



INTEGRACIÓN DEL MATERIAL AISLANTE TÉRMICO TRANSPARENTE EN EL
REACONDICIONAMIENTO DE ESCUELAS CHILENAS

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN DE ARQUITECTURA

KATALINA PAZ ADRIAN PEÑA Y LILLO

PROFESOR GUÍA:

MARCELO HUENCHUÑIR B.

SANTIAGO DE CHILE

SEMESTRE OTOÑO 2022

Índice

Introducción

Presentación de la investigación

A. Introducción	4
B. Justificación del tema	4
C. Problema y pregunta de investigación	6
D. Objetivos	6
E. Metodología	7

Marco teórico

Capítulo 1: Las escuelas en Chile

A. La problemática de la educación y confort térmico	9
B. Establecimientos educacionales en Chile	12
a. Sociedad Constructora de Establecimientos educacionales	12
b. Sistemas tipificados	13
c. Proyectos experimentales	15
d. Agrupamientos	16
e. Selección de casos	17
f. Ficha de escuelas representativas	18
g. Tabla resumen escuelas	38

Capítulo 2: Tecnología del Aislante térmico transparente

A. Aislante térmico transparente transparente	40
a. Conceptos sobre aislación térmica	40
b. Presentación del Aislante térmico transparente	41

c. Funcionamiento ATT en muro	52
d. Funcionamiento ATT en ventanas	56
e. Fichas de edificios con aplicación ATT	58
Desarrollo	
Capítulo 3: Integración SAT en salas de escuelas chilenas	70
A. Aplicación en muros	72
B. Aplicación en ventanas	77
Conclusiones	83
Bibliografía	87

Introducción

A. Introducción

Este seminario de investigación tiene como propósito dar a conocer el material aislante térmico transparente, el cual dada su transparencia se diferencia de los aislantes comunes ya que ofrece la posibilidad de ganar energía además de evitar la pérdida de esta. Pero la investigación no es solo descriptiva, ya que se enfocará en el reacondicionamiento térmico de casos específicos de escuelas chilenas, construidas hace al menos 35 años por parte de la Sociedad Constructora de Establecimiento Educativos.

De esta manera, se describirán las características principales del material, así como también de los casos de estudio para proceder a mostrar las posibles formas de integración arquitectónica, lo que además se acompañará de una aproximación de la ganancia energética que supone la integración, de manera que se pueda tener una idea sobre si el material es algo prometedor para la realidad de las escuelas chilenas y que pueda proponer una solución a la problemática que presentan muchas de ellas; la deficiencia en el confort térmico.

B. Justificación del tema

La calidad de la educación tiene una relación directa con las condiciones de la infraestructura en que ésta se imparte pues si esta última presenta deficiencias, la educación no se efectuará de manera óptima. Si la escuela presenta temperaturas más bajas de lo apropiado impactará tanto en los estudiantes como en los profesores.

Un estudio sobre la relación de la temperatura y las habilidades para aprender, de la Universidad de Scranton, EE.UU. señala que si una sala de clases se encuentra bajo la temperatura adecuada, aproximadamente 22°, tiene consecuencias negativas en la calidad de la enseñanza, pues afecta la actitud de los involucrados, produciendo desánimo, afectando la memoria y las habilidades cognitivas de los estudiantes, pues su cuerpo está reaccionando a un estímulo más fuerte que es el de sobrevivencia ante el frío y por lo tanto los estudiantes aprenden menos¹

Esta situación sin duda afecta más a los establecimientos educativos de menos recursos, generando una brecha en la igualdad en materia educativa. Así lo asegura la Dra. Maureen Trebilcock en una entrevista al diario El Sur, donde afirma que la desigualdad en cuanto al confort térmico en las escuelas “Es un reflejo de la desigualdad en la sociedad” ya que genera un efecto en cadena, donde los niños que van a escuelas más vulnerables tienen más problemas para concentrarse dadas las malas condiciones de aislamiento térmico e iluminación, lo que termina por afectar su aprendizaje y así cerrando las posibilidades que se le ofrecen en la sociedad al no estar en las mismas condiciones que sus pares.²

Actualmente las soluciones a esta problemática son integrar un sistema de calefacción como estufas o simplemente poner mantas en las salas de clases, dejando de lado la posibilidad de reacondicionar estos establecimientos para solucionar el problema de raíz.

Muchos de los establecimientos existentes hoy en día fueron construidos por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos que, dadas las necesidades de su contexto histórico-social, construyó una gran cantidad de escuelas a lo largo del país de manera mecanizada en base a tipologías establecidas previamente, para las cuales no era relevante el clima donde eran construidas. Sin embargo, muchas de estas escuelas siguen con funciones normales hasta hoy, sin haber pasado por un proceso de evaluación de las condiciones de confort térmico o del estado de su construcción.

Para mejorar las condiciones de manera definitiva se podría considerar reconstruir o bien reacondicionar estos establecimientos, lo cual sería más rápido y económico que construir una escuela nueva más apta, para lo cual generalmente no hay recursos cuando son financiadas completa o parcialmente por el estado. Para esto se considera la opción de integrar un material Aislante Térmico Transparente que funciona bien como ventana y como calefactor pasivo al aplicarlo sobre un muro, ya que además de aislar térmicamente también genera ganancias de energía a través de la captación de la radiación solar.

El ATT es utilizado como ventana o muro cortina en las fachadas vidriadas ya que ofrece una optimización de la luz natural para espacios donde el encandilamiento es un problema, además de que mejora el aislamiento de la zona acristalada, llegando a funcionar en ese sentido como un muro de bajo valor U.

Este material es una posibilidad para mejorar las condiciones de las escuelas y por lo tanto de la educación si es aplicado de forma correcta, sin embargo, aunque no es un material nuevo, no existen muchos estudios al respecto, por lo que en este trabajo se describirá en detalle para comprender sus usos para luego poder realizar una aproximación arquitectónica de cómo se podría integrar.

La importancia de esta investigación radica en que actualmente en Chile no existe un material aislante con características como las del ATT, que está siendo utilizado para fines de mejoramiento energético en Europa y EE.UU, entre otros países y dado el contexto climático global es necesario comenzar a considerar materiales que otorguen posibilidades de calefacción pasiva, en este caso aplicado en escuelas con malas condiciones de aislamiento térmico que si no afectan a la educación, generan mucho gasto energético para alcanzar temperaturas óptimas.

C. Problema y pregunta de investigación

Teniendo en cuenta que existe un material aislante térmico transparente que no ha sido investigado en Chile pero que su uso ofrece una solución a la problemática del confort térmico en las escuelas chilenas se plantea la pregunta de investigación;

¿Cómo se puede integrar el sistema de aislante térmico transparente en el reacondicionamiento de escuelas chilenas construidas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos?

Esta tiene la finalidad de guiar el trabajo hacia el descubrimiento de alternativas en las que este material se podría aplicar a la realidad chilena, considerando factores climáticos y constructivos.

D. Objetivos

Objetivo general

Evaluar las posibilidades de integración arquitectónica del Aislante Térmico Transparente en escuelas chilenas del centro y sur de Chile, en relación con el mejoramiento de las condiciones térmicas y/o lumínicas de las salas de clases.

Objetivos específicos

- Seleccionar establecimientos educativos representativos de los modelos tipológicos de la SCEE
- Detallar el sistema de Aislante Térmico Transparente, tanto como su aplicación, funcionamiento y materiales existentes.
- Identificar proyectos internacionales donde se haya aplicado el ATT, relevando el clima y las formas de aplicación en los edificios.
- Generar una ficha donde se muestren opciones de integración arquitectónica del ATT con distintos establecimientos educativos.
- Calcular la ganancia energética térmica que aporta la aplicación de ATT en algunas opciones de integración.

E. Metodología

Para lograr responder a la pregunta de investigación la metodología del seminario presentará 3 capítulos relevantes en su desarrollo, a través de los cuales se recopilará información tanto de escuelas como de edificaciones con ATT para luego, generar una tabla de opciones de integración arquitectónica de este material en las distintas escuelas.

En el capítulo 1 se presentará la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales y sus tipologías, donde se podrá comprender el contexto histórico-social en el cual estas se desarrollaron. Posteriormente, en este capítulo, se presentarán 8 escuelas representativas de distintas tipologías, seleccionadas por su ubicación geográfica, ya que para fines de la investigación es relevante conocer la relación del clima con el aporte que podría significar la inserción del Aislante Térmico Transparente. Por esta razón se seleccionan escuelas de la Región de Valparaíso, la Región del Maule y la Región de Los Lagos.

Las escuelas seleccionadas se presentan en una ficha técnica que muestra sus principales componentes relacionados con la iluminación, la materialidad, orientación y dimensiones, para luego generar una tabla resumen, donde se encontrarán los datos de transmitancia térmica del muro e iluminación comparándolos con las reglamentaciones actuales y las futuras a fin de comprender el estado de las escuelas respecto al rendimiento térmico y lumínico recomendado para su funcionamiento.

Luego, en el capítulo 2 se presentará el aislante térmico transparente (ATT) en mayor profundidad, tanto los productos existentes, los tipos de ATT, su funcionamiento y aplicación. Para conocer más del último punto se presentarán fichas de edificios donde se aplica ATT, en las cuales se especificará la ubicación, para conocer en qué tipo de clima se está aplicando, el tipo de programa en el que se utiliza, que tipo de ATT es, en qué sector del edificio se aplica, con qué orientación, de qué manera y con qué finalidad ya sea arquitectónica, constructiva, funcional, entre otras. Todo esto para inferir de qué manera se podría integrar en las escuelas.

Finalmente, el capítulo 3 de integración mostrará una ficha con un cruce de información, donde se seleccionarán distintos productos de ATT que habrán sido presentados anteriormente, los cuales permitan generar una integración y comparar su funcionamiento respecto a las características que presentan. De ellos se tomará la información de la transmitancia térmica y el porcentaje de transmisión de luz del ATT. Estos se integrarán según las posibilidades inferidas a partir del capítulo 2 con distintas tipologías de salas de clases de las escuelas seleccionadas, respetando los requerimientos de la Reglamentación térmica y/o OGUC. Se harán 3 tipos de cruces de información.

Se mostrarán dos tipos de fichas:

- Integración en muro.

Para este punto se seleccionarán las escuelas que cuenten con las condiciones básicas para integrar un ATT sobre el muro, ya sea por sus dimensiones, su clima o la materialidad. Luego también se seleccionará qué marca ofrece los materiales aptos para integrar el material al muro, teniendo dos tipos de productos para comparar su rendimiento en la integración de cada sala.

Se mostrarán las posibles integraciones arquitectónicas en diagramas, donde el material se aplicará en las fachadas expuestas de la sala, teniendo como base de aplicación una sala común de 2 caras expuestas y que se ubica entre las salas de los extremos.

Posteriormente se mostrará un cálculo de la ganancia energética que supone esta integración, con los que se podrá hacer conclusiones respecto a la posibilidad de utilizar este material como calefacción pasiva en las escuelas seleccionadas.

- Integración en ventanas

Se seguirá con la forma de selección de escuelas y material según lo mencionado en el punto anterior, pero en este caso enfocado en el material apto para integrarse en ventanas, continuando con las tipologías de salas seleccionadas anteriormente, pero en este caso considerando el muro original, sin alterarlo, sólo cambiando las ventanas por ATT.

Posteriormente se mostrará un cálculo de la ganancia energética que supone esta integración en ventanas, con el cual se mostrará si estas son un aporte en evitar la pérdida de energía en comparación con un vidrio simple.

Finalmente, con los datos obtenidos se hará una conclusión en base a los resultados obtenidos, donde se logre comparar las mejores opciones de clima, tipo de ATT, tipología de sala, materiales compatibles, energía y posibilidades de mejorar algunos resultados para finalizar volviendo a la pregunta de investigación.

Marco teórico

Capítulo 1: Las escuelas en Chile

En este capítulo se tiene como finalidad justificar la elección de la integración del ATT en establecimientos educacionales, los cuales serán desarrollados con mayor detalle, de manera que se pueda comprender la problemática de estos y conocer sus características técnicas, condiciones arquitectónicas y ubicación geográfica, lo que posteriormente permitirá generar una tabla de integración con el Aislante Térmico Transparente, en el capítulo 3.

A. La problemática de la educación y confort térmico

En Mayo de 2018 el Colegio Galvarino, en San Pedro de la Paz (Figura 1), se hizo conocido como el colegio “iglú” ya que los estudiantes debían soportar temperaturas de hasta 0°C al interior de las salas de clases. Esta problemática no es una situación puntual, sino que se repite en otros colegios, es por esto que ese mismo año, al menos 3 liceos de la Región de Ñuble protestaron contra las malas condiciones térmicas de sus recintos educacionales. Ante esta realidad, la Doctora Maureen Trebilock de la Universidad de Bío-Bío, se refiere como “un reflejo de la desigualdad de la sociedad”, ya que las escuelas más vulnerables tienen una calidad de infraestructura deficiente, donde van estudiantes de familias con bajos ingresos económicos. Este problema no solo afecta su experiencia al interior del recinto, sino también su rendimiento escolar, lo que aumenta la brecha de la desigualdad en la educación chilena.²



Figura 1: Lagos, C. Colegio Galvarino [Fotografía online Google Street].

El aprendizaje está relacionado con el confort ambiental del establecimiento. Se debe proporcionar un entorno óptimo para el aprendizaje, asegurando el cumplimiento de estándares mínimos de calidad. Diversas investigaciones han permitido relacionar los

procesos cognitivos con la influencia que ejerce sobre estos el entorno, con variables como la temperatura, humedad, acústica e iluminación natural.³

Además del malestar físico, la psicopedagoga Michelle Olguí señala que, desde la neurociencia, se ha comprobado que las salas de clases frías y/o con poca iluminación inciden negativamente en la salud de los estudiantes ya que esto activa su “sistema de alerta”, elevando los niveles de estrés, lo cual termina por afectar los procesos cognitivos relacionados con el aprendizaje.¹

Esto sucede ya que en Chile no existen exigencias que regulen las propiedades térmicas de la envolvente en edificios no residenciales, únicamente existe el Decreto supremo DS 560 que establece requerimientos de temperaturas mínimas en algunos espacios educativos y en ciertas zonas del país. En cuanto a la ventilación e iluminación en establecimientos educacionales, se establecen parámetros en el artículo 4.5.5. de la O.G.U.C (Ordenanza general de urbanismo y construcción).

El DS 560 y el artículo 4.5.5. no son vinculantes con edificaciones preexistentes, por lo que las malas condiciones al interior de las salas de clases no son mejoradas, lo que genera un gran gasto energético para compensar la insuficiencia de la infraestructura.

No obstante, la futura RT chilena, que se encuentra actualmente en la SECPRES (Secretaría general de la presidencia) establece ciertos rangos de aislamiento térmico para edificaciones de tipo escolar, entre otras. Estos valores se tienen y se utilizarán más adelante para una comparación con el valor U de los muros existentes de las escuelas seleccionadas.

Muchas de las escuelas en funcionamiento hoy en día fueron construidas hace al menos 40 años, por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales, la cual se encargó de la planificación, diseño y construcción de escuelas a lo largo del país. Resulta relevante comprender que, en la mayoría de los casos, las condiciones térmicas y lumínicas no han sido modificadas desde su construcción y como ya se ha mencionado, estos factores influyen en la educación. Cuando la SCEE comenzó la construcción de las escuelas la prioridad era brindar un recinto para disminuir el alto nivel de analfabetismo en Chile, por lo que las consideraciones térmicas se limitaban a la elección del material de cerramiento de los muros, siempre dependiendo de la disponibilidad y la capacidad económica.⁴

La SCEE construyó más de 4.000 establecimientos antes de su cierre en 1987 y según los datos de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, hasta el 2021 el número de establecimientos educacionales era de 11.285. Cabe destacar que al haber sido proyectos del Ministerio de Educación, las escuelas de la SCEE que perduran hasta hoy corresponden a la educación municipal principalmente, siendo para 2021 un total de 4.403 establecimientos educacionales municipales, aunque también podríamos encontrar ejemplares de la SCEE en establecimientos subvencionados o privados.⁵

Un punto relevante de las escuelas construidas por la SCEE es que estas fueron tipificadas y repetidas a la largo de Chile, como se mostrará con mayor detalle en la sección B.b. de

este capítulo. De esta manera, podemos encontrar modelos como el 606, tanto en el norte de Chile como en el sur, donde únicamente varían los cerramientos entre madera o albañilería o a veces son exactamente el mismo colegio en espacios geográficos con solicitudes totalmente diferentes.

