en la Región de Coquimbo (Fuente: SECREDOC 2019).

Para lograr mejores soluciones constructivas, más sustentables, y que aporten a los compromisos que el Gobierno de Chile ha tomado en materia medioambiental, el primer paso necesario es la evaluación del comportamiento ambiental de las mismas, y como objetivo principal el planteamiento de una metodología de evaluación de los aspectos o impactos ambientales asociados a la edificación con enfoque de ACV. En este estudio se evaluará la HC estableciendo límites del ciclo de vida desde la cuna a la puerta. Como consecuencia, se comparará el impacto de la solución existente con el de la solución constructiva diseñada. Por tanto, el primer paso consiste en la evaluación del comportamiento ambiental de las soluciones generadas utilizando como herramienta principal el ACV, lo que permitirá construir una línea base de referencia. Las mediciones de HC también pueden ser desarrolladas en la etapa de diseño de las iniciativas, lo cual podría ser medido y verificado en la etapa posterior a la Licitación, lo cual produciría un compromiso en los sostenedores educacionales en torno al medioambiente.

1.4 Importancia de la Envolvente en la rehabilitación energética

Desde el punto de vista de la infraestructura educacional en relación al cambio climático, encontramos que se identifican varias barreras para el diseño de escuelas sustentables con bajas emisiones de carbono; siendo las principales preocupaciones de los legisladores: los costos de inversión inicial, el costo adicional percibido en el diseño, aumento de las estrategias activas, la complejidad de los sistemas de construcción y las tecnologías bajas en carbono (Kershaw and Simm 2014). Desarrollo sostenible en el campo de la construcción en el siglo XXI sólo se puede lograr si los responsables de la formulación de políticas están plenamente convencidos de que la modernización de los edificios existentes puede aportar sostenibilidad al entorno construido (Wilkinson 2012). Lo anterior describe con precisión el dilema actual relativo a la sostenibilidad: un número considerable de investigaciones se centran en el potencial de ahorro de energía para futuros proyectos de construcción, mientras que los edificios existentes contribuyen a la mayor parte del uso final mundial de la energía y representan aproximadamente el 40% del consumo energético mundial (Wang, Xia, and Zhang 2014). Los nuevos edificios se suman al stock de edificios como máximo un 1% al año, mientras que el otro 99% de los edificios existentes ya están construidos y producen el 27% de todas las emisiones de carbono en todo el mundo (Power 2008). Mientras tanto, la tasa actual de rehabilitación de edificios existentes no supera el 1% -3% anual, en consecuencia, esto convierte el parque de edificios existente en el objetivo clave para las intervenciones de eficiencia energética.

Un concepto principal en la rehabilitación medioambiental es la rehabilitación energéticamente eficiente. Al desarrollar estrategias de adaptación de envolventes para escuelas, con un enfoque que combina rehabilitaciones energéticamente eficientes y económicamente viables, se presenta un enfoque alternativo que nos permite alcanzar valores mínimos a largo plazo desde un punto de vista estratégico. El edificio rehabilitado conduce a la sostenibilidad económica mediante la reducción del consumo anual de energía y reducir los costos operativos y de mantenimiento. Las conclusiones indican que este enfoque permite ahorrar hasta un 54% de energía con un periodo de amortización de 5,5 años. Los estudios muestran respecto de la importancia de la envolvente en la rehabilitación energética que, en general, la energía para alcanzar el nivel de confort adecuado (calefacción o refrigeración) constituye el mayor porcentaje de consumo anual en las escuelas, dado que hasta el año 2000 muchos países construían la envolvente sin la aislación térmica correspondiente (Ali and Hashlamun 2019).

Desmitificando el costo adicional de las estrategias de disminución de huella de carbono, esta investigación busca demostrar que la tasa interna de retorno de las soluciones sustentables es conveniente, instalando además el concepto de las estrategias pasivas por sobre las estrategias activas de sustentabilidad en la edificación, las cuales debieran ser secundarias o complementarias. Un diseño preconcebido se establece al principio del proceso sin herramientas para considerar la gama completa de impactos en otras actuaciones, y los sistemas todavía se diseñan a menudo de forma secuencial en lugar de estar completamente integrados. En consecuencia, las intervenciones de fachada suelen basarse en la experiencia profesional o en las reglas generales. La medición y la verificación son poco frecuentes y, si se realizan, estos resultados no se comparten como conocimiento público (Martinez and Carlson 2014). Las decisiones tomadas durante el diseño inicial de la rehabilitación de fachadas tienen una gran influencia en el rendimiento final de edificios, sin embargo, los actuales procedimientos de adjudicación de proyectos no promueven la evaluación de cómo el diseño de los sistemas de fachada afecta al rendimiento general del edificio.

En las Licitaciones públicas, sería prudente a nivel de diseño, incluir un factor de sustentabilidad que sea representativo de los indicadores esperados, incorporando variables independientes que incidan en la disminución de contaminantes a la atmósfera. Es importante impulsar procesos de contratación pública que incorporen criterios generales de sustentabilidad en los edificios (Vullo et al. 2018). Actualmente los procedimientos de licitación no utilizan criterios de evaluación sustentable, que revelen cómo un conjunto de propiedades de los componentes de la fachada, afectan los valores globales del rendimiento del edificio y su huella ambiental. Las ofertas se basan normalmente en valores que describen propiedades individuales de la fachada, componentes como las transmitancia térmica y los factores de ganancia solar sin considerar la interrelación entre ellos y el medio ambiente. Según Nielsen, el nivel de información necesario para evaluar si el diseño

puede cumplir los requisitos de certificación de sostenibilidad es insuficiente en las primeras etapas de diseño, por lo tanto, no es un criterio de selección adecuado. (Nielsen et al. 2016). Respecto de las licitaciones para una rehabilitación en escuelas públicas del Reino Unido, Kershaw afirma que el mal desarrollo de los procedimientos en las contrataciones públicas son las barreras para la eficiencia energética en el diseño inicial (Kershaw and Simm 2014).

Entonces, ¿Qué criterios podemos utilizar para evaluar el rendimiento general del edificio?... se sugiere clasificar las herramientas en seis áreas para apoyar a los responsables de la toma de decisiones del proceso de renovación en los países en desarrollo: establecimiento de objetivos de sostenibilidad, criterios de ponderación, diagnóstico de edificios, generación de alternativas de diseño, estimación del rendimiento y evaluación de alternativas de diseño. (Nielsen et al. 2016).

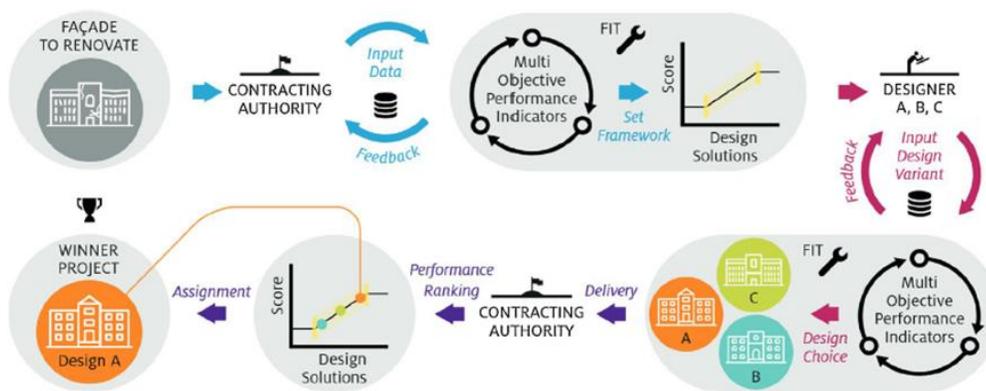


Figura 1: Visualización del flujo del proyecto en la evaluación multiobjetivo del rendimiento medioambiental (Fuente: Nielsen, 2016).

En función de las variaciones de diseño de la fachada se integran criterios de rendimiento en las ofertas mediante el cálculo de una puntuación total para cada propuesta de diseño. Este enfoque sensibiliza a los diseñadores y a los poderes adjudicadores para que tengan en cuenta el rendimiento global de un proyecto, desde la fase inicial del diseño y ayuda a tomar decisiones informadas.



SUSTENTABILIDAD EN LA ENVOLVENTE DE ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES
 IMPACTO AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN ESCOLAR - MATERIALES Y HUELLA DE CARBONO

Figura 2: Análisis de Huella de Carbono en etapa de diseño (Fuente: Proyecto arCo2, 2015).

1.5 El aula y su envolvente

La preocupación principal que se observa en establecimientos educacionales a nivel gubernamental², investigativo, profesional, y por los propios apoderados, es la sala de clases. Como columna vertebral de cualquier establecimiento educacional existente, alberga a los alumnos por lo menos 6 horas al día, y es el espacio con mayor temporalidad de uso y mayor grado de deterioro. Por lo tanto, el constructo espacial de mayor relevancia en un establecimiento educacional es la sala de clases, y a nivel constructivo, su envolvente. Las soluciones constructivas de envolventes de los edificios educacionales actualmente existentes en la Región de Coquimbo se diseñaron en épocas donde no se evaluaban aspectos energéticos y medioambientales tales como la transmitancia térmica y la HC. Por lo tanto, no existe base de datos de ello, observándose estrategias constructivas deficientes respecto de la responsabilidad medioambiental y el confort térmico.

Actualmente en Chile, la construcción de las envolventes de establecimientos educacionales, su mejoramiento y rehabilitación, se desarrollan sin incorporar evaluaciones de impacto ambiental, observándose en las licitaciones públicas nulas solicitudes de análisis de este tipo. Al evaluar térmica y ambientalmente los muros de las salas de clases, componente constructivo principal de la envolvente en la etapa de diseño de un proyecto de mejoramiento educacional, sería posible disminuir la emisión de contaminantes al medio ambiente y aportar al confort térmico del aula, verificando a través de datos cuantitativos la solución más sustentable y con menos emisiones de CO₂. Exigiendo un valor máximo respecto de la huella de carbono generada a través de las soluciones constructivas en muros de aulas, estableceremos diseños que determinarán líneas base de sustentabilidad generada.

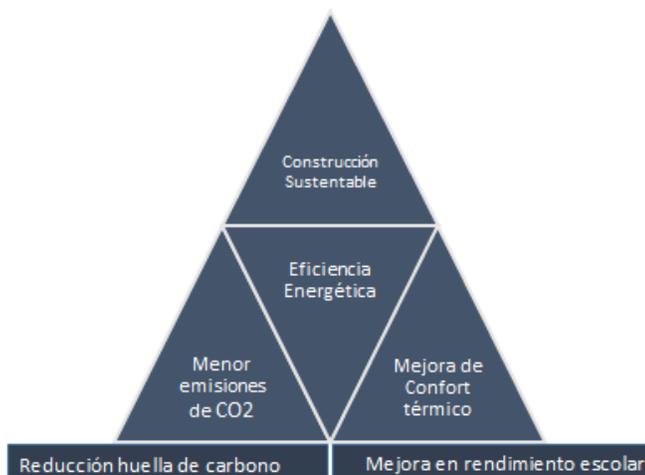


Figura 3: Aspectos mejorados a través de eficiencia energética en la Sala de clases. (Fuente: Elaboración propia).

2 HIPÓTESIS

Es posible generar una línea base de referencia de soluciones constructivas sustentables para envolventes de establecimientos educacionales con estándares adecuados y que supongan una reducción de la HC de al menos el 50%, teniendo en cuenta las fases de manufactura y construcción, con un incremento del costo menor al 10% respecto a las soluciones existentes en los casos de estudio investigados.

² El año 2019, se indica a las Secretarías Regionales Ministeriales desde el Nivel Central del Ministerio de Educación que las soluciones constructivas a mejorar deben priorizar las salas de clases

La disponibilidad de esta línea base de soluciones constructivas sustentables permitiría fomentar la formulación de políticas públicas para el diseño de envolventes con criterio medioambiental en establecimientos educacionales, facilitando la participación de actores públicos y privados en la escena local.

3 OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

3.1 Objetivo general

Generar una línea base de soluciones constructivas sustentables para envolventes de establecimientos educacionales con estándares adecuados y que supongan una reducción de la huella de carbono con un incremento limitado del costo respecto a las soluciones existentes, con el fin de ser una referencia para políticas públicas sobre exigencias de diseño sustentable en envolventes de establecimientos educacionales.

3.2 Objetivos específicos

Para lograr el objetivo general establecido en el punto anterior, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Objetivo Específico 1(OE1): Determinar las tipologías de muros más utilizadas en los establecimientos educacionales de la comuna de Coquimbo, reconociendo escuelas representativas de esas tipologías; analizar las soluciones constructivas de muros existentes en los casos de estudio elegidos verificando la transmitancia térmica y HC respecto de la normativas nacionales e internacionales de referencia.

Objetivo Específico 2(OE2): Generar propuestas sustentables para cada caso de estudio con baja emisión de carbono y disminución de la transmitancia térmica, presentando un conjunto de soluciones constructivas para una rehabilitación energética en muros de establecimientos educacionales.

Objetivo Específico 3(OE3): Analizar el conjunto de soluciones constructivas existentes y propuestas desde una mirada ambiental y económica mediante ACV aplicado a las fases de manufactura y construcción.

Objetivo Específico 4(OE4): Presentar una propuesta de línea base de soluciones sustentables de muros en establecimientos educacionales en la comuna de estudio, incluyendo las mejores rehabilitaciones (5%), para así generar un referencias de líneas base para el diseño de soluciones constructivas sustentables en envolventes de Aulas.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Épocas constructivas de Establecimientos Educacionales.

Haciendo un análisis del Siglo XX respecto a la infraestructura educacional en Chile y desde los aspectos constructivos se observa un proceso evolutivo que se inicia con sistemas tradicionales a base de muros, que por la condición sísmica del país, tempranamente buscan la integración de estructuras rígidas con elementos de refuerzo que les permitan resistir empujes horizontales y de mayor flexibilidad en construcciones de mayor altura. Así, se va paulatinamente avanzando en edificaciones con mayores coeficientes de seguridad según se modifican las normativas, se especializa la mano de obra, se sistematizan e industrializan los procesos constructivos con nuevos materiales y productos, tales como el acero, el hormigón, el vidrio, las planchas de cubiertas, las maderas aserradas, etc. Como resultado de esta racionalización productiva los proyectos escolares se resolvieron con estructuras modulares y estandarizadas (Gilles and Ansaldo 2015).

Al analizar temporalmente el conjunto de obras educacionales, se puede plantear tres períodos que comparativamente son diferenciables por su estética, materialidad y sistemas constructivos. Iniciándose el siglo con una arquitectura ecléctica o tradicional desde la cual se llega a la modernidad con vaivenes propios de una etapa de transición. . Durante esta etapa intermedia las obras de arquitectura pública se convierten en el campo de experimentación de los arquitectos, quedando definida además, por una política de planificación estatal que busca la modernización de sus instituciones. Estos tres periodos están marcados por cambios sociales y políticos que, además, son compartidos con otros

países latinoamericanos, que de modo similar, intentaron llevar adelante una política de masificación de la educación (Cuadra 2010).

Primer período: Ecléctico y Tradicional, 1900- 1937

Arquitectónicamente, los establecimientos escolares públicos de este período son expresión de una arquitectura tradicional ecléctica, construyéndose edificios monumentales de dos o tres niveles, con volúmenes simétricos emplazados en el perímetro de la manzana y con un ordenamiento espacial característico de tipo «claustro», hermético hacia el exterior y con patios hacia el interior. Las aulas orientadas a la fachada y corredores abiertos como espacio intermedio.

En términos constructivo-estructurales estas obras están constituidas por muros que delimitan las aulas y pórticos en los corredores, todos los elementos estructurales se construyen estratificados por niveles. Usualmente el nivel basal está constituido por zócalos o semi-subterráneos, estructurados con gruesos muros de mampostería de piedras y morteros de cal y/o cemento que soportan las cargas estáticas del edificio superior, además de ser muros de contención. El nivel de acceso, generalmente es construido con muros de albañilería de ladrillo simple, los cuales cuentan, en algunos casos, con refuerzos metálicos en los dinteles de puertas y ventanas. Generalmente estos muros presentan estucos de cal, arcilla o cemento. Los niveles superiores, usualmente presentan paramentos contruidos con sistemas mixtos, estructurándose con entramados de madera o tabiques estructurales, compuestos por soleras, pies derechos y diagonales (para resistir empujes sísmicos) de madera en cuarterones de roble. Los espacios entre elementos de madera se rellenan con adobes en pandereta, o adobillos de sogá, o bien sistemas de quinchá o ensardinado (palillaje de madera distanciados 2 ó 3 cm para incorporar morteros de barro y paja). En los edificios más antiguos encontramos estucos de barro arena y sobre ellos un encalado y pintura, a veces con mallas metálicas (tipo gallinero) para contener los morteros y lograr una mejor resistencia a tracción de los revoques evitando las fisuras frente a las sollicitaciones sísmicas. Otra variación constructivo-estructural de los edificios escolares es la constitución de un perímetro con muros de albañilería de ladrillo y la realización de divisiones interiores con tabiques o entramados de madera estructurales. La armadura de cubierta siempre se realizaba con cerchas de madera apoyadas en los muros de fachadas, corredores y sus pórticos.

En este primer período los establecimientos escolares se construían de modo disperso y no bajo una planificación general a nivel nacional.

Segundo período: Transición formal a la modernidad. 1937-1965

Se crea a través de la Ley N° 5.989 del 14 de enero de 1937 una Sociedad Anónima bajo un modelo de capital mixto público-privado denominada, Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos (en adelante SCEE).

En términos constructivo los proyectos de esta época se enmarcan en un período de obras condicionadas a la primera normativa general de construcción chilena, en la cual, entre otras cosas, se regula la construcción en concreto armado, así como también se obliga a la introducción de refuerzos en las albañilerías de ladrillo (generalmente estos refuerzos eran de hormigón armado), asegurando de este modo una mayor resistencia sísmica de las edificaciones, especialmente las institucionales, fiscales o de uso público masivo. La mayoría de los proyectos realizados en la primera etapa de este período, se diseñaban con muros macizos de entre 30 y 40 cm. de ancho constante en cada nivel (con tres niveles los de mayor altura), contruidos principalmente con albañilería de ladrillo reforzada con pilares, cadenas y vigas de hormigón armado o bien de albañilerías de bloque de cemento. El hormigón armado se comienza a utilizar en algunos edificios de la primera etapa, sólo en elementos estructurales tales como pilares, machones, cadenas y vigas, ya sea como elementos aislados o bien de refuerzo en dinteles. No es hasta finales de la década del 50 que se diseñan edificios íntegramente en hormigón armado. No obstante, en esta década de manera simultánea se diseñan edificaciones con estructuras mixtas, en las cuales un mismo bloque es construido con muros de albañilería de ladrillo reforzado o muros de hormigón armado.

Tercer Período: Masificación y estandarización. 1965-1987

Los proyectos escolares de esta época destacan por ser obras de carácter atemporal, en muchos de ellos se busca mostrar la estructura resistente, sin ocultarla bajo elementos decorativos.

Constructivamente, en el año 1965 se impulsó el empleo exclusivo de procedimientos de pre-fabricación, recurriéndose principalmente a la utilización de Sistemas de Estructuras Metálicas (MC). Esta tipología estaba constituida por sistema de marcos rígidos a dos aguas distanciados cada 3 m, en un nivel y de agrupamiento unidireccional, los cuales se construían en módulos de 3*6 metros a base de prefabricados de planchas dobladas de acero, con uniones articuladas sobre las fundaciones de hormigón armado. La techumbre se constituye con paneles prefabricados de madera y cubierta de asbesto cemento o acero galvanizado. Normalmente este modelo consideraba como cerramientos y divisiones, albañilerías de ladrillos o bien tabiques de madera, piedra u otros materiales regionales. Importante destacar que desde 1968 la SCEE crea una unidad de investigación y experimentación, con tres objetivos básicos: «la reducción de costos, la rapidez de ejecución y la utilización intensiva de la prefabricación. Como producto de esta unidad surgen los proyectos diseñados bajo sistemas mixtos, por ejemplo de hormigón tradicional y prefabricado para zonas urbanas, incorporando el criterio de crecimiento multidireccional. Una modalidad frecuente de estructuras mixtas fueron las edificaciones de hormigón armado en primer piso y sobre ellas los sistemas prefabricados de estructuras metálicas antes descritas. Dada la mirada efectista de la política de construcción educacional en Chile el último centenio, y evaluando la actual preocupación por el medioambiente como variable incidente en la construcción, podemos indicar que las construcciones existentes de los últimos 100 años en el ámbito educacional carecen de intervenciones medioambientales y energéticas.

4.2 Obras nuevas versus Mejoramientos constructivos.

De acuerdo a los resultados de inversión de los últimos años en mejoramientos constructivos para infraestructura educacional pública, según gráfico 1, del orden de los MM\$54.000, versus la inversión en establecimientos educacionales nuevos en la Región de Coquimbo, podemos indicar que la intervención de MM\$11.000 correspondiente a solo 1 establecimiento en la Región de Coquimbo es comparativamente menor respecto de la inversión en establecimientos existentes. La incidencia de los mejoramientos constructivos en la población es mucho mayor que la incidencia comparada con la construcción de un nuevo colegio. En cifras podemos indicar que un 79% de la inversión recae en el 99% de las comunidades educativas, las cuales son apoyadas por mejoramientos constructivos, mientras que el 21% restante de la inversión regional corresponde a una sola comunidad educativa con un nuevo colegio.

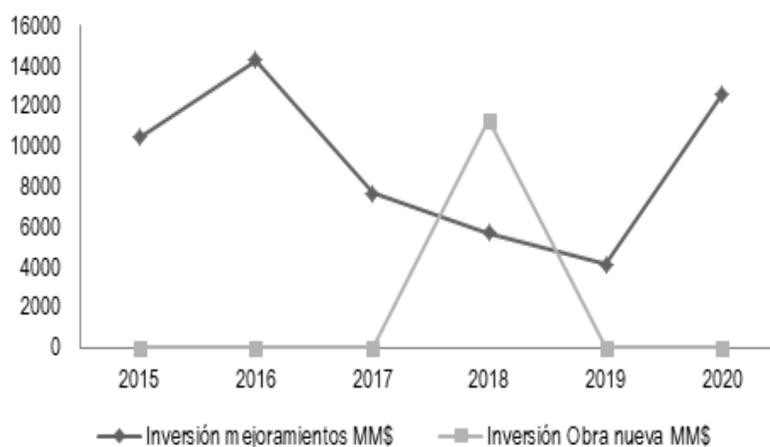


Gráfico 1: Inversión en infraestructura educacional, Región de Coquimbo (Fuente: elaboración propia, según plataforma de presentación de proyectos del Ministerio de Educación, www.inframineduonlinea.cl).

¿Por qué esperar abordar la sustentabilidad y eficiencia energética solamente en un colegio nuevo?

Para alcanzar estándares constructivos adecuados en los establecimientos educacionales existentes se requiere una intervención no solo eficaz, sino eficiente, buscando las estrategias de diseño que incluyan áreas de la Sustentabilidad como el confort térmico y la huella de carbono. La escuela nueva, a pesar de la Certificación de Edificio Sustentable (CES) exigida, que incorpora parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, determina una intervención muy pequeña desde el ámbito constructivo a escala regional, en comparación a los mejoramientos en el mismo período. Estas nuevas construcciones deben, por exigencia de los Términos de Referencia Estandarizados de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas (Anon n.d.) generar estrategias de disminución de la huella de carbono. Su Certificación de Edificio Sustentable es indispensable para ser construido. Mientras que todo el campo educacional existente, que en la región de Coquimbo asciende a 402 colegios públicos, están a la deriva de las estrategias de sustentabilidad, dado que las intervenciones en los mejoramientos constructivos se realizan sin incorporar estrategias medioambientales.

4.3 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El análisis del ciclo de vida nos permite cuantificar de forma objetiva y científica el impacto sobre el medio ambiente en el desarrollo de la construcción y la arquitectura, verificando las estrategias utilizadas, los materiales o incluso edificios completos desarrollados. Esta herramienta nos proporciona indicadores sobre la utilización de materiales renovables, energéticos, en mayor o menor medida, y como ellos generan diferentes impactos ambientales que se producirían durante toda la vida del producto. Podemos decir que el ACV permite realizar un análisis de la situación de una manera holística.

Durante las últimas décadas la política respecto de la reducción de los impactos ambientales en la construcción ha estado enfocada, desde el ACV, en la etapa de uso del edificio, analizando la climatización, iluminación y calefacción. Otras etapas importantes como la extracción de materiales, el transporte de estos y la construcción del edificio han sido minimizadas, siendo también importantes e incluso más influyentes que la etapa de uso, esto dada la importancia de la envolvente diseñada y construida para la vida del edificio. La aplicación del ACV en la edificación conduce a interesantes recomendaciones de buenas prácticas relativas a la mejora de desempeño ambiental con mínima energía de consumo. En definitiva, puede ayudar a la comunidad constructora en la selección de revestimientos rentables y ambientalmente adecuados en edificios (Radhi 2010). El estudio de ACV aquí propuesto nos entrega ventajas significativas desde el punto de vista medioambiental, dado que se entrelazan tres aspectos fundamentales: la incorporación de la empresa en ámbitos de sostenibilidad, el estímulo de la municipalidad para alcanzar mejores aprendizajes, y la eficiencia de las políticas de gobierno. Esto podría significar un primer paso para emprender acciones socialmente responsables en el ámbito constructivo y educativo.

4.3.1 Metodología del ACV

Para un proyecto de construcción, el ACV puede ser desarrollado tomando diferentes límites longitudinales para el sistema:

- Desde la cuna a la tumba (cradle to grave): en esta modalidad los límites del sistema son los más amplios posibles. Se realiza el estudio desde que la materia prima entra en el proceso hasta que se recicla o desecha después de su vida útil.
- Desde la cuna a la puerta (cradle to gate): los límites del sistema se fijan en la fábrica. Se realiza el estudio desde que la materia prima entra en el proceso, hasta que sale de la fábrica. No se estudia el uso, ni el desecho, ni el reciclaje.

- Desde la puerta a la cuna (gate to grave): los límites del sistema son desde la salida de la fábrica hasta su posterior desecho o reciclaje.
- Desde la puerta a la puerta (gate to gate): el límite del sistema se utiliza para acotar un solo paso o proceso dentro de la fábrica. Se utiliza esta modalidad para estudiar y mejorar procesos de producción.

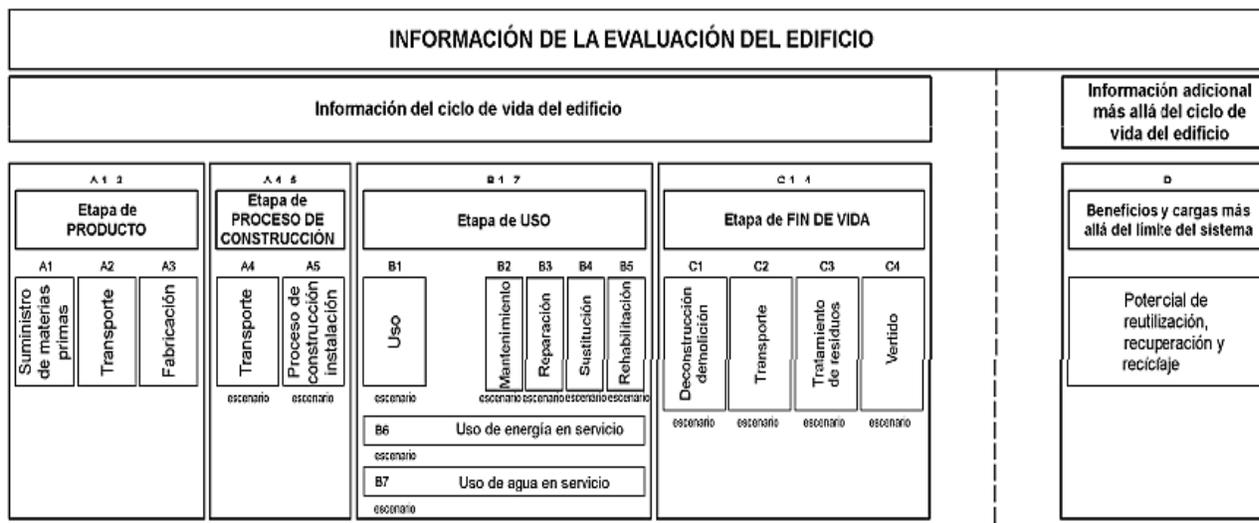


Figura 4: Esquema módulos de información para las diferentes etapas de evaluación del edificio (Fuente: Norma UNE-EN 15978/2012).

4.3.2 Normativa española de ACV

En casos como el de España y la Unión Europea podemos observar que el ACV de edificaciones tiene su espacio en la norma UNE-EN 15978/2012, la cual especifica el método de cálculo, lo que permite comprobar el comportamiento ambiental de un edificio nuevo, existente o rehabilitaciones. Destaca también el proyecto EnerBuiLCA en el cual participan 7 regiones de España, que se enmarca en un programa de cooperación territorial. El objetivo del proyecto es fomentar la sostenibilidad en la construcción y rehabilitación de edificios, ya sean de viviendas o de uso terciario o industrial. Para ello, se plantea el desarrollo de una herramienta destinada a realizar el ACV de edificios existentes o de nueva construcción, permitiendo identificar las mejores soluciones en términos de eficiencia energética y respeto por el medioambiente, reduciendo así los impactos energéticos directos e indirectos de los edificios (EnerBuiLCA 2012). La aplicación de proyectos como EnerBuiLCA, permite la implementación de las estrategias adecuadas, promoviendo así el desarrollo del nuevo "estándar" de edificios con cero emisiones durante el ciclo de vida. Uno de los principales resultados del proyecto, además de la herramienta EnerBuiLCA para la evaluación del ciclo de vida de los edificios, incluyeron la creación de una Red temática sobre ACV y eficiencia energética en los edificios, una base de datos de sistemas de construcción representativos para el área y 20 estudios piloto.

Podemos observar elementos interesantes de abordar en Sudamérica, cómo el acercamiento a normativas generales que involucran a regiones completas, nos permite establecer exigencias y mediciones comunes que facilitan el crecimiento de políticas globales de sustentabilidad.

4.4 Huella de Carbono (HC)

Todos los productos que se consumen y los servicios que se prestan tienen un impacto sobre el clima y producen gases de efecto invernadero durante su producción, transporte, almacenamiento, uso y disposición final. La HC ha surgido como

una medida de la cuantificación del efecto de estos GEI. En el caso de la HC se debe incluir todas las emisiones de gases de efecto invernadero que se pueden asociar directa e indirectamente con una actividad, proceso o elaboración de productos y servicios. La HC se perfila como un indicador capaz de sintetizar los impactos provocados por las actividades del hombre en el entorno, medido en términos de emisiones de GEI y se presenta como una poderosa herramienta de gestión y un estímulo para adoptar una estrategia proactiva en el logro de la sustentabilidad de las organizaciones (Valderrama, Espíndola, and Quezada 2011). Por lo tanto la huella de carbono es un indicador de impacto ambiental que permite centrarse en las emisiones de gases efecto invernadero, lo que la convierte en una herramienta esencial en el diseño de edificaciones sustentables. Además, se encuentra respaldada por valoraciones económicas en la industria y tratados internacionales, lo cual resulta indispensable para apoyar las decisiones ambientales en el área de la construcción.