Es por esto que se investigarán las tipologías desarrolladas por la SCEE, ya que su construcción masiva puede estar presentando problemáticas con relación al acondicionamiento térmico y, por lo tanto, con la educación. Esto se verificará en el punto de selección de casos, donde se verá si estas cumplen con la Reglamentación Térmica y las condiciones de iluminación exigidas por la OGUC.

Es importante comprender que para una edificación se debe considerar la zona geográfica donde se está construyendo, en relación con el clima. En la Reglamentación Térmica de Chile (RT 2007) se establecen parámetros para el acondicionamiento térmico de la vivienda, lo cual difiere según la zona geográfica donde se encuentre, o como se establece en la RT 2007, según su zonificación térmica. Esto pone en evidencia la relevancia del asunto y, por lo tanto, la problemática que surge de construir una misma tipología en climas tan diferentes, como sucede con las escuelas de la SCEE.

Cabe destacar que próximamente se implementará una nueva Reglamentación Térmica, que se mencionaba anteriormente, (a la cual nos referiremos como RT 2022) que será mucho más exigente con los requerimientos para el acondicionamiento térmico. Aunque estas nuevas exigencias no tendrán un impacto directo sobre las escuelas ya construidas a menos que se piense en su reacondicionamiento.

Para efectos de la investigación siempre que se hable de valor U se estará refiriendo al U del complejo de muro, para el cual la RT 2022 sugiere valores mucho más bajos de los permitidos en la RT 2007, esto se puede observar en la Figura 2, donde además se muestran las distintas zonas climáticas establecidas por cada RT.



Figura 2: Dolarea, M. (2020). Transmitancia térmica envoltente vertical opaca [U] [Figura].⁶

B. Establecimientos educacionales en Chile

La educación en Chile, al igual que en muchos otros países, aparece adoptando espacios destinados a otra actividad, comúnmente vinculando educación con religión. La educación, por lo tanto, se alojaba en templos, monasterios, catedrales y estaba centrada en el aprendizaje de la lectura, escritura y gramática.

A fines del siglo XVIII, la educación básica y media era accesible sólo para un grupo muy reducido y ocupando poco tiempo, mientras que la educación informal seguía siendo la más contundente, entendiéndose como la transmisión del saber y costumbres coloquiales. Únicamente la educación superior contaba con una espacialidad ad hoc a los requerimientos.

Más adelante, se desarrolla una transformación social y cultural que comenzó a vislumbrar la necesidad de una arquitectura educativa al considerar la educación como un acto independiente de las otras costumbres.

Desde mediados del siglo XIX comienzan a formalizarse los estudios sobre los espacios destinados a la educación escolar formal. Alrededor de 1930 en Chile comienza a aparecer la idea de que exista un organismo técnico y especializado en los diseños de espacios para la educación que hiciera frente a la insuficiencia de edificios escolares, así en 1937 nace la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales (SCEE), que se encarga de construir los establecimientos fiscales del país hasta 1987.⁴

a. Sociedad Constructora de Establecimientos educacionales

La Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales aparece en 1937, tomando los proyectos del Ministerio de Educación. En sus primeros 10 años levantó 189 locales educacionales, que se caracterizaban por tener una estructura maciza, de construcción lenta y monumental. Con anterioridad a la fundación de la SCEE se proyectaban escuelas que separaban a los estudiantes según su sexo, apareciendo así la "Escuela de Hombres" y la "Escuela de niñas", idea que mantuvo la SCEE en la construcción de sus escuelas.⁷

En la época de los años 60 ocurre una serie de cambios, como las migraciones masivas a las ciudades o el terremoto de 1960, las cuales comienzan a generar una demanda mucho mayor de establecimientos educacionales, por lo que la SCEE comienza a implementar una nueva técnica de construcción que pudiera responder a esta necesidad de forma acelerada.⁸

Se pueden distinguir desde entonces, dos tipos de proyectos; los proyectos especiales, descritos anteriormente, que dado su programa requieren de un proyecto constructivo y de diseño único, entre estos podemos encontrar teatros, bibliotecas, museos, edificios administrativos de la educación, algunos colegios emblemáticos, entre otros, además en esta área también se pueden encontrar los proyectos de reparación y restauración.

El segundo tipo de proyectos la SCEE lo denominó sistemas tipificados, que consistía en un sistema Tipo, una forma arquitectónica-constructiva compuesta por elementos modulares que formaban la estructura soportante que se agrupaba de distintas maneras dependiendo de las dimensiones y la materialidad. Estos Tipos fueron diseños experimentales que se iban perfeccionando por el equipo de la SCEE, de ahí nacen las variaciones, además de las posibilidades que otorgaban los nuevos materiales, en este caso, el acero.

La estrategia de construcción prefabricada permitió responder a la necesidad construcción de establecimientos educacionales en la época, tanto en áreas urbanas como rurales. Al implementar una estrategia de Tipologías para las escuelas, se redujeron los tiempos de construcción, a 60 días las estructuras de madera y 90 días las estructuras en acero, lo que aceleró en gran medida el trabajo ya que hasta 1960 la SCEE había construido solo un 30% de los establecimientos proyectados por el Ministerio de Educación.

En 1987 culmina la labor de la SCEE para con el Ministerio de Educación en su rol de planificadora, diseñadora y constructora de establecimientos educacionales y son las municipalidades las que pasan a administrar la construcción de estos, por lo que la SCEE queda a disposición de los proyectos que le sean adjudicados por las municipalidades por un tiempo y luego cerrando definitivamente.

Para esta fecha la SCEE construyó más de 4.000 establecimientos en todo el país, tanto como escuelas especiales, jardines infantiles, escuelas urbanas y escuelas rurales.⁴

b. Sistemas tipificados

Ante la reforma educacional de 1965, en el gobierno de Eduardo Frei Montalva, se dio inicio al Plan Extraordinario de Construcciones Escolares, que proponía un crecimiento acelerado de establecimientos educacionales. La SCEE comenzó a experimentar con diseños arquitectónicos con elementos prefabricados que permitieran una construcción más rápida, así aparecen los primeros sistemas tipificados con distintas variaciones que iban surgiendo a medida que se aplicaban distintos criterios de construcción. Los primeros Tipos en ser diseñados fueron el Tipo MR y el Tipo 606, se diferencian principalmente en la materialidad de su estructura, pero el diseño arquitectónico básico muy similar, desde el cual aparecen variaciones posteriores.

El tipo MR y el 606 utilizaban un módulo generador de 6 x 3 m, dando como resultado una sala de clases de 6 x 9 m, al Tipo 606 se le realizaron modificaciones tales como múltiple crujía, segundo piso o ambas, estos se agrupaban en pabellones. Posteriormente se experimentó con módulos generadores de otras dimensiones, tal como el sistema 510 o 520, con salas de 7,20 x 7,20 m agrupados en macrounidades estructurales que se alejaban del agrupamiento original.⁸

La estructura de los sistemas constructivos iniciales consiste en marcos rígidos de 6 m de luz, conformado por dos pilares y dos vigas de techo ensambladas, una viga/ventana de acero de 3 m de largo que rigidiza la estructura horizontalmente y conecta dos marcos, a su vez el material de la techumbre y cerramientos variaba de acuerdo con la disposición de materiales, recursos económicos y/o clima.

Los Tipos constructivos mantenían una fachada principalmente vidriada para las salas de clases y la fachada opuesta predominantemente opaca, con la puerta hacia el pasillo del pabellón y manteniendo a ambos lados un área para pequeñas ventanas superiores, proyectantes, compuestas por una viga Vierendeel¹ (Figura 3), que permitieran la ventilación cruzada.



Figura 3: Meuris, P. (s.f). Puente con vigas Vierendeel [Fotografía].⁹

En el inicio, la construcción de estos sistemas era de albañilería de ladrillo o paneles de madera (Tipo MR, 380, 369), por lo que se proyectaban pabellones de un piso, pero con el tiempo y el avance tecnológico global del momento, se comenzaron a implementar otros materiales, lo que permitió que la SCEE diseñara establecimientos de dos y tres pisos con la utilización de estructuras de acero y hormigón armado (Tipo. 606, 606 2 pisos, 510, 520, 530).

El sistema 606 de 2 pisos combinaba el modelo proyectado previamente, con una estructura mixta, dejando el primer piso con una estructura de hormigón armado y el segundo con una estructura metálica como la implementada en el modelo original 606, las salas de clases se mantenían de 6 x 9 m, mientras que los sistemas 510 y 520 proponían

¹ Viga de alma abierta formada por una serie de cordones horizontales y barras verticales rígidas, a modo de celosía, que conecta los cordones superiores con los inferiores sin barras diagonales.

una sala de 7,20 x 7,20 m que se había posicionado internacionalmente por sus ventajas pedagógicas y por la economía en términos de área construida, además estos se construían en base a un módulo de mayores dimensiones, que formaban una macrounidad, siendo este conjunto el nuevo módulo generador de las escuelas, en lo cual se unía más de una sala de clase e incluía la circulación interior en él.⁸

Los nuevos materiales permitieron construir en altura, por lo que en un predio pequeño podía existir capacidad para más estudiantes, esto fue un aporte a la meta de brindar un establecimiento educacional para la población, pues más niños tenían acceso a la educación, esto fue particularmente útil en ciudades de carácter urbano.

c. Proyectos experimentales

Como se mencionaba anteriormente un Sistema Tipo estaba destinado a más de una región y a más de una zona climática. Si bien variaba el material de los cerramientos y techumbres de los Tipos, lo cual lo podía hacer más apto al clima, estos Tipos presentaban deficiencias al ser aplicados en zonas climáticas más extremas, hacia el sur principalmente, ya que, por sus condiciones de acondicionamiento térmico, materialidad o pendiente de los techos presentaban deficiencias en la infraestructura o en el confort térmico al interior del recinto. Además, la disposición lineal o en peine tampoco era eficiente para estas zonas, pues quedaba expuesta a la intemperie mayor área, perdiendo calor.

Es por esto que, en 1967 y 1968 en la oficina de Santiago de la SCEE, los arquitectos Florentino Toro y Fermín Marticorena desarrollan el Proyecto Experimental Tipo 801, el cual al igual que el Tipo 510 y 520 corresponde a una macrounidad modular. Este diseño buscaba que el establecimiento pudiera responder de mejor manera al clima de Puerto Montt empleando una estrategia de pendientes en techumbres, para las lluvias, además de generar un patio techado en la primera planta. Se conforma en una disposición de 3 macrounidades juntas, para mejorar las condiciones térmicas y se distribuye en base a una grilla de 3,60 x 3,60 m, generando un módulo de 18 x 18 m, con salas de clases de 7,20 x 7,20 m, incluyendo la circulación al interior del módulo.

Se estructura en base a hormigón armado, sin necesidad de elementos prefabricados ya que era un proyecto experimental y los cerramientos se proyectaron con albañilería armada para el primer piso y con carpintería de madera para el segundo piso, mientras que la techumbre también se pensó en madera.⁸



Figura 4: SCEE, Memoria 33 (1969). Hall central en la Escuela n° 7 de Puerto Montt (Proyecto experimental 801 [Fotografía]. (En Exss, 2018)⁸

d. Agrupamientos

Las Tipologías de la SCEE en un inicio se posicionaban en el terreno con tres tipos de agrupamiento, según los registros encontrados, los agrupamientos eran; pabellón único, pabellón en peine y patio central (Figura 5).

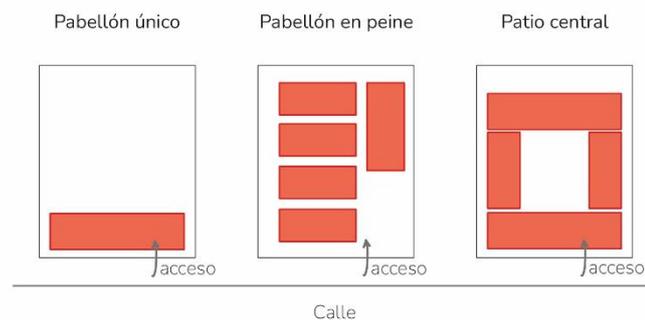


Figura 5: Elaboración propia. Puente con vigas Viendeel [Diagrama].

En primer lugar, se tiene el pabellón único de un piso, o dos posteriormente, que consiste en un pabellón donde se ubican las salas de clases y su respectivo pasillo que distribuye la circulación hacia las distintas salas. Generalmente se implementaba en zonas rurales, aunque resultaron favorecedores para terrenos suburbanos que presentaban terrenos con irregularidades o deslindes. Se orientaba el frente vidriado y el acceso hacia la calle o camino que lleva a la escuela, mientras el corredor se orientaba hacia el interior del predio,

lo cual era el patio del establecimiento, pero que en un principio no fue parte del diseño, sino que más bien era un retazo del terreno.

Las escuelas más grandes se agrupaban en disposición en peine o con patio central. El agrupamiento de pabellones en peine estaba compuesto por volúmenes alargados conectados por corredores, que formaban pequeños patios alargados entre ellos. Este tipo de agrupamiento, al depender del terreno puede generar entre los volúmenes, patios estrechos, muy sombreados, lo que favorece la humedad y el moho.

Se consideraba, en primer lugar, un uso eficiente del suelo, alineándose a los deslindes del terreno y acomodándose a la topografía, privilegiando la orientación norte y oriente de su frente más iluminado de ser posible por las condiciones del terreno, se podía construir un Tipo o a veces más de uno para un mismo establecimiento.

La tipología de peine y de patio central consideraban un programa escolar más completo, compuesto de salas de clases y recintos de administración, comedores, salón de actos, entre otros.

El agrupamiento de patio central estaba compuesto por pabellones que se ordenaban en distintas orientaciones, dando lugar a un patio central. Esta distribución espacial daba lugar a que los pabellones, y por lo tanto las salas de clases, tuvieran distintos niveles de iluminación y de aprovechamiento solar o sobrecalentamiento. Se utilizaba este tipo de agrupamiento cuando el terreno lo permitía, siendo plano, rectangular y con deslindes regulares.

Si bien el terreno era determinante en la orientación del establecimiento, se tomaba en consideración que las salas de clases se ubicaran en los pabellones con orientación Norte u Oriente. Los otros recintos del establecimiento, como la multicancha o el patio de actos se disponían hacia el patio central.

Hay Tipos, como el 510, 520 u 801 que tienen otra forma de agrupamiento, basándose en macrounidades modulares, las cuales se pueden adosar de distintas maneras entre ellas, algunas veces haciendo referencia al patio central y otras veces formando pabellones en L.

e. Selección de casos

Con lo mencionado anteriormente, se entiende que en la época de la SCEE la prioridad de construcción rápida estaba sobre los requerimientos energéticos y/o térmicos, lo cual se entiende en un contexto de necesidad de alfabetizar a un país completo. La SCEE trabajó durante 50 años, dotando de establecimientos educacionales a todo el país.

Hoy en día no existe registro sobre todos los colegios proyectados por la SCEE, ya que se perdieron en su cierre, pero algunas investigaciones, como las de Úrsula Exss Cid⁸ o

Claudia Torres Gilles¹⁰, referenciadas al final del documento, han aportado en la identificación de algunos de ellos y han sido base para este capítulo.

A continuación, se mostrarán fichas de escuelas representativas de los Tipos 606, 606 2 pisos, 510, 520, y 801, Tipos de los cuales fue posible encontrar bibliografía con información sobre escuelas existentes.

Los establecimientos por presentar fueron seleccionados por su ubicación geográfica, con la finalidad de contar con distintas condiciones térmicas para la integración de aislante térmico transparente (ATT) a las salas de clases. Se seleccionaron escuelas pertenecientes a la Región de Valparaíso, la Región del Maule y la Región de Los Lagos, dentro de la información que fue posible recopilar en la tesis de Úrsula Exss Cid “De la racionalización constructiva a la arquitectura sistemática: edificios escolares para la reforma educacional de 1965”.

La ubicación en distintas regiones permitirá obtener conclusiones más esclarecedoras en el Capítulo 3 ante la hipótesis de que el ATT es mejor para climas fríos o evidenciar si hay otros factores que influyen en su rendimiento, además de que pondrá en evidencia la posibilidad de su uso en más de una región en Chile, lo que puede ampliar las posibilidades de reacondicionamiento térmico para más escuelas.

La investigación estará centrada en la sala de clases, al ser el lugar determinante para el aprendizaje, donde los estudiantes y profesores pasan más tiempo. Es, por lo tanto, en las salas de clases donde el confort térmico se vuelve más relevante para mejorar el aprendizaje y la calidad de la experiencia educativa.

Cabe destacar que no se considerará si los establecimientos se encuentran acondicionados con sistemas activos de climatización, pues la investigación está orientada a la implementación de un sistema pasivo que mejore las condiciones interiores por sí solo.

f. Fichas de escuelas representativas

A continuación, se mostrarán 3 tipos de fichas con las que se busca definir las principales características de las escuelas seleccionadas, además de que sirvan de material para las consideraciones en el capítulo de integración. Cada escuela seleccionada, de un total de 8, contará con una ficha donde se describen las características principales del Tipo, una ficha con planimetría de la sala de clases y una del caso seleccionado con información específica de cada escuela y datos sobre los grados día de su ubicación geográfica.

Los grados día son un dato muy útil para tener nociones sobre la demanda energética del lugar. Este dato corresponde a la diferencia entre una temperatura base y la temperatura media del día, sumando el valor dado en todos los días de un periodo de tiempo seleccionado, en este caso un mes y anual, ya que en la ficha se muestran los °C-día del mes más frío, el mes más caluroso y un promedio anual, con base en 20°C.¹¹

Sistema Metálico Tipo 606

Aplicación: Jardines infantiles, educación básica y educación media

Localización: Rural, suburbana y urbana

Región Geográfica: Todo el país

Modulo Generador: 3,00 x 6,00 m

Crecimiento: Unidireccional

Agrupamiento: Crujía simple, crujía doble

Número de pisos: Uno

Estructura: Marcos rígidos prefabricados de plancha doblada de fierro de 4 mm de espesor, de 6 m de luz colocados a 3 m de distancia y articulados en el apoyo sobre fundaciones. Arriostramiento longitudinal mediante marcos superior rígido. Todos los elementos estructurales se unen mediante pernos.

Fundaciones: Dados aislados con vigas de fundación y radier de hormigón o cimientos corridos con radier de hormigón

Cerramientos:

Exterior: Albañilería de ladrillo, tabiques de madera, piedra u otros materiales regionales. Ventanas de fierro o aluminio.

Interior: Tabiques de madera

Techumbre: Paneles prefabricados de madera

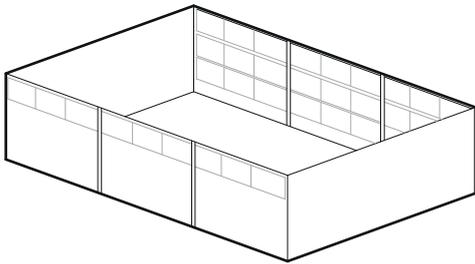
Cubierta: Planchas onduladas de asbesto cemento o fierro galvanizado

Tipo 606
Aula tipo

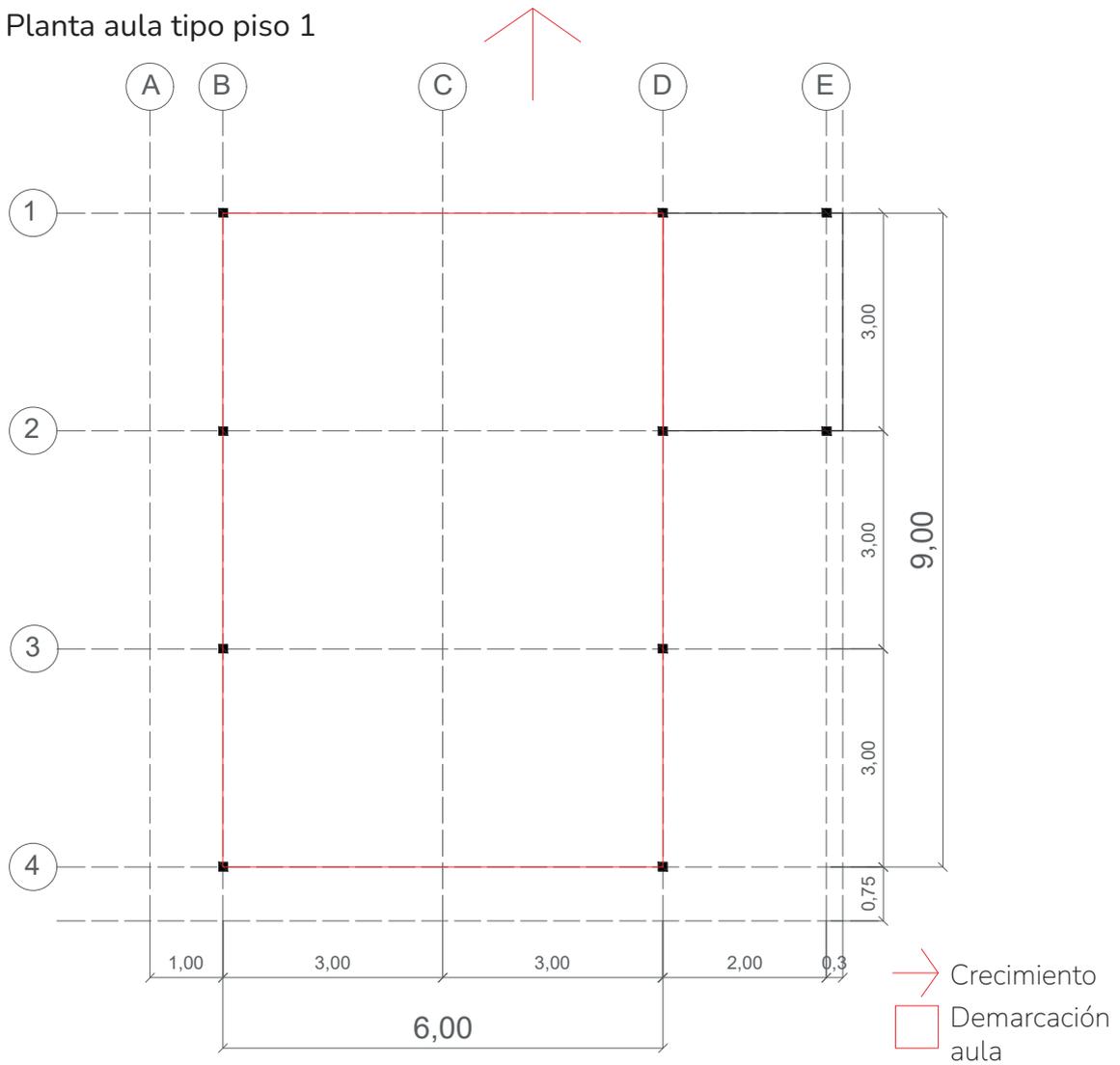
Ejemplos 1 piso

Escuela Básica Paul Harris E-343

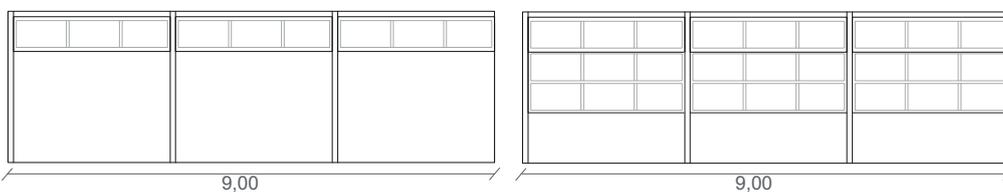
Escuela F-201 Santa Rita



Planta aula tipo piso 1



Elevaciones de fachadas vidriadas



Escuela Básica Paul Harris E-343, Viña del Mar

Tipo: 606

Dirección: 215., Viña del Mar 210, Viña del Mar, Valparaíso.

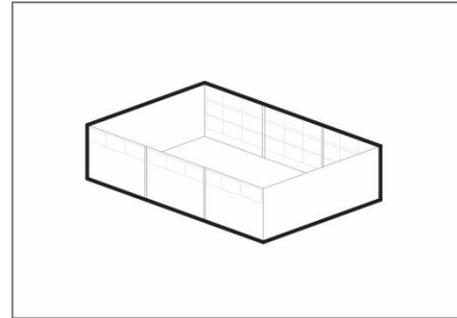
Área: Suburbana.

Agrupamiento: Pabellones en peine

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Paneles de madera

Emplazamiento:



Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Norte



Descripción de la escuela

La escuela está conformada por varios pabellones, algunos construidos hace más años que otros. En 2018, Úrsula Exss registraba que esta escuela se encontraba en un estado de "gran deterioro", por lo revestimientos podridos y terrenos socavados. No existe información sobre si ha sido reacondicionada térmicamente y en las imágenes se observa una gran diferencia en la iluminación de las distintas salas de clases.

Clima según Grados día:

Viña del Mar tiene una máxima de grados día de 356,5 en Julio y una mínima de 77,5 en Enero, resultando un total de 2491,6 °C-día anualmente.



Fotografías: Exss Cid, U. (2018). Escuela Paul Harris.
[Fotografía]

Escuela F-201 Santa Rita, Pelarco

Tipo: 606

Dirección: Camino a Pelarco, Km 5, Ruta K-45, Callejon1 Sur, Pelarco, Talca, Maule.

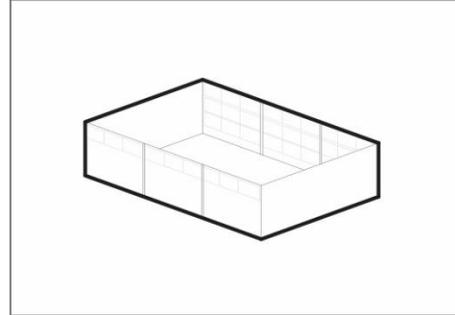
Área: Rural

Agrupamiento: Patio central

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Albañilería de ladrillo

Emplazamiento:



Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Varias



Descripción de la escuela

La escuela fue construida en 1956, en un área rural, convirtiéndose en la única escuela disponible en el sector. Actualmente no existe mucha diferencia y las fotografías obtenidas no muestran evidencia de que haya existido una modificación en la construcción, por lo que se podría estimar que sus condiciones térmicas se mantienen, lo mismo con la iluminación.

Clima según Grados día:

El clima en Talca, provincia a la que pertenece Pelarco, presenta 0 grados día en verano y una máxima de 367,8 en Julio, con 2144,7 °C-día anuales.



Fotografías: Atria, Torres, Valdivia (2015). Escuela Santa Rita. [Fotografía]

Sistema Mixto Tipo 606 (2 pisos)

Aplicación: Educación básica y educación media

Localización: Urbana

Región Geográfica: Todo el país

Modulo Generador: 3,00 x 6,00 m

Crecimiento: Unidireccional

Agrupamiento: Crujía simple, crujía doble.

Número de pisos: Dos

Estructura:

Primer piso: Machones y muros exteriores de hormigón armado. Losa de entrepiso de hormigón armado

Segundo piso: Estructura prefabricada de Fierro igual a sistema 606 de un piso

Fundaciones: Cimientos corridos con radier de hormigón

Cerramientos:

Exterior: Albañilería de ladrillo, tabiques de madera, ventanas de fierro o aluminio.

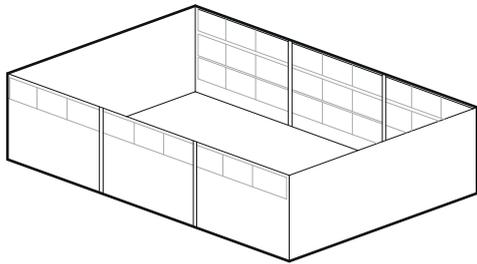
Interior: Tabiques de madera o paneles prefabricados

Techumbre: Paneles prefabricados de madera

Cubierta: Planchas onduladas de asbesto cemento o fierro galvanizado

Tipo 606 2 pisos

Aula tipo

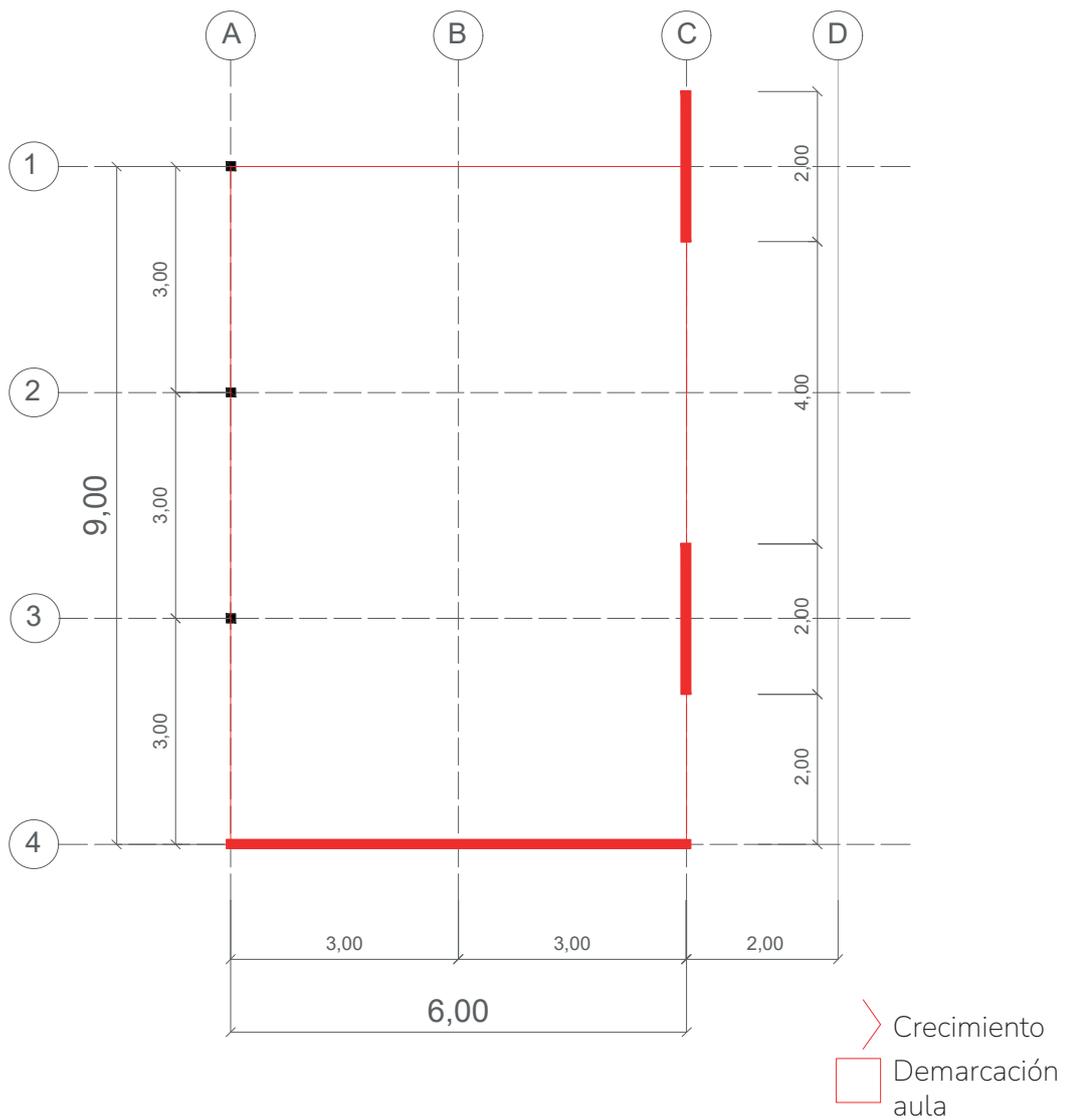
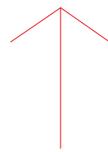