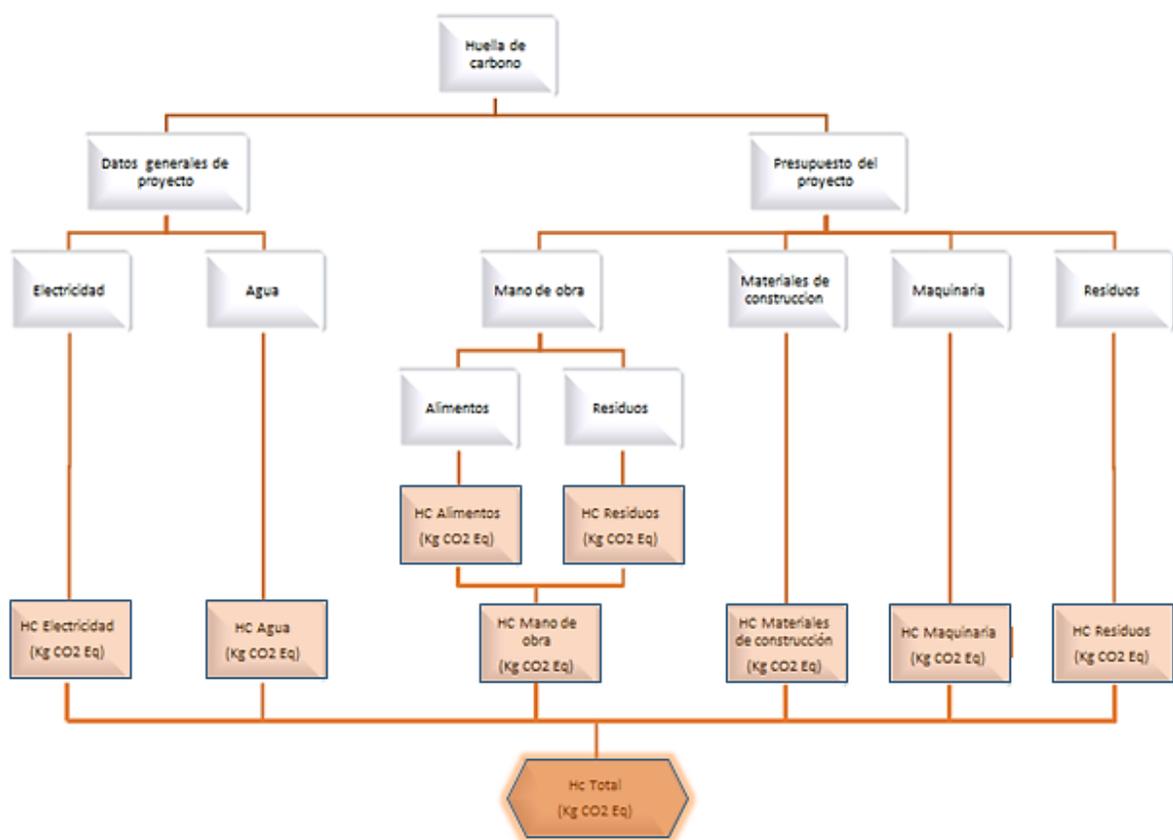


Figura 5: Esquema gráfico de la evaluación de Huella de Carbono en una obra de construcción (Fuente: MHSEE 2018).

4.4.1 Homologación de Normativas internacionales para la gestión ambiental

Respecto de las normativas en torno a la huella de carbono, se puede indicar que en Chile dentro del asesoramiento a instituciones públicas, se destaca el trabajo en conjunto entre la Oficina de Cambio Climático y el Instituto Nacional de Normalización (INN) que por medio del proyecto “Actualización y desarrollo de nuevas herramientas normativas de apoyo a la gestión ambiental” está trabajando en la homologación de las siguientes normas internacionales a normas chilenas (Avance et al. 2013):

- ISO 14064/1 (especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de GEI)
- ISO 14064/2 (especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación seguimiento e informe de las reducciones de emisiones o aumento de las remociones de GEI)
- ISO 14064/3 (especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre GEI)
- ISO 14065 (requerimientos para los organismos de validación y verificación de GEI, para su uso en acreditación u otras formas de reconocimiento).

Estas iniciativas internacionales esperan limitar las concentraciones de GEI en la atmósfera terrestre, en base a la cuantificación, seguimiento, informe y verificación de emisiones y/o remociones.

4.4.2 Ministerio del Medio Ambiente, Programa Huella Chile

Desde las acciones de Chile, para la implementación de políticas asociadas al acuerdo de París, el programa Huella Chile surge desde el Ministerio del Medio Ambiente con el objetivo de fomentar la cuantificación, reporte y gestión de emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel organizacional en el ámbito público y privado. Este programa ha sido desarrollado en conformidad con las siguientes normas: NCh-ISO 14064:2013 (parte 1, 2 y 3); NCh-ISO 14065:2014; NCh-ISO 14066:2012; NCh-ISO 14069:2014 y NCh 3300:2014.

La etapa de diseño y planificación, implementada durante los años 2013 y 2014, involucró el desarrollo de la página web, herramienta de cálculo de emisiones de GEI inserta en el sistema ventanilla única del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), formatos de reporte, y el sistema de reconocimiento de acuerdo al nivel de gestión alcanzado. El desarrollo de la herramienta de cálculo incluyó un programa piloto con la participación voluntaria de 40 organizaciones. La segunda etapa desarrollada a partir de 2015 se destacan 2 elementos principales: herramienta de cálculo de emisiones de GEI a nivel organizacional y apoyo técnico a través de la oficina del cambio climático del Ministerio del Medio Ambiente. Hasta mayo de 2018 se registra una participación de 434 organizaciones de los distintos sectores de la economía. El Programa Huella Chile ha entregado 118 reconocimientos: por cuantificación (109), reducción (7), neutralización (1) y por la excelencia en la gestión de GEI (1), de los cuales 49 fueron entregadas durante el 2016 y 69 el 2017 (MMA 2018). Dentro de los enfoques para cuantificar la huella de carbono: corporativo, personal, territorial, de eventos, para la industria y de un producto o servicio; el Ministerio del Medio Ambiente en base a la experiencia internacional aplica el enfoque de Ciclo de Vida para evaluar la huella de carbono de productos (bienes y/o servicios), a lo largo de toda la cadena de valor y en algunos casos, el uso o consumo de estos y el término de su vida útil. Es la metodología de mayor reconocimiento internacional para llevar a cabo una evaluación de la huella de carbono de producto (BSI 2011).

El impacto positivo en Europa y Japón derivó en una tendencia hacia la preocupación por el etiquetado de productos y rápidamente se ha ido extendiendo a otros países, principalmente países exportadores (MMA, 2020). Las normativas adoptadas por Chile a través del INN y el programa Huella Chile con el acercamiento de las instituciones públicas y privadas hacia la disminución y medición de la huella de carbono, los impuestos verdes, y otras políticas actuales, demuestran acciones concretas del país en aras de ampliar la reducción de contaminantes ambientales. Por lo tanto observamos una disposición objetiva para ampliar el abanico de posibilidades hacia una construcción sustentable medible, cuantificable y acorde a lineamientos internacionales.

4.4.3 Impuesto verde a las emisiones de CO₂

En el caso del CO₂, en Chile se fija un impuesto de USD 5 por cada tonelada emitida. El valor se determinó sobre la base del costo social del CO₂ estimado por el Ministerio de Desarrollo Social. Este es un monto menor en comparación con valores de otros países y jurisdicciones (Ramstein et al. 2019). No obstante, en esta primera etapa, se consideró que un impuesto bajo posibilita la implementación al: (i) facilitar la adaptación de sectores regulados; (ii) aumentar su aceptabilidad

social; y, (iii) permitir la instalación de la infraestructura institucional que lo sustenta. Es decir, el impuesto al carbono, tal como se ha constituido en Chile, ha sido pensado como un punto de partida para la internalización del daño generado por las emisiones de GEI y permite propiciar la discusión de instrumentos de precio a los contaminantes, en general, y al carbono en particular. La metodología de valorización del costo social del carbono fue recientemente modificada para pasar desde la utilización del precio de mercado del carbono como una aproximación de costo social, hacia un mecanismo de precio sombra basado en el “análisis de los costos marginales de abatimiento de dióxido de carbono que permiten cumplir con las metas de mitigación de Chile bajo el Acuerdo de París”. La nueva metodología ha llevado el costo del CO₂ a CLP 21.687 (Ministerio de Desarrollo Social 2017). Este valor, equivalente a USD 328, se aproxima al costo marginal del daño del contaminante (Stern n.d.), además es consistente con las metas establecidas en el Acuerdo de París que consideran como costos del CO₂ valores que van entre USD 40 – 80 para 2020 y USD 50 – 100 para 2030. Asimismo, recientemente la ex-presidenta Bachelet anunció, en su discurso de Cuenta de la Nación 2017, un precio de USD40 por tonelada de CO₂ como costo social para la evaluación de todas las inversiones del sector público (Anon n.d.). Actualmente la implementación de impuestos a las emisiones de CO₂ comprendidos dentro de los *impuestos verdes* no está relacionada con los productos o servicios de la construcción, solamente con empresas contaminantes de fuentes fijas y fuentes móviles.

4.5 Transmitancia térmica (U)

Está determinada por el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas ente los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $W / (m^2 \times K)$. Y se puede determinar a experimentalmente a través de la NCh851 o con cálculo por la NCh853. Respecto de las soluciones constructivas más comunes podemos identificar elementos homogéneos o heterogéneos y las variables incidentes en los valores resultantes son principalmente la resistencia térmica de superficie al interior (R_{si}), resistencia térmica de superficie al exterior (R_{se}), espesor del material (e) y la conductividad térmica del material (λ). Limitar la demanda energética y satisfacer el confort térmico de los recintos habitables es un logro evidente de una adecuada transmitancia térmica.

4.5.1 Norma Chilena 853 (NCh853)

Esta norma se genera a partir del estudio “Propuesta de actualización de la Reglamentación Térmica, artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones”, solicitado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Su alcance se refiere a las características, condiciones de diseño y ejecución que deben tener los elementos que conforman las edificaciones, independiente de su uso, para cumplir con el objetivo de otorgar confort higrotérmico a los usuarios de éstas. Para el cálculo de transmitancia térmica de edificios se utilizarían las fórmulas indicadas en esta norma, las cuales posibilitan el conocimiento de los valores de resistencia térmica (R_t) y transmitancia térmica (U). Lamentablemente, hoy día no existen en Chile exigencias que regulen las propiedades térmicas de las envolventes en edificios no residenciales, ya que la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C.) en su Título 4.1.10 regula sólo al sector residencial (Gobierno de Chile 2008).

4.5.2 Norma Chilena 1079 of. 2008 (NCh1079/2008)

Esta norma establece la zonificación climático habitacional para Chile, con el objeto de facilitar un adecuado diseño arquitectónico. Aplicándose para la elaboración de proyectos de edificios en cada zona especificada; el caso de estudio corresponde a la zona denominada Norte Litoral (NL), zona desértica con clima predominante marítimo, poca oscilación diaria de temperatura, atmósfera y suelo salino, vegetación nula, escasa nubosidad y humedad que disipa al medio día, soleamiento fuerte en las tardes, precipitaciones nulas en el Norte, débiles en el Sur y vientos predominantes S y SW, con alguna interferencia de brisa del mar y tierra.

Para la zona indicada, la NCh1079/2008 sugiere en elementos opacos verticales de envolvente un valor de $2 W/m^2K$, lo que se mantiene para edificios públicos según TDRé MOP-DA.

| Zona | | Elementos opacos verticales (muros) | Techumbre opaca | Piso ventilado | Elementos vidriados verticales |
|------|-----|-------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| 1 | NL | 2,00 | 0,80 | 3,0 | 5,8 |
| 2 | ND | 0,50 | 0,40 | 0,7 | 3,0 |
| 3 | NVT | 0,80 | 0,60 | 1,2 | 3,0 |
| 4 | CL | 0,80 | 0,60 | 1,2 | 3,0 |
| 5 | CI | 0,60 | 0,50 | 0,8 | 3,0 |
| 6 | SL | 0,60 | 0,40 | 0,8 | 3,0 |
| 7 | SI | 0,50 | 0,30 | 0,7 | 3,0 |
| 8 | SE | 0,40 | 0,25 | 0,5 | 2,4 |
| 9 | An | 0,30 | 0,25 | 0,4 | 2,4 |

Tabla 3: Valores mínimos recomendados de transmitancia térmica para la envolvente habitacional (Fuente: NCh1079/2008, W/m²K).

Según la normativa, en Anexo E, se sugiere que en el caso de instalación de aislantes térmicos, se eviten los puentes térmicos; la instalación de estos aislantes debe ser continua, en encuentros de elementos de la envolvente. Otra recomendación importante de la normativa es que los materiales que conforman los sistemas constructivos, permanezcan secos. La presencia de humedad en ellos aumenta la transmitancia térmica de la solución constructiva. Dentro de las indicaciones de esta Norma, se declara como válido para edificios públicos, educacionales y otros, los TDRé MOP DA, este documento serviría de orientación para el diseño de soluciones constructivas que logren responder a las necesidades de Confort térmico solicitado.

4.5.3 Términos de referencia Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Arquitectura (TDRé MOP DA)

Los términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental se desarrollan para licitaciones de diseño y obra de la Dirección de Arquitectura, por lo tanto para el Ministerio de Educación solamente es un apoyo técnico. Este documento establece para proyectos mayores a 1000m² y donde se renueve más del 50% del total de sus cerramientos, la utilización de los métodos de cálculo de la NCh853 of. 2007. En lo que respecta a la comuna de Coquimbo, ubicada en la zona climática 1NL, los TDRé MOP DA sugieren valores de transmitancia térmica para muros del orden de los 2 W/m²K.

| | CHILE | PERÚ | EE. UU. | INGLATERRA | | TDRé CHILE |
|--|--|------------------------------|-------------------------------|--|--|---|
| | DS 580 mod. 2010 | Ministerio de educación 2006 | ASHRAE 55 -2010 | Building Regulation Part L2 | Building Bulletin 87 | TDRé DA-MOP 2012 |
| Temperatura operativa recomendable | Aulas mín 12°C Parvularia mín. 15°C (en zonas SL, SI, SE y Andina) | 18º-25 º (HR = 50%) | Según PMV y modelo adaptativo | N/A | Invierno Aulas 18°C con calef. Verano aulas 24°C ±4°C y no superar 28°C por más de 80hr | Invierno aulas 20°C con calef. Aulas pasivas: modelo adaptativo según zona climática |
| Transmitancia térmica de la envolvente | N/A | N/A | N/A | BR Part L2 U muros= 0,25 U techos = 0,35 | N/A | Define valores U límites para envolvente según zona climática |

Tabla 4: Síntesis de parámetros de confort térmico y propiedades térmicas de la envolvente (Fuente: TDRé MOP DA).

| TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (U) - ENVOLVENTE | |
|--|---------|
| Parámetros Característicos Medios | Valor U |
| Transmitancia límite de cubierta | 0,80 |
| Transmitancia límite de muro de fachada | 2,00 |
| Transmitancia límite de pisos en contacto con el terreno | 2,00 |
| Transmitancia límite de pisos ventilados | 3,00 |
| Transmitancia límite de cerramiento en contacto con el terreno | 2,00 |
| Transmitancia límite de puente térmico | 3,30 |
| Transmitancia ponderada límite paramentos verticales | 5,00 |

Tabla 5: Valores límite de Transmitancia térmica para zona climática Norte Litoral, 1NL (Fuente: TDRé MOP DA).

4.5.4 Norma Técnica MINVU (NTM 011)

El acercamiento a la Norma técnica MINVU 011, propuesta de actualización de la Reglamentación térmica actual, Art. 4.1.10 OGUC, la cual incluiría a edificios públicos, dentro de ellos establecimientos educacionales, estaría logrando objetivos importantes, dado que es una Normativa que alcanzará según investigaciones (Bustamante, 2016), los estándares adecuados desde el punto de vista acústico, higrotérmico y calidad del aire interior, para cada zona del país. (Normativa aún en consulta, sin ser obligatoria). Según esta nueva normativa térmica, la Zona 1, pasaría a ser Zona C, la cual correspondería al borde litoral desde La Higuera hasta la comuna de Paredones por el sur, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Por lo tanto, la comuna de Coquimbo, donde se sitúa el proyecto de investigación, pasaría a estar ubicado en la Zona C. Esta Normativa se encuentra actualmente en uso para todas las soluciones de mejoramiento constructivo en los establecimientos educacionales públicos de Chile.

| ZONA TÉRMICA | COMPLEJO DE TECHUMBRE | | COMPLEJO DE MURO | | COMPLEJO DE PISO | | COMPLEJO DE PUERTA | |
|-----------------|--------------------------|---------|---------------------|---------|------------------|---------|-----------------------|---------|
| | U | Rt | U | Rt | U | Rt | U | Rt |
| | W/(m²K) | (m²K)/W | W/(m²K) | (m²K)/W | W/(m²K) | (m²K)/W | W/(m²K) | (m²K)/W |
| A | 0,84 | 1,19 | 2,10 | 0,48 | 3,60 | 0,28 | --- | --- |
| B | 0,47 | 2,13 | 0,50 | 2,00 | 0,70 | 1,43 | 1,00 | 1,00 |
| C | 0,47 | 2,13 | 0,80 | 1,25 | 0,87 | 1,15 | 1,20 | 0,83 |
| D | 0,38 | 2,63 | 0,60 | 1,67 | 0,70 | 1,43 | 1,20 | 0,83 |
| E | 0,33 | 3,03 | 0,50 | 2,00 | 0,60 | 1,67 | 1,00 | 1,00 |
| F | 0,28 | 3,57 | 0,45 | 2,22 | 0,50 | 2,00 | 1,00 | 1,00 |
| G | 0,25 | 4,00 | 0,30 | 3,33 | 0,32 | 3,13 | 1,00 | 1,00 |
| H | 0,28 | 3,57 | 0,40 | 2,50 | 0,39 | 2,56 | 0,80 | 1,25 |
| I | 0,25 | 4,00 | 0,35 | 2,86 | 0,32 | 3,13 | 0,80 | 1,25 |

Tabla 6: Exigencias térmicas referidas a la solución constructiva (Fuente: según NTM 011).

| ZONA TÉRMICA | COMPLEJO DE TECHUMBRE | COMPLEJO DE MUROS | COMPLEJO DE PISO | COMPLEJO DE PUERTA |
|-----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | R100 | R100 | R100 | R100 |
| | $[(m^2K)/W] \times 100$ | $[(m^2K)/W] \times 100$ | $[(m^2K)/W] \times 100$ | $[(m^2K)/W] \times 100$ |
| A | 119 | 48 | 28 | --- |
| B | 213 | 200 | 143 | 100 |
| C | 213 | 125 | 115 | 83 |
| D | 263 | 167 | 143 | 83 |
| E | 303 | 200 | 167 | 100 |
| F | 357 | 222 | 200 | 100 |
| G | 400 | 333 | 313 | 100 |
| H | 357 | 250 | 256 | 125 |
| I | 400 | 286 | 313 | 125 |

Tabla 7: Exigencias referidas al material aislante incorporado a la solución constructiva (Fuente: según NTM 011).

4.5.5 Actualización de la Norma Térmica MINVU, según Art.4.1.1.10 O.G.U.C.

El año 2020, desde el Departamento de Infraestructura educacional del Ministerio de educación (DIE MINEDUC), se entregan a nivel nacional parámetros de eficiencia energética para nuevos establecimientos y estrategias de mejoramiento para proyectos de conservación de infraestructura escolar pública, los documentos entregados: Guía para intervenciones de Conservación, Guía Criterios de Diseño para Proyectos de Ampliación, Reposición y Construcción Nueva, constituyen un importante avance para el confort térmico de los espacios educativos.

La aislación térmica de la envolvente se logra a través de la incorporación de un material aislante y de la especificación de ventanas, que cumplan con determinados estándares según la zona climática. Las soluciones que se propongan deberán considerar, para cada elemento arquitectónico que conforme la envolvente térmica del edificio, los valores de transmitancia térmica (Valor U) definidos en el Artículo 4.1.10, actualizado, de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), según la zona climática en donde se encuentre situado el local escolar (Ministerio de Educación Gobierno de Chile n.d.). En general, se recomienda considerar aislación térmica por el exterior de los muros de albañilería u hormigón armado, ya que esta solución evita riesgos de condensación y las patologías constructivas asociadas. Además permite aprovechar la inercia térmica del ladrillo y del hormigón. Un edificio con una buena envolvente, que evite pérdidas de calor por conducción y por infiltraciones, tendrá un mejor confort térmico para sus ocupantes, menor riesgo de ocurrencia de condensación, y mayor durabilidad de la edificación (Universidad Nacional del Litoral 2019). Estos documentos cumplen la intención de trabajar desde los más exigentes estándares educativos, desde el ámbito constructivo. Dado ello, las exigencias del Ministerio son las referidas a la NTM 011, propuesta de actualización de la Norma 4.1.10. O.G.U.C.

| ZONA TÉRMICA | Complejo de Techumbre | | Complejo de Muro | | Complejo de Piso Ventilado | | Puertas Opacas | |
|-----------------|--------------------------|-------|---------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------|-------|
| | U | Rt | U | Rt | U | Rt | U | Rt |
| | W/m²K | m²K/W | W/m²K | m²K/W | W/m²K | m²K/W | W/m²K | m²K/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 | 0,70 | 1,43 | 1,70 | 0,59 |
| E | 0,33 | 3,03 | 0,60 | 1,66 | 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 8: Transmitancia térmica U máxima y resistencia térmica Rt mínima para complejo de techumbre, muro, piso ventilado y puertas opacas en edificaciones de uso residencial, educación y salud (Fuente: Guía para intervenciones de Conservación, Guía Criterios de Diseño para Proyectos de Ampliación, Reposición y Construcción Nueva MINEDUC. Propuesta de actualización Art. 4.1.10 de Reglamentación Térmica).

5 ESTADO DEL ARTE

5.1 Sustentabilidad y Eficiencia Energética en la Infraestructura Escolar

Con la creciente amenaza de un cambio climático grave, y la búsqueda de estrategias de control medioambiental, en Septiembre del año 2002, la OCDE desarrolló el Seminario Internacional sobre Infraestructura Educativa, titulado "Diseñando la Escuela del Mañana" y fue organizado y celebrado por el Programa para la Construcción de Escuelas (PEB), el Ministerio Irlandés de Educación y Ciencia y la Universidad Nacional de Irlanda (NUI) en Galway, Irlanda; donde se discutieron propósitos en el campo de la educación que deben responder a los retos del desarrollo sostenible. La necesidad de identificar y analizar las tendencias en el diseño de las escuelas, con la intención de producir recomendaciones normativas con respecto a la forma, tamaño y configuración general de la escuela del futuro, es por lo tanto, una preocupación para todos los países de la OCDE (Bonnafous 2003).

En el Reino Unido el año 2003 el gobierno propone que todas las nuevas escuelas deben ser 'cero carbono' al año 2016 a través del programa Buildings Schools for the Future (BSF). Las autoridades locales ven a las escuelas como centros comunitarios de actividad y aprendizaje, por lo que hay un énfasis en hacer que las escuelas sean edificios ejemplares dentro de la comunidad y demostrar las mejores prácticas con respecto al diseño bajo en carbono y cero emisiones. (Burman, Kimpian, and Mumovic 2018). Se construyen más de 170 escuelas, se establecen exigencias respecto de áreas sensibles como la eficiencia energética, dado que la emisión de gases de efecto invernadero están directamente relacionadas con el gasto energético que se genera en edificios no domésticos (DBEIS, 2016). Tras las evaluaciones de desempeño de edificios (BPE) de cinco escuelas secundarias y academias construidas bajo el programa BSF en Inglaterra encontraron que las emisiones de CO₂ asociadas con el desempeño energético operativo en todos estos edificios son más altas que la mediana de las escuelas secundarias.

La conclusión general es que un edificio no logrará todo su potencial de rendimiento a menos que los diseñadores y contratistas del edificio participen en una acción concertada posterior a la ocupación para optimizar el edificio y sus sistemas y proporcionar una formación eficaz a los ocupantes. Se requieren marcos e indicadores clave de desempeño razonablemente detallados para determinar el alcance de las actividades posteriores a la ocupación y evaluar su éxito con

métricas objetivas. Tres mejoras de procesos clave se identifican en base a las evaluaciones de desempeño de los estudios de caso en BPE. Estas podrían usarse dentro de un marco de medición y verificación apropiado para reducir la brecha de desempeño:

- Establecer objetivos de diseño claros y desarrollar modelos de desempeño sólidos como líneas de base para el desempeño junto con puntos de referencia operativos apropiados.
- Identificar medidas clave de eficiencia energética y protegerlas de la ingeniería de valor durante la adquisición del edificio y en funcionamiento.
- Adoptar una visión holística de la energía total, el desempeño ambiental y la productividad

Esto nos presenta un desafío con nuevas variables a identificar en el diseño de escuelas del siglo XXI, reconociendo la mirada global del cambio climático. (Burman et al. 2018)

5.2 ACV y valores de referencia medioambiental

El uso de la evaluación del ACV durante la fase de diseño puede ayudar a mejorar el rendimiento medioambiental de los edificios. Sin embargo, a los diseñadores y clientes les resulta difícil establecer objetivos de rendimiento medioambiental e interpretar los resultados obtenidos a través de ACV con el fin de mejorar el diseño del edificio. Por lo tanto, se necesitan valores de referencia o referencias. Los puntos de referencia actuales disponibles basados en ACV se han desarrollado principalmente para sistemas de certificación en todo nivel de construcción y no proporcionan orientación de diseño sobre el nivel de material o elemento (Hollberg, Lützkendorf, and Habert 2019). Los resultados de aplicar el enfoque de doble referencia a un caso de estudio muestran que puede facilitar el uso de herramientas basadas en ACV para el soporte de diseño y promover la optimización del rendimiento medioambiental relacionado con la construcción.

Los esfuerzos para reducir las emisiones de GEI en el sector de la construcción principalmente están enfocados en la fase de uso de los edificios. Debido a los logros en la reducción de la demanda de energía operativa, entre otras razones, las investigaciones han vuelto a otros campos para investigar los potenciales ahorros adicionales. Un aspecto importante son los llamados GEI contenidos, las emisiones relacionadas con la fabricación de productos de construcción, el mantenimiento y fin de vida de los edificios. En este contexto, la particular importancia de los puntos de referencia ha sido reconocida tempranamente. Para desarrollar un estándar de construcción sustentable, son indispensables los puntos de referencia, las respuestas adecuadas que logran incidir en las cuestiones medioambientales, implican una cuantificación de la contribución que se requiere de las diversas áreas de la actividad humana para el logro del desarrollo sostenible. Sin sub-objetivos vinculantes para los diferentes sectores, será casi imposible avanzar sistemáticamente hacia una sociedad sostenible. Estos son los puntos de referencia para un desarrollo sostenible; por lo tanto, la construcción tiene por objeto definir los requisitos que deben cumplir los edificios y las estructuras para contribuir a la consecución de un objetivo común. (Zimmermann, Althaus, and Haas 2005).

La Directiva sobre el rendimiento energético de los edificios en la Unión Europea (UE), se centra en minimizar el consumo directo de energía para satisfacer las demandas de calefacción y refrigeración, agua caliente e iluminación durante la fase de uso del edificio. Sin embargo, el consumo de energía asociado a otras fases del ciclo de vida del edificio, como la producción de materiales de construcción y otros impactos indirectos, aún se pasa por alto. En este sentido, los estudios han demostrado que la cantidad de energía incorporada en los productos de construcción puede variar entre el 9 y el 46% de la demanda total de energía de la vida útil del edificio en edificios de bajo consumo de energía y entre el 2 y el 38% en edificios convencionales.

5.3 La influencia de la envolvente en el consumo de energía de los edificios públicos

El consumo energético tiene una directa relación con las emisiones de CO₂ a la atmósfera, por lo tanto la disminución del mismo a través de estrategias de diseño resultan relevantes a la hora de reducir el consumo. Al analizar la influencia del consumo energético de los edificios con diferentes envolventes térmicas, se toma un edificio público en Beijing como objeto

de investigación, y se analiza la influencia de las paredes exteriores, tejado, ventanas exteriores y toda la envolvente del edificio con diferentes propiedades térmicas respectivamente. La simulación modificó la propiedad térmica de una sola envoltura mientras mantenía constante toda la propiedad térmica de la envoltura del edificio, y señaló el cómo la rehabilitación con estrategias de ahorro de energía afectó a la demanda de energía de los edificios después del cálculo comparativo. Los resultados muestran que los coeficientes de transferencia de las ventanas exteriores tienen el mayor efecto en la carga térmica interior, el techo es secundario y las paredes exteriores son las más débiles. Por lo tanto, el rendimiento térmico de la envolvente del edificio y la eficiencia energética tienen una gran relación. (Hu and Wu 2015)

La mayoría de los edificios públicos específicamente educativos en los climas áridos consumen grandes cantidades de energía. La energía utilizada se centra en el confort térmico. Una adaptación sencilla y factible puede proporcionar confort térmico y, por lo tanto, reducir la energía consumida. Investigando experimentalmente una estrategia de adaptación de los cerramientos de los edificios de enseñanza superior, se logra detectar la relación directa con el confort térmico interior. Este primer objetivo se vincula al rendimiento energético después de añadir algunas adaptaciones viables que reducen el consumo de energía. El segundo objetivo es proporcionar un proceso para la estrategia de rehabilitación de edificios en la educación superior, los cuales proporcionen un confort térmico que se corresponde con estándares funcionales. De ello nuevamente verificamos la necesidad de puntos de referencia medioambiental en las estrategias de rehabilitación, ya a esta altura, bien llamadas rehabilitaciones energéticas. Estos objetivos de rehabilitación se pueden establecer como una medida legislativa para espacios educativos eficientes en el uso de la energía. Sin embargo, es esencial establecer un código de eficiencia energética, por lo tanto la aplicación de medidas de rehabilitación a nivel nacional (El-darwish and Gomaa 2020).

Edificar de manera eficiente por medio de la incorporación de estándares de eficiencia energética en el diseño, construcción y reacondicionamiento de edificaciones, a fin de minimizar los requerimientos energéticos y las externalidades ambientales, incluye la elección adecuada de materiales los cuales presentan diversos perfiles ambientales. El perfil ambiental del panel sándwich de madera resulta mejor que el del muro de mampostería, siempre y cuando la madera provenga de bosques con explotación forestal sustentable. Analizando los recursos energéticos utilizados, se comprueba que la mampostería requiere más de cuatro veces lo requerido por el panel de madera. De todas las evaluaciones obtenidas en los estudios, se observa la manufactura maderera como una iniciativa con valorizaciones de sustentabilidad en comparación con construcciones de piedra (mamposterías). El muro de mampostería de ladrillos comunes impacta más fuertemente en el Potencial de Calentamiento Global (por las grandes emisiones de CO₂ durante la cocción de los ladrillos) y el potencial de Acidificación, tanto durante la fase de procesamiento y producción como en la fase de uso. Los efectos negativos asociados al panel de madera se originan principalmente en el proceso de secado e impregnación de la madera. Esto basado en cálculos cuantificando el tipo de impacto en todas las etapas del ciclo de vida, en dos categorías principales: el potencial de calentamiento global y el potencial de acidificación (María and José n.d.).

Un indicador importante del impacto ambiental de cada tipo de muro analizado es la cantidad de materia que tienen incorporada. Este indicador favorece ampliamente al panel liviano tipo sándwich de madera (29 kg/m²), ya que su peso es casi 17 veces menor que el del muro de mampostería de ladrillo común (490 kg/m²). Por lo tanto, en el ámbito del transporte, un elemento determinante es el material a incorporar en la solución constructiva, el cual tiene pesos distintivos e incidentes en el costo de su traslado, dada las grandes distancias en algunos casos de centros de producción y venta de materiales.

Los puntos de referencia actuales basados en LCA se han desarrollado principalmente para sistemas de certificación de un nivel de construcción general, y no proporcionan orientación de diseño sobre el nivel de material o elemento utilizado en la solución constructiva de la edificación.

¿De qué manera seleccionamos un óptimo revestimiento de muros para reducir las Emisiones de CO₂?

Los edificios tienen impacto indirecto y directo en las emisiones de CO₂. Al analizar los materiales de revestimiento de las edificaciones, respecto de las emisiones de CO₂, se podrá proveer de datos técnicos confiables para lograr un diseño adecuado. Según el estudio del Departamento de Ingeniería Arquitectónica de la Universidad de Emiratos Árabes Unidos, para evaluar el rendimiento económico, medioambiental y la energía incorporada en edificios, se observaron distintos

sistemas de modelamiento de edificaciones ecológicas. Lo cual fue fundamental para la selección óptima del sistema de revestimiento de paredes en escuelas, que reducirían las emisiones directas e indirectas de CO₂.

Un análisis de sensibilidad fue conducido para determinar la influencia relativa de cada sistema en una edificación educacional representativa, se indagó que algunos materiales de revestimiento reducen las emisiones directas de CO₂, sin embargo, proporcionan una reducción moderada en términos de energía operacional y vice-versa. Otras positivamente impactan en la energía incorporada, el rendimiento medioambiental y pueden optimizar el rendimiento de la energía operacional. Por lo tanto, se concluye que se debería llevar a cabo un trabajo más cuidadoso en la selección de los sistemas de revestimiento de muros y los materiales de acabado para reducir efectivamente las emisiones de CO₂ (Radhi 2010).