Ejemplos 2 piso

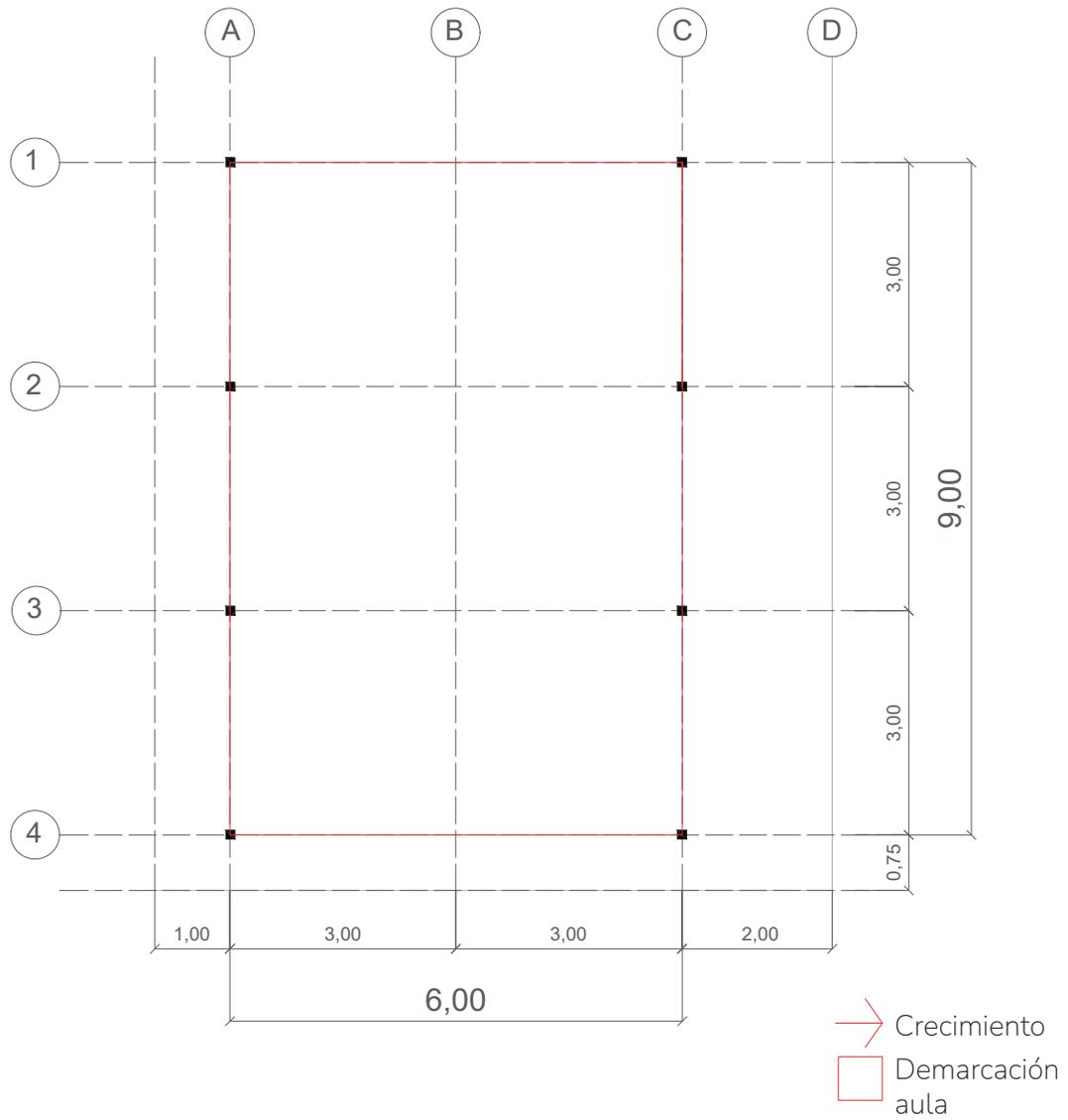
Escuela Especial Rapanui

Escuela Presidente Salvador Allende

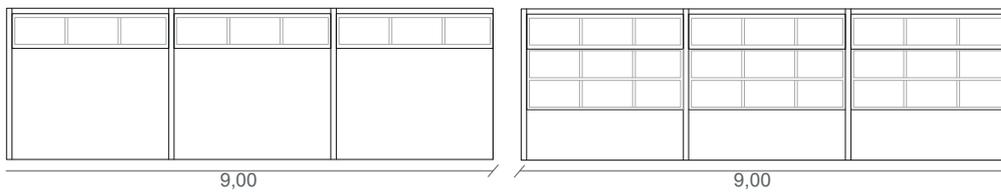
Planta aula tipo piso 1



Planta aula tipo piso 2



Elevaciones de fachadas vidriadas



Escuela Especial Rapanui, Viña del Mar

Tipo: 606 2 pisos

Dirección: Del Pte 5609, Viña del Mar, Valparaíso.

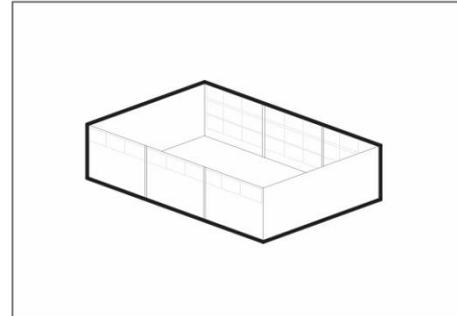
Área: Urbana.

Agrupamiento: Pabellón único

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Albañilería de ladrillo y paneles prefabricados

Emplazamiento:



Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Oriente



Descripción de la escuela

La escuela se ha rehabilitado para generar salas más pequeñas, de 6 x 6 m, de acuerdo con las dimensiones para una escuela especial que tiene menos estudiantes por sala. No hay información sobre si fue acondicionada térmicamente en este proceso. En las fotografías se puede observar un posible problema de encandilamiento.



Clima según Grados día:

Viña del Mar tiene una máxima de grados día de 356,5 en Julio y una mínima de 77,5 en Enero, resultando un total de 2491,6 °C-día anualmente.

Fotografías: Exss Cid, U. (2018). Escuela Especial Rapanui. [Fotografía]

Escuela Presidente Salvador Allende, Viña del Mar

Tipo: 606 2 pisos

Dirección: Mar de Chile S/N, Pob. Glorias Navales, Viña del Mar, Valparaíso.

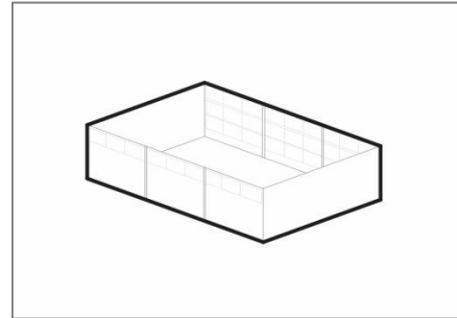
Área: Suburbana.

Agrupamiento: Patio central

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Paneles de madera

Emplazamiento:



Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Varias



Descripción de la escuela

La escuela está conformada por pabellones que dan lugar a un patio central, lo que tiene consecuencias sobre la iluminación y radiación de las salas, ya que tienen diferentes orientaciones. Originalmente los pabellones eran de un piso y luego se posó una estructura de acero sobre la anterior, construyendo un segundo piso, con el mismo material de los cerramientos anteriores.



Clima según Grados día:

Viña del Mar tiene una máxima de grados día de 356,5 en Julio y una mínima de 77,5 en Enero, resultando un total de 2491,6 °C-día anualmente.

Fotografías: Exss Cid, U. (2018). Escuela Presidente Salvador Allende. [Fotografía]

Sistema de Hormigón Tipo 510

Aplicación: Educación media

Localización; Urbana

Región Geográfica: I a VIII Region

Modulo Generador: 17,20 x 17,20 m

Crecimiento: Bidireccional

Agrupamiento: Adosamiento de módulos por unión de puentes conectados a circulaciones verticales

Número de pisos: Hasta 3 pisos

Estructura: Marcos, pilares, machones y losas de hormigón armado

Fundaciones: Dados aislados con vigas de fundación y radier de hormigón

Cerramientos:

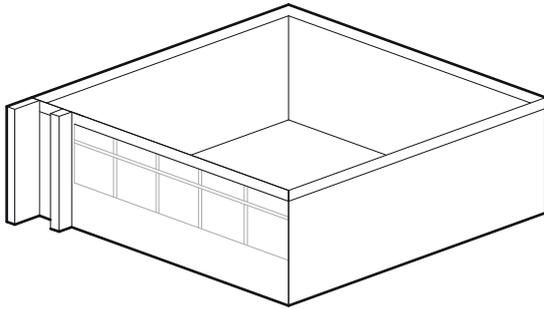
Exterior: Albañilería de ladrillo, paneles prefabricados, ventanas de fierro o aluminio

Interior: Tabiques de madera, paneles prefabricados

Techumbre: Losa de hormigón, madera sobre losa para cubierta de fierro galvanizado

Cubierta: Planchas de fierro galvanizado, impermeabilización asfáltica o impermeabilización en base a productos cementosos

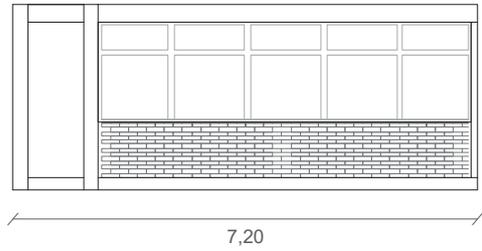
Tipo 510
Aula tipo



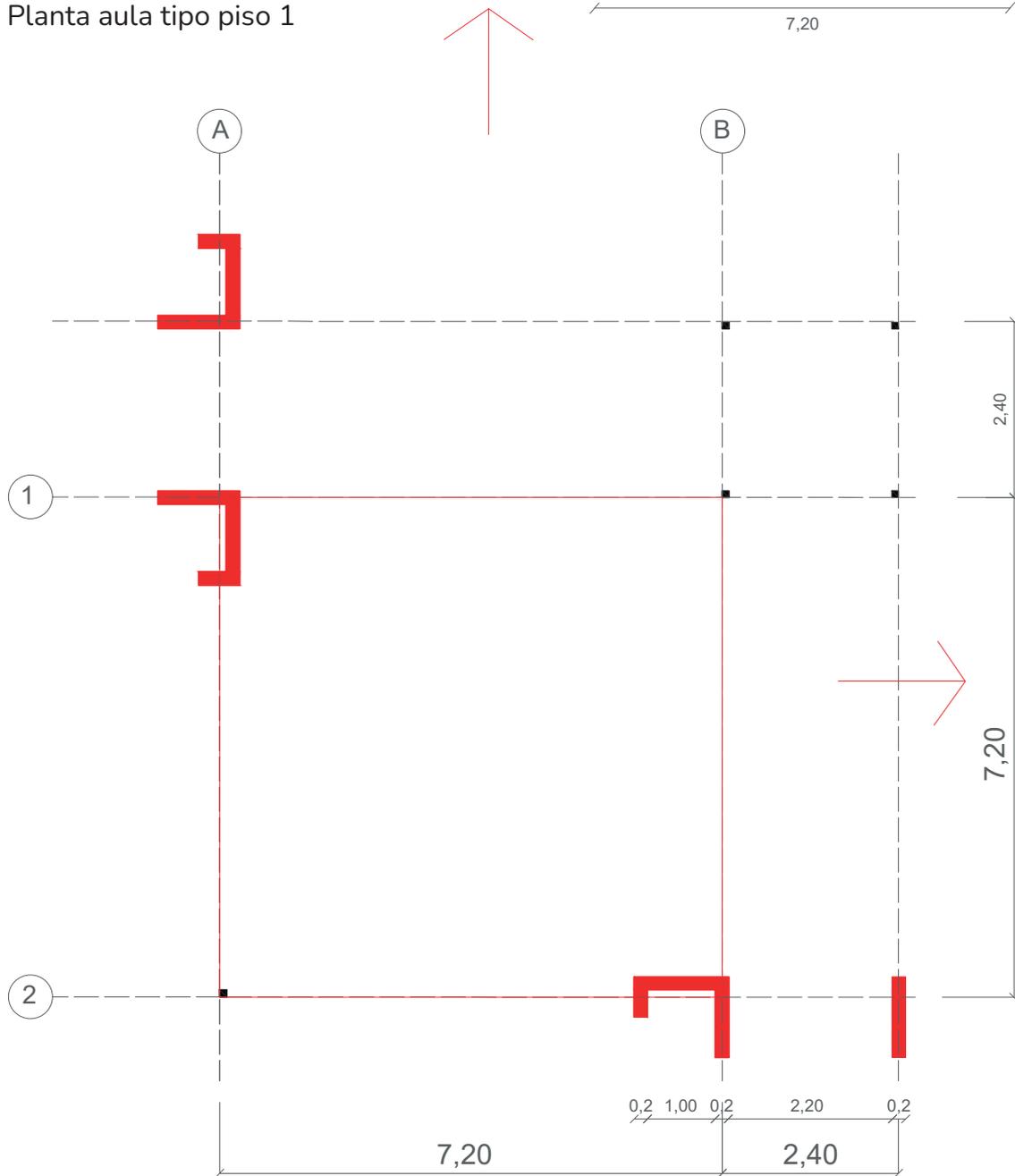
Ejemplo

Instituto Superior de Comercio
Francisco Araya Bennett

Elevaciones de fachada vidriada



Planta aula tipo piso 1



Instituto Superior de Comercio Francisco Araya Bennett, Valparaíso.

Tipo: 510

Dirección: Av. Argentina 747, Valparaíso, Valparaíso.

Área: Urbana

Agrupamiento: Macrounidades estructurales que forman un pabellón en doble

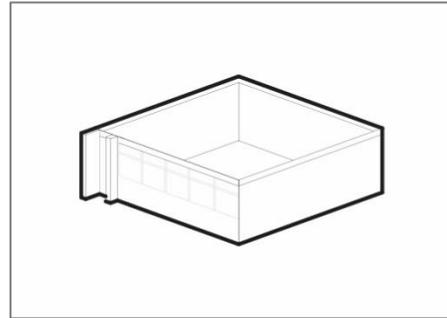
crujía de aulas con corredor central.

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Albañilería de ladrillo y paneles prefabricados

Emplazamiento:

Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Varias



Descripción de la escuela

El instituto fue construido en 1975 y está formado por 3 macrounidades unidas entre ellas a través de pasillos. Tiene 3 pisos y estos se conectan con dos circulaciones verticales integradas entre los 3 módulos. El Instituto fue creado para satisfacer las necesidades técnicas en las áreas de comercio de la ciudad.

Clima según Grados día:

El clima en Valparaíso presenta 72,1 grados día en verano y una máxima de 249,9 en invierno, con 2069,0 °C-día anuales.

Fotografías: Exss Cid, U. (2018). Instituto superior de comercio Valparaíso. [Fotografía]

Sistema de Hormigón Tipo 520

Aplicación: Educación media

Localización; Urbana

Región Geográfica: I a VIII Region

Modulo Generador: 9,30 x 9,30 m

Crecimiento: Bidireccional

Agrupamiento: Múltiple

Número de pisos: Hasta 3 pisos

Estructura: Marcos rígidos de hormigón armado colados en sitio. Viguetas y losetas prefabricadas de hormigón armado.

Fundaciones: Dados aislados con vigas de fundación y radier de hormigón

Cerramientos:

Exterior: paneles prefabricados de Fierro y revestimientos de asbesto cemento.

Ventanas de fierro con vidrios fijos y elementos de ventilación independientes.

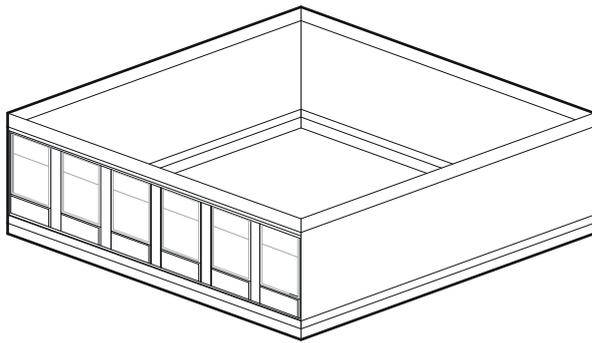
Interior: Tabiques de madera.