Los autores del trabajo “Emisiones de CO₂ y aumento de la resistencia térmica de un edificio” presentan un enfoque metodológico para combinar las evaluaciones del ciclo de vida ambiental y energética de las reformas de los edificios hacia un edificio de energía casi nula. Se analiza la eficiencia del aislamiento de la envolvente exterior de un edificio en relación al consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de gases de CO₂, centrándose en diferentes materiales aislantes térmicos. Posteriormente se aplica el método de ACV para verificar el comportamiento medioambiental del aislamiento de la envolvente del edificio. Se determinó el consumo de energía primaria y las emisiones de gases CO₂ al aislar las envolventes para cambiar su clase de eficiencia energética. Finalmente la investigación logra identificar los materiales de aislamiento térmico más adecuados para edificios en términos de energía y ecología, concluyendo con 3 tipologías de aislantes superiores: Lana de Roca, Lámina de corcho/proyectado y fibra de celulosa proyectada, los cuales se presentan comparativamente en la Tabla 10 (Valancius 2018). Al analizar el escenario alternativo, se visualiza que el aislamiento térmico cumpla con una baja conductividad térmica, y que presente la menor HC; Además la solución constructiva sea adecuada a la zona climática y los materiales de fácil acceso en la región en cuestión.

| Materiales utilizados para el análisis y sus características (recurso: SimaPro 7.2) | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Material | Densidad, Kg/m3 | Conductividad termica, W/mk | Energía primaria no renovable, Mj/Kg | Calentamiento global, KgCO2 eq/Kg | |
| Estuco de yeso | 2760 | 0.40 | 1.3990 | 0.0738 | |
| Mortero de pega | 1750 | 0.80 | 23.6599 | 1.1024 | |
| Ladrillos de arcilla | 1725 | 0.40 | 25.2299 | 2.3129 | |
| Materiales de aislamiento | | | | | |
| Fibra de celulosa | 50 | 0.04 | 7.2764 | 0.3566 | |
| Losa de corcho | 115 | 0.043 | 25.2929 | 1.1146 | |
| Espuma de vidrio | 110 | 0.04 | 35.9974 | 1.5253 | |
| Lana de vidrio | 40 | 0.04 | 46.4657 | 1.4340 | |
| Losa de Poliestireno | 30 | 0.038 | 107.0284 | 3.7145 | |
| Lana de roca | 40 | 0.036 | 19.0442 | 1.0358 | |
| Lana mineral | 40 | 0.038 | 27.1366 | 2.1335 | |

Tabla 9: Estimación del retorno energético y ecológico de los escenarios alternativos (Fuente: Análisis de la amortización de las emisiones primarias de energía y CO₂ en relación con el aumento de la resistencia térmica de un edificio. Autores: K. Valancius, T. Vilutienė, A. Rogoža).

En Palestina se lleva una investigación respecto de la optimización del grosor de la aislación a través de Costes del Ciclo de Vida (LCC) en construcción de muros externos, aunque la aislación de la construcción es una inversión baja con una garantizada alternativa de beneficios, es todavía de libre elección en Palestina. El análisis toma la construcción de muros externos típica, tipos de aislamiento, datos del clima, precios de energía, eficiencias de conversión del equipamiento, calentamiento, enfriado y los parámetros financieros de mercado. Se estudiaron dos tipos de aislación que son el poliestireno (denotado por I1) y poliuretano (denotado por I2). Para el tipo de energía, se asume la electricidad para enfriamiento estival y

combustible LPG para calentamiento de verano. El grosor del aislante óptimo fue calculado asumiendo una temperatura base para diferentes horas en el día. Los resultados indican que el tipo de aislación tiene un efecto significativo sobre el efecto aislante óptimo. Poliestireno (I1) y Poliuretano (I2), los costos de inversión son de 83 y 171.43\$/m³ respectivamente. A pesar de eso, los mismos beneficios financieros pudieron ser logrados usando I2 en la mitad del grosor comparado con I1. Para todos los casos el grosor óptimo varía entre 0.4 y 9 cm., para una media de 18°C; los ahorros anuales variaron entre 4 y 8 \$/m²/año. Llegando a una tasa interna de retorno entre 0.9 y 1.6 años.(Alsayed and Tayeh 2019).

Al evaluar las distintas estrategias para el diseño de fachadas, debemos reconocer el ámbito climático en el cual nos moveremos, cualidades que presentan vientos constantes durante el año del orden de los 10km/h y una humedad considerablemente alta, del orden del 80%; derivado de ello, y como estrategia de la investigación se proponen fachadas ventiladas, las cuales resuelven, en base a distintas experiencias, la condensación determinada por la humedad observada en la comuna de Coquimbo.

Francesco Leccese, de la Universidad de Pisa, estudia varios tipos de fachadas con distintos espesores de cámara de aire, propuesto a través de un modelo matemático. Concluye que en particular, el rendimiento energético de dichas fachadas está fuertemente influenciado por la anchura del conducto de aire, la distribución del material aislante, la intensidad de la radiación solar, la resistencia térmica de la superficie de pared exterior y la rugosidad de las losas que delimitan el conducto de aire. En todos los casos, el ahorro energético aumenta a medida que los conductos de aire aumentan de ancho, y un aumento tal resulta ser particularmente marcado por el espesor de 15 centímetros. El autor afirma que la disposición habitual de la capa aislante en el interior del conducto de aire, cerca de la pared interior, puede no ser el más eficaz desde el punto de vista energético. Es posible encontrar una distribución óptima de material aislante entre la pared interior y el paramento exterior que permita el máximo ahorro energético alcanzado. En todos los casos, la colocación del material aislante cerca de la pared interior es más eficiente que uno cerca el paramento exterior. Esta investigación también confirma que el ahorro de energía aumenta con la intensidad de la radiación solar. Cuando se efectúe el paramento exterior de materiales reflectantes (aceros especiales, aleaciones de titanio, etc.) las fachadas pueden reducir fuertemente la influencia de la radiación solar y se debe considerar como una alternativa a las fachadas ventiladas (Ciampi, Leccese, and Tuoni 2003a).

En (Patania et al. 2010) a través del estudio de tres tipologías de fachadas ventiladas concluye que el ahorro de energía aumenta si la radiación solar aumenta. Por lo tanto, para un valor constante del coeficiente de absorción y la temperatura exterior, la elección de la fachada ventilada es recomendable en sitios con altos valores de radiación solar. Una observación importante de los autores es que la eficiencia energética de este tipo de fachadas mejora cuando su capa externa tiene bajos los valores de conductividad térmica, altos valores de densidad y altos valores del calor específico.

En resumen, para los investigadores la fachada ventilada tiene un buen comportamiento en los climas cálidos, pero en climas fríos su rendimiento es peor que una fachada sellada.

5.4 Aislantes térmicos y su influencia en la envolvente.

De acuerdo a los tipos de aislantes existentes, los aislantes vegetales se observan como los que generarían mayor aporte en sustentabilidad a la construcción en base a su proceso de desarrollo, aun así, es relevante analizar su oferta dentro del país, lo cual deja fuera de este análisis a algunos materiales importantes para su especificación en las partidas constructivas de una obra: dada la distancia de su origen, el tiempo para obtenerlo, y su reemplazo en caso de requerir partidas nuevamente. Lo cual incide en el costo del material y en la huella de carbono generada.

Aislantes sintéticos.

Son aquellos compuestos por materiales sintéticos como el plástico, los polímeros procedentes del petróleo y otros materiales sintéticos. Son muy efectivos térmicamente. Los más comunes son:

- Poliestireno expandido (EPS): Es uno de los aislantes más utilizados por su densidad y baja conductividad térmica.

- Poliestireno extruido (XPS): Muy similar al anterior, pero con la ventaja de que se puede mojar sin problema ya que es muy absorbente. Se utiliza con frecuencia por sus múltiples aplicaciones.
- Poliuretano: Tiene un mayor rendimiento térmico que los anteriores, pero se usa generalmente proyectado como espuma.
- Rollos reflexivos: Son rollos formados por una o varias capas, de grosor variable, de burbujas de polietileno entre varias finas láminas de aluminio utilizados especialmente en zonas climáticas suaves. Aislantes naturales

Lanas minerales.

Es el material aislante más empleado. Son productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil. Resultan muy versátiles y eficaces ya que además de proporcionar un buen nivel de aislamiento térmico, también actúan como aislamiento acústico, resistentes al paso del agua y ofrecen un elevado nivel de protección contra el fuego. Dentro de las lanas minerales se distinguen fundamentalmente dos tipos:

- Lana de roca o lana mineral (SW): Se fabrica a partir de roca volcánica y se presenta en forma de manta, panel no rígido o rollo. La lana de roca tiene valores muy positivos respecto de su huella de carbono incorporada, pero en los procesos de desarrollo del aislante la fusión a 1500°C aproximadamente, de mezclas de distintos minerales lo hace menos sustentable.
- Lana de vidrio (GW): Se fabrica fundiendo arena a altas temperaturas y su estructura está formada por finas fibras de vidrio unidas por un aglomerante o resina. Se considera mejor aislante acústico que la lana de roca y resiste mejor a la humedad. Al ser más liviana que otros aislantes y de muy baja conductividad térmica, consigue una mayor eficiencia con el mismo espesor.

Aislantes ecológicos o naturales.

Su uso está cada vez más extendido porque no contienen sustancias ni aditivos y por tanto son más respetuosos con el medio ambiente. Este tipo de aislantes se caracterizan por no contener sustancias ni aditivos, además, son reciclables y biodegradables. Los aislantes naturales más comunes son:

- Corcho: Es el de mayor aceptación porque además de sus buenas propiedades como aislante es reciclable y renovable. Se presenta en diferentes formatos; en forma de virutas para rellenar cavidades, en forma de paneles de corcho prensado o incluso proyectado para cubiertas o revestimiento de superficies.
- Colchón radicular: Lamentablemente algunos aislantes interesantes desde el punto de vista de generar una menor huella de carbono, como el caso del Colchón radicular, con fibra de raíces, el cual solo puede ser instalado por el interior, lo cual desde el punto de vista de la disminución de puentes térmicos no sería adecuado, su valor es alrededor de \$12.000/m² con espesor de 50mm.
- Celulosa: Formada por residuos de papel que se reciclan en forma de aislante para su aplicación por insuflado en cámaras, trasdosados o sobre forjados. Su problemática principal es la especialización de la mano de obra para su instalación.
- Lana de oveja: Aislante de procedencia animal que cuando se humedece mejora su capacidad de aislamiento.
- Arlita, perlita y vermiculita: Son aislantes minerales muy frecuentes en la construcción tradicional y de gran capacidad ignífuga.
- Lino: Procede de una planta de fácil cultivo de la que se obtienen fibras reciclables que se utilizan como aislante.
- Fibra de coco y el algodón: También se utilizan como aislantes naturales en forma de mantas.

Según investigaciones, las huellas de carbono de los materiales de aislamiento térmico muestran que los que se desarrollan en base a madera, como por ejemplo lana de madera, causan un impacto ambiental mínimo; la celulosa reciclada, en su mayoría papel de periódico, o el aglomerado de corcho, también tiene un bajo impacto en el medio ambiente. En ambos productos, una parte significativa de la huella de carbono se debe a los aditivos que evitan la putrefacción, la descomposición y la combustión. Aislantes minerales como la lana de vidrio y de piedra (especialmente de baja densidad) también tienen un bajo impacto en el medio ambiente. Los materiales de aislamiento térmico con mayor impacto ambiental son el poliestireno extruido, espuma de poliuretano, espuma de vidrio y lana mineral de alta densidad. Sin embargo estos materiales son robustos, compactos, se instalan más fácilmente, requieren menos mantenimiento, suelen ser más resistentes a las influencias externas y suelen tener una menor conductividad térmica, a pesar de las densidades extremadamente bajas (en promedio de 12 a 35 kg/m³). Estas características los sitúan en ventaja frente a otros, incluso con los materiales aislantes naturales, aunque estos últimos tienen un impacto significativamente menor en el medio ambiente. Teniendo en cuenta la aceptabilidad medioambiental general y el uso de los recursos y el medio ambiente, los materiales sintéticos o materiales plásticos tienen un alto impacto ambiental en comparación con los materiales naturales (Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán, and Marrero 2016).

5.5 Costos del Ciclo de Vida y Huella de Carbono en restauraciones de escuelas

Se estima que los edificios del sector público en Inglaterra han emitido 20,1 MtCO₂e en 2009/10, lo que equivale a un 9% de las emisiones del Reino Unido de los edificios. De este total, las escuelas fueron responsables de 3,0 MtCO₂e. Dadas estas cifras, el gobierno establece para el sector escolar una estrategia de gestión de las emisiones de carbono, cuyo objetivo es reducir las emisiones actuales de las escuelas por el uso de energía en un 53% para 2020. (Bull et al. 2014).

El estudio “Costos del Ciclo de Vida y Huella de Carbono en restauraciones de escuelas, Reino Unido”, presenta un método para evaluar opciones de restauración de la eficiencia energética para escuelas en el Reino Unido, para ello se identificaron 4 escuelas como representativas de arquetipos escolares construidos en el Reino Unido durante cuatro distintos periodos en el siglo XX. Ahorros de energía simulados fueron comparados con las cuatro tipologías de construcciones escolares demostrando como las características físicas afectan los ahorros disponibles. La medición de la eficiencia energética de combinaciones simuladas, permite el análisis de los efectos interactivos entre las mediciones y revela algunas interacciones positivas y negativas. Un modelo de regresión de los ahorros energéticos también se llevó a cabo en los 4 colegios. Los ahorros simulados de energía se usan entonces como punto de entrada para un modelo de evaluación del ciclo de vida. Los indicadores del ciclo de vida son considerados como costo de vida de ciclo marginal y del ciclo de vida de la huella de carbono marginal. La intensidad de carbono incorporada a un proyecto se define como la cantidad de carbono incorporado por unidad de superficie. Este es una medida útil para estimar el carbono incorporado de un proyecto de rehabilitación en una fase temprana. En tres de las escuelas analizadas se observa que la intensidad de carbono de un proyecto es en función de la relación de cada elemento de la envolvente por unidad de superficie de suelo. La recuperación de carbono es más corta que la recuperación financiera en todos los escenarios, y todas las medidas y combinaciones de medidas que devolvieron el carbono invertido en ellos. El valor actual neto positivo es menos común, y con frecuencia depende de que también se logren mejoras en la estanqueidad al aire.

Para la investigación desarrollada se presentan 3 arquetipos de envolventes de aulas, las cuales son las más representativas de la comuna de Coquimbo, enmarcadas en épocas históricas, hegemonía constructiva y desastres naturales. Donde generalmente la urgencia incide en la rápida ejecución de estas soluciones constructivas, y siempre queda relegado a un segundo plano el análisis más detallado, encontrando la sustentabilidad nuevamente un espacio en la urgencia, ahora medioambiental.

6 METODOLOGÍA

La metodología de investigación es experimental, de tipo práctica con enfoque cuantitativo. Esto se justifica dado que la realidad será evaluada para generar comparaciones entre las soluciones constructivas existentes y las que el investigador creará y manipulará. Dada esta situación, se podrán generar las mediciones verificando la hipótesis planteada. A continuación, se describe la metodología establecida para llevar a cabo las distintas actividades que se consideran necesarias para el desarrollo del estudio, las cuales han sido organizadas de acuerdo a los objetivos específicos planteados.

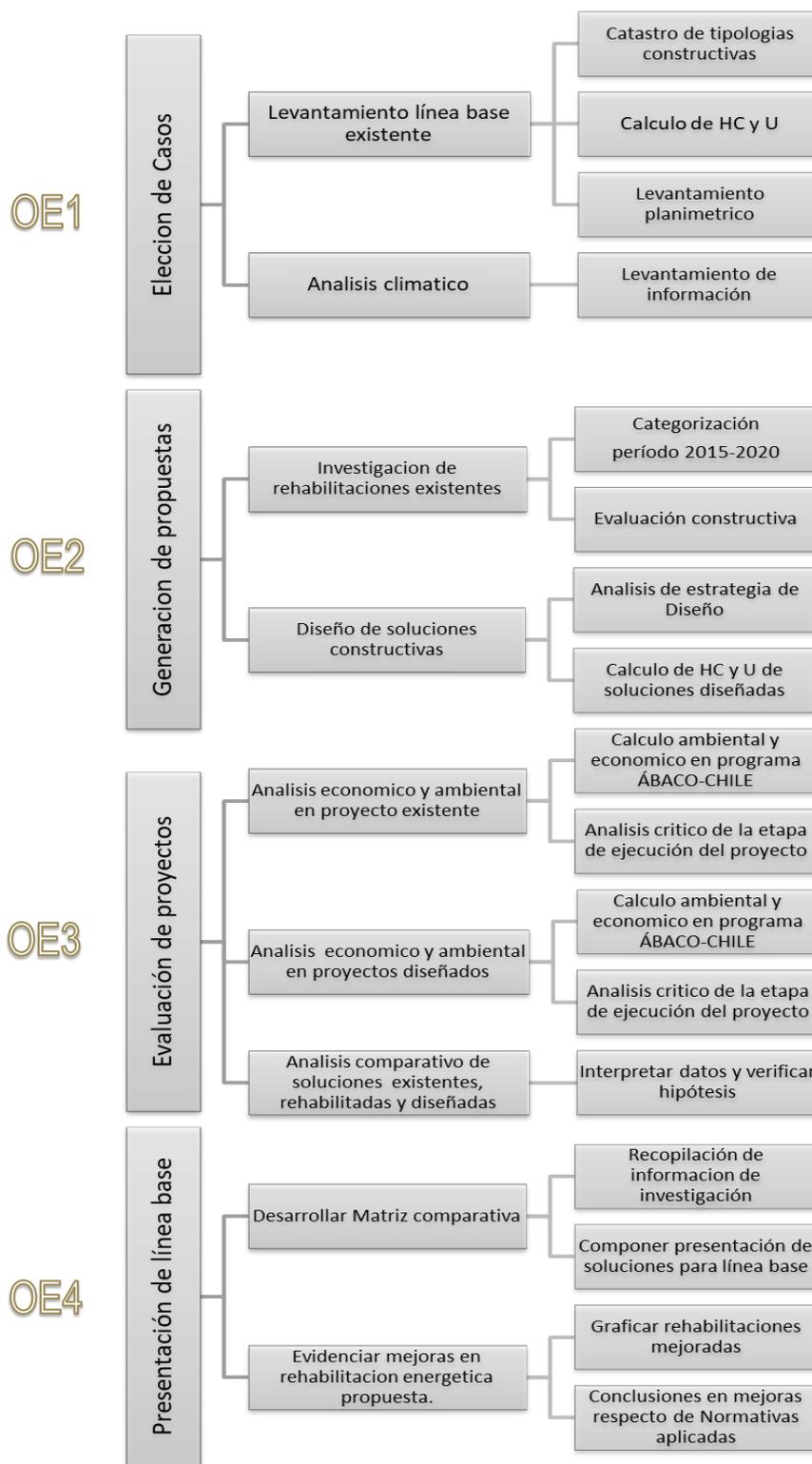


Figura 6: Flujograma de metodología para alcanzar los objetivos de la investigación (Fuente: Elab. Propia).

6.1 Protocolo

La prospección de los casos de estudio en conjunto con las necesidades climáticas y geográficas del lugar, serán los elementos indispensables para la evaluación de la línea base y la solución a desarrollar.

Respecto de las fuentes de información, se recopilará documentación a nivel planimétrico y fichas con EETT, fotografías, normativas, estadísticas gubernamentales y observaciones directas. La recopilación de investigaciones y tecnologías existentes servirá como apoyo a la estrategia de diseño de soluciones constructivas sustentables, donde la evaluación ambiental será el parámetro principal a instalar. El ACV de la solución y su respectiva HC proporcionará datos cuantitativos y cualitativos para la nueva línea base y posterior a ello la comparación de soluciones a nivel sustentable indicará, a través de un análisis de datos y reflexiones, las rehabilitaciones con menor carga ambiental, generando una nueva línea base para los futuros proyectos de mejoramientos de envolventes en la región de Coquimbo. Posteriormente se compararán proyectos en la base de datos ABACO Chile para una simulación real, obteniendo datos complementarios entregados por la etapa de ejecución de la obra.

7 DESARROLLO DEL ESTUDIO

7.1 Contexto urbano y análisis climático

La elección de los casos viene determinada por la ubicación de los establecimientos educacionales y su materialidad constructiva.

La comuna de Coquimbo es la comuna más poblada de la Región de Coquimbo con 227.730 habitantes (según INE, Censo 2017), con grandes problemáticas de infraestructura educacional, y variadas tipologías que marcan su acento a nivel de infraestructura; azotada por el tsunami del año 2010 y el terremoto del año 2015, muchos establecimientos educacionales quedaron deteriorados o sencillamente declarados inhabitables. Al día de hoy, año 2021, las construcciones afectadas aún no han sido rehabilitadas, algunos alumnos siguen en salas de container, claramente con pésima aislación térmica, reconociendo que la elección de estas soluciones fue sin ningún análisis térmico y menos de ciclo de vida. Todo ello se traduce en una preocupación, responsabilidad y oportunidad para una rehabilitación sustentable de las estructuras dañadas.

7.2 Ubicación de los EE.EE.

Comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo, Chile.

Latitud: 29°57'12"S, **Longitud:** 71°20'17"O

Altitud: 15m.s.n.m.

Zona climática: Norte Litoral (1NL)

Vientos: 8 a 10 Km/h

Humedad relativa: Alta, valores entre 74% y 85%

Clima: Estepario costero con alta luminosidad y una radiación global horizontal estimada de 1780 KW/m² año. (Explorador Solar, Ministerio de Energía)

Geografía: Emplazada sobre una península; La bahía permite tener el puerto protegido del oleaje del mar abierto, que se aprecia en el extremo norte de la misma.

Precipitación: En Coquimbo la frecuencia de días mojados (aquellos con más de 1 milímetro de precipitación líquida) no varía considerablemente según la estación. La frecuencia varía de 0 % a 6 %, y el valor promedio es 2 %.

La temporada de lluvia dura 2,5 meses, del 26 de mayo al 10 de agosto. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 4 de julio, con una acumulación total promedio de 22 milímetros. (Estación climatológica La Florida, ciudad de La Serena, 290004)

Temperatura: Templada con máximos promedio diario de 21 °C. La temperatura media parcial es de 13,6 °C. El día más frío del año con una temperatura mínima promedio de 8,6 °C (DGA - Dirección Meteorológica de Chile).



Imagen 1: Mapa de ubicación comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo (Fuente: Mapa político administrativo de Chile, www.escolares.net).

7.3 Materialidad predominante en envolventes de Aula

Para la realización de este estudio se analizan las tipologías constructivas más recurrentes en las envolventes de establecimientos educacionales de la comuna de Coquimbo, y se establecen estrategias de mejoramiento constructivo en base a 4 variables importantes: transmitancia térmica de la solución, huella de carbono generada, energía contenida y análisis económico de la solución. Con ello tendremos parámetros ambientales y térmicos para establecer efectivamente la línea base a determinar para los mejoramientos de la envolvente en los establecimientos educacionales de la comuna.

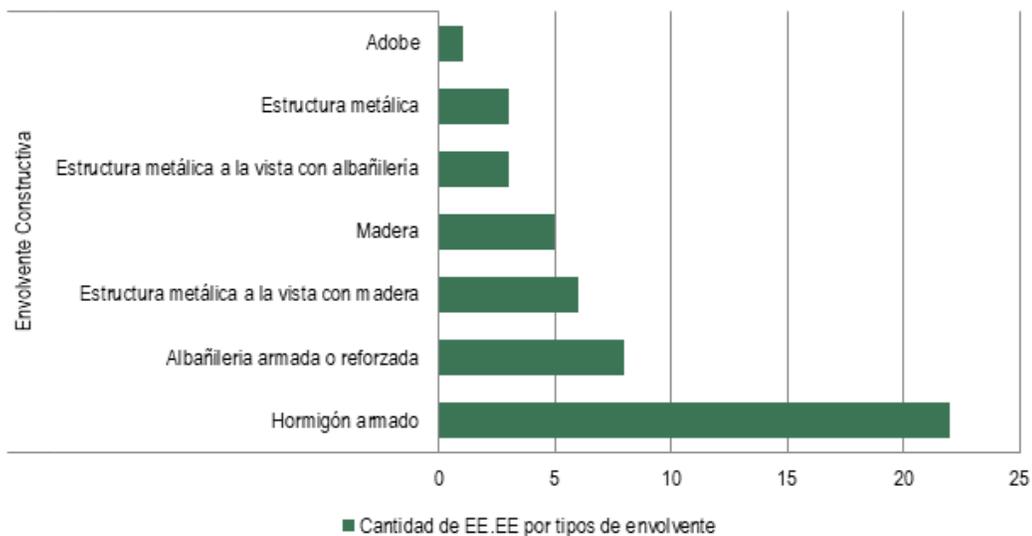


Gráfico 2: Tipologías de envoltentes en establecimientos educacionales en la comuna de Coquimbo (Fuente: Elab. Propia).

Los muros a analizar en la comuna de Coquimbo, se basan en las 3 tipologías de soluciones constructivas con mayor porcentaje de representación: 1. Envoltente de muros de hormigón armado, 2. Envoltente con muros de albañilería reforzada, 3. Envoltente en base a un esqueleto de acero, con estructura de madera sin aislación térmica, revestida con fibrocemento por el exterior y yeso cartón por el interior.

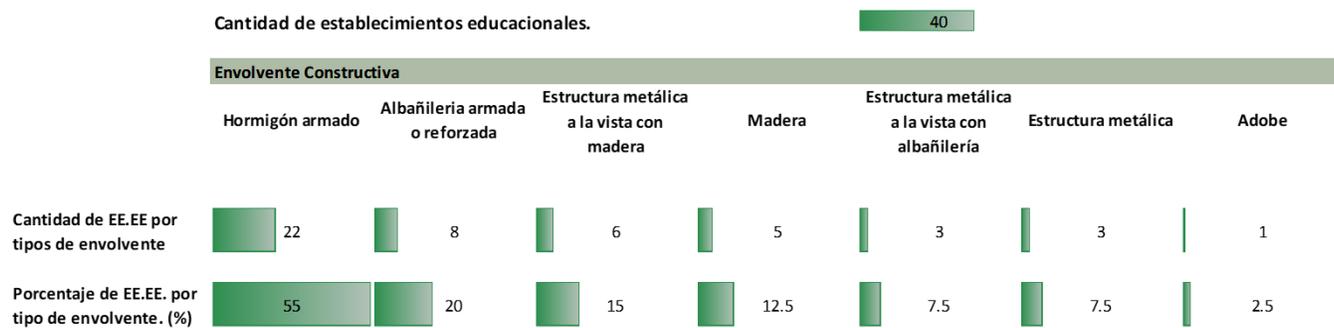


Gráfico 3: Registro y comparación de envoltentes en EE.EE. en la comuna de Coquimbo (Fuente: Elab. Propia).

En el gráfico 3 podemos ver que la *Estructura metálica a la vista con madera* solamente está desarrollada en 6 establecimientos de la comuna, lo cual representa al 15% de los establecimientos educacionales. Las salas de clases visualizadas con dicha materialidad carecen de aislación térmica en la solución constructiva. El 20% de los establecimientos educacionales está construido en albañilería reforzada o armada solamente estucada por ambos lados, correspondiente a 8 establecimientos de la comuna. Se puede observar que existe un 55% de establecimientos educacionales de la comuna de Coquimbo en los cuales su envoltente es desarrollada en Hormigón Armado, siendo más de la mitad del total(40 establecimientos) con esa solución constructiva, solamente hormigón sin incorporar aislación. También se visualiza que en

menor porcentaje, solo el 2,5% de las envolventes utiliza Adobe, lo que está prohibido en las nuevas construcciones para establecimientos educacionales en Chile. Es importante aclarar que estos mismos establecimientos están contruidos con múltiples materialidades, los cuales en diferentes períodos han sido ampliados, reforzados o rehabilitados. Por lo tanto, la realidad es que en general, una escuela utiliza materiales diversos para la construcción de sus envolventes.

7.4 Parámetros de Sustentabilidad

Para el análisis de transmitancia térmica, se utiliza la Norma Ch. 853/2007 para viviendas en Chile, teniendo como orientación los TDR e MOP DA y la NTM 011 que está considerada en los estándares constructivos del Ministerio de Educación desde el año 2020, dado que Chile no establece una normativa térmica para edificios públicos.

La inclusión del Análisis de Ciclo de vida y la huella de carbono en mejoramientos nos dará mayor certeza de los materiales a elegir antes de diseñar la solución constructiva, dentro de este análisis se incorpora la posibilidad de modificación de áreas de la solución constructiva desarrollada en cualquier momento del tiempo, además de valorizar económicamente la intervención para posibilitar su desarrollo en la realidad regional. Los datos obtenidos de la Emisión de CO₂ a la atmósfera son evaluados para la Fase de Extracción-Fabricación del muro de envolvente para 1mt², teniendo como referencia DAP 002:2016 acorde a ISO 14025, EN 15804:2012 y EN 15942 y (Tártaro et al. 2017). Se utilizan factores de emisión también a partir de diferentes referencias de investigaciones presentadas en este documento. Las Tablas utilizadas para los cálculos de las fases Fase de Extracción-Fabricación de materiales son recogidas de la investigación de energía incorporada y emisiones de gases de efecto invernadero en Chile, según (Muñoz Sanguinetti 2013).

7.5 Análisis crítico de soluciones constructivas período 2015 - 2020

La propuesta de rehabilitación se basa en un análisis crítico de 39 proyectos de mejoramientos que intervinieron muros, techumbres y ventanas, de 122 realizados desde el año 2015 al 2020 en el ámbito de infraestructura educacional en la comuna de Coquimbo. Desde este punto de vista se observan distintas problemáticas en la consideración de las especificaciones técnicas y ejecución de ellas, encontrando variadas observaciones que revisar.

7.5.1 Proyectos de Conservación de EE.EE año 2015

- Instalación de ventanas con marcos de metal, vidrio monolítico, con alta transmitancia térmica.
- Reposición de puertas, sin recomendaciones respecto de la acústica requerida.
- Las puertas de placarol generalmente utilizadas, no aportan a la seguridad ni al confort térmico dadas las deformaciones que se generan y la transmitancia termica obtenida.
- Se instala en cielos yeso cartón de 10mm y lana mineral de 50mm. Materiales que en su conjunto cumplen la ordenanza actual al límite. Claramente con exigencias mayores TDR e MOP DA ó NTM 011 estarían muy lejos de cumplir el objetivo.

A pesar que las soluciones cumplen con la baja exigencia de la OGUC, No se cumple con los TDR e MOP DA ó NTM 011, respecto de la aislación térmica en muros. Para el año 2015 se observan soluciones con deficiencias técnicas importantes, sin alcanzar en varios casos las sugerencias de entidades especializadas. No se observa una estrategia respecto de la humedad de la comuna, que alcanza un 85%.

7.5.2 Proyectos de Conservación de EE.EE año 2017

- Instalacion de ventanas con marcos de metal y vidrio monolítico.

- Instalación de puertas con espesor de terciado estructural menos de 9mm, sin faldón metálico ni vidrio superior, según orientaciones del Ministerio de educación.
- Vidrios: debe verificarse su espesor respecto de la Transmitancia y Huella de carbono, dado que las EETT carecen de detalles en esos aspectos.
- Techumbres sin solución higrotermica.

Uno de los grandes problemas en las instalaciones de techumbres es la falta de aislación térmica, generando una techumbre transmisora de calor y frío. En este período se observan espesores de aislante en muros y cielos que no sobrepasan los 50mm. Cabe destacar que las pérdidas energéticas no son un tema a resolver en los proyectos de este período.