Techumbre: Losa de hormigón

Cubierta: Impermeabilización asfastica, Impermeabilización en base a productos cementosos o planchas de fierro galvanizado

Tipo 520

Aula tipo

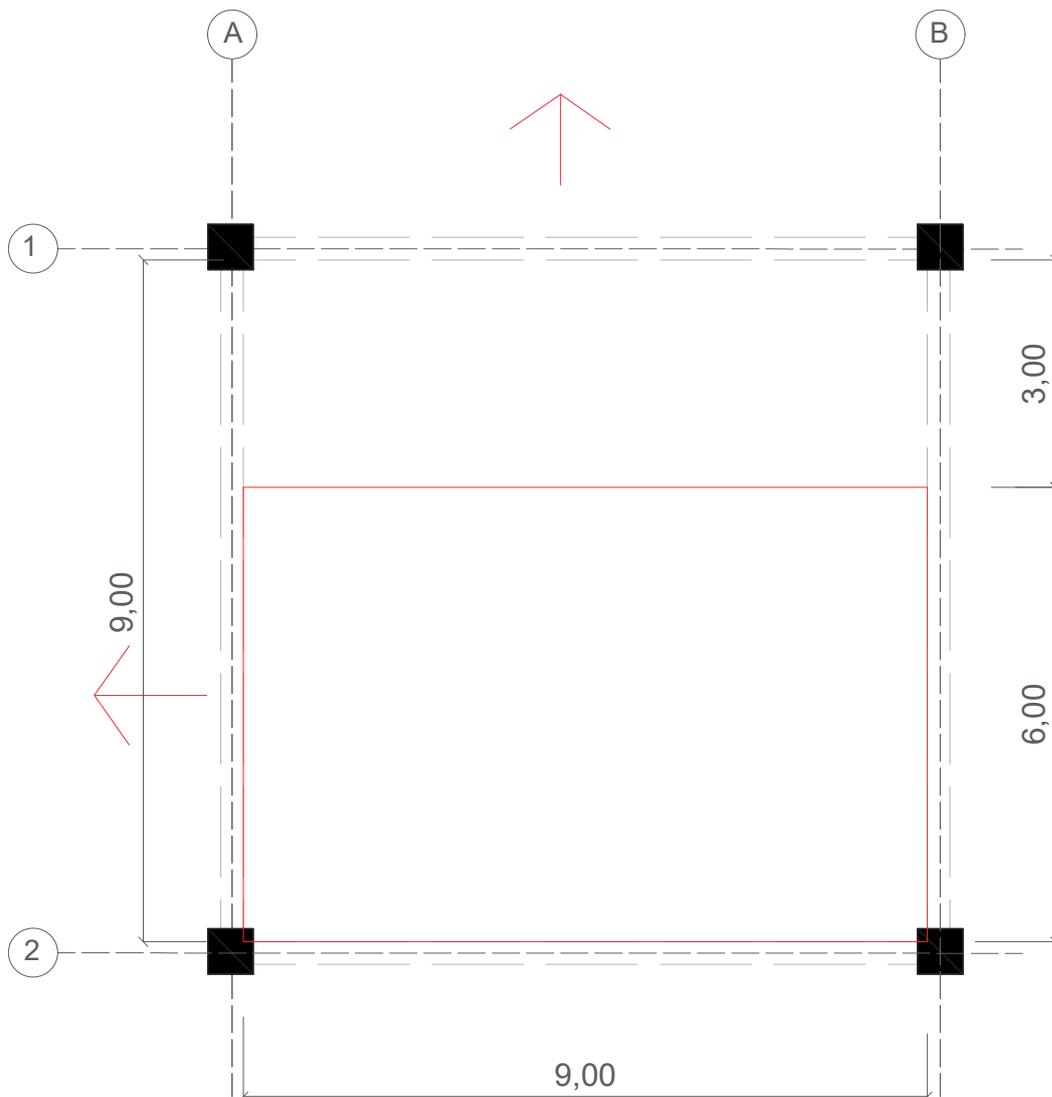


Planta aula tipo piso 1

Ejemplo

Instituto Superior de Comercio
Alberto Blest Gana

Elevaciones de fachada vidriada



Instituto Superior de Comercio Alberto Blest Gana, Viña del Mar

Tipo: 520

Dirección: Calle Alberto Blest Gana 398, Viña del Mar,

Valparaíso.

Área: Urbana

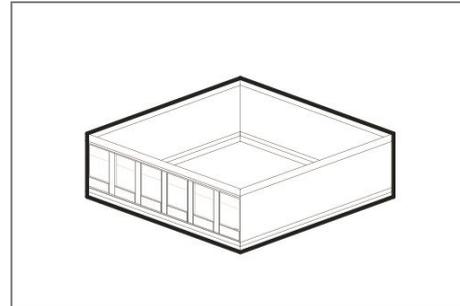
Agrupamiento: Pabellón en doble crujía de aulas con corredor central.

Dependencia: Administración delegada

Materialidad cerramientos: Paneles prefabricados de hierro, para el exterior.

Emplazamiento:

Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Varias



Descripción de la escuela

El instituto se distribuye en forma de L en sus 3 pisos, destinando el primero como una planta libre, donde se ubica el patio techado y corredores, los cuales se repiten en los dos siguientes pisos en el medio de la macrounidad. La materialidad de los cerramientos es distinta a la de los otros establecimientos, destacándose por ser de paneles de acero y no hay registro de que haya sido acondicionado.

Clima según Grados día:

Viña del Mar tiene una máxima de grados día de 356,5 en Julio y una mínima de 77,5 en Enero, resultando un total de 2491,6 °C-día anualmente



Fotografías: Exss Cid. U. (2018). Instituto comercial Viña del Mar. [Fotografía]

Sistema de hormigón Tipo 801

Aplicación: Educación básica y media

Localización: Urbana

Región Geográfica: X Region

Modulo Generador: 18,0 x 18,0 m

Aula tipo: 7,2 x 7,2 m

Crecimiento: Bidireccional

Agrupamiento: Macrounidades que se adosan alineadas o desfazados por sus cuatro lados.

Número de pisos: Hasta 3 pisos

Estructura: Muros, pilares y losas de hormigón armado

Cerramientos:

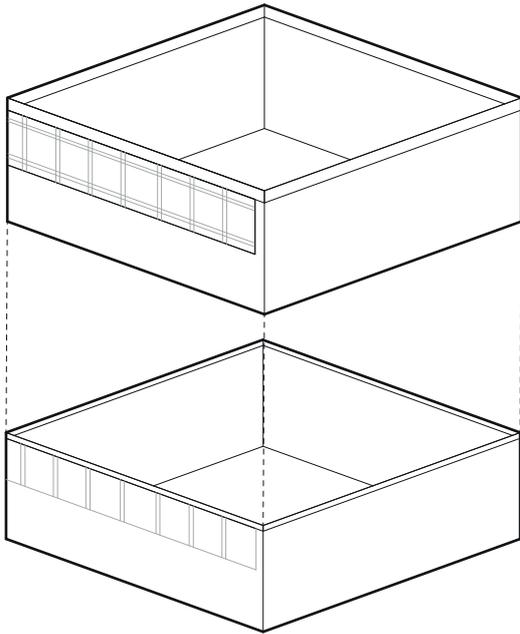
Exterior: Muros de hormigón armado en primer piso y tabiques de madera en segundo piso, con paneles de madera en cerramiento

Interior: Hormigón armado, albañilería de ladrillo estucado en primer piso y tabiques madera en segundo piso

Techumbre: Losa de hormigón y estructura de madera en segundo piso

Cubierta: Paneles de madera

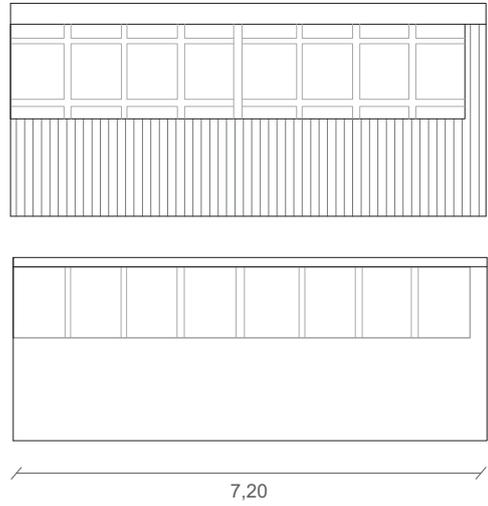
Tipo 801
Aula tipo



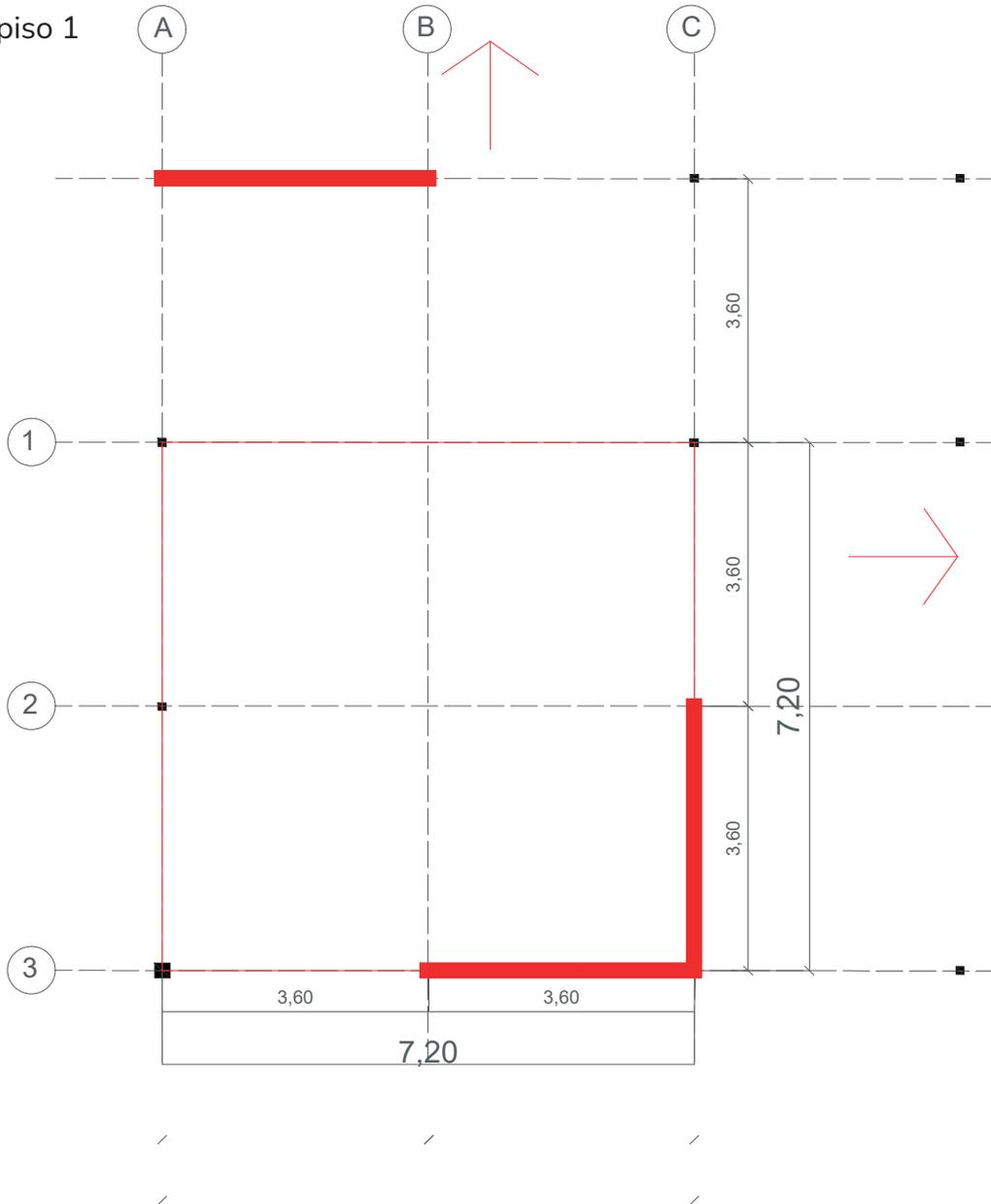
Ejemplo

Instituto Superior de Comercio
Alberto Blest Gana

Elevaciones de fachada vidriada



Planta piso 1



Proyectos experimentales

Escuela n°7 Árabe Siria, Puerto Montt

Tipo: 801

Dirección: Miraflores s/n, Puerto Montt, Los Lagos.

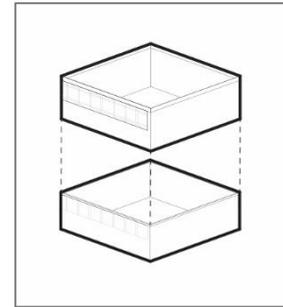
Área: Urbana

Agrupamiento: Macrounidades en planta centralizada

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Albañilería de ladrillo y tabiques de madera

Emplazamiento:



Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Varias



Descripción de la escuela

La escuela se diseñó para ser más apta al clima de Puerto Montt, se compone de 3 macrounidades independientes de dos pisos y un patio cubierto en el primero, completamente de hormigón y albañilería, mientras que el segundo piso es de madera. Las unidades se encuentran desfasadas por el terreno donde se emplaza.



Clima según Grados día:

Puerto Montt tiene una máxima de grados día de 384,4 en invierno y una mínima de 140,0 en verano, resultando un total de 3216,4 °C-día anualmente

Fotografías: Exss Cid, U. (2018). Escuela n°7 Árabe Siria. [Fotografía]

Proyectos experimentales

Liceo de Niñas Isidora Zegers de Hunneus, Puerto Montt

Tipo: 801

Dirección: Calle Egaña 174, Puerto Montt, Los Lagos.

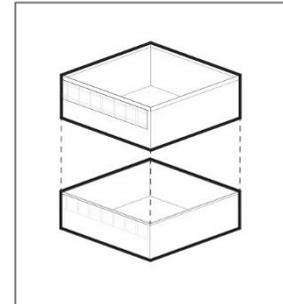
Área: Urbana

Agrupamiento: Macrounidades en planta centralizada

Dependencia: Municipal

Materialidad cerramientos: Albañilería de ladrillo y tabiques de madera

Emplazamiento:



Fuente: Elaboración propia



Orientación salas: Varias



Descripción de la escuela

El liceo se compone de 3 macrounidades independientes de dos pisos donde el primer piso contiene un patio cubierto, construido en hormigón y albañilería, mientras que el segundo piso es de madera. Las unidades se encuentran desfasadas dadas las condiciones del terreno donde se emplaza, pero se conectan entre ellas mediante escaleras.



Clima según Grados día:

Puerto Montt tiene una máxima de grados día de 384,4 en invierno y una mínima de 140,0 en verano, resultando un total de 3216,4 °C-día anualmente

Fotografías: Exss Cid, U. (2018). Liceo de Niñas Isidora Zegers de Hunneus. [Fotografía]

g. Tabla resumen escuelas

La Tabla 1. Tabla resumen de casos escuelas, reúne la información más relevante de las salas seleccionadas que se utilizará más adelante para la integración. Los cálculos de U y de iluminación se podrán encontrar en la parte de Anexos 1, donde es importante esclarecer que dada la escasa información, para poder contar con esta información de forma preliminar se asumieron los siguientes datos:

- Ninguna sala cuenta con aislamiento térmico.
- Para el cálculo de U se asume un paquete constructivo básico, con materiales especificados en Anexos 1 que no necesariamente tienen que ser el utilizado, sino que se seleccionó uno que se aproximara a la información encontrada.
- La iluminación es calculada en base a las fachadas vidriadas que se pudieron medir según la planimetría encontrada, por lo que puede estar subestimada, ya que solamente en el caso 606 se calcula la iluminación de ambas fachadas vidriadas y en los otros casos solo se calcula con una.
- Las salas utilizadas en la Tabla 1 corresponde a una sala Tipo, con solo 2 fachadas expuestas.
- En el cálculo de U y % de iluminación del Tipo 801 en el primer caso se tomó como ejemplo el primer piso y en el segundo caso el segundo piso.
- La iluminación calcula el % en relación con los m^2 de la sala.

Tabla resumen de casos escuelas

Valparaíso-Viña del Mar, Región de Valparaíso.

Reglamentación térmica actual (RT)
Zona climática: 2

Reglamentación térmica nueva (RT 2022)
Zona climática: C

OGUC

% Iluminación: 17%

Nombre escuela	Tipo	Orientación escuela	Distribución	U caso (W/m ² ·K)	U RT (W/m ² ·K)	Cumple	U RT 2022 (W/m ² ·K)	Cumple	% caso	% OGUC	Cumple
Escuela Especial Rapanui	606(2 p)	Poniente	Pabellón único	2,59	3,0	Sí	0,8	No	31%	17%	Sí
Escuela Básica Paul Harris	606	Norte	Pabellón peine	1,75	3,0	Sí	0,8	No	31%	17%	Sí
Escuela Presidente S. Allende	606(2 p)	Norte	Pabellón peine	1,75	3,0	Sí	0,8	No	31%	17%	Sí
INSUCO Francisco Araya Bennett	510	Poniente	Pabellón doble	2,59	3,0	Sí	0,8	No	15%	17%	No
INSUCO Alberto Blest Gana	520	Norte	Pabellón con corredor central	2,98	3,0	Sí	0,8	No	10%	17%	No

Talca, Región del Maule.