7.5.3 Proyectos de Conservación de EE.EE año 2020

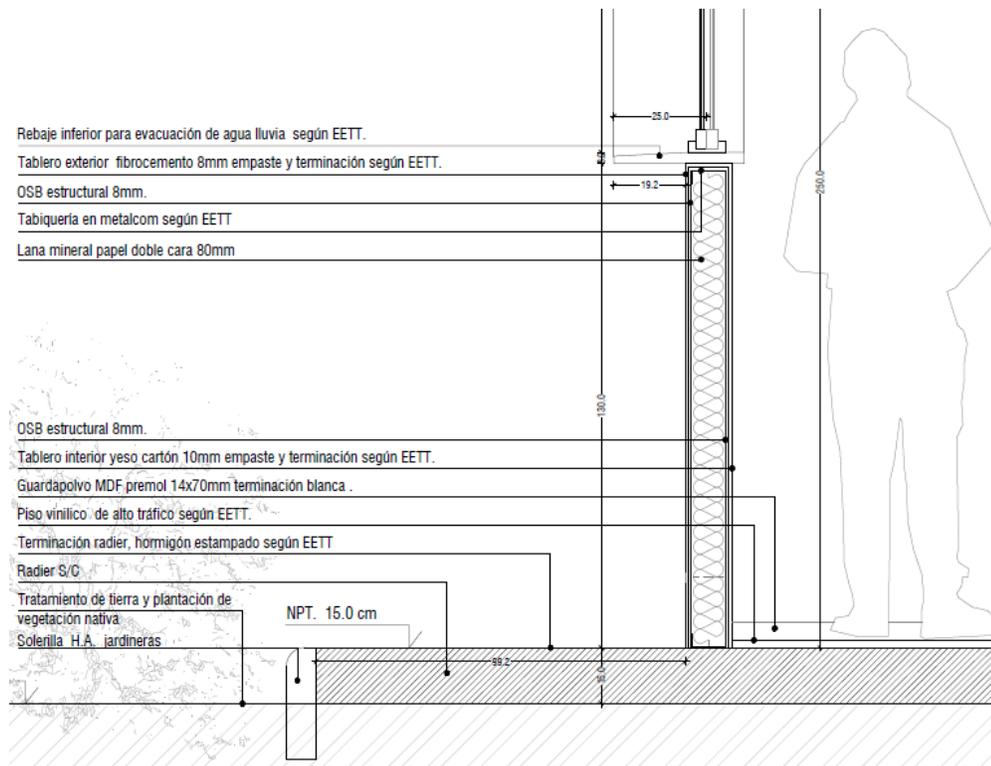
- Para los muros de 1mt de altura bajo ventanas, se realiza la instalación de nueva albañilería de ladrillo princesa 29*14*7cm, los cuales son estucados con mortero de 25mm, 2 capas de pasta de muro para finalmente aplicar pintura.
- Utilización de muros Covintec 13cm, disminuye huella en traslado de materiales.
- La utilización de la membrana hidrófuga aporta cumpliendo con la Norma ASTM E2178 (resistencia al aire) ASTM E 96-00 (transmisión de vapor) ATTCC 127 (resistencia al agua) y contribuye a la Certificación Leed (Energía y Atmósfera, Materiales y Recursos, Calidad Ambiente Interior)
- Se comienza a utilizar Osb 11.1mm y lámina Tyvek (Impermeable al agua, Estanca al aire y al viento).
- En proyectos para escuelas de música, se utilizan tabiques acústicos contruidos solo con la suma de otro yeso carton.
- Se presenta en 1 proyecto de doble tabique para aislación acústica en salas de música, y doble aislación de fibra de poliéster de 50 mm de espesor.
- En la reposición de puertas en Salas de música, la propuesta sugiere Puerta de Acero lisa con plancha metálica de 2mm por cada cara, sobre bastidor de acero, relleno con lana mineral 60Kg/m³. Considerando marco de acero con sello acústico y Visor de doble vidrio estanco, se acerca a lo sugerido por las exigencias del Ministerio.
- Los muros que corresponden al área colindante al pasillo, son, en algunos proyectos, contruidos con paneles SIP (espesor de panel 115mm.) compuesto por dos tableros estructurales de madera OSB, con un núcleo de Poliestireno expandido (EPS) de alta densidad (15Kg/m³). Revestimiento de ambas caras, con fieltro, malla galvanizada y estuco.
- En algunos proyectos de la comuna de Coquimbo como en el colegio El Peñón, se propone revestimiento exterior con sistema EIFS para muros de Albañilería existentes. El Sistema de Aislación Térmica Exterior (EIFS) incorpora una capa de poliestireno expandido de 5cm adherida al muro y densidad 20Kg/m³, revestida con una malla de fibra de vidrio dentro de un mortero delgado elastomérico.
- Ventanas Termopanel: Dentro de las propuestas 2020 se considera el cambio de ventanas existentes para mejorar los elementos, tales como marcos y vidrios. Estas en Ventanas de Termopanel y Perfiles de PVC.

Es preciso indicar que las soluciones constructivas realizadas en el tiempo, en la comuna de Coquimbo, siguen una línea similar, teniendo mínimas variaciones en las especificaciones técnicas de los proyectos, con deficiencias en la aislación térmica y la conformación de las estrategias respecto de la zona climática. Desde el año 2020 el Ministerio de educación entrega nuevas directrices respecto de la rehabilitación en edificaciones existentes, proponiendo algunas estrategias para abordarlas con una mirada sustentable.

| Elemento | | Solución recomendada | Materiales recomendados |
|------------------|-------------------------------|---|---|
| Cubierta | Entretecho Existente | Instalar aislación térmica homogénea sobre el cielo, cubriendo todas las cerchas o vigas de cielo | Celulosa proyectada, Lana Mineral o Lana de vidrio Poliuretano proyectado |
| | Sin Entretecho | En lo posible instalar sándwich de cubierta que incluya aislación térmica continua o bien considerar aislación entre vigas pero sumando una capa adicional de aislante que permita minimizar los puentes térmicos | Panel de cubierta con alma de poliuretano Panel de OSB con alma de Poliestireno expandido (tipo SIP) |
| Muros | Hormigón Armado | Instalar aislación exterior continua (EIFS) | Poliestireno expandido adherido por el exterior (EIFS), con o sin fachada ventilada. |
| | Albañilería | Instalar aislación exterior continua (EIFS) | Poliestireno expandido adherido por el exterior (EIFS), con o sin fachada ventilada. |
| | Tabiquerías de madera o acero | Instalar aislación térmica homogénea cubriendo toda la estructura | Celulosa proyectada Lana Mineral o Lana de vidrio Poliuretano proyectado |
| Pisos Ventilados | Losas ventiladas de HA. | Instalar aislación exterior continua (EIFS) | Poliestireno expandido adherido por la parte inferior de la losa (EIFS), |

Tabla 11: Recomendaciones sobre instalación de aislación térmica (Fuente: Guía para intervenciones de conservación, DIE MINEDUC 2020).

Estas soluciones para techumbres, pisos y muros, presentan la voluntad de incorporar estrategias de sustentabilidad para resolver problemas de confort térmico en las salas de clases. Esto es entendido como una oportunidad para generar unificación de criterios y mediciones también respecto de la huella de carbono generada. Los mejoramientos en este período comienzan a intervenir en áreas que involucran el problema de humedad característico de la zona, proposiciones distintas respecto de la tipología de muros utilizadas, aislación acústica para espacios musicales, se observan intervenciones en ventanas, su recambio por ventanas de PVC Termopaneles las cuales tienen un alto nivel de aislación acústica, otorgando una mayor protección, disminuyendo, de manera importante, la contaminación ambiental, mejorando la hermeticidad y aportando a una baja conductibilidad térmica, que contribuyen al ahorro en calefacción y aire acondicionado. Se considera incorporar aislación térmica en muros por el exterior, de manera de favorecer una envolvente térmica continua, minimizando los puentes térmicos, permitiendo disponer de masa térmica en los muros atenuando las variaciones de la temperatura interior.



Detalle constructivo 1: Corte esquemático de solución constructiva de referencia en escuela de la comuna de Coquimbo (Plataforma de proyectos, SECREDUC 2020)

7.5.4 Caso referencial, Programa de mejoramiento de eficiencia energética en infraestructura escolar pública

En el contexto del Programa de Mejoramiento Energético del Ministerio de Educación, donde se busca mejorar los estándares de confort ambiental y hacer más eficiente el uso de la energía en al menos 200 establecimientos públicos de Chile, se realizó una auditoría energética en el Colegio Nuestra Señora del Rosario de la comuna de Andacollo, para una intervención integral en eficiencia energética de la infraestructura educacional. La visita a terreno fue realizada en agosto de 2019 y junto a ella se realizó el estudio de factibilidad técnica y presupuesto de proyectos de eficiencia energética, priorizando medidas que mejoren el confort térmico, tales como aislamiento térmico de la envolvente, cambio de iluminación y climatización.

La estrategia busca caracterizar la estructura del edificio, para comparar la Transmitancia térmica respecto de la normativa vigente y generar soluciones adecuadas.

Las referencias Normativas respecto de la transmitancia térmica a alcanzar están dadas por los Términos de Referencia Estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental de la Dirección de Arquitectura dependiente del Ministerio de Obras Públicas de Chile (Anon n.d.).

Muros: Los muros del colegio son de hormigón de 20cm de espesor y tabiquería con terminación interior de yeso cartón y exterior de fibrocemento, además de incluir una aislación interior de 50mm.

| MURO – Hormigón | | |
|--|--------------|--|
| Material | Espesor [mm] | Resistencia térmica [m ² K/W] |
| Hormigón | 200,0 | 0,123 |
| R _{Si} | | 0,120 |
| R _{SE} | | 0,050 |
| Resistencia térmica total [m ² K/W] | | 0,293 |
| Transmitancia térmica total "U" [W/m ² K] | | 3,416 |

Tabla 12. Resistencia térmica y transmitancia del muro – Hormigón (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

| MURO – Tabiquería | | |
|--|--------------|--|
| Material | Espesor [mm] | Resistencia térmica [m ² K/W] |
| Yeso cartón | 10,0 | 0,037 |
| Tabiquería de madera | 101,6 | 0,977 |
| Fibrocemento | 6,0 | 0,026 |
| R _{Si} | | 0,120 |
| R _{SE} | | 0,050 |
| Resistencia térmica total [m ² K/W] | | 1,210 |
| Transmitancia térmica total "U" [W/m ² K] | | 0,826 |

| MURO – Aislación lana mineral | | |
|--|--------------|--|
| Material | Espesor [mm] | Resistencia térmica [m ² K/W] |
| Yeso cartón | 10,0 | 0,037 |
| Lana mineral | 50,0 | 1,316 |
| Fibrocemento | 6,0 | 0,026 |
| R _{Si} | | 0,120 |
| R _{SE} | | 0,050 |
| Resistencia térmica total [m ² K/W] | | 1,549 |
| Transmitancia térmica total "U" [W/m ² K] | | 0,646 |

Tabla 13. Resistencia térmica y transmitancia del muro – Tabiquería y aislante (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

| MURO TOTAL | |
|--|--------------|
| Resistencia térmica total ³ | 0,488 |
| Transmitancia térmica "U" [W/m ² K] | 2,049 |

Tabla 14. Resistencia térmica y transmitancia total del muro (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Techumbre: La estructura soportante de la techumbre del colegio es metalcon con aislación de poliestireno expandido de espesor 80cm. La terminación interior es de yeso cartón mientras que la exterior es de zinc alum. La superficie cubierta con aislante en techumbre no es del 100%.

| | |
|---------------------|--|
| Superficie cubierta | 1.271,0 [m ²] |
| Tipo de cubierta | Más de 4 aguas |
| Acceso a entretecho | Entretecho con acceso para visualización |

Tabla 15. Características generales de la techumbre (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

| TECHUMBRE | | |
|--|--------------|--|
| Material | Espesor [mm] | Resistencia térmica [m ² K/W] |
| Yeso cartón | 10,0 | 0,037 |
| Poliestireno expandido | 80,0 | 2,083 |
| Zinc alum | | - |
| R _{Si} | | 0,100 |
| R _{SE} | | 0,100 |
| Resistencia térmica total | | 2,320 |
| Transmitancia térmica "U" ³ | | 0,431 |

Tabla 16. Resistencia térmica y transmitancia de los elementos predominantes en techumbre (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Ventanas: Las ventanas instaladas en el pabellón son de tipo vidrio simple con marco de aluminio, aquellas operables son de tipo corredera.

| VENTANAS - RESUMEN | | | | |
|-------------------------------------|-------------|--|-------------------------------|--|
| Material Predominante | N° de vanos | Superficie de ventanas [m ²] | % de ventanas respecto a muro | Transmitancia térmica [W/m ² K] |
| Vidrio simple con marco de aluminio | 51 | 307,9 | 19,2% | 5,7 |

Tabla 17. Resumen de ventanas en el colegio (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Se realizó una descripción de los elementos constructivos de muros y techumbre del colegio, incluyendo descripción de los materiales y su transmitancia, la cual al ser comparada con lo establecido en el art. 4.1.10 de la OGUC se observa que solo cumple en la techumbre.

| | MUROS | | | |
|-----------|---|---|---|------------------------------|
| | Superficie ³ [m ²] | Transmitancia térmica actual [W/m ² K] | Transmitancia térmica máxima [W/m ² K] | Cumplimiento del Art. 4.1.10 |
| Muros | 1.298,8 | 2,049 | 0,80 | No cumple |
| Ventanas | 307,9 | 5,7 | 3,60 | No cumple |
| Techumbre | 1.271,0 | 0,431 | 0,47 | Cumple |

Tabla 18. Comparativa de la transmitancia actual y la exigida por la OGUC (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

En base a estos resultados, se presentan propuestas de mejoras constructivas, ya sea recambio de elementos o incorporación de aislación térmica con tal de dar cumplimiento a la OGUC y así, mejorar el confort ambiental. Se propone la instalación de aislante térmico en muros, el recambio de ventanas por vidrios doble herméticos de alto desempeño térmico y la renovación de aislación en la techumbre del establecimiento.

Propuestas de mejoramientos

Muros: Incorporación de aislación térmica en muros según Ficha PDA M1 (Adhesivo E.I.F.S., Poliuretano expandido e=80mm d=15Kg/m³, Malla fibra de vidrio estándar, Estuco elastomérico y Pasta texturizada con color). Se instalará para toda la superficie de muros verticales opacos exteriores la incorporación de solución de aislante térmico conocido genéricamente como EIFS (*Exterior Insulation and Finish System*) o SATE (*Sistema de Aislación exterior con Acabado*).

Se deberán considerar las siguientes modificaciones y adiciones a la información indicada en la Ficha PDA M1:

- En aquellos muros de tabique se deberá aplicar la solución de la ficha PDA M1 sobre la terminación exterior (fibrocemento).
- En aquellos muros de hormigón se deberá aplicar la solución de la ficha PDA M1, considerando las mismas indicaciones que sobre albañilería.
- Modificación del espesor del aislante de EPS de 80mm a 60mm.
- Modificación de la densidad del EPS de 15kg/m³ a 20kg/m³.
- Todos los alfeizar deberán tener una pendiente igual o superior a 15%

La solución de aislante térmico exterior conocido genéricamente como EIFS o SATE, deberá cumplir con las siguientes indicaciones:

- Deberá asegurar una transmitancia térmica igual o menor a $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, la cual deberá ser calculada según lo indicado en la NCh853:2007
- Se deberá calcular el riesgo de condensación superficial e intersticial de la solución propuesta, la cual deberá presentar un riesgo igual o inferior al del elemento constructivo sin la solución. La acreditación se deberá realizar según lo indicado en la NCh1973:2014 o con la planilla de cálculo de condensación del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- La terminación de la solución deberá ser resistente a impactos e impermeable.
- La solución constructiva no debe poseer puentes térmicos.

Techumbre: Reposición de aislación térmica en techumbre Ficha PDA T1, (aislación térmica mixta, consistente en una primera capa de lana de fibra de vidrio de 100mm de espesor y densidad $12,5\text{Kg/m}^3$, con papel en una cara, ubicada directamente por debajo del cielo inclinado con la lámina de papel hacia abajo, para afianzar los rollos de colchoneta con cinta adhesiva, a ambos lados de los tijerales. A continuación se incorpora una segunda capa de aislación en base a una capa continua de poliestireno expandido de 30mm de espesor y 15kg/m^3 de densidad). Se instalará para toda la superficie de techumbre el reemplazo de aislante térmico en el entretecho considerando para su instalación los detalles constructivos, terminaciones y procedimientos indicados en la Ficha PDA T1.

Se deben considerar las siguientes modificaciones y adiciones a la información indicada en la Ficha PDA T1:

- El espesor de la primera capa de aislante térmico, el cual corresponde a lana de fibra de vidrio con papel en una cara, debe ser 60mm y no 100mm.
- La instalación de ambas capas de aislante térmico en techumbre deberá quedar inmóvil, para lo cual se deberá instalar un sistema que impida el movimiento de la aislación por efectos de viento o manipulación indebida (Pj: Malla hexagonal galvanizada de 3/4" sobre aislante térmico).

Ventanas: Ventanas de corredera/fijas y proyectantes/fijas con protección solar. Se realizará el recambio de todas las ventanas por ventanas con las siguientes características:

- Marco de PVC con transmitancia térmica igual o inferior a $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y tratamiento contra radiación solar UV.
- Vidrio doble hermético laminado 3.3/12/6e con transmitancia térmica igual o inferior a $1,8\text{W/m}^2\text{K}$, factor solar inferior a 0,65 y transmisión lumínica superior a 65%.
- Sello compatible con la unión del marco de PVC con vano. Sello debe ser resistente a la radiación UV.

Observamos en este ejercicio, un análisis de toda la envolvente del Aula (Techumbre, muros y ventanas), con relevancia en la aislación térmica. Las soluciones constructivas propuestas para la rehabilitación energética, son genéricas y basadas en fichas entregadas por MINVU. Solamente reparando en el análisis higrotérmico.

7.6 Análisis de caso.



Imagen 2: Emplazamiento de escuelas elegidas por su materialidad de envolvente, comuna de Coquimbo (Fuente: Google earth, 2019).

7.6.1 Caso 1: Escuela Coquimbo

Ubicación: Bilbao #115, borde costero de la comuna, enfrentando el océano pacífico, sector Puerto. Cabe mencionar que la Escuela Coquimbo fue afectada por el tsunami del 16 de septiembre 2015.

Descripción de la tipología actual: Muros de hormigón armado H25, espesor 26cm, sin aislante térmico, de una altura de antepecho 1,10mts en salas de clases.



Imagen 3: Emplazamiento del establecimiento educacional, Escuela Coquimbo (Fuente: Google earth, 2019).



Imagen 4: Patio pre básica, fachada exterior e interior de aula (Fuente: Imagen propia, 2019).



Figura 7: Solución constructiva existente, materialidad muro de aula, escuela Coquimbo (Fuente: Levantamiento planimétrico).

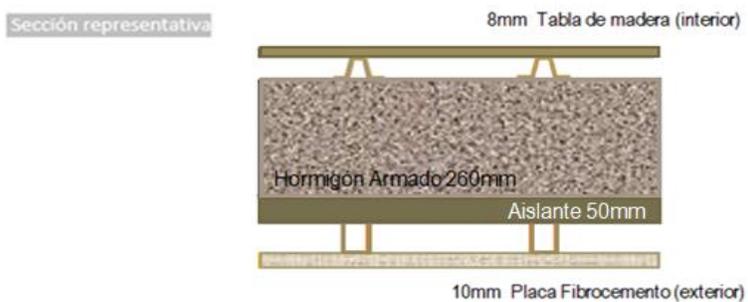


Figura 8: Solución constructiva mejorada, materialidad muro de aula, escuela Coquimbo (Fuente: Elaboración propia).

7.6.1.1 Desarrollo y resultado evaluaciones térmicas

7.6.1.1.1 Transmitancia térmica Muro existente:



Figura 9: Esquema de flujo térmico muro H.A. en envolvente constructiva existente (Fuente: Elab. propia).

| MURO EXISTENTE - Caso 1 | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|------------------------|--------------------------|
| Flujo único | | | | |
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
| Hormigon armado | 260mm | 1,63W/mK | 2400 Kg/m ³ | 0,16m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 0,33m ² K/W |
| Transmitancia termica(U) | | | | 3W/m²K |

Muro de Hormigón Armado sin aislante

3 W/m²K

Tabla 19: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Hormigón Armado existente (Elab. Propia según NCh853:2007).

De este análisis se desprende que el valor U recogido, para la envolvente de Hormigón Armado existente en el establecimiento educacional, no logra lo solicitado por los TDR e MOP DA y de ningún modo alcanzaría los 0,8W/m²K de la NTM 011, cuya solicitud es más exigente. Por lo tanto su aporte al confort térmico del Aula es insuficiente.

7.6.1.1.2 Transmitancia térmica Muro propuesto:

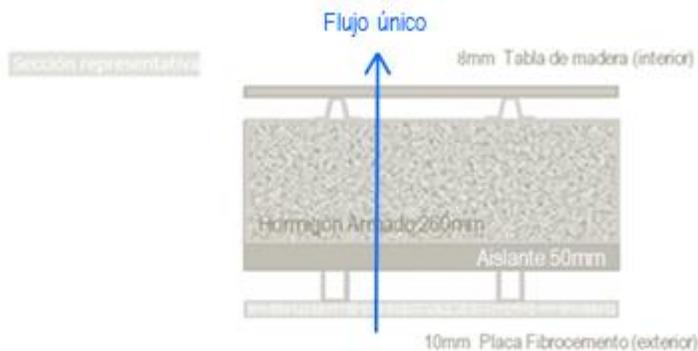


Figura 10: Esquema de flujo térmico muro H.A. en envolvente constructiva mejorada (Fuente: Elab. propia).

Aislación incorporada – Losa de Corcho 50mm

| MURO PROPUESTO - Caso 1 | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|------------------------|-------------------------|
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
| Hormigon armado | 260mm | 1,63W/mK | 2400 Kg/m ³ | 0,16 m ² K/W |
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m ³ | 0,08 m ² K/W |
| Losa de corcho | 50mm | 0,043 W/mK | 115 Kg/m ³ | 1,16 m ² K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,22 W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,05 m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12 m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05 m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 1,62 m ² K/W |
| Transmitancia termica(U) | | | | 0.62W/m ² K |

Aislante Losa de Corcho Aglomerado

0,62 W/m²K

Aislación incorporada – Celulosa proyectada 50mm

| MURO PROPUESTO - Caso 1 | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|------------------------|-------------------------|
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
| Hormigon armado | 260mm | 1,63W/mK | 2400 Kg/m ³ | 0,16 m ² K/W |
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m ³ | 0,08 m ² K/W |
| Celulosa proyectada | 50mm | 0,040 W/mK | 50 Kg/m ³ | 1,25 m ² K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,22 W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,05 m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12 m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05 m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 1,71 m ² K/W |
| Transmitancia termica(U) | | | | 0.58W/m ² K |

Aislante Celulosa proyectada

0,58 W/m²K

Aislación incorporada – Lana de Roca 50mm

| MURO PROPUESTO - Caso 1 | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|------------------------|-------------------------|
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
| Hormigon armado | 260mm | 1,63W/mK | 2400 Kg/m ³ | 0,16 m ² K/W |
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m ³ | 0,08 m ² K/W |
| Lana de Roca | 50mm | 0,036 W/mK | 40 Kg/m ³ | 1,39 m ² K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,22 W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,05 m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12 m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05 m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 1,85 m ² K/W |
| Transmitancia termica(U) | | | | 0.54W/m ² K |

Aislante Lana de Roca

0,54 W/m²K

Tabla 20: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Hormigón Armado mejorado (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

7.6.1.2 Desarrollo y resultado evaluaciones HC

7.6.1.2.1 Huella de Carbono Muro existente:

Para realizar el cálculo de la Huella de Carbono generada en la etapa de Extracción - Fabricación utilizaremos la fórmula, $HC = (\sum_i C_{mi} * Fe_i) (1-0,28)/Ab$ donde se incluirán los siguientes aspectos:

- Ab, factor de absorción de bosques, 3.59 tCO₂/ha.
- Cm, consumo del material, Kg.
- Fei, factor de emisión del material KgCO₂/Kg.
- Reducción de emisiones por absorción de los océanos, 28%

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 1, Muro Hormigón Armado existente.

Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso evaluado Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|---------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Hormigón Armado H25 | 0.2600 | 2400 | 624.00 | 0.11 | 68.64 |

| | | |
|--------------|-----|--------------|
| Sumas | 624 | 68.64 |
|--------------|-----|--------------|

HC= $(\sum_i C_{mi} * Fe_i) (1-0,28)/Ab$: **0.014 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= $\sum_i ((P_{mi}/V_{cam}) * D_m) * C_{cam} * E_g$

| | | | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------|--|--|---------------------------------|
| P_{mi} | Peso materiales | T | | | 0.6240 (t) |
| V_{cam} | Capacidad maxima camion | T | | | 24 (t) |
| D_m | Distancia media total | Km | | | 20 (Km) |
| C_{cam} | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 (l/100 km) |
| E_g | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 |
| HC Transporte | | | | | 0.03515 t CO₂ |

| | |
|---|--|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.014 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.035 |
| Huella de Carbono Total | 0.049 TonCO₂/m² |

Tabla 21: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018. Herramienta para la estimación de costes económicos y ambientales en el Ciclo de Vida de edificios residenciales. Fase de Construcción).

7.6.1.2.2 Huella de Carbono Muro propuesto:

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 1, Muro Hormigón Armado con fachada ventilada, aislación Losa de Corcho.

Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso evaluado Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Hormigón Armado H25 | 0.2600 | 2400 | 624.00 | 0.11 | 68.64 |
| Tabla de madera | 0.0080 | 410 | 3.28 | 0.31 | 1.02 |
| Losa de Corcho | 0.0500 | 115 | 5.75 | -5.81 | -33.41 |
| Placa de Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |

| | | |
|--------------|--------|--------------|
| Sumas | 642.23 | 40.67 |
|--------------|--------|--------------|

$$HC = (\sum_i C_{mi} * Fe_i) (1-0,28)/Ab : \mathbf{0.008 \text{ TonCO}_2/m^2}$$

FASE CONSTRUCCIÓN

$$HC = \sum_i ((P_{mi}/V_{cam}) * D_m) * C_{cam} * E_g$$

| | | | | | | |
|------------------------|---------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| P_{mi} | Peso materiales | T | | | 0.6370 | (t) |
| V_{cam} | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| D_m | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| C_{cam} | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| E_g | Factor Emisión del gasoil | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.03588 | t CO₂ |

| | | | | | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| P_{mi} | Peso Losa de Corcho | T | | | 0.0050 | (t) |
| V_{cam} | Capacidad maxima container | T | | | 3.80 | (t) |
| D_m | Distancia media total | Km | | | 10000 | (Km) |
| C_{cam} | Consumo medio Diesel | l/100 km | | | 29 | (l/100 km) |
| E_g | Factor Emisión del Diesel | tCO ₂ /l | | | 0.0029 | tCO ₂ /l |
| | N° Barcos | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 1.10658 | t CO₂ |

| | |
|---|---|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.008 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 1.142 |
| Huella de Carbono Total | 1.150 TonCO ₂ /m ² |

Tabla 22: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente con aislación de Losa de corcho. (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018)

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 1, Muro Hormigón Armado con fachada ventilada, aislación Celulosa proyectada.
Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso evaluado Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Hormigón Armado H25 | 0.2600 | 2400 | 624.00 | 0.11 | 68.64 |
| Tabla de madera | 0.0080 | 410 | 3.28 | 0.31 | 1.02 |
| Celulosa proyectada | 0.0500 | 50 | 2.50 | 0.36 | 0.90 |
| Placa de Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |

| | | |
|--------------|--------|--------------|
| Sumas | 638.98 | 74.97 |
|--------------|--------|--------------|

HC= (∑i Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.015 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= ∑i ((Pmi/Vcam)*Dm)*Ccam*Eg

| | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|---------------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.6390 (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 tCO ₂ /l |
| | Nº camiones | u | | | 1.00 |
| HC Transporte | | | | | 0.03600 t CO₂ |

| | |
|---|--|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.015 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.036 |
| Huella de Carbono Total | 0.051 TonCO₂/m² |

Tabla 23: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente con aislación de Celulosa proyectada (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018)

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 1, Muro Hormigón Armado con fachada ventilada, aislación Lana de Roca.

Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso evaluado Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Hormigón Armado H25 | 0.2600 | 2400 | 624.00 | 0.11 | 68.64 |
| Tabla de madera | 0.0080 | 410 | 3.28 | 0.31 | 1.02 |
| Lana de roca | 0.0500 | 40 | 2.00 | 1.04 | 2.08 |
| Placa de Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |

| | | |
|--------------|--------|--------------|
| Sumas | 638.48 | 76.15 |
|--------------|--------|--------------|

HC= (∑i Cmi * Fei) (1-0,28) /Ab: **0.015 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

$$HC = \sum_i ((P_{mi}/V_{cam}) * D_m) * C_{cam} * E_g$$

| | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| P_{mi} | Peso materiales | T | | | 0.6360 | (t) |
| V_{cam} | Capacidad máxima camion | T | | | 24 | (t) |
| D_m | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| C_{cam} | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| E_g | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.03583 | t CO₂ |

| | | | | | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| P_{mi} | Peso materiales | T | | | 0.0020 | (t) |
| V_{cam} | Capacidad máxima container | T | | | 3.80 | (t) |
| D_m | Distancia media total | Km | | | 11754 | (Km) |
| C_{cam} | Consumo medio Diesel | l/100 km | | | 29 | (l/100 km) |
| E_g | Factor Emisión del Diesel | tCO ₂ /l | | | 0.0029 | tCO ₂ /l |
| | N° Barcos | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.52027 | t CO₂ |

| | |
|---|--------------|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.015 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.556 |
| Huella de Carbono Total | 0.571 |

TonCO₂/m²

Tabla 24: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente con aislación de Lana de Roca (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

7.6.2 Caso 2: Escuela Mario Muñoz Silva

Ubicación: Miraflores 750, sector que enfrenta el humedal El Culebrón, zona protegida.

Descripción de la tipología actual: Muros de 9cm conformados por pilares de estructura de acero, la materialidad entre pilares presenta una envolvente compuesta por:

- Fibrocemento 7mm por el exterior
- Yeso cartón 10mm por el interior
- Sin aislación térmica
- Tabiquería de madera de estructura 2" x 3" cada 60cm.



Imagen 5: Emplazamiento establecimiento educacional, Escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Google earth, 2019)



Imagen 6: Fachadas de aulas del establecimiento educacional (Fuente: Imagen propia, 2019).

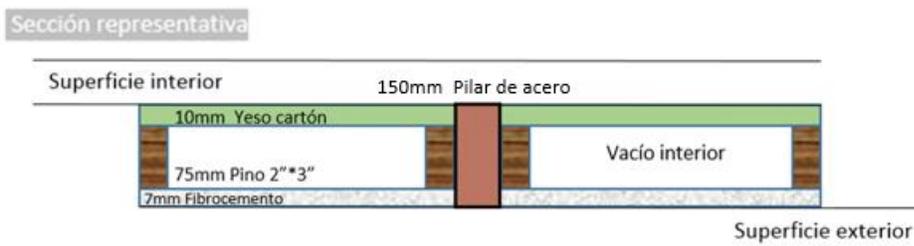


Figura 11: Solución constructiva existente, materialidad muro de aula, escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Elab. Propia).

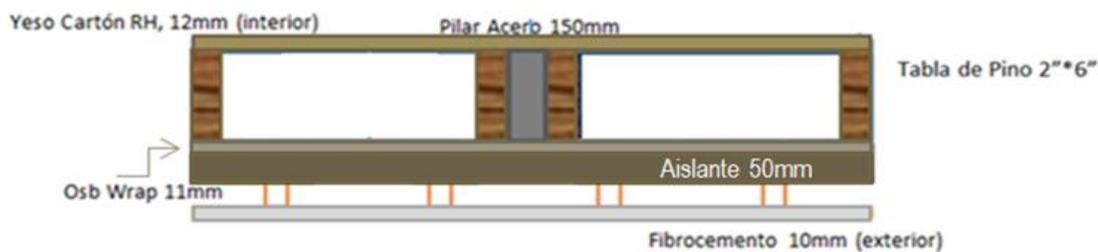


Figura 12: Solución constructiva mejorada, materialidad muro de aula, escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Elab. propia).