Reglamentación térmica actual (RT)
Zona climática: 4

Reglamentación térmica nueva (RT 2022)
Zona climática: D

OGUC

% Iluminación: 17%

Nombre escuela	Tipo	Orientación escuela	Distribución	U caso (W/m ² ·K)	U RT (W/m ² ·K)	Cumple	U RT 2022 (W/m ² ·K)	Cumple	% caso	% OGUC	Cumple
Escuela F-201 Santa Rita	606	Norte	Pabellón único	2,59	1,7	No	0,6	No	31%	17%	Sí

Puerto Montt, Región de Los Lagos

Reglamentación térmica actual (RT)
Zona climática: 6

Reglamentación térmica nueva (RT 2022)
Zona climática: G

OGUC

% Iluminación: 20%

Nombre escuela	Tipo	Orientación escuela	Distribución	U caso (W/m ² ·K)	U RT (W/m ² ·K)	Cumple	U RT 2022 (W/m ² ·K)	Cumple	% caso	% OGUC	Cumple
Escuela n°7 Árabe Siria	801	Oriente	Planta centralizada	2,59	1,1	No	0,3	No	13%	20%	No
Liceo de Niñas Isidora Zegers de Hunneus	801	Norte	Planta centralizada	1,75	1,1	No	0,3	No	15%	20%	No

Capítulo 2: Tecnología del Aislante térmico transparente

En este capítulo se presentará con detalle el Aislante térmico transparente (ATT), tanto sus usos, funcionamiento, tipos existentes, así como las marcas que lo comercializan, además de algunos ejemplos de edificaciones donde se incorpora este material. La finalidad será comprender como se aplica en edificios y en qué climas funciona de mejor manera para poder obtener información sobre cómo se puede integrar en los colegios seleccionados.

A. Aislante térmico transparente transparente

a. Conceptos sobre aislación térmica

El aislamiento térmico es la acción y efecto de la aplicación de un material aislante, el cual genera una barrera al paso del calor entre dos medios que tienden al equilibrio térmico, esta barrera impide que el calor se traspase. Todos los materiales aíslan al tener un valor de Resistencia térmica asociado, sin embargo, los materiales aislantes térmicos específicos son aquellos que se caracterizan por su alta resistencia térmica, lo que puede traducirse en cambios significativos en la transmisión del calor.

La Resistencia térmica (R_t), por lo tanto, es la capacidad de un material de oponerse al paso del calor. Esta es proporcional al espesor del material e inversamente proporcional a la Conductividad térmica (k), valor característico de cada material. Mientras mayor sea el valor de la R_t , mejor es la capacidad aislante del material. Otro valor para caracterizar el aislamiento de uno o más elementos de una envolvente es la Transmitancia térmica (U), la cual expresa la cantidad de calor que pasa por un elemento en una superficie de espesor dado cuando la diferencia de temperatura es de 1°K entre cada lado del elemento. Este valor corresponde al inverso proporcional de la R_t , siendo su unidad de medida $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Los aislantes térmicos tienen un rol importante en los recintos habitables, para lograr un óptimo acondicionamiento térmico, ya sea que cumpla con la normativa existente o con los requerimientos básicos de confort térmico, es por esto que es relevante conocer el valor de R_t o el valor U de la envolvente propuesta para el recinto de manera que se pueda seleccionar el paquete constructivo más apto según la finalidad del proyecto.¹²

Otra forma de mejorar el acondicionamiento térmico de un recinto, además de integrar aislantes como primera medida, es considerar en el paso previo a la construcción, es decir, en el diseño, la posibilidad de integrar una estrategia de diseño pasivo o bioclimático para la ganancia y/o pérdida deseada de calor.

El diseño bioclimático consiste en el aprovechamiento de las condiciones climáticas existentes, como sol, lluvia o viento, integrándose en el diseño del edificio con el fin de reducir gastos energéticos para ser habitables y así reducir el impacto ambiental del consumo de energía. Entre las estrategias de diseño pasivo, que tienen relación con esta investigación se encuentra la acumulación de calor por radiación en Muros Trombe y el óptimo aprovechamiento de la luz.¹³

El Aislante térmico transparente (ATT), más conocido como Transparenter Wärmedämmung (TWD) en su país de origen Alemania, permite incorporar estrategias de diseño bioclimático tanto en la etapa de planificación y diseño, como en el reacondicionamiento de edificios existentes. Este material es prometedor ya que tiene un valor de U muy bajo, lo que significa que es un buen aislante térmico, además al ser transparente permite el traspaso de la luz y ganancia de energía hacia el edificio, propiedad que no tienen los aislantes térmicos comunes.

b. Presentación del Aislante térmico transparente

El aislamiento térmico transparente data de los años 60 en Alemania, donde aparece con la idea de aplicarlo en colectores solares para mejorar la eficiencia de estos. El material transparente utilizado tenía estructura de panal de vidrio en ese entonces. Con el tiempo, se han desarrollado otras estructuras y materiales, como los plásticos (policarbonato y acrílico) o el Aerogel, que ha atraído la atención en el campo de la eficiencia energética.¹⁴

Este material evita las pérdidas de calor, como lo hacen los aislantes térmicos tradicionales, ya que tiene un gran porcentaje de volumen de aire repartido en capas, lo que se traduce en un valor bajo de U, pero cuenta con un grado de transparencia que le otorga propiedades diferentes a los aislantes tradicionales. Esta doble propiedad, de aislar y a la vez ganar calor, se debe a que la estructura y el material del ATT permite el ingreso de las ondas cortas de radiación solar, pero aísla las ondas largas. En la figura 6 se observa cómo funciona el ATT en comparación con un aislante opaco, al ser aplicado sobre un muro de alta inercia térmica.¹⁵

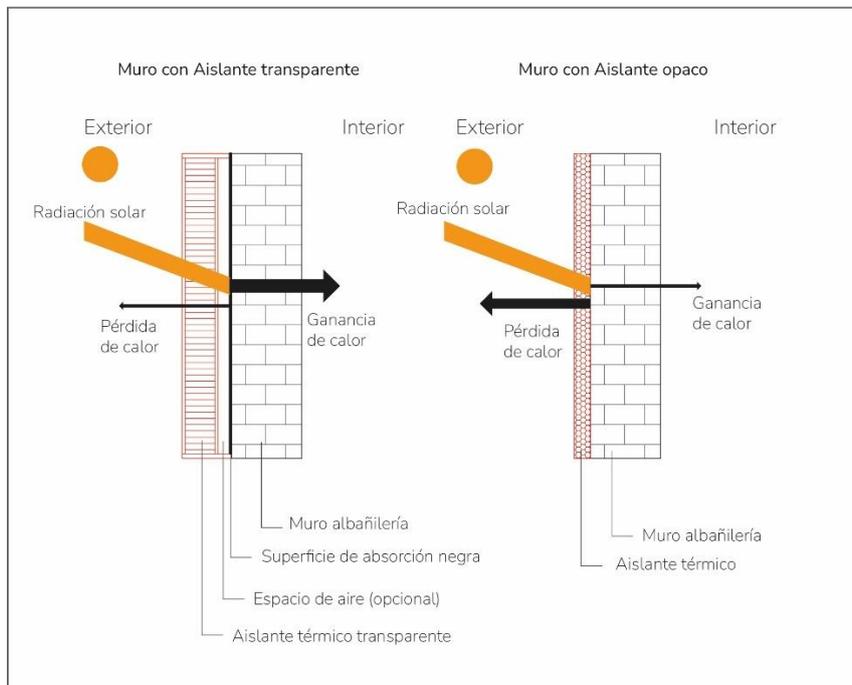


Figura 6: Elaboración propia. Esquema de flujos de calor en comparación entre un aislante opaco y uno transparente. [Diagrama].

El término "aislamiento térmico transparente" hace referencia a los componentes de este material, ya que está hecho de vidrio u otros materiales transparentes, usando sus propiedades principalmente para generar una ganancia de calor o evitar pérdidas de este. En Alemania se utiliza principalmente en fachadas de vidrio de viviendas unifamiliares, edificios comerciales o incluso estacionamientos cerrados.¹⁶

El ATT se denomina como transparente, sin embargo, este concepto se refiere a que el material permite el paso de la luz de forma clara, lo que no sucede en el ATT, que sería más un aislante translucido ya que deja pasar parcialmente la luz, dependiendo del porcentaje de transmisión de la luz del material. De todas maneras, se le denomina Aislante Térmico Transparente como forma de representación de su característica principal, la transparencia.¹⁶

La aislación transparente fue diseñada originalmente para ser utilizada en sistemas de colectores solares. Hoy en día se utiliza principalmente de 3 maneras. La original, en colectores solares donde aumenta la aislación, mejorando la eficiencia del sistema. El otro uso es adosar un sistema de aislación transparente a un muro con una alta inercia térmica, utilizando la estrategia de un Muro Trombe, convirtiéndose en un radiador solar pasivo que aumenta la ganancia de energía.

Por último, también se utiliza como ventana, mejorando la aislación que se tiene por parte de ventanas de vidrio simple o de doble vidrio hermético y por lo tanto aumenta el porcentaje posible de superficie vidriada, permitiendo el paso de más luz. Al ser transparente no ingresa tanta luz como en los vidrios antes mencionados, sino que esta ingresa de manera difusa y más controlada, además de ser difundida de mejor manera

hacia el interior, lo cual es una ventaja para espacios donde el encandilamiento es un problema.

El ATT se comercializa principalmente en Europa, donde Alemania tiene a la mayor cantidad de fabricantes. Su precio es elevado en primera instancia, pero las propiedades del material permiten un ahorro de energía que a largo plazo vale la pena tanto para fines económicos como medioambientales. Además, en Europa existe cada vez mayor exigencia respecto al gasto energético de los edificios y también hay una mayor subvención en este sentido, de manera que la mayoría de los ejemplos donde se pueden encontrar aplicaciones de ATT es en países europeos.

El Aislante térmico transparente consiste en una estructura de tipo panel, que varía su espesor y el ancho de la apertura de cada orificio del panel según el fabricante y casi siempre está ensamblado con al menos una cubierta vidriada, la cual lo protege de daños por el clima, polvo o golpes que puedan deteriorar el material. En la figura 7 se muestra una imagen donde se puede observar la estructura del aislante transparente que posteriormente se adosa a una superficie vidriada y compone el sistema de aislamiento térmico transparente y en la Figura 8 se puede observar el sistema completo.



Figura 7: Okalux. KAPILUX® CAPILLARY SYSTEM. [Fotografía]



Figura 8: Okalux. OKALUX® LIGHT DIFFUSING INSULATING GLASS. [Fotografía].

Estructuras

El ATT se clasifica en cuatro categorías, según la estructura del aislante transparente y como se organiza respecto a la superficie vidriada. Las categorías son las siguientes:

- a). Estructura perpendicular al acristalamiento; en esta categoría se encuentran 3 tipos.
 1. Tubular
 2. Panal de abeja
 3. Tablillas paralelas
- b). Estructura paralela al acristalamiento
- c). Estructura mixta
- d). Estructura homogénea

En la Figura 9 se presenta una imagen donde se puede observar cómo varían estas estructuras.

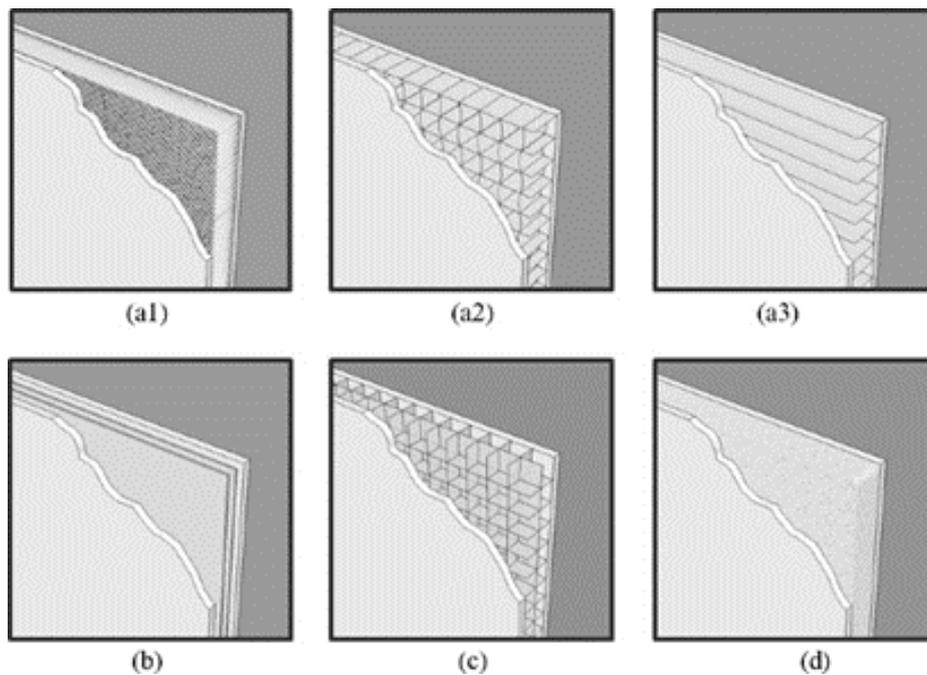


Figura 9. Sun et al., (2018). Diagrama esquemático de los típicos tipos de ATT. [Diagrama].

En la estructura de tipo a). Perpendicular al acristalamiento, lo que hace el sistema es que divide la cavidad de aire en pequeñas celdas donde la radiación traspasa a través de la cavidad de forma perpendicular a la superficie. En cuanto a b). Estructura paralela, estas al incrementar el número de capas reducen la pérdida de calor, incrementando la posibilidad de absorbanza del colector, pero a la vez reduce la transmitancia de la luz visible.

Las estructuras en c). Mixtos, son combinaciones de estructuras perpendiculares y estructuras paralelas, lo que puede lograr una supresión de la convención de forma más efectiva que cada uno por sí solo, pero reduce la entrada de radiación y de luz natural. Por último, la estructura d). Homogénea utiliza generalmente el material las fibras de vidrio o el silica aerogel para lograr una distribución homogénea a través de toda la superficie, dependiendo del tipo de aerogel se definirá el traspaso de la luz, pero en general este se caracteriza por su gran capacidad aislante y cada vez toma más relevancia tanto en aplicación como en investigaciones.¹⁴

Las estructuras se clasifican en distintas categorías ya que la distribución del ATT determinará la dirección y forma de incidencia de los rayos solares en el material y hacia el interior de este. A continuación, se muestra un diagrama donde se muestra un ejemplo de cómo se distribuyen las ondas a través de las distintas estructuras presentadas, donde delante de esta se encuentra la letra que indica el tipo de estructura a la que corresponde.

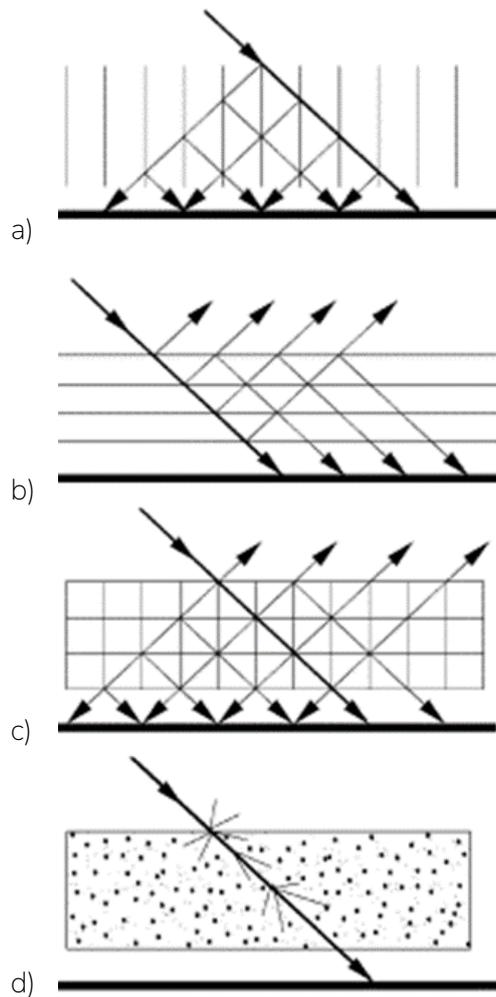


Figura 10: Ausschuss für staatlichen Hochbau. (2003). Rayos incidentes y su distribución en ATT. [Diagrama]

Materiales

Como se mencionaba anteriormente, el material aislante transparente depende del fabricante, así como también su estructura, por lo que en el mercado existen ATT de vidrio, de policarbonato, de acrílico y últimamente de aerogel. No cualquier material puede incorporarse como un aislante transparente en un sistema de aislamiento térmico, ya que estos deben cumplir con dos principios básicos; tener un alto nivel de transparencia al ingreso eficiente de la radiación solar y también deben tener un efecto termoaislante.¹⁶

Las celdas de policarbonato en general se estructuran en celdas tipo panal de abeja (a.2) y constituyen una capa entre 50 y 150 mm de espesor, según su fabricante, presentando un valor U de 0,7 W/m^2K y una transmisividad de la radiación solar (g) de 0,65, su temperatura máxima admisible se encuentra alrededor de los 140°C. Mientras que las celdas que utilizan acrílico presentan un valor U de 2,3 a 1,4 W/m^2K y un valor g entre 0,6 y 0,7, dependiendo del espesor de la capa y su temperatura máxima admisible bordea los 90°C. Tiene una resistencia mecánica menor a la del policarbonato.¹⁷

Las celdas de ATT fabricadas en vidrio forman tubos de diámetro entre 7 y 10 mm. Se tiene que un sistema de ATT formado por una superficie vidriada doble, donde la cavidad de aire la ocupa el ATT de vidrio con 7 mm de diámetro y 80 mm de largo, llega a poseer un valor U de 1,1 W/m²K y un valor g de 0,82, mientras que su temperatura máxima admisible llega a los 265°C, es por esto que los ATT de vidrio se suelen utilizar en colectores solares.¹⁷

El aerogel, está formado de vidrio, pero solo tiene un 10% de material y un 90% de aire, por lo que se le considera un material diferente, con grandes propiedades térmicas. Una capa de aerogel de 20 mm de espesor posee un U de 0,9 W/m²K y un valor g de 0,5, por lo que posee un alto grado de transparencia, respecto a los otros materiales y distribuye la luz de forma homogénea hacia el interior.¹⁷

Hace unos años el aerogel presentaba una gran desventaja para la construcción, se destruía al entrar en contacto con agua, sin embargo, las investigaciones y experimentaciones lo han llevado a superar este impedimento, solucionando este problema, aunque de todas maneras requiere una estructura soportante e idealmente un panel vidriado que lo proteja de otros daños.

Construcción

La mayoría de los ATT existentes no son autosoportantes y tienen una muy baja resistencia mecánica, por lo que requiere un marco de sustentación, ya sea de madera, plástico o aluminio, seleccionando el de conveniencia según su conductividad, la cual debería ser baja para evitar riesgos en la estructura, que deberá soportar altas temperaturas.¹⁷

Los fabricantes ofrecen el sistema completo, es decir, los marcos, la superficie vidriada y el ATT, esto con diferentes dimensiones que varían según el producto y la marca. Comúnmente, entre los materiales encontrados, el ATT se integra a un sistema vidriado de las marcas que lo ofrecen, que ya cuentan con un valor U que se destaca por ser bajo y mejora al agregarle el ATT. Entre los sistemas vidriados se destaca el perfil U, encontrados como "Channel glass" o "U glass", como el que se muestra en la figura 11 el cual se puede observar en muchos edificios que cuentan con ATT.



Figura 11: Pilkington (2003). Pilkington Profilit™ one in 2. [Fotografía].

En la Tabla 2: Tabla de materiales se describen las características principales de algunos productos de ATT que se encontraron, las cuales se utilizarán para el capítulo de integración, por lo que incluye datos de U e iluminación, entre otros, pero además se muestra las marcas y el tipo de ATT que estas utilizan.

Algunas consideraciones sobre la Tabla 2 son:

- Los materiales en los que no se indica la medida mínima no la especifican ya que este depende del sistema vidriado y de perfiles al que se integre el ATT y por lo tanto queda dispuesto a las dimensiones disponibles según el producto al que se integrará, sin embargo si se especifican las dimensiones máximas.
- Entre los dos productos disponibles para muro, solo Okalux TWD esta diseñado realmente para esa función, sin embargo se puso también la opción de Opakane ya que este se integra en un ejemplo como ventana, pero guardando el calor en un material cambiante de fase (FCM) que funciona como un muro de alta inercia térmica (el ejemplo referido se menciona en la ficha de edificios que se presentará más adelante).

Tabla de materiales

Marca producto	Material ATT	Dimensiones	Uso	U (W/m ² -K)	Factor solar (g)	Transmisión de la luz (%)
Wacotech TIMax®GL	Fibra de vidrio	e= 100mm máx: 1,22x8,00m	Ventana	1,4	0,34	34%
Wacotech TIMax®GL-PlusF	Fibra de vidrio	e= 100mm máx: 1,22x8,00m	Ventana	1,2	0,27	27%
Wacotech TIMax®GL-sy stem Ug 0,8	Fibra de vidrio	e= 152mm máx: 1,22x8,00m	Ventana	0,79	0,23	25%
Pilkinton profilit® LUMIRA® AEROGEL Panel	Aerogel	e= 16mm mín: 0,23x1,00m máx: 0,33x8,00m	Ventana	0,21	0,42	50%
Bendheim Okapane™	Tubos de acrílico	e= 24mm mín: 0,23x1,00m máx: 0,49x7,00m	Ventana Muro	0,28	0,38	38%
OKALUX Kapilux T	Tubos de acrílico	e= 28mm máx: 2,4x6,0m	Ventana	1,8	0,64	68%
OKALUX Okalux EVO	Tubos de acrílico	e= 24 mm máx: 2,0x6,0m	Ventana	1,6	0,45	43%
OKALUX Okalux K	Tubos de acrílico	e= 30 mm máx: 1,23x4,0m	Ventana	1,2	0,38	42%
OKALUX Okalux TWD	Tubos de acrílico	e= 25mm mín: 1,0x1,0m máx: 2,0x2,0m	Muro	0,9	0,62	71%

Propiedades térmicas, acústicas y ópticas

La investigación de Kaushika et al¹⁸, demostró que una estructura de panal de abeja ofrece mejor rendimiento térmico para unidades instaladas en orientación horizontal pero cuando las unidades están inclinadas en más de 30° la estructura de tablillas paralelas mostraba mejor rendimiento térmico.

Por otro lado, el trabajo de Sun et al,¹⁴ que consideraba en la investigación variaciones de aspectos de las celdas de tablillas paralelas, reveló que esta estructura de celdas además de suprimir la transmisión de calor por convección también reducía la transferencia de calor por radiación, resultando en un 35-46% de reducción en la conducción térmica en comparación a un doble vidrio hermético sin ATT.

En cuanto a las propiedades acústicas, hay pocas investigaciones, algunas respecto al rendimiento del a aerogel han determinado que los sistemas de ventanas con aerogel granular tienen más eficiencia en la aislación acústica comparado con un sistema de ventanas convencionales. Esto es debido principalmente a la absorción acústica que provee el aerogel el cual se comporta como un material acústico poroso en el cual las ondas impactan con múltiples capas de material, perdiendo intensidad.

En varias páginas web de las marcas que ofrecen ATT se puede encontrar una ficha técnica que ofrece distintos datos sobre el material. En alguna de ellas se incluía una relación con su efectividad respecto a la acústica que no fue incluida para este caso ya que no se considera en la investigación

Por último, las características ópticas son determinadas por las características del material base (ya sea vidrio, policarbonato, acrílico o aerogel) lo que determinará su transmitancia, reflectancia y absorbancia. También influye en la cantidad de luz que traspasa el material la configuración geométrica de la estructura del ATT.¹⁴

Aplicaciones

Las aplicaciones de ATT en edificios se clasifican en; colectores solares planos, en muros de alta inercia térmica y como ventanas. Siendo los últimos dos, los que están siendo más aplicados en la construcción con diseño bioclimático o un enfoque en la reducción de gastos energéticos.

En colectores solares, se buscaba reducir las pérdidas de calor y aumentar la eficiencia de estos. Si bien, al instalar un ATT adosado a un colector solar se reduce el porcentaje de radiación directa, también se reducen las pérdidas de calor, lo que conlleva a una significativa mejora en la eficiencia del colector. Estudios revelan que ATT con estructuras de panal o tubos ya sea de vidrio o plástico pueden aumentar la temperatura del colector desde 90°C a 150°C.¹⁴ En la Figura 12 se muestra un esquema de funcionamiento y composición básica de un colector solar con ATT.

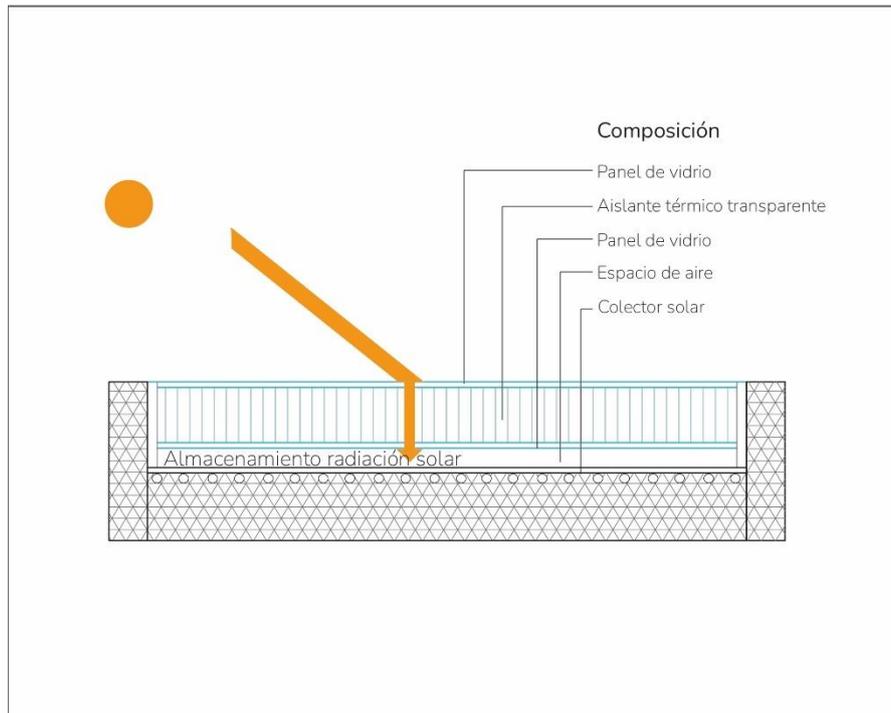


Figura 12: Elaboración propia. Funcionamiento ATT sobre colector solar. [Diagrama]

Como se observa en la Figura 12 el ATT se pone sobre el colector solar, dejando un espacio de separación con el colector, donde se permite el paso de la radiación de onda corta y larga, pero se mantiene la de onda corta en el interior, generando un aumento de temperatura en el espacio de aire entre el ATT y el colector, para que la energía sea absorbida por el colector. A medida que se concentra más radiación en el espacio de separación se va absorbiendo más energía. Este sistema es recomendado para cualquier clima ya que incluso en climas fríos puede contribuir al mejoramiento del colector.

En muros, se utiliza en los denominados “muros solares”, principalmente en proyectos de reacondicionamiento térmico, aunque también es una opción para edificios nuevos, que tienen la ventaja de poder diseñar la fachada con este sistema incluido. En muros solares el ATT se adosa a un muro de alta inercia térmica, como lo son los muros de hormigón y los de albañilería, estos tienen la capacidad de absorber, conservar y liberar lentamente el calor.

La combinación de ATT y muros de masa térmica fue reportada por primera vez en 1987 por Kaushika et al¹⁸ y hoy es utilizado como medida de eficiencia energética en edificios preexistentes que requieren mejoras térmicas. Funciona como un radiador pasivo, similar a un muro trombe pero con mejor aislación, lo que disminuye en gran medida los gastos en calefacción durante la época de invierno. En el día mejora la eficiencia al absorber la radiación, mientras que en la noche reduce las pérdidas de calor y libera el acumulado durante el día. Sin embargo, es preciso tomar en consideración que debe tener medidas para evitar el sobrecalentamiento en verano, algunas sugerencias son poner dispositivos de sombra como celosías, rollos plegables, ventilación forzada o natural al integrar salidas de aire en la fachada y la incorporación de árboles que den sombra en verano.

Este tipo de aplicación de ATT es recomendado para climas donde el calor no es tan extremo, ya que puede llevar al sobrecalentamiento del recinto. En el siguiente punto se describirá con mayor detalle el funcionamiento del ATT sobre un muro.

El tercer uso mencionado para el ATT es el de fachadas vidriadas, por su capacidad de reducir las pérdidas de calor del interior del edificio y mantener el ingreso de la luz, que por su parte se vuelve más homogéneo, disminuyendo las sombras ya que no es completamente transparente. Este porcentaje de transmisión de la luz varía según el material, estructura y dimensiones del sistema.

En Glasgow, UK, se estudió el ahorro energético de dos edificios residenciales de una universidad durante tres años, el sistema estaba compuesto de 100 mm de material aislante transparente de panel encapsulado por un vidrio externo, ubicado hacia el sur. El estudio encontró que se gastó un 40% menos de energía y hubo un 30% de ahorros financieros que estaban destinados al gasto de calefacción.¹⁴

c. Funcionamiento ATT en muro

Como se mencionaba anteriormente, la principal característica del ATT es que permite que la radiación solar atraviese el material aislante. Al aplicarse este material sobre un muro, la energía es absorbida por el muro y transmitida hacia el interior del recinto en forma de calor. Dado que el ATT funciona como aislamiento térmico, la disipación de calor hacia el exterior se ve impedida, concentrando una gran parte de la energía solar en la cavidad de aire entre el ATT y el muro.

Aplicación sobre muro

En la Figura 13 se observa el funcionamiento del ATT adosado a un muro, donde el ATT permite el ingreso de la radiación solar, manteniendo la mayoría de la energía de onda corta en la cavidad de aire, de manera que una parte se absorbe directamente en el muro, que en general tiene una superficie oscura que favorece la absorción de calor, el cual es guardado en el muro de alta inercia térmica y será liberado lentamente hacia el interior, mientras una pequeña parte de la radiación de onda larga sale del sistema hacia el exterior, la mayoría del calor se queda dentro de la cavidad de aire, ya que el ATT reduce las pérdidas de energía sin disminuir las ganancias.¹⁴

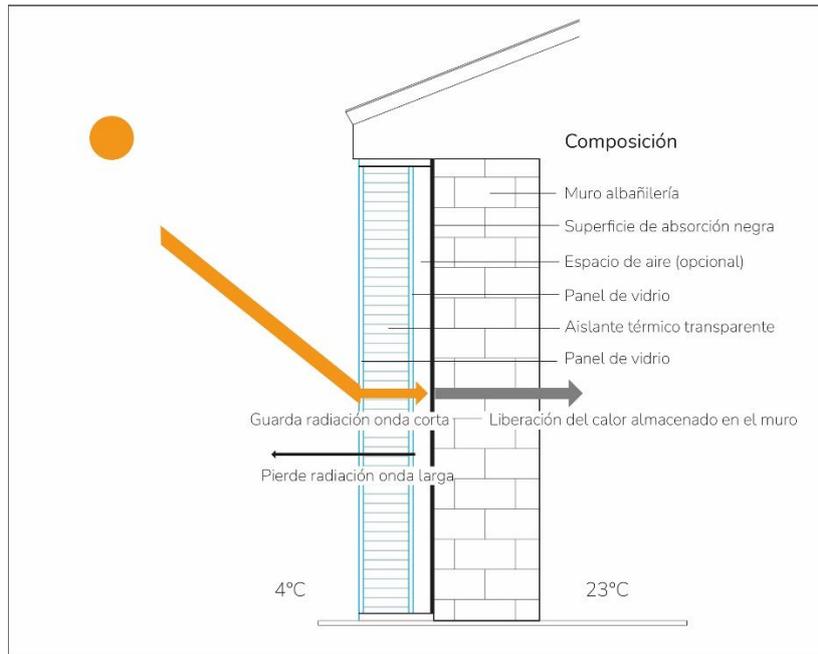


Figura 13: Elaboración propia. Funcionamiento ATT sobre muro. [Diagrama]

En la Figura 14 se observa una vivienda “Villa Tannheim in Freiburg-Vauban” en la que se integra ATT sobre el muro en la fachada.



Figura 14: Andreas Schwarzkopf. Villa Tannheim in Freiburg-Vauban, Sitz der International Solar Energy Society (ISES). [Fotografía]

Como se mencionaba anteriormente este sistema es recomendado para climas fríos ya que en climas cálidos hay que tomar más consideraciones para reducir el sobrecalentamiento, lo que llevaría a un aumento en el gasto energético para mantener una temperatura apta al interior.

Funcionamiento en el día y la noche

Durante el día, la pared se calienta debido a la radiación solar absorbida y al efecto invernadero provocado en el interior de la cavidad de aire o en el ATT, cuando hay ausencia de ésta. Si es necesario, el aire calentado por el sistema se puede dirigir a los recintos más rápido al integrar ventanillas de ventilación, este método también puede servir para ventilar el muro en verano al integrar más ventanillas, tanto arriba como abajo del muro, para que circule aire fresco en el muro. Por la noche, la pared libera parte del calor almacenado con un retraso de tiempo que depende del material y sus características de inercia térmica.