7.6.2.1 Desarrollo y resultado evaluaciones térmicas

7.6.2.1.1 Transmitancia térmica Muro existente:

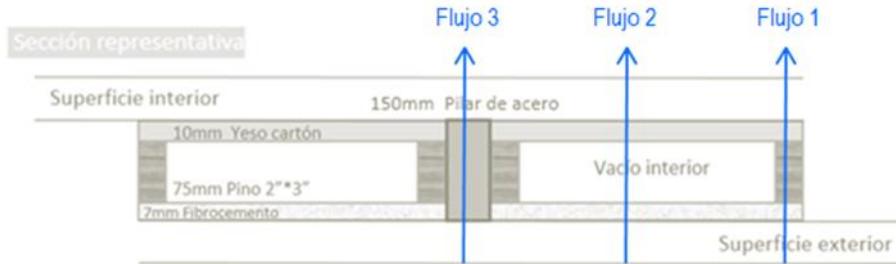
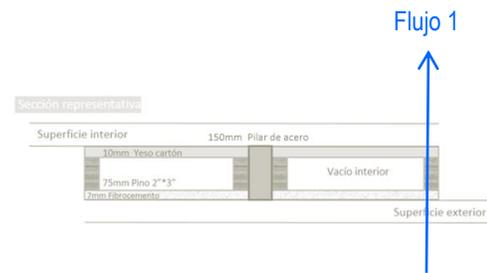
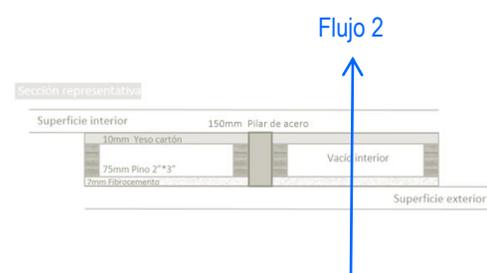


Figura 13: Flujo térmico muro Estructura de acero con tabiquería de madera por zona de envolvente (Fuente: Elab. propia).

| MURO EXISTENTE - Caso 2 | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Flujo 1 | | | | |
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia térmica(Rt) |
| Madera Pino 2" * 3" | 750mm | 0,104W/mK | 410 Kg/m ³ | 0,72m ² K/W |
| Fibrocemento | 7mm | 0,22W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,032m ² K/W |
| Yeso cartón | 10mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,042m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 0,96m ² K/W |
| Transmitancia térmica(U) | | | | |
| Participación en área del muro (10%) | | | | 1,042W/m ² K |

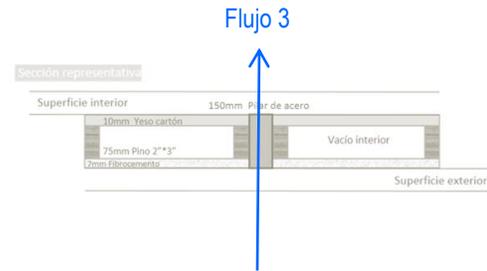


| Flujo 2 | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia térmica(Rt) |
| Cámara de aire no ventilada | 750mm | | | 0,165m ² K/W |
| Fibrocemento | 7mm | 0,22W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,032m ² K/W |
| Yeso cartón | 10mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,042m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 0,409m ² K/W |
| Transmitancia térmica(U) | | | | |
| Participación en área del muro (80%) | | | | 2,44W/m ² K |



Flujo 3

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|--------------------------------------|---|---------------|------------------------|-------------------------|
| Acero | 150mm | 58W/mK | 7850 Kg/m ³ | 0,003m ² K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05m ² K/W |
| (Rt) Total | | | | 0,173m ² K/W |
| Transmitancia termica(U) | | | | |
| Participación en área del muro (10%) | | | | 5,81W/m ² K |



Estructura de acero con tabiquería de madera

2,64 W/m²K

FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Flujo 1 | 1,042W/m ² K | 10% | 0,104W/m ² K |
| Flujo 2 | 2,44W/m ² K | 80% | 1,952W/m ² K |
| Flujo 3 | 5,81W/m ² K | 10% | 0,581W/m ² K |
| Participación total | | 100% | |

Ū ponderado total
2,637W/m²K

Tabla 25: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera existente (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Se utiliza la Norma Ch. 853/2007 de análisis de transmitancia térmica de viviendas en Chile. Respecto de la utilización de dicho cálculo se observa que los valores U recogidos en la solución existente en el establecimiento educacional no alcanza lo solicitado por la normativa actual y menos por la NTM 011, cuyas solicitudes son más exigentes. Por lo tanto su aporte al confort térmico del Aula es insuficiente.

7.6.2.1.2 Transmitancia térmica muro propuesto

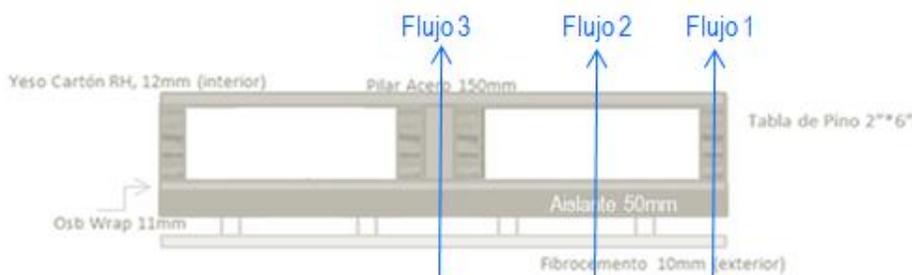


Figura 14: Flujo térmico Estructura de acero con tabiquería de madera en envolvente constructiva mejorada (Fuente: Elab. propia).

Aislación incorporada – Losa de Corcho 50mm

MURO PROPUESTO - Caso 2

Flujo 1

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-------------------|---------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Madera Pino 2"*6" | 150mm | 0,104W/mK | 410 Kg/m ³ | 1,44m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Losa de Corcho | 50mm | 0,043W/mK | 115 Kg/m ³ | 1,16m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |

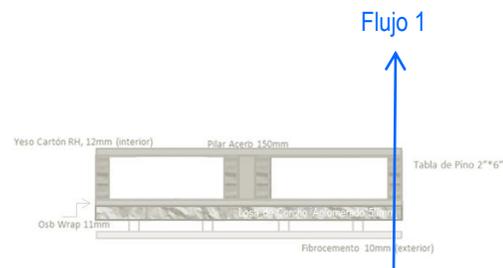
Rsi Flujo horizontal - vertical - al interior 0,12m²K/W

Rse Flujo horizontal - vertical - al exterior 0,05m²K/W

(Rt) Total 2,87m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (10%) 0,35W/m²K



Flujo 2

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-----------------------------|---------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Cámara de aire no ventilada | 150mm | | | 0,165m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Losa de Corcho | 50mm | 0,043W/mK | 115 Kg/m ³ | 1,16m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |

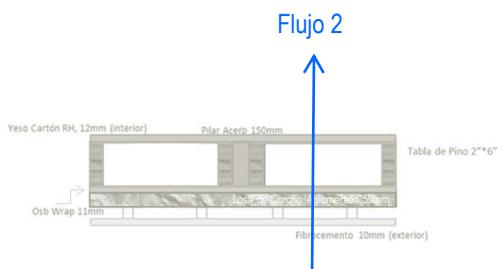
Rsi Flujo horizontal - vertical - al interior 0,12m²K/W

Rse Flujo horizontal - vertical - al exterior 0,05m²K/W

(Rt) Total 1,593m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (83%) 0,63W/m²K



Flujo 3

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Acero | 150mm | 58W/mK | 7850 Kg/m ³ | 0,003m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |
| Losa de Corcho | 50mm | 0,043W/mK | 115 Kg/m ³ | 1,16m ² K/W |

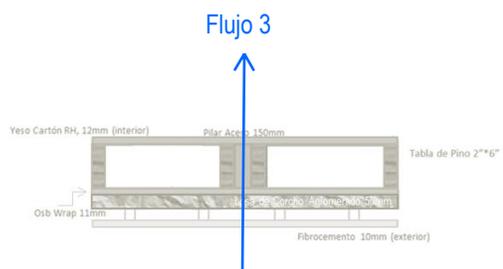
Rsi Flujo horizontal - vertical - al interior 0,12m²K/W

Rse Flujo horizontal - vertical - al exterior 0,05m²K/W

(Rt) Total 1,431m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (7%) 0,70W/m²K



FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| Flujo 1 | 0,35W/m²K | 10% | 0,035W/m²K |
| Flujo 2 | 0,63W/m²K | 83% | 0,522W/m²K |
| Flujo 3 | 0,70W/m²K | 7% | 0,049W/m²K |
| Participación total | | 100% | |

Aislante Losa de corcho aglomerado

0,61 W/m²K

Ū ponderado total
0,61W/m²K

Tabla 26: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante de Losa de corcho (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

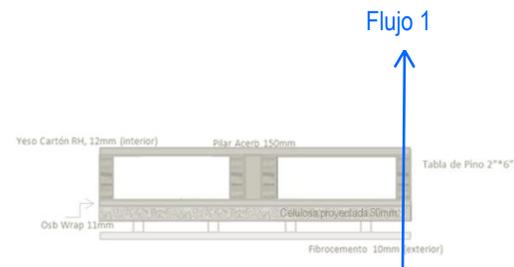
Aislación incorporada – Celulosa proyectada 50mm

MURO PROPUESTO - Caso 2

Flujo 1

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|---------------------|---|---------------|---------------------------------|-------------------------|
| Madera Pino 2" *6" | 150mm | 0,104W/mK | 410 Kg/m³ | 1,44m²K/W |
| Osب Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m³ | 0,048m²K/W |
| Celulosa proyectada | 50mm | 0,040 W/mK | 50 Kg/m³ | 1,25m²K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m³ | 0,05m²K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12m²K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05m²K/W |
| | | | (Rt) Total | 2,96m²K/W |
| | | | Transmitancia termica(U) | 0,34W/m²K |

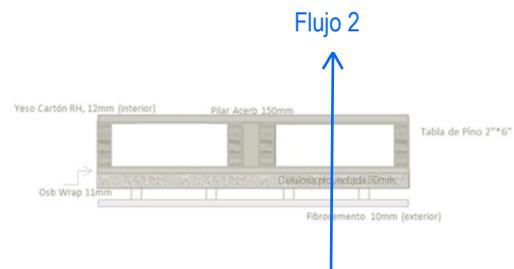
Participación de área del muro (10%)



Flujo 2

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-----------------------------|---|---------------|---------------------------------|-------------------------|
| Cámara de aire no ventilada | 150mm | | | 0,165m²K/W |
| Osب Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m³ | 0,048m²K/W |
| Celulosa proyectada | 50mm | 0,040 W/mK | 50 Kg/m³ | 1,25m²K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m³ | 0,05m²K/W |
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | | | 0,12m²K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | | | 0,05m²K/W |
| | | | (Rt) Total | 1,68m²K/W |
| | | | Transmitancia termica(U) | 0,60W/m²K |

Participación de área del muro (83%)



Flujo 3

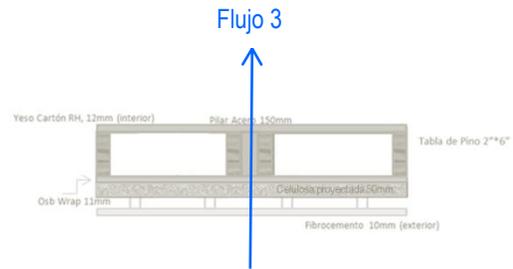
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|---------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Acero | 150mm | 58W/mK | 7850 Kg/m ³ | 0,003m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |
| Celulosa proyectada | 50mm | 0,040 W/mK | 50 Kg/m ³ | 1,25m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 1,52m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación de área del muro (7%) 0,66W/m²K



FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Flujo 1 | 0,34W/m ² K | 10% | 0,034W/m ² K |
| Flujo 2 | 0,60W/m ² K | 83% | 0,498W/m ² K |
| Flujo 3 | 0,66W/m ² K | 7% | 0,046W/m ² K |
| Participación total | | 100% | |

Ū ponderado total

0,58W/m²K

Aislante Celulosa proyectada

0,58 W/m²K

Tabla 27: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante de Celulosa proyectada (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Aislación incorporada – Lana de Roca 50mm

MURO PROPUESTO - Caso 2

Flujo 1

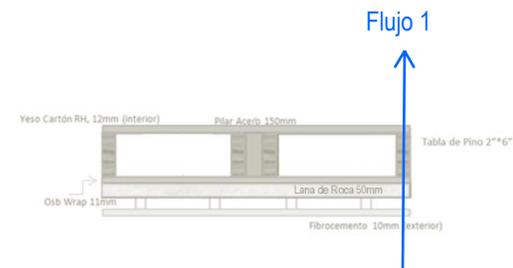
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|---------------------|---------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Madera Pino 2''*6'' | 150mm | 0,104W/mK | 410 Kg/m ³ | 1,44m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Lana de Roca | 50mm | 0,036 W/mK | 40 Kg/m ³ | 1,39m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 3,098m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (10%) 0,32W/m²K



Flujo 2

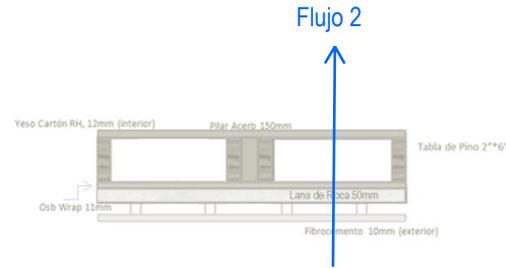
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-----------------------------|---------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| Cámara de aire no ventilada | 150mm | | | 0,165m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Lana de Roca | 50mm | 0,036 W/mK | 40 Kg/m ³ | 1,39m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 1,823m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (83%) 0,55W/m²K



Flujo 3

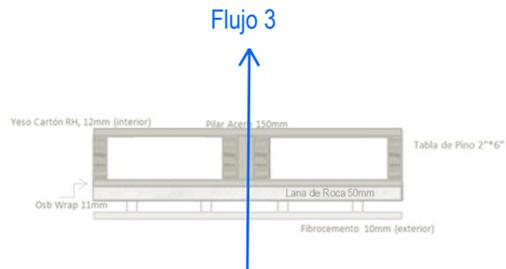
| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Acero | 150mm | 58W/mK | 7850 Kg/m ³ | 0,003m ² K/W |
| Osb Wrap | 11mm | 0,23W/mK | 850 Kg/m ³ | 0,048m ² K/W |
| Yeso cartón RH | 12mm | 0,24W/mK | 650 Kg/m ³ | 0,05m ² K/W |
| Lana de Roca | 50mm | 0,036 W/mK | 40 Kg/m ³ | 1,39m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 1,661m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (7%) 0,61W/m²K



FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Flujo 1 | 0,32W/m ² K | 10% | 0,032W/m ² K |
| Flujo 2 | 0,55W/m ² K | 83% | 0,457W/m ² K |
| Flujo 3 | 0,61W/m ² K | 7% | 0,043W/m ² K |
| Participación total | | 100% | |

Aislante Lana de Roca

0,53 W/m²K

Ū ponderado total
0,532W/m²K

Tabla 28: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante Lana de roca (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

7.6.2.2 Desarrollo y resultado evaluaciones HC

7.6.2.2.1 Huella de Carbono Muro existente:

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 2, Muro existente de Estructura mixta (Acero-entramado madera)

Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Fibrocemento | 0.0070 | 920 | 6.44 | 0.48 | 3.09 |
| Madera de Pino 2"*3" | 0.0075 | 410 | 3.08 | 0.24 | 0.74 |
| Perfil de Acero | 0.0110 | 7500 | 82.50 | 1.34 | 110.88 |
| Yeso Cartón | 0.0100 | 650 | 6.50 | 0.38 | 2.47 |

| | | |
|--------------|--------------|---------------|
| Sumas | 98.52 | 117.18 |
|--------------|--------------|---------------|

HC= (∑i Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.024 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= ∑i ((Pmi/Vcam)*Dm)*Ccam*Eg

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.0985 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | Nº camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.00555 | t CO₂ |

| | |
|---|--------------|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.024 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.006 |
| Huella de Carbono Total | 0.030 |

TonCO₂/m²

Tabla 29: Cálculo de Huella de Carbono en Muro existente de Estructura de acero con tabiquería de madera (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

7.6.2.2.2 Huella de Carbono Muro propuesto:

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 2, Estructura mixta con incorporación de fachada ventilada + aislante corcho aglomerado
Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |
| Madera de Pino 2"*6" | 0.0150 | 410 | 6.15 | 0.31 | 1.91 |
| Osب Wrap | 0.0110 | 850 | 9.35 | 1.40 | 13.09 |
| Losa de Corcho | 0.0500 | 115 | 5.75 | -5.81 | -33.41 |
| Perfil de Acero | 0.0110 | 7500 | 82.50 | 2.80 | 231.00 |
| Yeso Cartón RH | 0.0120 | 650 | 7.80 | 0.38 | 2.96 |

| | | |
|--------------|---------------|---------------|
| Sumas | 120.75 | 219.97 |
|--------------|---------------|---------------|

HC= (∑i Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.044 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= ∑i ((Pmi/Vcam)*Dm)*Ccam*Eg

SUSTENTABILIDAD EN LA ENVOLVENTE DE ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES
IMPACTO AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN ESCOLAR - MATERIALES Y HUELLA DE CARBONO

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.1150 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.00648 | t CO₂ |

| | | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso Losa de Corcho | T | | | 0.0050 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima container | T | | | 3.80 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 10000 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio Diesel | l/100 km | | | 29 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión del Diesel | tCO ₂ /l | | | 0.0029 | tCO ₂ /l |
| | N° Barcos | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 1.10658 | t CO₂ |

| | |
|---|--------------|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.044 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 1.113 |
| Huella de Carbono Total | 1.157 |

TonCO₂/m²

Tabla 30: Cálculo de Huella de Carbono en Muro mejorado de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante Losa de corcho (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 2, Estructura mixta con incorporación de fachada ventilada + aislante celulosa proyectada
Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |
| Madera de Pino 2"*6" | 0.0150 | 410 | 6.15 | 0.31 | 1.91 |
| Osب Wrap | 0.0110 | 850 | 9.35 | 1.40 | 13.09 |
| Celulosa proyectada | 0.0500 | 50 | 2.50 | 0.36 | 0.90 |
| Perfil de Acero | 0.0110 | 7500 | 82.50 | 2.80 | 231.00 |
| Yeso Cartón RH | 0.0120 | 650 | 7.80 | 0.38 | 2.96 |

| | | |
|--------------|---------------|---------------|
| Sumas | 117.50 | 254.28 |
|--------------|---------------|---------------|

$$HC = (\sum_i C_{mi} * Fe_i) (1-0,28)/Ab: \mathbf{0.051 \text{ TonCO}_2/\text{m}^2}$$

FASE CONSTRUCCIÓN

$$HC = \sum_i ((P_{mi}/V_{cam}) * D_m) * C_{cam} * E_g$$

| | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|--|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.1180 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.00665 | t CO₂ |
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | | | | | 0.051 | |
| Huella Carbono Fase de Construcción | | | | | 0.007 | |
| Huella de Carbono Total | | | | | 0.058 | TonCO₂/m² |

Tabla 31: Cálculo de Huella de Carbono en Muro mejorado de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante Celulosa proyectada (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 2, Estructura mixta con incorporación de fachada ventilada + aislante Lana de Roca
Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Material | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|----------------------|--------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------------|---|
| Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |
| Madera de Pino 2"*6" | 0.0150 | 410 | 6.15 | 0.31 | 1.91 |
| Osb Wrap | 0.0110 | 850 | 9.35 | 1.40 | 13.09 |
| Lana de roca | 0.0500 | 40 | 2.00 | 1.04 | 2.08 |
| Perfil de Acero | 0.0110 | 7500 | 82.50 | 2.80 | 231.00 |
| Yeso Cartón RH | 0.0120 | 650 | 7.80 | 0.38 | 2.96 |
| Sumas | | | | 117.00 | 255.46 |

HC= (Σi Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.051 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= Σi ((Pmi/Vcam)*Dm)*Ccam*Eg

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.1150 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.00648 | t CO₂ |

| | | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.0020 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima container | T | | | 3.80 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 11,754 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio Diesel | l/100 km | | | 29 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión del Diesel | tCO ₂ /l | | | 0.0029 | tCO ₂ /l |
| | N° Barcos | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.52027 | t CO₂ |

| | |
|---|---|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.051 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.527 |
| Huella de Carbono Total | 0.578 TonCO ₂ /m ² |

Tabla 32: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera mejorada y aislante Lana de roca (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

7.6.3 Caso 3: Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

Ubicación: Los Clarines 1871, sector Sindempart, zona urbana de crecimiento residencial.

Descripción de la tipología: Edificio de 3 pisos; Muros conformados de estructura de albañilería reforzada, ladrillo tipología Santiago Te 9, espesor 15.4cm, sin aislante térmico, de una altura de antepecho 1,20mts en salas de clases, por el lado exterior.



Imagen 7: Emplazamiento de Liceo San José Maria Escrivá de Balaguer (Fuente: Google earth, 2019).



Imagen 8: Fachadas del establecimiento educacional (Fuente: imagen propia, 2019).

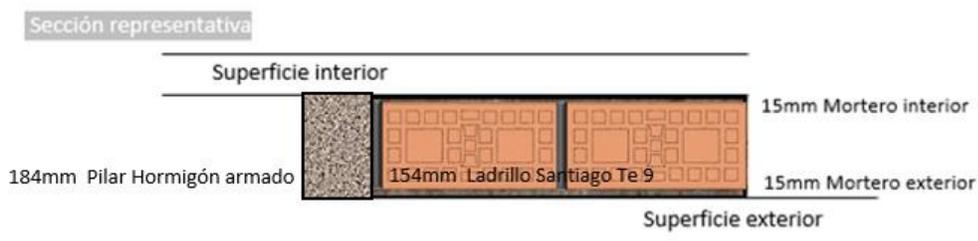


Figura 15: Solución constructiva existente, materialidad muro de aula, Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Levantamiento planimétrico).

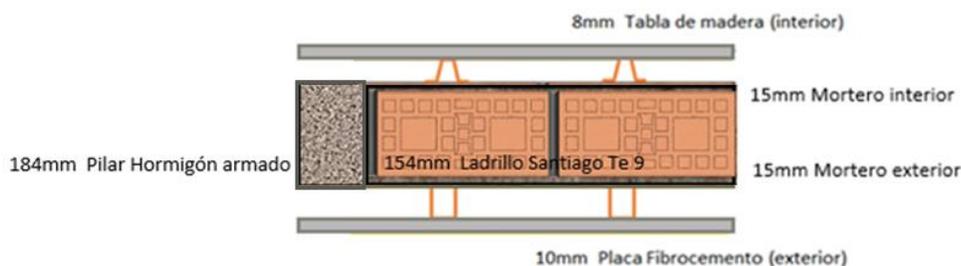


Figura 16: Solución constructiva mejorada, materialidad muro de aula, Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Elab. propia).

7.6.3.1 Desarrollo y resultado evaluaciones térmicas

7.6.3.1.1 Transmitancia térmica Muro existente



Figura 17: Flujo térmico muro Albañilería reforzada por zona de envolvente constructiva (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

MURO EXISTENTE - Caso 3

Flujo 1

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-------------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Albañilería de ladrillo | 154mm | 0,46 W/mK | 1000 Kg/m ³ | 0,33 m ² K/W |
| Mortero de cemento | 15mm | 1,40 W/mK | 2000 Kg/m ³ | 0,01 m ² K/W |
| Mortero de cemento | 15mm | 1,40 W/mK | 2000 Kg/m ³ | 0,01 m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 0,52m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (81%) 1,92W/m²K

Flujo 2

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|--------------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Pilar de hormigón armado | 184mm | 1,63W/mK | 2400 Kg/m ³ | 0,11m ² K/W |
| Mortero de cemento | 15mm | 1,40 W/mK | 2000 Kg/m ³ | 0,01m ² K/W |
| Mortero de cemento | 15mm | 1,40 W/mK | 2000 Kg/m ³ | 0,01m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 0,30m²K/W

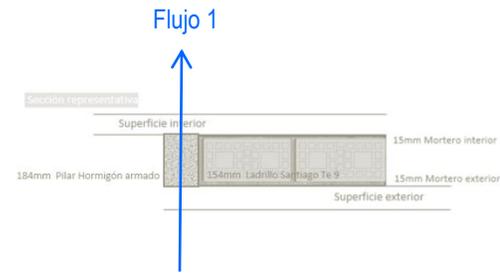
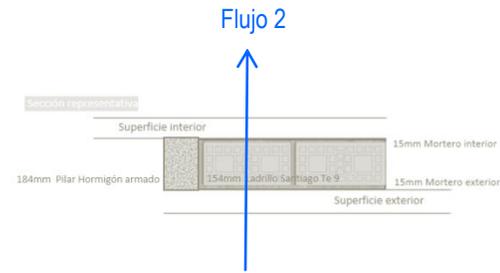
Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (19%) 3,33W/m²K

FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Flujo 1 | 1,92W/m ² K | 81% | 1,56W/m ² K |
| Flujo 2 | 3,33W/m ² K | 19% | 0,63W/m ² K |
| Participación total | | 100% | |

Ū ponderado total
2,19W/m²K



**Muro Albañilería reforzada
sin aislación
2,19 W/m²K**

Tabla 33: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada existente (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

7.6.3.1.2 Transmitancia térmica Muro propuesto



Figura 18: Flujo térmico muro Albañilería reforzada en envolvente constructiva mejorada (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Aislación incorporada – Losa de Corcho 50mm

MURO EXISTENTE - Caso 3

Flujo 1

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-------------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m ³ | 0,08 m ² K/W |
| Albañilería de ladrillo | 154mm | 0,460 W/mK | 1000 Kg/m ³ | 0,33 m ² K/W |
| Losa de corcho | 50mm | 0,043 W/mK | 115 Kg/m ³ | 1,16 m ² K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,220 W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,05 m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 1,66m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (81%) 0,60W/m²K



Flujo 2

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|--------------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Pilar de hormigón armado | 184mm | 1,630W/mK | 2400 Kg/m ³ | 0,11 m ² K/W |
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m ³ | 0,08 m ² K/W |
| Losa de corcho | 50mm | 0,043 W/mK | 115 Kg/m ³ | 1,16 m ² K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,220 W/mK | 920 Kg/m ³ | 0,05 m ² K/W |

| | | |
|-----|---|------------------------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m ² K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m ² K/W |

(Rt) Total 1,44m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (19%) 0,69W/m²K



FLUJO TOTAL

| | Transmitancia térmica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| Flujo 1 | 0,60W/m²K | 81% | 0,49W/m²K |
| Flujo 2 | 0,69W/m²K | 19% | 0,13W/m²K |
| Participación total | | 100% | |

Aislante Losa de Corcho

0,62 W/m²K

Ū ponderado total
0,62W/m²K

Tabla 34: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Losa de corcho (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Aislación incorporada – Celulosa proyectada 50mm

MURO EXISTENTE - Caso 3

Flujo 1

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia térmica(Rt) |
|-------------------------|---------|---------------|------------|-------------------------|
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m³ | 0,08 m²K/W |
| Albañilería de ladrillo | 154mm | 0,460 W/mK | 1000 Kg/m³ | 0,33 m²K/W |
| Celulosa proyectada | 50mm | 0,040 W/mK | 50 Kg/m³ | 1,25 m²K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,220 W/mK | 920 Kg/m³ | 0,05 m²K/W |

| | | |
|-----|---|-----------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m²K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m²K/W |

(Rt) Total 1,88m²K/W

Transmitancia térmica(U)

Participación en área del muro (81%) 0,53W/m²K

Flujo 2

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia térmica(Rt) |
|--------------------------|---------|---------------|------------|-------------------------|
| Pilar de hormigón armado | 184mm | 1,630W/mK | 2400 Kg/m³ | 0,11m²K/W |
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m³ | 0,08m²K/W |
| Celulosa proyectada | 50mm | 0,040 W/mK | 50 Kg/m³ | 1,25m²K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,220 W/mK | 920 Kg/m³ | 0,05m²K/W |

| | | |
|-----|---|-----------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m²K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m²K/W |

(Rt) Total 1,66m²K/W

Transmitancia térmica(U)

Participación en área del muro (19%) 0,60W/m²K



FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| Flujo 1 | 0,53W/m²K | 81% | 0,43W/m²K |
| Flujo 2 | 0,60W/m²K | 19% | 0,11W/m²K |
| Participación total | | 100% | |

Aislante Celulosa proyectada
0,54 W/m²K

Ū ponderado total
0,54W/m²K

Tabla 35: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Celulosa proyectada (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Aislación incorporada – Lana de Roca 50mm

MURO EXISTENTE - Caso 3

Flujo 1

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|-------------------------|---------|---------------|------------|-------------------------|
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m³ | 0,08 m²K/W |
| Albañilería de ladrillo | 154mm | 0,460 W/mK | 1000 Kg/m³ | 0,33 m²K/W |
| Lana de Roca | 50mm | 0,036 W/mK | 40 Kg/m³ | 1,39 m²K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,220 W/mK | 920 Kg/m³ | 0,05 m²K/W |

| | | |
|-----|---|-----------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m²K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m²K/W |

(Rt) Total 2,02m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (81%) 0,50W/m²K



Flujo 2

| Material de muro | Espesor | Conductividad | Densidad | Resistencia termica(Rt) |
|--------------------------|---------|---------------|------------|-------------------------|
| Pilar de hormigón armado | 184mm | 1,630W/mK | 2400 Kg/m³ | 0,11m²K/W |
| Tabla de madera | 8mm | 0,104 W/mK | 410 Kg/m³ | 0,08m²K/W |
| Lana de Roca | 50mm | 0,036 W/mK | 40 Kg/m³ | 1,39m²K/W |
| Placa Fibrocemento | 10mm | 0,220 W/mK | 920 Kg/m³ | 0,05m²K/W |

| | | |
|-----|---|-----------|
| Rsi | Flujo horizontal - vertical - al interior | 0,12m²K/W |
| Rse | Flujo horizontal - vertical - al exterior | 0,05m²K/W |

(Rt) Total 1,80m²K/W

Transmitancia termica(U)

Participación en área del muro (19%) 0,56W/m²K



FLUJO TOTAL

| | Transmitancia termica(U) | Porcentaje de participación(%) | Ū ponderado |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| Flujo 1 | 0,50W/m²K | 81% | 0,405W/m²K |
| Flujo 2 | 0,56W/m²K | 19% | 0,106W/m²K |
| Participación total | | 100% | |

Aislante Lana de Roca
0,51 W/m²K

Ū ponderado total
0,511W/m²K

Tabla 36: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Lana de roca (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

7.6.3.2 Desarrollo y resultado evaluaciones HC

7.6.3.2.1 Huella de Carbono Muro existente:

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 3, Muro Albañilería reforzada existente.

Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Ladrillo Santiago Te9 | 0.1260 | 1000 | 126.00 | 0.27 | 34.02 |
| mortero de cemento exterior | 0.0150 | 2000 | 30.00 | 0.38 | 11.40 |
| mortero de cemento interior | 0.0100 | 2000 | 20.00 | 0.38 | 7.60 |
| Pilar de Hormigón armado | 0.0180 | 2400 | 43.20 | 0.52 | 22.46 |
| Sumas | | | 219.20 | | 75.48 |

HC= (∑i Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.015 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= ∑i ((Pmi/Vcam)*Dm)*Ccam*Eg

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.2280 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.01284 | t CO₂ |

| | |
|---|--------------|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.015 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.013 |
| Huella de Carbono Total | 0.028 |

TonCO₂/m²

Tabla 37: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada existente (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

7.6.3.2.2 Huella de Carbono Muro propuesto:

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 3, Muro Albañilería reforzada con fachada ventilada + aislación Losa de Corcho

Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Ladrillo Santiago Te9 | 0.1260 | 1000 | 126.00 | 0.27 | 34.02 |
| mortero de cemento exterior | 0.0150 | 2000 | 30.00 | 0.38 | 11.40 |
| mortero de cemento interior | 0.0100 | 2000 | 20.00 | 0.38 | 7.60 |
| Tabla de madera | 0.0080 | 410 | 3.28 | 0.31 | 1.02 |
| Losa de Corcho | 0.0500 | 115 | 5.75 | -5.81 | -33.41 |
| Placa de Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |
| Pilar de Hormigón armado | 0.0184 | 2400 | 44.16 | 0.52 | 22.96 |

| | | |
|--------------|---------------|--------------|
| Sumas | 238.39 | 48.01 |
|--------------|---------------|--------------|

HC= (Σi Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.010 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

$$HC = \sum_i ((P_{mi}/V_{cam}) * D_m) * C_{cam} * E_g$$

| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.2326 (t) |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|---------------------------------|
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 |
| HC Transporte | | | | | 0.01311 t CO₂ |

| Pmi | Peso Losa de Corcho | T | | | 0.0058 (t) |
|----------------------|----------------------------|---------------------|--|--|---------------------------------|
| Vcam | Capacidad maxima container | T | | | 3.80 (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 10000 (Km) |
| Ccam | Consumo medio Diesel | l/100 km | | | 29 (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión del Diesel | tCO ₂ /l | | | 0.0029 tCO ₂ /l |
| | N° Barcos | u | | | 1.00 |
| HC Transporte | | | | | 1.27257 t CO₂ |

| | |
|---|--|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.010 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 1.286 |
| Huella de Carbono Total | 1.296 TonCO₂/m² |

Tabla 38: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Losa de corcho (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 3, Muro Albañilería reforzada con fachada ventilada + aislación Celulosa proyectada
Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Ladrillo Santiago Te9 | 0.1260 | 1000 | 126.00 | 0.27 | 34.02 |
| mortero de cemento exterior | 0.0150 | 2000 | 30.00 | 0.38 | 11.40 |
| mortero de cemento interior | 0.0100 | 2000 | 20.00 | 0.38 | 7.60 |
| Tabla de madera | 0.0080 | 410 | 3.28 | 0.31 | 1.02 |
| Celulosa proyectada | 0.0500 | 50 | 2.50 | 0.36 | 0.90 |
| Placa de Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |
| Pilar de Hormigón armado | 0.0184 | 2400 | 44.16 | 0.52 | 22.96 |

| | | |
|--------------|---------------|--------------|
| Sumas | 235.14 | 82.32 |
|--------------|---------------|--------------|

HC= (Σi Cmi * Fei) (1-0,28)/Ab: **0.017 TonCO₂/m²**

FASE CONSTRUCCIÓN

HC= Σi ((Pmi/Vcam)*Dm)*Ccam*Eg

| | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|---------------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.2351 (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 |
| HC Transporte | | | | | 0.01325 t CO₂ |

| | |
|---|--|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.017 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.013 |
| Huella de Carbono Total | 0.030 TonCO₂/m² |

Tabla 39: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Celulosa proyectada (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

FASE EXTRACCION – FABRICACIÓN

CASO 3, Muro Albañilería reforzada con fachada ventilada + aislación Lana de Roca
Solución constructiva evaluada en base a 1m² desarrollado.

| Materiales | Cantidad (u) | Densidad Kg/m ³ | Peso Kg/m ² | Emisiones (KgCO ₂ /Kg) | Emisión Total KgCO ₂ /m ² |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|
| Ladrillo Santiago Te9 | 0.1260 | 1000 | 126.00 | 0.27 | 34.02 |
| mortero de cemento exterior | 0.0150 | 2000 | 30.00 | 0.38 | 11.40 |
| mortero de cemento interior | 0.0100 | 2000 | 20.00 | 0.38 | 7.60 |
| Tabla de madera | 0.0080 | 410 | 3.28 | 0.31 | 1.02 |
| Lana de roca | 0.0500 | 40 | 2.00 | 1.04 | 2.08 |
| Placa de Fibrocemento | 0.0100 | 920 | 9.20 | 0.48 | 4.42 |
| Pilar de Hormigón armado | 0.0184 | 2400 | 44.16 | 0.52 | 22.96 |

| | | |
|--------------|---------------|--------------|
| Sumas | 234.64 | 83.50 |
|--------------|---------------|--------------|

$$HC = (\sum_i C_{mi} * Fe_i) (1-0,28)/Ab: \mathbf{0.017 \text{ TonCO}_2/m^2}$$

FASE CONSTRUCCIÓN

$$HC = \sum_i ((P_{mi}/V_{cam}) * D_m) * C_{cam} * E_g$$

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.2326 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima camion | T | | | 24 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 20 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio gasoil | l/100 km | | | 26 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión | tCO ₂ /l | | | 0.0026 | tCO ₂ /l |
| | N° camiones | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.01311 | t CO₂ |

| | | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------------------|--|--|----------------|-------------------------|
| Pmi | Peso materiales | T | | | 0.0020 | (t) |
| Vcam | Capacidad maxima container | T | | | 3.80 | (t) |
| Dm | Distancia media total | Km | | | 11,754 | (Km) |
| Ccam | Consumo medio Diesel | l/100 km | | | 29 | (l/100 km) |
| Eg | Factor Emisión del Diesel | tCO ₂ /l | | | 0.0029 | tCO ₂ /l |
| | N° Barcos | u | | | 1.00 | |
| HC Transporte | | | | | 0.52027 | t CO₂ |

| | |
|---|---|
| Huella Carbono Fase de Extracción - Fabricación | 0.017 |
| Huella Carbono Fase de Construcción | 0.533 |
| Huella de Carbono Total | 0.550 TonCO₂/m² |

Tabla 40: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Lana de roca (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

8 RESULTADOS

8.1 Verificación de objetivos

Para establecer los edificios de referencia a analizar, la investigación logra determinar las tipologías constructivas más recurrentes en los EE.EE. en la comuna de Coquimbo: Hormigón Armado (55%), Albañilería Reforzada (20%) y Estructura de pilares de Acero con Tabiquería de madera (15%), verificando la nula respuesta de estas construcciones respecto de las necesidades de Sustentabilidad en el sentido más amplio.

Respecto de las variables climáticas a abordar, la descripción de la solución para la rehabilitación energética de cada tipología de muro mencionado anteriormente, se hace cargo de la humedad relativa (85%), alta radiación solar (1700Kwh/m² año), y baja oscilación térmica. La intervención utiliza la estrategia de fachadas ventiladas para deshumedecer y controlar la radiación solar, además este sistema permite ventilar aprovechando la velocidad del viento en la zona (10Km/h). “Primero fue rain screen en Reino Unido y tenía la función muy importante de alejar la humedad de la pared interior. En países mediterráneos no obstante ha ganado la función de bloquear la radiación solar y así disminuir las ganancias térmicas en verano” (Gregório-Atem 2016). Este sistema con aislación exterior continua, es importante para eliminación de puentes térmicos, y la correspondiente inercia térmica lograda. La estrategia constructiva utilizada, con la instalación del aislante térmico entre el muro existente y el paramento exterior alcanzaría un mayor ahorro energético. Destacar que en todos los casos, el posicionamiento del material aislante cerca de la pared interior es más eficiente que ubicarlo cerca del paramento

exterior. El ahorro de energía aumenta notablemente a medida que aumenta la intensidad de la radiación solar; cuanto mayor es la radiación solar, más eficientes resultan las fachadas ventiladas desde el punto de vista del ahorro energético (Ciampi, Leccese, and Tuoni 2003b).

La sustentabilidad de las soluciones constructivas a diseñar en esta investigación, en base a parámetros objetivos, parte desde la búsqueda de la mejor estrategia constructiva para resolver las variables que afectan al medioambiente. Dentro de ello, la investigación se hace cargo de 3 áreas desde el punto de vista Sustentable: la transmitancia térmica, que incidiría directamente en el confort térmico interior; la huella de carbono, que aportaría medioambientalmente y el costo, que finalmente determinaría la sustentabilidad económica.

La evaluación de los mejoramientos constructivos ejecutados desde el año 2015 - 2020 en la comuna de Coquimbo, nos presenta la necesidad imperiosa de generar aislación térmica, dado que varias edificaciones tienen más de 50 años, sin incorporar aislación térmica en su envolvente. Un 32% de los proyectos desarrollados en ese período y que intervienen en dicha problemática, generan un gasto presupuestario de \$ 7.131.686.184. Las soluciones constructivas efectuadas por el Ministerio de Educación para envolventes de EE.EE. son similares en el tiempo y no presentan mayor variación a nivel de diseño, solo en el año 2020, comienzan a observarse propuestas que se hacen cargo de problemáticas como la transmitancia térmica y la eficiencia energética de los espacios. La huella de carbono hasta el día de hoy no es analizada en ningún proyecto de mejoramiento constructivo.

La estrategia de diseño para la rehabilitación constructiva aborda la necesidad de generar aislantes térmicos en las soluciones existentes, dado que los datos presentados desde el punto de vista térmico en cada solución constructiva existente, no alcanzan la norma actual NCh1079/2008. Al definir las soluciones constructivas a desarrollar, se establece como prioridad deben alcanzar transmitancias térmicas adecuadas a la zona 1NL, para responder a los TDR_e MOP DA y a la NTM 011, la cual se presenta como el objetivo a alcanzar por el Ministerio de Educación desde el año 2020 (Ministerio de Educación Gobierno de Chile n.d.). Este objetivo condiciona los espesores y densidades de materiales a utilizar en la rehabilitación de los muros de envolventes, los que alcanzarían 50mm de espesor en el caso de los aislantes térmicos utilizados. Aunque para encontrar la relación idónea entre espesor del material de aislamiento térmico y su huella de carbono, el análisis debe tener en cuenta la diferencia de densidad de cada material, así como las diferencias en su conductividad térmica, en este caso el m² de envolvente térmica es la unidad funcional correcta. El impacto real, expresado en términos de emisiones de CO₂-eq. para los distintos tipos de aislamiento térmico incluidos en el análisis, debe compararse por tanto, basándose en el mismo nivel de transmitancia térmica (U) que se debe alcanzar (Kunič 2017).

Para medir la reducción de la HC de las soluciones diseñadas, se observó la incidencia de los materiales aislantes en el ACV de la cuna a la puerta, siguiendo las normativas internacionales ISO14040 y derivadas. Según la Red Universitaria para la Sostenibilidad Arquitectónica y Urbana de Barcelona, en la valoración de eficiencia energética, el aglomerado de corcho y las fibras de celulosa son los más eficientes tanto por consumo de energía como por generación de gases de efecto invernadero. Importante fue verificar que los materiales aislantes, estén incorporados en el mercado nacional, además fue relevante que la celulosa proyectada y el aglomerado de corcho se presentan como aislantes con HC negativa, lo cual incidiría positivamente en el valor de la rehabilitación a realizar. Se incorporan materiales aislantes naturales en la solución, dado su valor medioambiental y se generan propuestas sustentables para cada caso de estudio, buscando una baja emisión de carbono y disminución de la transmitancia térmica. Según la valoración de eficiencia técnica, los materiales orgánicos y la lana de roca (material inorgánico sintético) son los elegidos para la evaluación.

El análisis del conjunto de soluciones constructivas existentes se traduce en un proyecto de rehabilitación energética, que es simulado en la plataforma Abaco-Chile. El análisis corresponde a establecimientos educacionales con Muros de albañilería, de hormigón armado y Estructura de acero con tabiquería de madera. Se incorpora poliestireno expandido en gran parte de las soluciones actuales, por lo tanto se incluye en el análisis como la referencia actual; desde el punto de vista de la huella de carbono, este material se presenta con menor aporte en sustentabilidad a diferencia de la Losa de Corcho que aporta considerablemente a la disminución de la emisión de Carbono (Tártaro et al. 2017).

Las soluciones constructivas proyectadas solo incluyen materiales ecológicos, dada su baja Huella de carbono y otras prestaciones detalladas en ítem 6.4. del presente informe. El aislante mineral Lana de Roca, con $1,04 \text{ KgCO}_2/\text{Kg}$ se incluye en este análisis, el cual tiene una de las más altas prestaciones a nivel acústico, y se destaca por su resistencia a altas temperaturas. Posteriormente se verifican las comparaciones de los datos, para explicar los análisis respecto de la hipótesis planteada. En esta etapa podemos verificar que la elección de aislantes tiene virtudes y defectos dependiendo del área observada. Para ello se elabora una matriz de soluciones sustentables para muros en establecimientos educacionales de la comuna, es importante observar los aspectos multidimensionales a revisar para la construcción de un catálogo de diseño de soluciones constructivas sustentables en envolventes de Aulas y así generar la línea base de estrategias de sustentabilidad. Presentando los alcances y la estrategia a utilizar en cada solución, logra ser una guía a próximas intervenciones de mejoramiento de muros en establecimientos educacionales desde el punto de vista higrotérmico, económico y ambiental.

8.2 Alcance de estudio

El alcance del estudio se realiza a nivel comunal, por tipología de soluciones constructivas más recurrentes en los establecimientos educacionales de la comuna de Coquimbo. Se realiza un análisis de 3 tipologías constructivas de muros de envolvente en tres aspectos: huella de carbono generada, transmitancia térmica y costo asociado a la rehabilitación. Este alcance se limita a los muros de las envolventes de establecimientos educacionales, los cuales utilizan materiales constructivos de distintos períodos de la política educacional, exceptuando los recintos como techados y bodegas. Lo que nos permite valorizar la rehabilitación desde varios puntos de vista.

8.3 Metodología de cálculo

La metodología de cálculo se genera en base a la Norma Chilena 853/2007 respecto a cuantificación de Transmitancia térmica de soluciones constructivas de muros, siguiendo las indicaciones de la Agencia chilena de eficiencia energética, estudios desarrollados en CITEC Universidad del Bío – Bío, Términos de referencia TDRé MOP DA, Manual de Diseño pasivo y eficiencia energética.

Desde el punto de vista de la HC, la medición se realiza en base a la metodología ACV, respecto de la ISO 14064/1, ISO 14064/2, ISO 14064/3, ISO 14065, analizando distintos materiales aislantes, incorporados a las soluciones constructivas, se evalúa la variabilidad en la HC final de la solución y se reconocen los mejores aislantes para su incorporación. Posteriormente se realiza el ejercicio con metodología ACV, de un proyecto de mejoramiento constructivo real en el programa ABACO-Chile.

El cálculo económico de la solución constructiva desarrollada se realiza en base a un presupuesto de obra para llegar a un valor Bruto de 1 m^2 de rehabilitación desarrollada. Además en el programa ABACO-Chile se evalúa económicamente un proyecto de rehabilitación energética de un establecimiento educacional para cada tipología constructiva elegida. Esta simulación entrega la huella de carbono y el costo a través de itemizados que incluyen materiales, mano de obra, traslados, herramientas, gastos generales, utilidades de obra, etc.

También es importante indicar que para valorizaciones, información de proveedores extranjeros y determinaciones de estrategias para enfocar las soluciones constructivas, se incorpora la información de empresas del sector como por ejemplo Volcán S.A., Aplitech, Safe Energy®, Isolcork® y otras. Los productos son verificados por IDIEM, DICTUC, CITEC. Además se respalda la utilización de los productos en CES, LEED y a través de Green Building Council Chile.

8.4 Análisis de inventario

Nos entregará una valorización ambiental de cada solución reconociendo comparaciones objetivas entre las tipologías constructivas más utilizadas para muros de envolvente en los establecimientos educacionales de la comuna de Coquimbo (Hormigón armado, estructura de acero con tabiquería de madera y albañilería reforzada), lo cual podrá establecer ranking de soluciones constructivas de envolvente de establecimientos educacionales, que aportará a una mejor toma de decisiones.

En los siguientes análisis, las transmitancias térmicas de las soluciones proyectadas son comparadas con la situación base existente, incorporando una solución de fachada ventilada y aislante elegido. Esta información nos da cuenta de la gran diferencia entre las soluciones existentes y una nueva solución con aislación ecológica. Encontramos respecto del valor U de cada solución constructiva desarrollada, que el aislante de Lana de Roca se observa como el material más favorable dentro de los materiales ecológicos, en este caso de origen mineral. Sus valores fluctúan según la solución entre 0,54 y 0,51W/m²K, donde la solución de Albañilería reforzada con aislación de Lana de Roca sería la más favorable. El aglomerado de corcho con valores de 0,62W/m²K, siendo el aislante más desfavorable en las evaluaciones realizadas, sigue estando por debajo de la NTM 011. En el grafico 4 se observa, que al incorporar los aislantes sintéticos (EPS) y minerales (Lana de Roca), las diferencias observadas son muy bajas entre ellos, lo cual a simple vista no sería un elemento de discriminación del tipo de aislante a escoger, teniendo en cuenta que la base comparativa está dada por el espesor de la aislación elegida (50mm), la cual lograría alcanzar la NTM 011, cuya exigencia es de 0,8W/m²K para la zona térmica correspondiente.

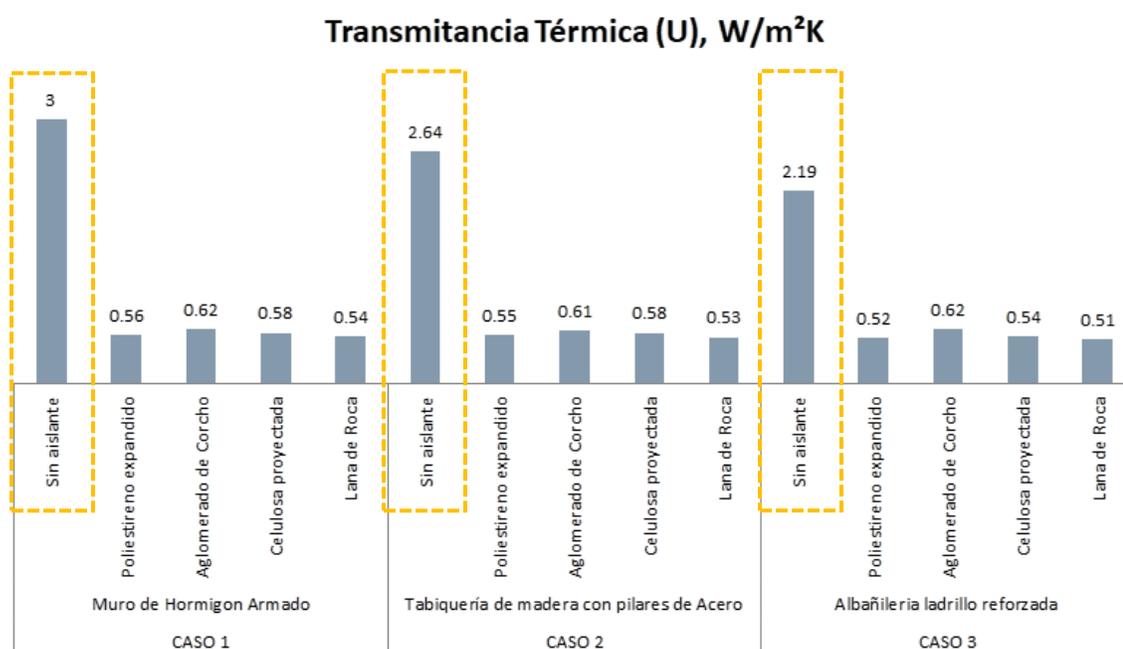


Gráfico 4: Transmitancias térmicas comparadas por solución existente y propuesta (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Podemos observar que ninguna solución constructiva existente alcanza a satisfacer las mínimas exigencias respecto al clima del lugar, por lo tanto es necesario alcanzar mejores estándares. La estrategia de fachadas ventiladas utilizada aportará al control de la radiación solar y al control de la humedad exterior (Gregório-Atem 2016). El gráfico 4 nos muestra el muro de Hormigón Armado desnudo como el más desfavorable (3W/m²K), aunque el espesor del Hormigón Armado es 26cms. no logra responder térmicamente. Las tres soluciones constructivas existentes obtienen valores similares muy por debajo incluso de la Norma Chilena 1079/2008.

Para los análisis realizados respecto de la HC a través de la Norma UNE EN 15978 basado en el ACV, se utilizaron DAP existentes, e investigaciones recientes para la información recopilada (Valancius 2018). En el gráfico 5 se observa la comparación de la envolvente existente por tipología constructiva, con la incorporación de la huella de carbono del muro existente, y la rehabilitación desarrollada. En este gráfico la HC se muestra en base a 1m² de solución constructiva desarrollada, incorporando en el proyecto de rehabilitación de envolvente, todos los alcances pertinentes de ello, que amplía la emisión de CO₂ sin lugar a dudas. El aumento sustancial de la HC en las soluciones constructivas propuestas que incluyen

aglomerado de corcho y lana de roca, tienen su fundamento en la HC verificada de la etapa de transporte de dichos materiales, la distancia de la fábrica de cada uno de estos materiales orgánicos que se utilizaron en la simulación de la estructura, aumentó la huella de carbono en dicha solución. La contribución realizada por el aislante térmico de Corcho, el cual es carbono negativo, apoya la disminución de las emisiones pero al traerlo de Portugal, la huella no es favorable. Lo mismo ocurre con la importación de la Lana de Roca desde Holanda, su emisión muy baja, del orden de los 1,04KgCO₂/Kg, no logra ser realmente incidente en la huella final de la solución constructiva. Para este material la HC evaluada en la etapa de Construcción respecto de la etapa de Fabricación aumenta 41 veces.

El gráfico 5 nos presenta el muro de Albañilería como la solución constructiva más favorable para mejorar con la estrategia de fachada ventilada; respecto de este muro, la disminución de la HC con la solución que incorpora Celulosa proyectada alcanza alrededor del 50% en comparación con la misma rehabilitación en el Caso 1 y 2. Se observa como una buena opción en la toma de decisiones, respecto de su valorización ambiental la Albañilería reforzada con muro ventilado, dado que facilita también la posibilidad de disminuir los puentes térmicos aportando además al confort térmico interior, lo que claramente baja la demanda energética del edificio. Es importante declarar que según los datos obtenidos, los diseños de muros pueden generarse con la estrategia de aislación correspondiente a la zona desde su inicio, la información muestra que el alza de la huella respecto de dicha incorporación no supera el 10% por m² desarrollado en todos los casos revisados.

El análisis definitivo respecto de las 2 variables analizadas (HC y U), nos dan cuenta que la solución constructiva de Albañilería reforzada con aislante de Celulosa proyectada es la más sustentable, dado los valores de 0,58W/m²K y 0,030 Ton CO₂/m² obtenido. Por el contrario la solución más desfavorable sería la Albañilería reforzada con Aglomerado de corcho con valores de 0,62W/m²K y 1,295 Ton CO₂/m².

Huella de Carbono generada, Ton CO₂/m²

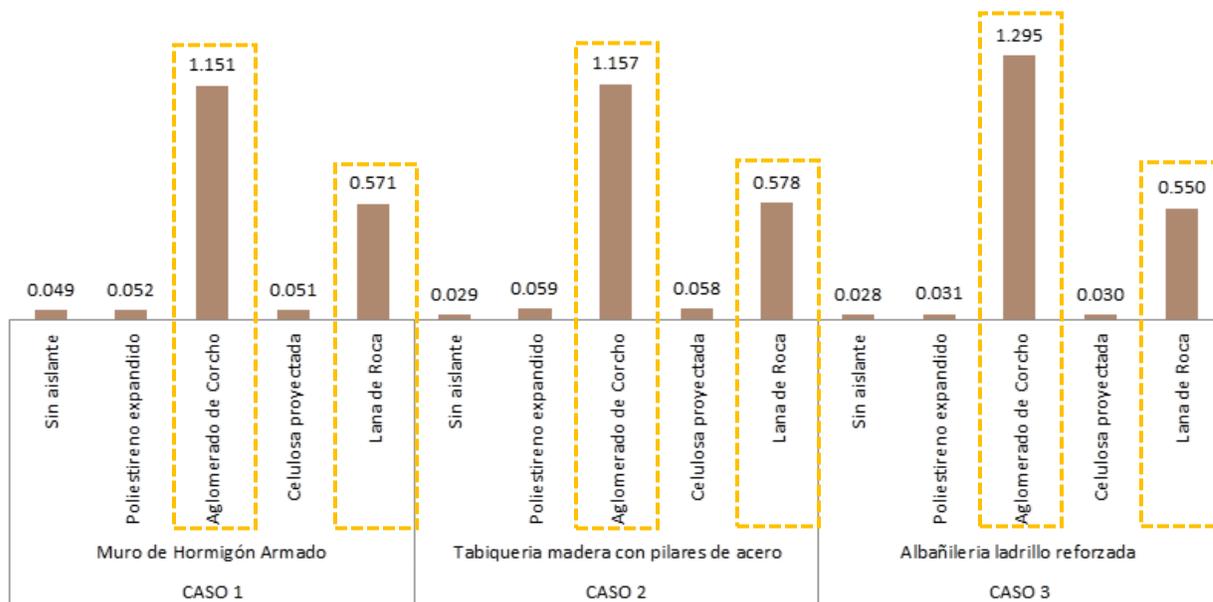


Gráfico 5: Huella de carbono comparada por solución existente y propuesta (Fuente: Metodología ACV según ISO 14040-14044).

8.5 Simulación de proyectos (plataforma ÁBACO-CHILE)

Para el análisis económico y ambiental de los proyectos de rehabilitación, se utiliza la plataforma ÁBACO-CHILE; En esta investigación se simula la realización de 3 proyectos correspondientes a cada caso estudiado, respecto de la tipología constructiva de su envolvente: a - Muro de Hormigón Armado, b - Estructura de Acero con tabiquería de madera y c - Albañilería Reforzada. Los presupuestos realizados basan su comparación respecto del tipo de aislante a utilizar, se analiza primero una solución constructiva actual y propuesta por el Ministerio de Educación con aislante EPS (Ministerio de Educación Gobierno de Chile n.d.), luego se compara la solución modificando el aislante y así incidir en la disminución de la HC generada por la solución constructiva, para ello se utilizan materiales ecológicos y medioambientalmente adecuados.

8.5.1 Análisis ambiental

Respecto del análisis ambiental realizado, las huellas de carbono generadas no solo se presentan por el material instalado, sino por todo lo que involucre la partida, de ello podemos decir que es interesante como aunque sea un material con bajas emisiones de CO₂, el trabajo que se requiere para ejecutar el proyecto incide directamente en la huella final de la obra.

Caso 1, Escuela Coquimbo

El proyecto de rehabilitación incluye 900m² de envolvente de Aulas en la Escuela Coquimbo, en el caso del muro de Hormigón armado, la solución que incorpora aislación térmica de Losa de Corcho involucra mayor huella respecto de las demás, 1766,63 Ton CO₂-eq en el proyecto, y 1,96 Ton CO₂/m², lo que se observa en el análisis de ello, es que la incidencia de la huella de carbono en transporte, aumenta considerablemente en el valor final. El valor de la huella generada por la solución que incorpora Lana de Roca, también es alta dado que al igual que el Corcho es un producto importado. Una solución sustentable según el gráfico 6 es el que incorpora Celulosa proyectada, que alcanza valores de 731,94 Ton CO₂-eq en el proyecto, y 0,81 Ton CO₂/m². Pero, a pesar de tener una HC baja, no logra distanciarse de la solución que utiliza EPS, dado que la instalación de celulosa requiere la utilización de maquinaria y equipos que necesitan bastante energía en su funcionamiento.

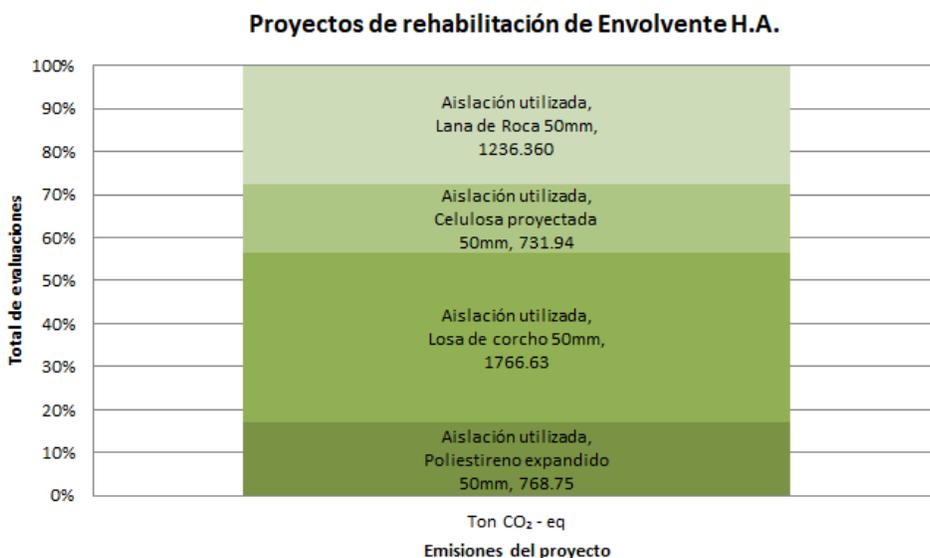


Gráfico 6: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envolvente en Escuela Coquimbo (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

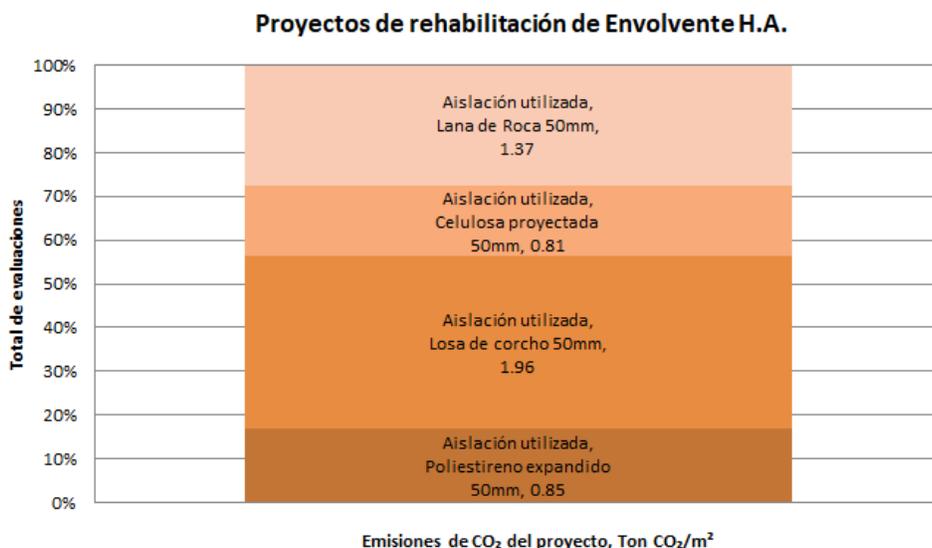


Gráfico 7: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 1m² de envolvente en Escuela Coquimbo. (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE)

Caso 2, Escuela Mario Muñoz Silva

El proyecto de rehabilitación incluye 385m² de envolvente de Aulas en la Escuela Mario Muñoz Silva, el gráfico 8 nos presenta soluciones con poca diferencia respecto de su HC, el proyecto que incorpora Celulosa proyectada se presenta como el más favorable respecto de los otros evaluados, logrando 701,45 Ton CO₂ - eq. La rehabilitación que utiliza aislante de EPS tendría una diferencia de solo 0,54 Ton CO₂ - eq respecto del proyecto evaluado con Celulosa proyectada. Al evaluar el m² de solución constructiva en el proyecto, se igualan los valores entre EPS y Celulosa proyectada. En estos proyectos de rehabilitación constructiva la HC más desfavorable es el que incluye aislante de Losa de Corcho con un valor de 2,92 Ton CO₂/m².

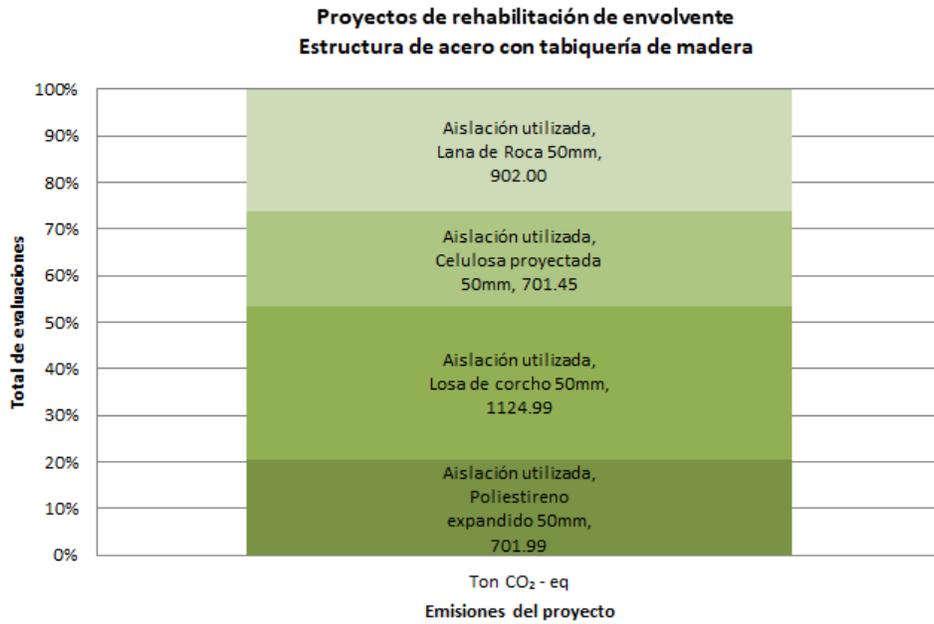


Gráfico 8: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 385m² de envolvente en Escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

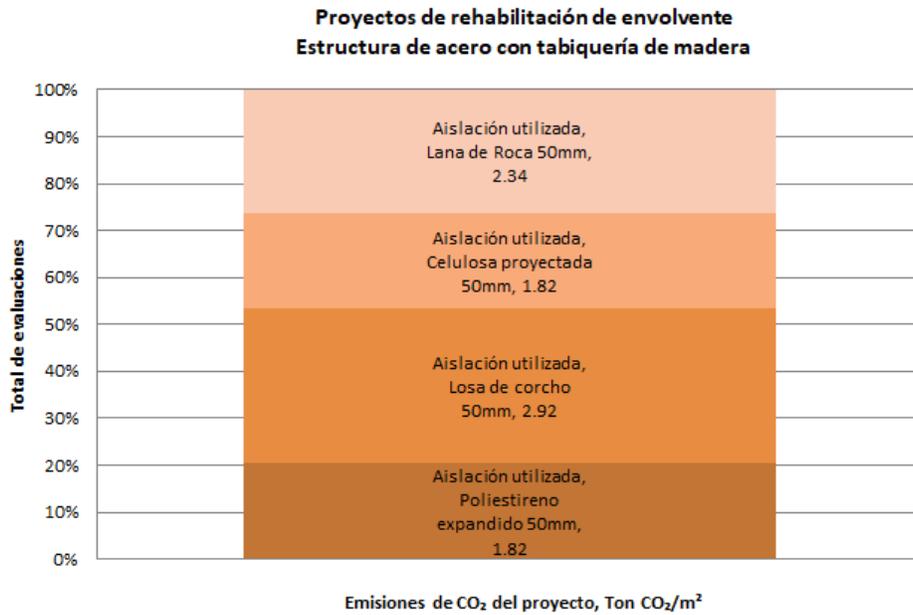


Gráfico 9: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 1m² de envolvente en Escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

Caso 3, Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaquer

El proyecto de rehabilitación incluye 900m² de envolvente de Aulas en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaquer, las soluciones de rehabilitación que se observan en el gráfico 10 nos muestran que las 2 estrategias más sustentables respecto de su emisión de CO₂ son en orden descendente la que incorpora Celulosa proyectada con 400,75 Ton CO₂ -eq y EPS con 402,05 Ton CO₂ -eq, ambas de producción nacional. La mayor Huella de Carbono nuevamente son las soluciones importadas que incorporan Lana de Roca y Losa de Corcho aglomerado. Las cuales alcanzan 0,97 Ton CO₂/m² y 1,55 Ton CO₂/m² respectivamente.



Gráfico 10: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envolvente en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaquer (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

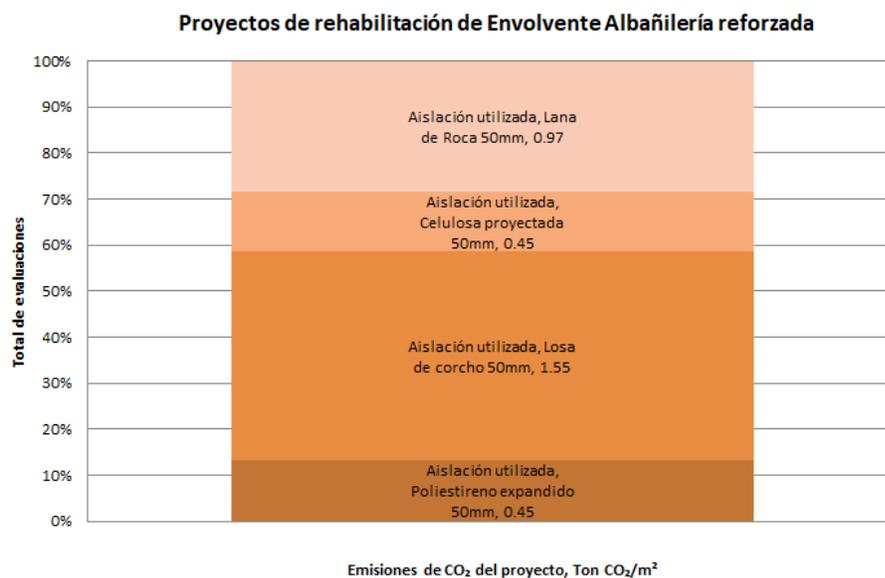


Gráfico 11: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 1m² de envolverte en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

Al realizar el análisis comparativo de las soluciones sustentables por m² podemos inferir que existen diferencias importantes en la cantidad de CO₂ emitido en la obra ejecutada. En los datos de la rehabilitación desarrollada incorporando Celulosa proyectada en el Caso 1, existe un alza de 0,759 Ton CO₂/m², lo cual nos indica la importancia de la estrategia a utilizar en la ejecución de la obra y el itemizado del presupuesto. En el Caso 3, la diferencia de la ejecución de la obra incorporando Celulosa proyectada versus el m² de la solución sin incorporar las variables como instalación de faenas presenta una diferencia de 0,42 Ton CO₂/m².

Si observamos los casos más desfavorables, la Estructura de acero con tabiquería de madera que incorpora Losa de Corcho aglomerado genera 1,157 Ton CO₂/m² en la solución de muro, comparada con la ejecución del proyecto que genera 2,92 Ton CO₂/m², nos da cuenta de un aumento de 1,763 Ton CO₂/m².

Importante observar las soluciones con aislante EPS, tiene valores bajos en comparación con los aislantes ecológicos utilizados como la Losa de Corcho y la Lana de Roca, su HC generada en los proyectos se presenta similar a la Celulosa proyectada en el Caso 2 y 3 de la investigación, 1,82 Ton CO₂/m² y 0,45 Ton CO₂/m² respectivamente.

8.5.2 Análisis económico

Desde el punto de vista económico se realizan las evaluaciones a través de la simulación de un proyecto de rehabilitación de muros en el establecimiento educacional según tipología constructiva determinada, el gasto a ejecutar será solo por las rehabilitaciones energéticas para las envolventes de Aula. Se presenta el ejercicio de análisis a través de la plataforma ÁBACO-CHILE, simulando las distintas soluciones presentadas a cada caso de estudio. La evaluación económica se centra en la comparación entre soluciones con distintas aislaciones térmicas (Poliestireno expandido, Losa de corcho aglomerado, Celulosa proyectada y Lana de Roca). El EPS se utiliza para la evaluación comparativa por ser el aislante más utilizado en el mercado regional, aunque se presenta como el menos sustentable, por lo anterior es importante realizar la comparación con los aislantes naturales y minerales, determinados como los más amigables con el medioambiente.

Caso 1, Escuela Coquimbo

El gráfico 12 nos presenta una comparación de proyectos de rehabilitación para la envolvente en la Escuela Coquimbo, de tipología constructiva Hormigón Armado, esta rehabilitación se realiza con estrategias constructivas asimiladas a muro ventilado. La Aislación de EPS, aislante de origen sintético, se presenta desde el punto de vista económico como la solución más favorable, comparadas frente a materiales orgánicos o minerales. El proyecto que utilizó como aislante lana de roca se posiciona con un aumento del 16% del costo sobre el que utilizó EPS. Se observa también que la solución que utiliza losa de corcho, que desde el punto de vista medioambiental tiene una huella de carbono negativa $-5,81\text{KgCO}_2/\text{Kg}$, es económicamente la más desfavorable, alcanzando una diferencia del 39% respecto de la solución que incorpora Celulosa proyectada. El costo de la losa de corcho sin duda incide bastante en el valor final del proyecto, aumentado por el gasto del transporte, dado que el material aislante es importado actualmente desde Portugal. Por otro lado, la rehabilitación que incorpora Celulosa proyectada obtiene el valor más bajo, $\$66.987/\text{m}^2$, un valor razonable en el mercado de la Región de Coquimbo. Según antecedentes de proyectos similares los valores se sitúan alrededor de los $\$90.000/\text{m}^2$ (Plataforma MINEDUC, 2021).

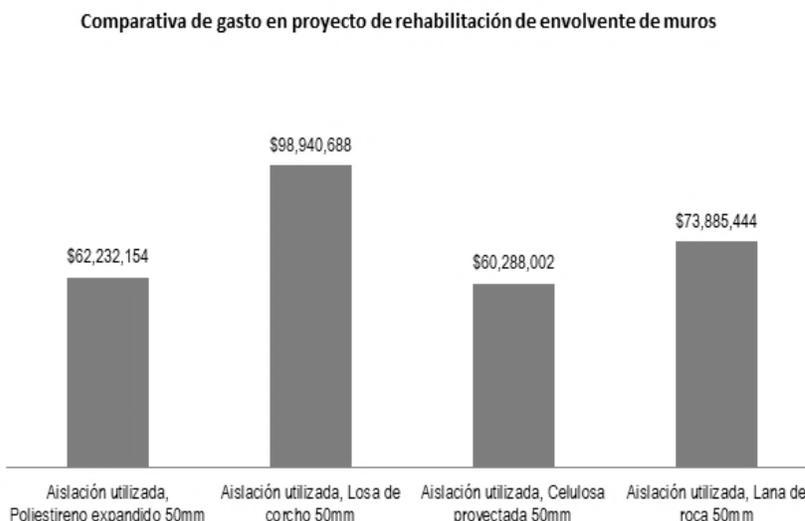


Gráfico 12: Inversión en proyecto de rehabilitación por tipo de aislación para 900m^2 de envolvente en Escuela Coquimbo (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).



Gráfico 13: Gasto a ejecutar por m² en proyecto de rehabilitación y tipo de aislación en Escuela Coquimbo (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

Caso 2, Escuela Mario Muñoz Silva

El gráfico 14 nos presenta una comparación de proyectos de rehabilitación en la Escuela Mario Muñoz Silva, de tipología constructiva Estructura de acero con tabiquería de madera, para 385m² de Aulas. El tipo de muro existente presenta varias dificultades desde el punto de vista constructivo, por lo tanto requiere mayor gasto en materiales para resolver la problemática de la estructura entre pilares de acero. La primera estrategia es eliminar los puentes térmicos generados por la estructura de acero que se asoma a ambos lados del espesor del muro existente (Conductividad térmica Acero 58W/m*K), la propuesta desarrollada es a través de una aislación continua por el exterior, se deben instalar pilares de madera para generar el marco de soporte para la tabiquería entre pilares estructurales de acero. Esa partida tiene el 26% del costo total, para contener esa alza, se instala interiormente yeso cartón RH de 12mm, en vez de la madera acetilada, estrategia utilizada en otras soluciones de mejoramientos. Lo interesante es la diferencia de costos en proyectos que utilizan Celulosa proyectada como es el Caso 1 y el Caso 2, un 66% de diferencia por m², dado que la configuración de la solución requeriría mayor incorporación de materiales, la rehabilitación en este caso desnuda la estructura a diferencia de la rehabilitación en muros de H.A. o Albañilería reforzada. En el gráfico se puede determinar que el proyecto que incorpora losa de corcho se lleva el mayor gasto, 19% sobre los otros proyectos con \$89.267.867 para 385m² de intervención.

Nuevamente en este caso vemos como el costo del EPS es el más bajo, aunque la diferencia con los aislantes sustentables decrece respecto de la solución anterior.

Un 12% solamente es la diferencia entre la solución con el aislante de corcho y la solución constructiva que incorpora Lana de Roca. También observar que el porcentaje de diferencia en el costo de la solución entre EPS y Lana de Roca es solo 7%. Dado que es una solución constructiva con alto porcentaje de madera, la Lana de Roca aportaría como material hidrófugo, prestación no entregada por el EPS.

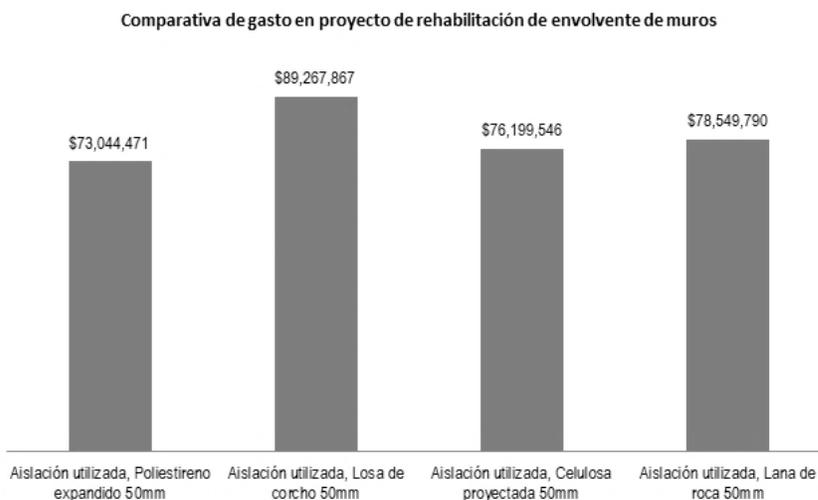


Gráfico 14: Inversión en proyecto de rehabilitación por tipo de aislación para 385m² de envoltante en Escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).



Gráfico 15: Gasto a ejecutar por m² en proyecto de rehabilitación y tipo de aislación en Escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

Caso 3, Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

El gráfico 16 nos presenta una comparación de la inversión para la rehabilitación de la envoltante de tipología constructiva Albañilería reforzada, esta rehabilitación se realiza con estrategias constructivas que se refieren a muro ventilado y aislantes naturales. Si analizamos la aislación térmica solo respecto al punto de vista económico, se presenta una clara ventaja del EPS para un proyecto de rehabilitación de muro de albañilería reforzada con muro ventilado, lo observado muestra la viabilidad de la utilización de EPS, Celulosa proyectada y Lana de Roca, por sobre materiales vegetales como la Losa de corcho aglomerado. El costo por mt² del proyecto utilizando EPS es de \$58.762 frente a los \$66.987 de la Lana de

Roca. La diferencia que se presenta es de 12% por m² de solución construida, considerablemente menor que con la solución que incluye Losa de corcho donde se mantiene una diferencia del 42%. Los valores observados están dentro de los parámetros de gasto actual de la Unidad de infraestructura, de la Secretaría Regional Ministerial de Educación.

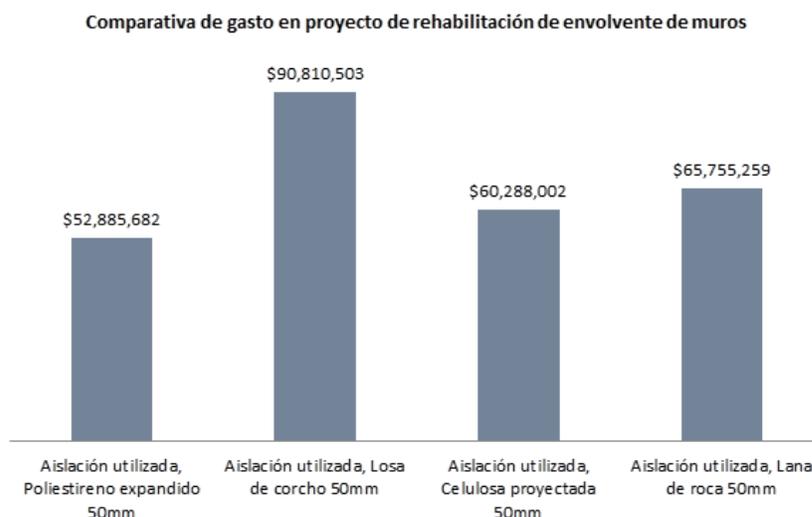


Gráfico 16: Inversión en proyecto de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envoltorio en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).



Gráfico 17: Gasto a ejecutar por m² en proyecto de rehabilitación y tipo de aislación en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Plataforma ÁBACO-CHILE).

9 MATRIZ COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD

Matriz comparativa de soluciones constructivas Sustentables para Envoltente de establecimientos educacionales, comuna de Coquimbo

| M2 | | Valores de Transmitancia termica | Valores de Huella de Carbono | Valor economico de la solución | |
|--|-------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Muro de H.A. | Solución 1a | Hormigon Armado | 0,62 W/m²k | 1,96 TonCO ₂ /m² | \$109,934.00 |
| | | Madera acetilada 8mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Barrera de humedad | | | |
| | | Aislación Corcho Aglomerado | | | |
| Muro de H.A. | Solución 2a | Hormigon Armado | 0,58 W/m²k | 0,81 TonCO ₂ /m² | \$96,464.00 |
| | | Madera acetilada 8mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Os b Wrap 11,1mm | | | |
| | | Aislación Celulosa proyectada | | | |
| Muro de H.A. | Solución 3a | Hormigon Armado | 0,54 W/m²k | 1,37 TonCO ₂ /m² | \$82,095.00 |
| | | Madera acetilada 8mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Barrera de humedad | | | |
| | | Aislación Lana de Roca | | | |
| Estructura de acero con Tabiquería de madera | Solución 1b | Estructura de acero | 0,61 W/m²k | 2,92 TonCO ₂ /m² | \$231,865.00 |
| | | Yeso cartón RH 12mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Os b Wrap 11,1mm | | | |
| | | Aislación Corcho Aglomerado | | | |
| Estructura de acero con Tabiquería de madera | Solución 2b | Estructura de acero | 0,58 W/m²k | 1,82 TonCO ₂ /m² | \$274,683.00 |
| | | Yeso cartón RH 12mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Os b Wrap 11,1mm | | | |
| | | Aislación Celulosa proyectada | | | |
| Estructura de acero con Tabiquería de madera | Solución 3b | Estructura de acero | 0,63 W/m²k | 2,34 TonCO ₂ /m² | \$204,025.00 |
| | | Yeso cartón RH 12mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Barrera de humedad | | | |
| | | Aislación Lana de Roca | | | |
| Albañilería reforzada | Solución 1c | Albañilería reforzada | 0,62 W/m²k | 1,55 TonCO ₂ /m² | \$100,901.00 |
| | | Madera acetilada 8mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Barrera de humedad | | | |
| | | Aislación Corcho Aglomerado | | | |
| Albañilería reforzada | Solución 2c | Albañilería reforzada | 0,54 W/m²k | 0,45 TonCO ₂ /m² | \$66,987.00 |
| | | Madera acetilada 8mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Os b Wrap 11,1mm | | | |
| | | Aislación Celulosa proyectada | | | |
| Albañilería reforzada | Solución 3c | Albañilería reforzada | 0,51 W/m²k | 0,97 TonCO ₂ /m² | \$73,061.00 |
| | | Madera acetilada 8mm | | | |
| | | Placa de Fibrocemento 10mm | | | |
| | | Barrera de humedad | | | |
| | | Aislación Lana de Roca | | | |

Tabla 41: Matriz comparativa de tipo de envoltentes diseñadas y analizadas respecto de variables medioambientales y económicas por m² (Fuente: Elab. Propia).

10 CONCLUSIONES

Desde la carencia de instrumentos públicos y una legislación que no aporta a cambios de comportamiento (Bribián, Capilla, and Usón 2011), el proyecto de investigación se hace cargo de desarrollar una estrategia de cuantificación del impacto ambiental desde el diseño del proyecto incluyendo en las decisiones al sostenedor para luego junto a los privados participar de nuevas miradas medioambientales en las reformas a la construcción de establecimientos educacionales de Chile. Estas estrategias integrales, logran ser un aporte al desarrollo científico en la construcción, ayudando al diseño sustentable de soluciones constructivas, incorporando una diferente e innovadora selección de materiales. Junto a ello se logra incentivar las estrategias de reducción de emisiones de efecto invernadero según los compromisos adquiridos por Chile en el Convenio Marco de UN para el Cambio Climático.

En esta investigación se pudo constatar, que muchas envolventes en espacios educacionales carecen hoy de los mínimos estándares arquitectónicos y constructivos desde el punto de vista sustentable. Por lo tanto, es necesario evaluar las distintas estrategias constructivas y materiales a utilizar desde la etapa de diseño de los proyectos incluyendo variables sustentables en la decisión de las soluciones constructivas desarrolladas. Desde el análisis de las tipologías constructivas de muros se genera, para cada caso, una propuesta de rehabilitación, con materiales utilizados para aislación que no requieren mucha energía en su producción, por lo tanto son más sustentables en comparación con otros que permiten una transmitancia térmica similar, como el caso del EPS. Desde el punto de vista medioambiental los materiales sustentables por sí solos no logran disminuir la emisión de CO₂ final del proyecto, este análisis se observa respecto de la medición en 1 m² de solución constructiva, la incidencia de la etapa de construcción en la HC es muy relevante para el logro respecto del objetivo planteado.

Ventajas de las soluciones constructivas desarrolladas:

Disminución del puente térmico: Desde el punto de vista de la NTM 011, cada puente térmico existente en el Caso 2: Pilar de acero, y Caso 3: pilar de Hormigón Armado, es eliminado, alcanzando valores menores a 0,8 W/m²K en cada área vulnerable. Esta condición se logra al diseñar con aislación continua, por el exterior de la envolvente, evitando la condensación intersticial y el riesgo de moho en la superficie interior del elemento.

Disminución de la humedad: La estrategia utilizada, Muro ventilado, respaldada a través de investigaciones y encaminada también por las directrices del Ministerio de Educación (Ministerio de Educación Gobierno de Chile n.d.), nos guían a reconocer propuestas constructivas que generan un aporte en la disminución de la humedad dentro del muro, el cual es un problema recurrente en la Comuna de Coquimbo. Lamentablemente en esta investigación no se abordan elementos como las ventanas las cuales generan una intensidad muy alta de humedad en los interiores, respecto de ello podemos indicar que las estrategias utilizadas en la región es ir modificando por ventanas termo panel en los establecimientos educacionales, dado que los costos han disminuido paulatinamente.

Inercia térmica: La instalación del aislante térmico por el exterior del muro de ladrillo u Hormigón Armado es la estrategia utilizada para generar inercia térmica y lograr mayor confort térmico en los espacios de estudio, la decisión de instalar el aislante por el exterior del muro no solamente se realiza por la interrupción de los puentes térmicos sino además por la inercia térmica lograda. La celulosa proyectada genera una ventaja respecto a este objetivo, dado que no genera espacios de unión en su instalación.

Ventajas del tipo de aislación utilizada:

Losa de corcho: La ventaja que se observa respecto de la instalación de Losa de corcho es aún incierta, dado que su huella de carbono y el costo sería menor si el material fuera desarrollado en Chile, lamentablemente la oferta del producto solo es a través de importaciones, lo que afecta directamente la huella de carbono del material, el costo por m² y el tiempo de entrega

de este, el cual fluctúa entre los 30 y 45 días. Estas variables hacen que la inclusión del producto sea lento en los proyectos de mejoramiento constructivo o rehabilitaciones energéticas.

Celulosa proyectada: La Celulosa como producto es interesante dado que viene de material reciclado (papel o cartón), en la investigación se visualizan todas sus virtudes expresadas en el punto 6.4 del documento. Los análisis realizados nos presentan que su HC finalmente fue la más favorable, en comparación con otros materiales analizados; su implementación requiere de un cambio cultural... la suciedad en su ejecución, la mano de obra especializada, la subcontratación en ese caso o la capacitación a trabajadores, disminuye la voluntad de utilización por parte de los proyectistas y ejecutores de proyectos. Importante mencionar variables incorporadas y analizadas en los datos de la simulación de licitación de obras, el presupuesto incluyó mano de obra especializada, máquinas y equipos especializados para su trabajo, aun así la HC final fue comparativamente favorable.

Lana de Roca: El mayor problema de la Lana de Roca es su HC en el proceso de fabricación, pero a pesar de no ser un material de origen orgánico, sino mineral, presenta en los datos obtenidos buenas prestaciones medioambientales que se conjugan de manera correcta con el costo del m^2 . A diferencia del EPS, el cual en varios análisis se acerca a datos positivos, la Lana de Roca si responde de manera ignifuga, facilidad de instalación, no requiere mano de obra especializada ni subcontratación, y es un material simple de instalar, lamentablemente aún es importado, lo que desproporcionó su valor ambiental desde el punto de vista de la HC generada.

Importante considerar que la vida útil promedio que se suele considerar para edificios es de 50 años. En estos estudios la vida útil presenta diferencias significativas en cada país. Por ejemplo, en los Países Bajos el valor habitual es de 75 años para las viviendas y 20 años para las oficinas, mientras que en el Reino Unido se utilizan 60 años tanto para los edificios comerciales como para los domésticos, y en Finlandia y Suiza se consideran 100 años y 80 años, respectivamente. La amplia gama de resultados se debe a la variedad de edificios, los materiales, la vida útil considerada y las condiciones geográficas y climáticas (EnerBuiLCA 2012). En Chile según Resolución N°43, de 26-12-2002, del Servicio de Impuestos Internos, la vida útil de construcciones con estructuras de acero, cubierta y entrepisos de perfiles acero o losas hormigón armado es de 80 años, para edificios, casas y otras construcciones, con muros de ladrillos o de hormigón, con cadenas, pilares y vigas hormigón armado, con o sin losas es de 50 años, y para edificios fabricados de material sólido albañilería de ladrillo, de concreto armado y estructura metálica su vida útil es de 40 años. La evaluación de esta investigación, basada en NTM 011, se sustenta también en la vida útil del edificio respecto de la velocidad de los cambios normativos, para ser realmente eficientes en el uso de los recursos públicos.

Respecto de la hipótesis planteada es posible diseñar soluciones sustentables y disminuir la HC generada por los proyectos de rehabilitación de la envolvente, utilizando materiales aislantes de carácter natural y mineral, con emisiones bajas en etapa de fabricación, pero eso no asegura que en etapa de construcción se mantenga un valor bajo. Dado que esa etapa se suelen utilizar variados materiales, máquinas y herramientas que inciden en la HC de la ejecución del proyecto, como por ejemplo la instalación de faena y los cierres provisorios. Importante destacar el análisis de los materiales a utilizar referente a la ubicación de su producción y cercanía al lugar de uso, ya que el transporte y la distancia inciden considerablemente en la HC final, aunque el material a usar sea ventajoso respecto a su aporte medioambiental. Desde el punto de vista económico el incremento del costo de la solución sustentable por m^2 , es menor al 10% respecto a las soluciones existentes en casos de estudio investigados, esto respecto de la utilización de la estrategia de muro ventilado y los aislantes de lana de roca en el Caso 2 y de Celulosa proyectada en el Caso 1 y 2. Los aumentos en estas propuestas no superan el 20% en ningún caso, incluso en el Caso 1 existe una disminución del gasto utilizando Celulosa proyectada.

En torno a las soluciones existentes, y el alcance de la NTM 011, se logra aportar indudablemente al confort térmico del aula, además de impulsar estrategias de diseño de rehabilitaciones de muros, ello permanece como algo indispensable a la hora de aumentar o disminuir la HC en el proyecto, después de esta investigación podemos determinar que existen múltiples

variables para definir si una solución es sustentable, para eso es importante tener una línea base de referencia, para con ello, lograr alcanzar valores adecuados respecto de las normativas existentes.

La línea base de soluciones sustentables tendrán distintas variables respecto del requerimiento, por lo tanto es prioritario establecer los parámetros necesarios para interpretar la elección del material constructivo adecuado. Los factores de sustentabilidad para determinar la línea base finalmente se valorizan multidimensionalmente, desarrollando un enfoque holístico en la rehabilitación de la envolvente, combinando alternativas de adaptación económicamente viables medioambientalmente eficientes.

11 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Completar la evaluación de la HC y U en otras áreas sensibles, como la techumbre y las ventanas, también incorporar en la evaluación todos los materiales aislantes existentes en Chile.
- Complementariamente evaluar cómo afectan las estrategias de diseño respecto de la HC en etapa de uso del edificio, es algo que mejoraría la investigación alcanzando mayores datos para una línea base más precisa en la comuna.
- Ampliando la investigación a toda la Región de Coquimbo se deberían visualizar otras estrategias constructivas respecto de la variabilidad climática, Cordillera – Costa – Valles transversales, para así generar otras líneas base que respondan adecuadamente a cada comuna y de esta manera los recursos estatales se utilizarían de manera sostenible incentivando la mejora de políticas públicas en infraestructura educacional.

GLOSARIO

Calentamiento global: Es un aumento, en el tiempo, de la temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos. Se postula que la temperatura se ha elevado desde finales del siglo XIX debido a la actividad humana, principalmente por las emisiones de CO₂ que incrementaron el efecto invernadero.

Envolvente térmica: La envolvente termica de un edificio es el conjunto de cerramientos (suelos, cubiertas, fachadas, etc.) que separan los espacios habitables con el exterior.

Mejoramientos constructivos: Mejoramientos de elementos de construcción, como envolventes de recintos, patios, escaleras, ventanas, puertas, etc.

Rehabilitación energética: No solo como aquella acción constructiva o edificatoria realizada para mejorar las condiciones estéticas, de habitabilidad, de salubridad, de accesibilidad, de seguridad estructural, constructiva y de las instalaciones y de protección frente a agentes exteriores, sino que va más allá, realizando una serie de mejoras en la envolvente del edificio o de la vivienda, cuyo objetivo principal es la reducción del consumo energético del inmueble, reduciendo al mismo tiempo tanto las emisiones de CO₂ a la atmósfera, como las facturas energéticas mensuales.

Línea base: la línea de base, línea basal o estudio de base es la primera medición de todos los indicadores contemplados en el diseño de un proyecto y, por ende, permite conocer el valor de los indicadores al momento de iniciarse las acciones planificadas, es decir, establece el 'punto de partida' del proyecto o intervención.

ACV: Análisis de ciclo de vida; Herramienta que permite cuantificar de forma objetiva, científica y verificable el impacto sobre el medio ambiente del ciclo de vida de productos y servicios durante todas las etapas de su vida.

Huella de carbono: La huella de carbono es un indicador ambiental que pretende reflejar «la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto.

Transmitancia térmica: La transmitancia térmica es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano paralelas, cuando hay un gradiente térmico de 1°C de temperatura entre los dos ambientes que éste separa.

Edificación estratégica: Es aquella edificación donde funcionan y operan instalaciones de utilidad pública necesarias en la recuperación de la normalidad posterior a un sismo o evento de gran magnitud, y que deben permanecer en funcionamiento durante y después de dicho evento.

ÁBACO-CHILE: La herramienta ÁBACO-CHILE es una plataforma web de gestión digital, pública, escalable y de libre acceso, en base a un banco de costos e indicadores medioambientales orientado a hacer más eficiente el proceso de postulación, evaluación y seguimiento de proyectos de construcción pública y privada en Chile, desde el punto de vista económico, social y ambiental.

12 FIGURAS, TABLAS, IMÁGENES, GRÁFICOS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS.

FIGURAS:

Figura 1: Visualización del flujo del proyecto en la evaluación multiobjetivo del rendimiento medioambiental (Fuente: Nielsen, 2016).

Figura 2: Análisis de Huella de Carbono en etapa de diseño (Fuente: Proyecto arCo2, 2015).

Figura 3: Aspectos mejorados a través de eficiencia energética en la Sala de clases. (Fuente: Elaboración propia).

Figura 4: Esquema módulos de información para las diferentes etapas de evaluación del edificio (Fuente: Norma UNE-EN 15978/2012).

Figura 5: Esquema gráfico de la evaluación de Huella de Carbono en una obra de construcción (Fuente: MHSEE 2018).

Figura 6: Flujograma de metodología para alcanzar los objetivos de la investigación (Fuente: Elab. Propia).

Figura 7: Solución constructiva existente, materialidad muro de aula, escuela Coquimbo (Fuente: Levantamiento planimétrico).

Figura 8: Solución constructiva mejorada, materialidad muro de aula, escuela Coquimbo (Fuente: Elaboración propia).

Figura 9: Esquema de flujo térmico muro H.A. en envolvente constructiva existente (Fuente: Elab. propia).

Figura 10: Esquema de flujo térmico muro H.A. en envolvente constructiva mejorada (Fuente: Elab. propia).

Figura 11: Solución constructiva existente, materialidad muro de aula, escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Elab. Propia).

Figura 12: Solución constructiva mejorada, materialidad muro de aula, escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Elab. propia).

Figura 13: Flujo térmico muro Estructura de acero con tabiquería de madera por zona de envolvente (Fuente: Elab. propia).

Figura 14: Flujo térmico Estructura de acero con tabiquería de madera en envolvente constructiva mejorada (Fuente: Elab. propia).

Figura 15: Solución constructiva existente, materialidad muro de aula, Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Levantamiento planimétrico).

Figura 16: Solución constructiva mejorada, materialidad muro de aula, Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Elab. propia).

Figura 17: Flujo térmico muro Albañilería reforzada por zona de envolvente constructiva (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Figura 18: Flujo térmico muro Albañilería reforzada en envolvente constructiva mejorada (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

TABLAS:

Tabla 1: Proyectos de infraestructura educacional 2019, Región de Coquimbo (Fuente: elaboración propia, según plataforma de presentación de proyectos del Ministerio de Educación, www.inframineduonlinea.cl).

Tabla 2: Bases de licitación tipo, proyectos ejecutados el año 2018 y 2019 en la Región de Coquimbo (Fuente: SECREDOC 2019).

Tabla 3: Valores mínimos recomendados de transmitancia térmica para la envolvente habitacional (Fuente: NCh1079/2008, W/m^2K).

Tabla 4: Síntesis de parámetros de confort térmico y propiedades térmicas de la envolvente (Fuente: TDRé MOP DA).

Tabla 5: Valores límite de Transmitancia térmica para zona climática Norte Litoral, 1NL (Fuente: TDRé MOP DA).

Tabla 6: Exigencias térmicas referidas a la solución constructiva (Fuente: según NTM 011).

Tabla 7: Exigencias referidas al material aislante incorporado a la solución constructiva (Fuente: según NTM 011).

Tabla 8: Transmitancia térmica U máxima y resistencia térmica R_t mínima para complejo de techumbre, muro, piso ventilado y puertas opacas en edificaciones de uso residencial, educación y salud (Fuente: Guía para intervenciones de Conservación, Guía Criterios de Diseño para Proyectos de Ampliación, Reposición y Construcción Nueva MINEDUC. Propuesta de actualización Art. 4.1.10 de Reglamentación Térmica).

Tabla 9: Estimación del retorno energético y ecológico de los escenarios alternativos (Fuente: Análisis de la amortización de las emisiones primarias de energía y CO₂ en relación con el aumento de la resistencia térmica de un edificio. Autores: K. Valančius, T. Vilutienė, A. Rogoža).

Tabla 10: Metodologías para alcanzar los objetivos de la investigación (Fuente: Elab. Propia).

Tabla 11: Recomendaciones sobre instalación de aislación térmica (Fuente: Guía para intervenciones de conservación, DIE MINEDUC 2020)

Tabla 12: Resistencia térmica y transmitancia del muro – Hormigón (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 13: Resistencia térmica y transmitancia del muro – Tabiquería y aislante (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 14: Resistencia térmica y transmitancia total del muro (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 15: Características generales de la techumbre (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 16: Resistencia térmica y transmitancia de los elementos predominantes en techumbre (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 17: Resumen de ventanas en el colegio (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 18: Comparativa de la transmitancia actual y la exigida por la OGUC (Fuente: Plataforma MINEDUC 2020).

Tabla 19: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Hormigón Armado existente (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 20: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Hormigón Armado mejorado (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 21: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente (Fuente: González Vallejo, Patricia (2018). Herramienta para la estimación de costes económicos y ambientales en el Ciclo de Vida de edificios residenciales. Fase de Construcción).

Tabla 22: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente con aislación de Losa de corcho (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 23: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente con aislación de Celulosa proyectada (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018)

Tabla 24: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Hormigón Armado existente con aislación de Lana de Roca (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 25: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera existente (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 26: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante de Losa de corcho (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 27: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante de Celulosa proyectada (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 28: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante Lana de roca (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 29: Cálculo de Huella de Carbono en Muro existente de Estructura de acero con tabiquería de madera (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 30: Cálculo de Huella de Carbono en Muro mejorado de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante Losa de corcho (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 31: Cálculo de Huella de Carbono en Muro mejorado de Estructura de acero con tabiquería de madera y aislante Celulosa proyectada (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 32: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Estructura de acero con tabiquería de madera mejorada y aislante Lana de roca (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 33: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada existente (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 34: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Losa de corcho (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 35: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Celulosa proyectada (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 36: Cálculo de Transmitancia térmica en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Lana de roca (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Tabla 37: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada existente (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 38: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Losa de corcho (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 39: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Celulosa proyectada (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 40: Cálculo de Huella de Carbono en Muro de Albañilería reforzada mejorado con aislación Lana de roca (Fuente: González Vallejo Patricia, 2018).

Tabla 41: Matriz comparativa de tipo de envolventes diseñadas y analizadas respecto de variables medioambientales y económicas por m². (Elab. Propia)

IMÁGENES:

Imagen 1: Mapa de ubicación comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo (Fuente: Mapa político administrativo de Chile, www.escolares.net)

Imagen 2: Emplazamiento de escuelas elegidas por su materialidad de envolvente, comuna de Coquimbo (Fuente: Google earth, 2019).

Imagen 3: Emplazamiento del establecimiento educacional, Escuela Coquimbo (Fuente: Google earth, 2019).

Imagen 4: Patio pre básica, fachada exterior e interior de aula (Fuente: Imagen propia, 2019).

Imagen 5: Emplazamiento establecimiento educacional, Escuela Mario Muñoz Silva (Fuente: Google earth, 2019)

Imagen 6: Fachadas de aulas del establecimiento educacional (Fuente: Imagen propia, 2019).

Imagen 7: Emplazamiento de Liceo San José María Escrivá de Balaguer (Fuente: Google earth, 2019)

Imagen 8: Fachadas del establecimiento educacional (Fuente: imagen propia, 2019).

GRÁFICOS:

Gráfico 1: Inversión en infraestructura educacional, Región de Coquimbo (Fuente: elaboración propia, según plataforma de presentación de proyectos del Ministerio de Educación, www.inframeducenlinea.cl).

Gráfico 2: Tipologías de envolventes en establecimientos educacionales en la comuna de Coquimbo (Fuente: Elab. Propia).

Gráfico 3: Registro y comparación de envolventes en EE.EE. en la comuna de Coquimbo (Fuente: Elab. Propia)

Gráfico 4: Transmitancias térmicas comparadas por solución existente y propuesta (Fuente: Elab. Propia según NCh853:2007).

Gráfico 5: Huella de carbono comparada por solución existente y propuesta (Fuente: Metodología ACV según ISO 14040-14044).

Gráfico 6: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envolvente en Escuela Coquimbo. (Elab. Propia, información de ÁBACO-CHILE)

Gráfico 7: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 1m² de envolvente en Escuela Coquimbo. (Elab. Propia, información de ÁBACO-CHILE)

Gráfico 8: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 385m² de envolvente en Escuela Mario Muñoz Silva. (Elab. Propia, información de ÁBACO-CHILE)

Gráfico 9: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 1m² de envolvente en Escuela Mario Muñoz Silva. (Elab. Propia, información de ÁBACO-CHILE)

Gráfico 10: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envolvente en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer. (Elab. Propia, información de ÁBACO-CHILE)

Gráfico 11: Huella de Carbono generada en proyectos de rehabilitación por tipo de aislación para 1m² de envolvente en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer. (Elab. Propia, información de ÁBACO-CHILE)

Gráfico 12: Inversión en proyecto de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envolvente en Escuela Coquimbo. (Elab. propia)

Gráfico 13: Gasto a ejecutar por M² en proyecto de rehabilitación y tipo de aislación en Escuela Coquimbo. (Elab. Propia)

Gráfico 14: Inversión en proyecto de rehabilitación por tipo de aislación para 345m² de envolvente en Escuela Mario Muñoz Silva. (Elab. propia)

Gráfico 15: Gasto a ejecutar por M² en proyecto de rehabilitación y tipo de aislación en Escuela Mario Muñoz Silva. (Elab. Propia)

Gráfico 16: Inversión en proyecto de rehabilitación por tipo de aislación para 900m² de envolvente en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer. (Elab. Propia)

Gráfico 17: Gasto a ejecutar por M² en proyecto de rehabilitación y tipo de aislación en Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer. (Elab. Propia)

DETALLES CONSTRUCTIVOS:

Detalle constructivo 1: Corte esquemático de solución constructiva de referencia en escuela de la comuna de Coquimbo (Plataforma de proyectos, SECREDOC 2020)

13 BIBLIOGRAFÍA

- Ali, Hikmat, and Rifqa Hashlamun. 2019. "Envelope Retro Fit Strategies for Public School Buildings in Jordan." *Journal of Building Engineering* 25(June):100819.
- Alsayed, Mohammed F., and Rawan A. Tayeh. 2019. "Life Cycle Cost Analysis for Determining Optimal Insulation Thickness in Palestinian Buildings." *Journal of Building Engineering* 22(July 2018):101–12.
- De Angelis, E., A. L. C. Ciribini, L. C. Tagliabue, and M. Paneroni. 2015. "The Brescia Smart Campus Demonstrator. Renovation toward a Zero Energy Classroom Building." *Procedia Engineering* 118:735–43.
- Anon. n.d. "Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) ▪ Www.Acee.Cl."
- Anon. n.d. "Impuestos Verdes." 1–12.
- Anon. n.d. *TDR MOP-DA*.
- Avance, Informe D. E., Cnico Codigo, Desarrollo D. E. Nuevas, Herramientas Normativas, L. A. Gesti, and Ambiental Beneficiario. 2013. "Programa de Bienes Públicos Para La Competitividad 1°."
- Becker, Rachel, Itamar Goldberger, and Monica Paciuk. 2007. "Improving Energy Performance of School Buildings While Ensuring Indoor Air Quality Ventilation." *Building and Environment* 42(9):3261–76.
- Bonafous, Pierre. 2003. "9 11 12 10." *La Revista de La Oede Para La Construcción y El Equipamiento de La Educación* 49:39.
- Bribián, Ignacio Zabalza, Antonio Valero Capilla, and Alfonso Aranda Usón. 2011. "Life Cycle Assessment of Building Materials : Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-Eficiency Improvement Potential." 46.

- BSI. 2011. "PAS 2050:2011 Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. British Standards Institution, London." 1–45.
- Bull, Jamie, Akshay Gupta, Dejan Mumovic, and Judit Kimpian. 2014. "Life Cycle Cost and Carbon Footprint of Energy Efficient Refurbishments to 20th Century UK School Buildings." *International Journal of Sustainable Built Environment* 3(1):1–17.
- Burman, Esfand, Judit Kimpian, and Dejan Mumovic. 2018. "Building Schools for the Future: Lessons Learned from Performance Evaluations of Five Secondary Schools and Academies in England." *Frontiers in Built Environment* 4(April):1–16.
- Ciampi, M., F. Leccese, and G. Tuoni. 2003a. "Ventilated Facades Energy Performance in Summer Cooling of Buildings." *Solar Energy* 75(6):491–502.
- Ciampi, M., F. Leccese, and G. Tuoni. 2003b. "Ventilated Facades Energy Performance in Summer Cooling of Buildings." *Solar Energy* 75(6):491–502.
- El-darwish, Ingy, and Mohamed Gomaa. 2020. "Retrofitting Strategy for Building Envelopes to Achieve Energy Efficiency." *Alexandria Engineering Journal* 56(4):579–89.
- EnerBuilCA. 2012. "Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings." (May 2010):233–42.
- Gilles, Claudia Torres, and Sandro Maino Ansaldo. 2015. "Evolución de Los Sistemas Constructivos En La Arquitectura Escolar Chilena Del Siglo XX." *Actas Del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de La Construcción, Segovia, 13 a 17 de Octubre de 2015* (Cuadra):1693–1702.
- Gobierno de Chile. 2008. "O.G.U.C." 121.
- Gregório-Atem, Camila. 2016. "Fachadas Ventiladas: Hacia Un Diseño Eficiente En Brasil." 288.
- Hollberg, Alexander, Thomas Lützkendorf, and Guillaume Habert. 2019. "Top-down or Bottom-up ? – How Environmental Benchmarks Can Support the Design Process." *Building and Environment* 153(February):148–57.
- Hu, Junsheng, and Jing Wu. 2015. "Analysis on the Influence of Building Envelope to Public Buildings Energy Consumption Based on DeST Simulation." *Procedia Engineering* 121:1620–27.
- IPCC. 2019. *Calentamiento Global de 1,5 °C*.
- Katafygiotou, M. C., and D. K. Serghides. 2014. "Analysis of Structural Elements and Energy Consumption of School Building Stock in Cyprus: Energy Simulations and Upgrade Scenarios of a Typical School." *Energy and Buildings* 72:8–16.
- Kershaw, T., and S. Simm. 2014. "Thoughts of a Design Team: Barriers to Low Carbon School Design." *Sustainable Cities and Society* 11(2014):40–47.
- Kunič, Roman. 2017. "Carbon Footprint of Thermal Insulation Materials in Building Envelopes." *Energy Efficiency* 10(6):1511–28.
- María, Herminia, and Guillermo José. n.d. "Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Aplicación Simplificada a Muros Exteriores de Viviendas Económicas Del Nordeste Argentino." (1):1–7.
- Martínez-Rocamora, A., J. Solís-Guzmán, and M. Marrero. 2016. "LCA Databases Focused on Construction Materials: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58:565–73.

- Martinez, Andrea, and Anders Carlson. 2014. "State of the Art Methodology to Assess Energy Facade Retrofits (EFR)." *ARCC/EAAE 2014 - Beyond Architecture: New Intersections & Connections* 372–81.
- Ministerio de Desarrollo Social. 2017. "Estimación Del Precio Social Del CO2." 18.
- Ministerio de Educación Gobierno de Chile. n.d. *Transformando Espacios Educativos: Guía Para Intervenciones de Conservación 2020*.
- Ministerio de Hacienda. 2019. "Ley de Presupuesto Del Sector Publico Año 2019." 966.
- MMA. 2017. "Plan Nacional Climatico 2017 2022." 54,13.
- MMA. 2018. *Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile Sobre Cambio Climático 2018*.
- Muñoz Sanguinetti, Claudia. 2013. "Estudio de La Energia Incorporada y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero En El Ciclo de Vida de Viviendas En Chile." 345.
- Nielsen, Anne N., Rasmus L. Jensen, Tine S. Larsen, and Søren B. Nissen. 2016. "Early Stage Decision Support for Sustainable Building Renovation - A Review." *Building and Environment* 103:165–81.
- Patania, F., A. Gagliano, F. Nocera, A. Ferlito, and A. Galesi. 2010. "Thermofluid-Dynamic Analysis of Ventilated Facades." *Energy and Buildings* 42(7):1148–55.
- Power, Anne. 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.
- Programme, Industrial Ecology, International Climate, and Environment Research-oslo. 2009. "Carbon Footprint of Nations : A Global , Trade-Linked Analysis." 43(16):6414–20.
- Radhi, H. 2010. "On the Optimal Selection of Wall Cladding System to Reduce Direct and Indirect CO 2 Emissions." *Energy* 35(3):1412–24.
- Ramstein, Celine, Goran Dominioni, Sanaz Etehad, Long Lam, Maurice Quant, Jialiang Zhang, Louis Mark, Sam Nierop, Tom Berg, Paige Leuschner, Cara Merusi, Noernie Klein, and Ian Trim. 2019. *State and Trends of Carbon Pricing 2019*.
- Stern. n.d. "Report of the High-Level Commission on Carbon Prices Supported By :"
- Tártaro, Ana S., Teresa M. Mata, António A. Martins, and Joaquim C. G. Esteves da Silva. 2017. "Carbon Footprint of the Insulation Cork Board." *Journal of Cleaner Production* 143:925–32.
- Universidad Nacional del Litoral, Argentina. 2019. "Prácticas Arquitectónicas Sustentables Universidad Nacional Del Litoral."
- Valancius, Kestutis. 2018. "Analysis of the Payback of Primary Energy and CO2 Emissions in Relation to the Increase of Thermal Resistance of a Building Energy & Buildings Analysis of the Payback of Primary Energy and CO 2 Emissions in Relation to the Increase of Thermal Resistance O." (September).
- Valderrama, José O., César Espíndola, and Rafael Quezada. 2011. "Huella de Carbono, Un Concepto Que No Puede Estar Ausente En Cursos de Ingeniería y Ciencias." *Formación Universitaria* 4(3):3–12.
- Vullo, Pascal, Alessio Passera, Roberto Lollini, Alessandro Prada, and Andrea Gasparella. 2018. "Implementation of a Multi-Criteria and Performance-Based Procurement Procedure for Energy Retro Fi Tting of Facades during Early Design." *Sustainable Cities and Society* 36(August 2017):363–77.

- Wang, Bo, Xiaohua Xia, and Jiangfeng Zhang. 2014. "A Multi-Objective Optimization Model for the Life-Cycle Cost Analysis and Retrofitting Planning of Buildings." *Energy and Buildings* 77(September 2018):227–35.
- Wilkinson, Sara. 2012. "Analysing Sustainable Retrofit Potential in Premium Office Buildings." *Structural Survey* 30(5):398–410.
- Yendegaia, Parque Nacional. 2017. "Plan_Nacional_Climatico_2017_2."
- Zimmermann, M., H. J. Althaus, and A. Haas. 2005. "Benchmarks for Sustainable Construction: A Contribution to Develop a Standard." *Energy and Buildings* 37(11 SPEC. ISS.):1147–57.
- Cuadra, Manuel. 2010. *Arquitectura en América Latina: Perú, Bolivia, Ecuador y Chile en los siglos XIX y XX*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes, Instituto de Investigación INIFUA

14 ANEXOS

A continuación se presentan los presupuestos realizados en el programa ÁBACO-CHILE, de cada caso simulado, de los cuales se desprenden los análisis y conclusiones de esta etapa del proyecto: Análisis ambiental y económico.

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, Poliestireno expandido 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|--------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 220,00 | 18,160 | 3,995,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 805 | 724,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Poliestireno expandido e: 0,05m | m2 | 900,00 | 9,000 | 8,100,000 |
| I.2.b | Barrera de humedad | | | | |
| I.2.b.1 | Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable | m2 | 900,00 | 4,952 | 4,456,800 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,156 | 2,840,400 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,765 | 5,188,500 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 4,159 | 3,743,100 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 41,766,546 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 41,766,546 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 4,176,655 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 8,353,309 |
| IVA | | | | | 7,935,644 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 62,232,154 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, **Losa de Corcho 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 220,00 | 18,160 | 3,995,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 635 | 571,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Losa de corcho aglomerado e: 0,05m | m2 | 900,00 | 37,281 | 33,552,900 |
| I.2.b | Barrera de humedad | | | | |
| I.2.b.1 | Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable | m2 | 900,00 | 4,952 | 4,456,800 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,122 | 2,809,800 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,836 | 5,252,400 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,385 | 3,046,500 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 66,403,146 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 66,403,146 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 6,640,315 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 13,280,629 |
| IVA | | | | | 12,616,598 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 98,940,688 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, Celulosa proyectada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-----------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 120,00 | 18,160 | 2,179,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 805 | 724,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Celulosa proyectada 0,05m | m2 | 900,00 | 14,520 | 13,068,000 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,156 | 2,840,400 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,765 | 5,188,500 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 4,159 | 3,743,100 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| | | | | | |
| | SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | 40,461,746 |
| | SUBTOTAL COSTO NETO | | | | 40,461,746 |
| | GASTOS GENERALES 10% | | | | 4,046,175 |
| | UTILIDADES 20% | | | | 8,092,349 |
| | IVA | | | | 7,687,732 |
| | TOTAL PRESUPUESTO | | | | 60,288,002 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, Lana de roca 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 220,00 | 18,160 | 3,995,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 635 | 571,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Lana de roca 0,05m | m2 | 900,00 | 18,597 | 16,737,300 |
| I.2.b | Barrera de humedad | | | | |
| I.2.b.1 | Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable | m2 | 900,00 | 4,952 | 4,456,800 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,122 | 2,809,800 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,836 | 5,252,400 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,385 | 3,046,500 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 49,587,546 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 49,587,546 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 4,958,755 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 9,917,509 |
| IVA 19% | | | | | 9,421,634 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 73,885,444 |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, **Poliestireno expandido 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 728.620,044 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Poliestireno expandido e: 0,05m | m2 | 1,69 | 1.520 |
| I.2.b | Barrera de humedad | | | |
| I.2.b.1 | Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable | m2 | 39,533 | 35.579,504 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,229 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | un | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 768.755,199 |
| | | | | 768, 76 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, [Losa de Corcho Aglomerado 50mm](#)

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 728.620,044 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Losa de corcho aglomerado e: 0,05m | m2 | 1110.44 | 999396 |
| I.2.b | Barrera de humedad | | | |
| I.2.b.1 | Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable | m2 | 39,533 | 35.579,504 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,229 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | un | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 1.766.631,199 |
| | | | | 1766,63 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, Celulosa proyectada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 728.620,044 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Celulosa proyectada 0,05m | m2 | 0,32 | 288 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,229 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | un | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 731.943,695 |
| | | | | 731, 94 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Coquimbo

Caso 1, Muro existente de Hormigón Armado.

Aislación utilizada, Lana de roca 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 728.620,044 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Lana de roca 0,05m | m2 | 521,25 | 469.125,652 |
| I.2.b | Barrera de humedad | | | |
| I.2.b.1 | Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable | m2 | 39,533 | 35.579,504 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,229 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | un | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 1.236.360,851 |
| | | | | 1236,36 Ton CO₂ - eq |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva
 Caso 2, Muro Estructura de Acero con Tabiquería de madera
 Aislación utilizada, **Poliestireno expandido 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 140,00 | 18,160 | 2,542,400 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"6" con anclaje | uni | 636,00 | 24,784 | 15,762,624 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 385,00 | 5,789 | 2,228,765 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Poliestireno expandido e: 0,05m | m2 | 385,00 | 9,000 | 3,465,000 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 385,00 | 13,081 | 5,036,185 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 385,00 | 4,195 | 1,615,075 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 385,00 | 36,964 | 14,231,140 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 49,023,135 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 49,023,135 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 4,902,314 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 9,804,627 |
| IVA | | | | | 9,314,396 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 73,044,471 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva

Caso 2, Muro Estructura de Acero con Taquiería de madera

Aislación utilizada, Losa de corcho 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 140,00 | 18,160 | 2,542,400 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 636,00 | 24,784 | 15,762,624 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 385,00 | 5,789 | 2,228,765 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Losa de corcho aglomerado e:0,05m | m2 | 385,00 | 37,281 | 14,353,185 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 385,00 | 13,081 | 5,036,185 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 385,00 | 4,195 | 1,615,075 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibro cemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 385,00 | 36,964 | 14,231,140 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 59,911,320 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 59,911,320 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 5,991,132 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 11,982,264 |
| IVA | | | | | 11,383,151 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 89,267,867 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva

Caso 2, Muro Estructura de Acero con Taquiería de madera

Aislación utilizada, Celulosa proyectada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 140,00 | 18,160 | 2,542,400 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 636,00 | 24,784 | 15,762,624 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 385,00 | 5,789 | 2,228,765 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Celulosa proyectada 0,05m | m2 | 385,00 | 14,520.00 | 5,582,500 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 385,00 | 13,081 | 5,036,185 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 385,00 | 4,195 | 1,615,075 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibro cemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 385,00 | 36,964 | 14,231,140 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 51,140,635 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 51,140,635 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 5,114,064 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 10,228,127 |
| IVA | | | | | 9,716,721 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 76,199,546 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva

Caso 2, Muro Estructura de Acero con Taquiería de madera

Aislación utilizada, Lana de roca 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|--------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 140,00 | 18,160 | 2,542,400 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 636,00 | 24,784 | 15,762,624 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 385,00 | 5,789 | 2,228,765 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Lana de roca 0,05m | m2 | 385,00 | 18,597 | 7,159,845 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 385,00 | 13,081 | 5,036,185 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 385,00 | 4,195 | 1,615,075 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibro cemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 385,00 | 36,964 | 14,231,140 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 52,717,980 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 52,717,980 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 5,271,798 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 10,543,596 |
| IVA | | | | | 10,016,416 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 78,549,790 |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva
 Caso 2, Muro existente de Estructura de Acero con tabiquería de madera.
 Aislación utilizada, **Poliestireno expandido 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 463.667,301 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 0,027 | 17,407 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 609,847 | 234.791,162 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Poliestireno expandido e: 0,05m | m2 | 1,76 | 677,6 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 0,873 | 335,943 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,131 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 6,930 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 701.999,692 |
| | | | | 701,99 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva
 Caso 2, Muro existente de Estructura de Acero con tabiquería de madera.
 Aislación utilizada, [Losa de Corcho Aglomerado 50mm](#)

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 463.667,301 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 0,027 | 17,407 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 609,847 | 234.791,162 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Losa de corcho aglomerado e: 0,05m | m2 | 1100,44 | 423.669,4 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 0,873 | 335,943 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,131 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 6,930 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 1.124.991,492 |
| | | | | 1124,99 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva
 Caso 2, Muro existente de Estructura de acero con tabiquería de madera.
 Aislación utilizada, Celulosa proyectada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 463.667,301 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 0,027 | 17,407 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 609,847 | 234.791,162 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Celulosa proyectada 0,05m | m2 | 0,32 | 123,2 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 0,873 | 335,943 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,131 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 6,930 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 701.445,292 |
| | | | | 701,45 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Escuela Mario Muñoz Silva
 Caso 2, Muro existente de Estructura de acero con tabiquería de madera.
 Aislación utilizada, Lana de Roca 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 463.667,301 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Tabiquería de madera | | | |
| I.1.a | Estructura de soporte | | | |
| I.1.a.2 | Coloc/Pilar madera estandar 2"*6" con anclaje | uni | 0,027 | 17,407 |
| I.1.a.2 | Coloc/rev/tablero OSB estructural 11,1mm/entramado de madera | m2 | 609,847 | 234.791,162 |
| I.2 | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a | Material aislante | | | |
| I.2.a.1 | Inst/Lana de roca 0,05m | m2 | 521,25 | 200.681,25 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.2 | Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm | m2 | 0,873 | 335,943 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,131 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 6,930 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 902.003,342 |
| | | | | 902, 00 Ton CO₂ - eq |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

Caso 3, Muro Albañilería reforzada

Aislación utilizada, **Poliestireno expandido 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 120,00 | 18,160 | 2,179,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 805 | 724,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Poliestireno expandido e: 0,05m | m2 | 900,00 | 9,000 | 8,100,000 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,156 | 2,840,400 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,765 | 5,188,500 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 4,159 | 3,743,100 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 35,493,746 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 35,493,746 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 3,549,375 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 7,098,749 |
| IVA | | | | | 6,743,812 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 52,885,682 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrava de Balaguer

Caso 3, Muro Albañilería reforzada

Aislación utilizada, Losa de corcho aglomerada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 120,00 | 18,160 | 2,179,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 805 | 724,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Losa de corcho aglomerado e: 0,05m | m2 | 900,00 | 37,281 | 33,552,900 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,156 | 2,840,400 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,765 | 5,188,500 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 4,159 | 3,743,100 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibrocemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 60,946,646 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 60,946,646 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 6,094,665 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 12,189,329 |
| IVA | | | | | 11,579,863 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 90,810,503 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo Escrivá de Balaguer
 Caso 3, Muro Albañilería reforzada
 Aislación utilizada, Celulosa proyectada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|--------------------------|---|--------|----------|----------------|-------------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 120,00 | 18,160 | 2,179,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 805 | 724,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Celulosa proyectada 0,05m | m2 | 900,00 | 14,520 | 13,068,000 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,156 | 2,840,400 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,765 | 5,188,500 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 4,159 | 3,743,100 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 40,461,746 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 40,461,746 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 4,046,175 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 8,092,349 |
| IVA | | | | | 7,687,732 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 60,288,002 |

PRESUPUESTO DESGLOSADO ECONÓMICO

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo Escrivá de Balaguer
 Caso 3, Muro Albañilería reforzada
 Aislación utilizada, Lana de Roca 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | TOTAL |
|-----------|---|--------|----------|----------------|------------|
| I | Obras Previas | | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 132,037 | 264,074 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 2,00 | 1,378,340 | 2,756,680 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 120,00 | 18,160 | 2,179,200 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 1,00 | 401,640 | 401,640 |
| II | Obra principal | | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 900,00 | 805 | 724,500 |
| I.2 | Aislación | | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Lana de roca 0,05m | m2 | 900,00 | 18,597 | 16,737,300 |
| III | Terminaciones | | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metalcom 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 900,00 | 3,156 | 2,840,400 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 900,00 | 5,765 | 5,188,500 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 900,00 | 4,159 | 3,743,100 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 900,00 | 9,529 | 8,576,100 |
| IV | Limpieza y entrega | | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | uni | 1,00 | 191,404 | 191,404 |

| | | | | | |
|--------------------------|--|--|--|--|-------------------|
| SUBTOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 44,131,046 |
| SUBTOTAL COSTO NETO | | | | | 44,131,046 |
| GASTOS GENERALES 10% | | | | | 4,413,105 |
| UTILIDADES 20% | | | | | 8,826,209 |
| IVA | | | | | 8,384,899 |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | | 65,755,259 |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

Caso 3, Muro existente de Albañilería reforzada

Aislación utilizada, **Poliestireno expandido 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 397.429,115 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Poliestireno expandido e: 0,05m | m2 | 1,76 | 1.584 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,305 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 402.048,842 |
| | | | | 402,05 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

Caso 3, Muro existente de Albañilería reforzada

Aislación utilizada, **Losa de corcho 50mm**

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|--|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 397.429,115 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Losa de corcho aglomerado e: 0,05m | m2 | 1100.44 | 990.396,00 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,305 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 1.390.860,842 |
| | | | | 1390,86 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

Caso 3, Muro existente de Albañilería reforzada

Aislación utilizada, Celulosa proyectada 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 397.429,115 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Celulosa proyectada 0,05m | m2 | 0,32 | 288 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,305 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroemento 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 400.752,842 |
| | | | | 400,75 Ton CO₂ - eq |

CARGA AMBIENTAL

Región de Coquimbo, comuna de Coquimbo, 02 de Abril 2021

Rehabilitación constructiva de fachadas Liceo de ciencias y humanidades San José María Escrivá de Balaguer

Caso 3, Muro existente de Albañilería reforzada

Aislación utilizada, Lana de Roca 50mm

| ITEM | ESPECIFICACIONES DE OBRAS | UNIDAD | EMISIONES DE GEI UNITARIAS (kg CO2eq) | EMISIONES DE GEI TOTAL (kg CO2eq) |
|-----------|---|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| I | Obras Previas | | | |
| I.1 | Instalación de faenas | | | |
| I.1.a | Oficinas | | | |
| I.1.a.1 | Inst/bodega de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.2 | Inst/comedor de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.3 | Inst/oficina de obra prefabricada 2,45x6,0m | mes | 83,435 | 166,869 |
| I.1.a.4 | Inst/baños de obra prefabricado 2,45x6,0m | mes | 1.001,214 | 2.002,429 |
| I.1.b | Cierre perimetral | | | |
| I.2.1 | Inst/cierre perimetral de madera c/tablero aglomerado h=1,80m/2usos | m | 3.311,909 | 397.429,115 |
| I.2 | Letrero de Obras | | | |
| I.3.1 | Inst/letrero de obras | uni | 0,182 | 0,182 |
| II | Obra principal | | | |
| I.1 | Limpieza Muros | | | |
| I.1.1 | Limpieza y preparación de superficie | m2 | 0,000 | 0,000 |
| I.2 | Aislación | | | |
| I.2.a | Aislación térmica y acústica | | | |
| I.2.a.2 | Inst/Lana de roca 0,05m | m2 | 521,25 | 469125 |
| III | Terminaciones | | | |
| III.1 | Revestimiento interior | | | |
| III.1.a | Estructura de soporte | | | |
| III.1.a.1 | Inst/ Perfil metal com 38*35*15*8*0.85mm | m2 | 0,573 | 515,882 |
| III.1.b | Material de revestimiento | | | |
| III.1.b.1 | Inst/tabla de madera acetilada 0,08m | m2 | 0,000 | 0,121 |
| III.2 | Revestimiento exterior | | | |
| III.2.a | Estructura de soporte | | | |
| III.2.a.1 | Inst/Perfil acero galvanizado 60*38*6*0.85mm | m2 | 0,000 | 0,305 |
| III.2.b | Material de revestimiento | | | |
| III.2.b.1 | Inst/fibroceso 10mm*1.20*2.40 | m2 | 0,018 | 16,201 |
| IV | Limpieza y entrega | | | |
| IV.1 | Limpieza de obra y entrega de terreno. | | 0,000 | 0,000 |
| Total | | | | 869.589,842 |
| | | | | 869,59 Ton CO₂ - eq |