La figura 15 muestra un esquema del funcionamiento del ATT sobre muro durante el día y durante la noche, con temperaturas que ejemplifican el caso, pero no son específicas.

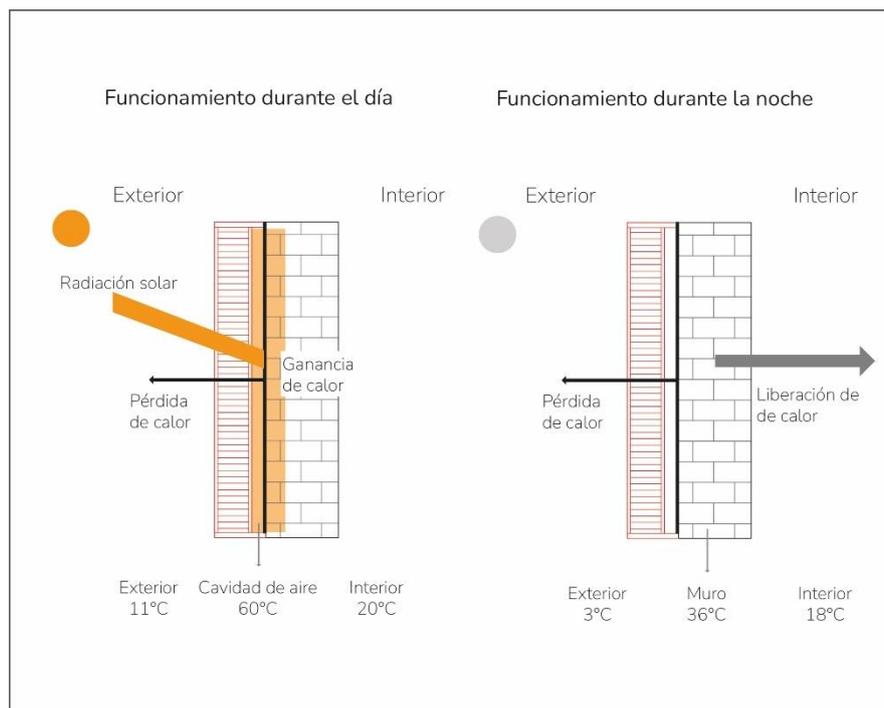


Figura 15: Elaboración propia. Funcionamiento durante el día y la noche. [Diagrama]

En un experimento se encontró que cuando la superficie oscura llega a alrededor de 45°C, con un muro de 24 cm de espesor, se alcanzan temperaturas de casi 30°C 6 horas después de la máxima radiación solar. Por esta razón es importante contar con estrategias para evitar el sobrecalentamiento. En el mismo experimento se descubrió que la pared con ATT calienta la habitación desde el mediodía en los días soleados, además de que, si a un día soleado le sigue un día con poco sol, la energía solar almacenada es suficiente para calentar la habitación un día más. La razón de esto es la capacidad de almacenamiento de la pared y el cambio de fase de varias horas entre la entrada máxima de energía en la pared y la liberación en la habitación.¹⁹

Sobrecalentamiento

Un método para controlar la cantidad de radiación que entra en la pared exterior o en la habitación es mediante la protección solar. El sombreado fijo, como voladizos, reducen la radiación difusa, pero con el cambio de la inclinación solar según la estación, también afecta la radiación directa que ingresa, lo cual reduce la eficiencia del muro solar.

Otra forma de enfrentar el sobrecalentamiento en épocas de mucho calor es el enverdecimiento de la fachada, para lo cual hay que elegir vegetación de hoja caduca, de manera que en verano esté sombreado y en invierno permita el paso de la radiación hacia el muro solar.

Entre las sombreadoras variables se encuentran persianas enrollables, plisadas o venecianas, las cuales se instalan delante del elemento ATT o bien son integradas en ellos, siempre delante del material ATT, estas funcionan de forma manual y deben ser resistentes a la intemperie. Si tienen un revestimiento de baja emisividad se puede mejorar su funcionamiento como medida de protección para el calor nocturno dado por la radiación reflectada. También existen medidas sistemas automáticos en el que el sistema reconoce la temperatura y se abre o cierra para mejorar el rendimiento del ATT o también puede girar de manera que evite o enfrente los rayos solares a medida que el sol cambia de posición.

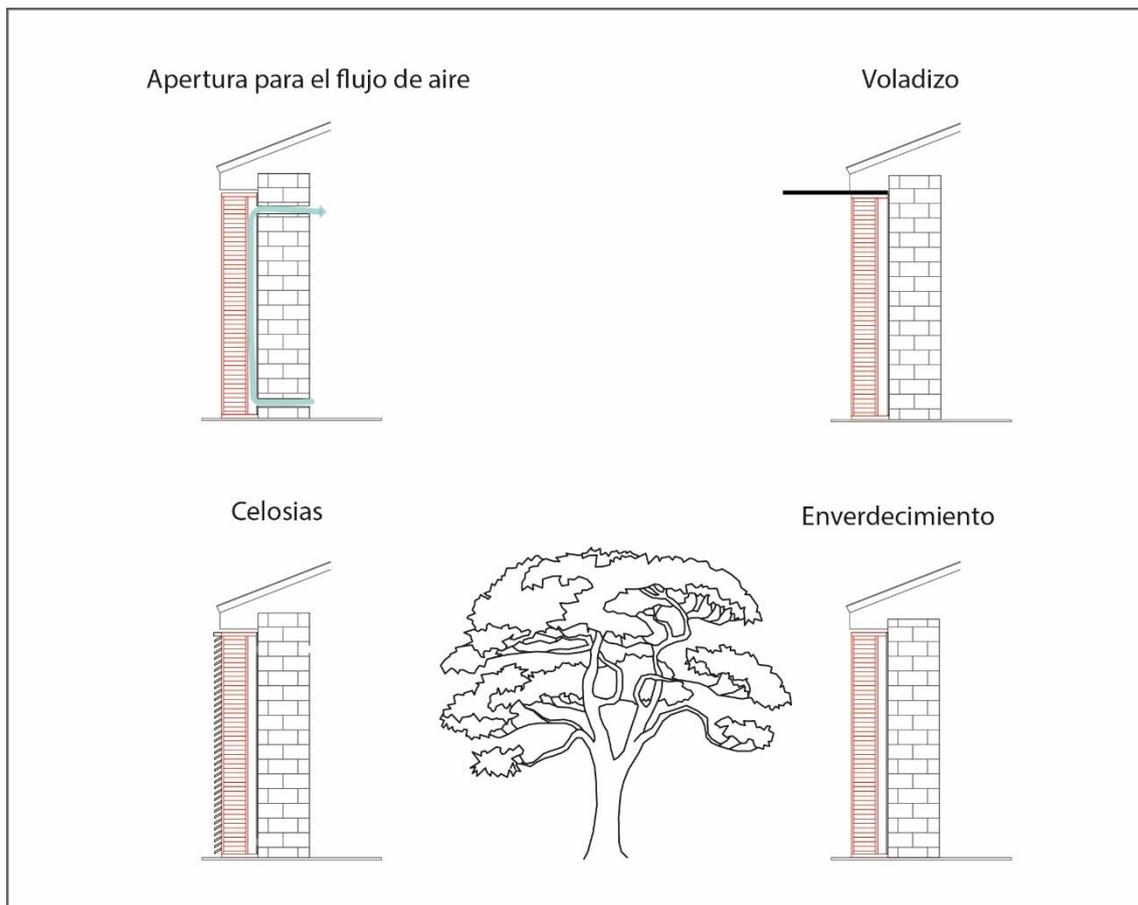


Figura 16: Elaboración propia. Opciones de sombreado para ATT. [Diagrama]

Otro punto importante en este sentido es que, al diseñar una fachada, se debe tener cuidado para garantizar que las medidas de construcción sombreen lo menos posible las áreas donde se encuentra el ATT durante el período de frío, donde es necesario el sistema de calefacción pasivo, ya que se puede tener un 20% menos del rendimiento por las sombras proyectadas.

Al igual que con todos los acristalamientos, el uso a gran escala de los sistemas de ganancia de energía solar requiere un control continuo de la incidencia de la luz y la radiación ya que es común que se genere un conflicto entre los requerimientos de iluminación por un lado y las preocupaciones energéticas por el otro.¹⁹

d. Funcionamiento ATT en ventanas

En la Figura 17 se observa el funcionamiento de una fachada vidriada de ATT, en este caso la radiación solar es distribuida en el interior del edificio y se puede regular con estrategias de ventilación natural para evitar el sobrecalentamiento en verano, además de agregarle salidas de aire al ATT. En este caso es relevante el material que se utiliza, ya que como en el anterior, se pueden utilizar materiales aislantes transparentes de vidrio o plástico, pero también de aerogel.¹⁴

Dado que el ATT se destaca por tener un valor de U (transmitancia térmica) bajo y sobretodo, mucho menor que un vidrio simple, sirve para manejar problemas de sobrecalentamiento en verano y pérdidas extremas en invierno.

Otro punto importante sobre el ATT como ventana es que posee un % de transmisión de la luz más bajo que un vidrio simple y al ser traslucido interviene en la conexión con el exterior, lo cual es una variable a considerar. Por otro lado, dada la estructura del ATT la luz se difunde de manera homogénea hacia el interior, por lo que los edificios que integran este sistema ya sea como ventanas o muro cortina, aprovechan la iluminación natural más que los recintos con ventanas tradicionales ya que el ATT difunde la radiación solar directa, evitando el encandilamiento, además de redirigir la luz visible.¹⁷

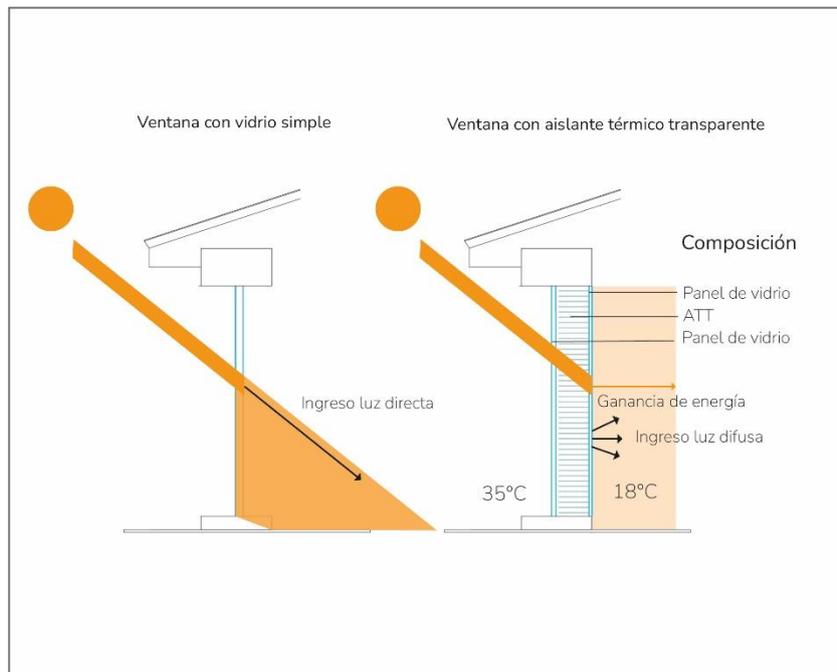


Figura 17: Elaboración propia. Funcionamiento ATT en fachada vidriada o ventanas. [Diagrama]

El Aislante térmico transparente de Aerogel ofrece una solución al sobrecalentamiento que podría enfrentar el edificio, dada su estructura porosa que reduce la conductividad térmica, además de minimizar drásticamente la transmisión de calor. El más común es el de Silice (5%) y aire (95%), tiene una densidad de $0,3 \text{ kg/m}^3$ y es altamente resistente. Existen dos tipos; el Monolithic silica aerogel (MSA) y el Granular silica aerogel (GSA) que se diferencian principalmente por la transmisión de la luz, ya que el MSA es más claro, pero también su valor es más elevado.

Es necesario describir las características de este material, ya que cambia las posibilidades de aplicación del ATT, pasando de ser beneficioso sólo en climas fríos, a poder ser un aporte también en climas cálidos ya que es un muy buen aislante. Así permite que en climas fríos se mantenga el calor generado al interior, además de seguir manteniendo la iluminación natural, pero también se puede aplicar en climas cálidos, siendo una barrera para el calor, lo que mantiene una temperatura óptima, aunque también hay que considerar incorporar salidas de aire para evitar el sobrecalentamiento o componentes reflectantes en el vidrio. Mientras que para el ATT de vidrio o policarbonato se solicitan medidas más exigentes.

e. Fichas de edificios con aplicación ATT

Para dar a entender la forma de aplicación con ejemplos concretos, se presentará a continuación una serie de fichas de distintos edificios en los que se aplica ATT, destacando la forma de aplicación, ya sea muro o ventana y los °C-día de su ubicación geográfica, de manera que a partir de estas fichas se pueda obtener más información sobre con qué climas es compatible el ATT y de maneras arquitectónicas se integra en los edificios de manera que en el siguiente capítulo se tomen estas directrices para integrar el ATT a las escuelas.

Para el caso de estas fichas los grados día se obtuvieron de recursos web, utilizando la página <https://energy-data.io/> y <https://www.degreedays.net/> con las cuales se pueden obtener los datos ya sea mensuales o anuales, ambos útiles para comprender como funciona el clima respecto a la temperatura ideal establecida en 20°C.

Guest House Kloster Windberg

Año: 1991

Arquitectura: HERZOG + PARTNER

Ubicación: Windberg, Alemania

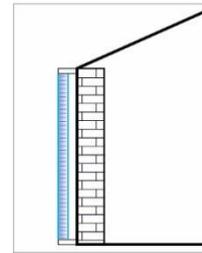
Latitud: 48°56'34"N

Programa: Habitacional

Orientación ATT: Sur

ATT utilizado: Desconocido

Tipo ATT: Muro

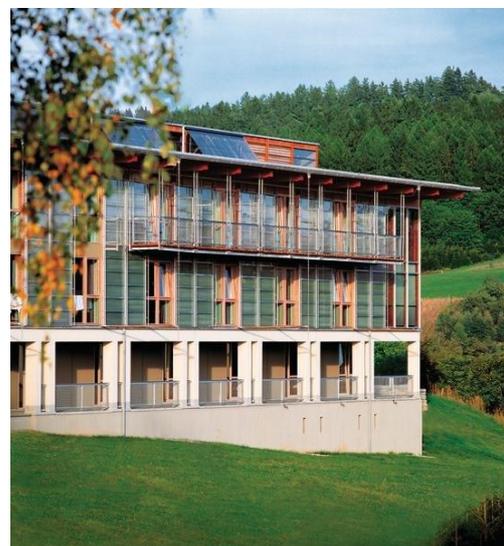


Descripción de ATT en proyecto:

El edificio fue construido en 1991 con una perspectiva de diseño bioclimático, por lo que sus muros tienen una alta inercia térmica, que permite hacerle frente a los cambios de temperatura y además se le agregan sectores con aislante térmico transparente en la fachada sur, la cual ofrece el mayor aprovechamiento de la energía solar, teniendo una diferencia de 6 horas entre que se caliente la pared y que ingrese al interior del recinto, por lo que aprovecha la ganancia activa de radiación durante el día y durante la noche aprovecha el calor guardado que se comienza a liberar. Además, en el sector sur se ubican los espacios de permanencia como los dormitorios y los espacios comunes

Clima:

El clima en Windgerb, Alemania tuvo un total de 3985,4 °C-día anual en 2021, con una máxima de 622,2 en Enero y una mínima de 79,3 en Julio



Fotografías: Klaus Kinold. En <http://thomasherzogarchitekten.de/en/en-1991-windberg>

Two family house

Año: 1994
Muro

Arquitectura: HERZOG + PARTNER

Ubicación: Múnich, Alemania

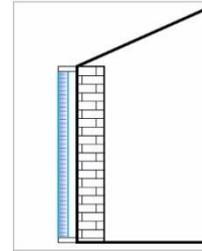
Latitud: N48°8'14.75"

Programa: Habitacional

Orientación ATT: Sur

ATT utilizado: Desconocido

Tipo ATT:



Descripción de ATT en proyecto:

El interior de la vivienda se distribuyó de manera que los espacios de permanencia quedaran hacia la fachada sur, a los cuales en el invierno el sol les iluminaría de forma directa. En esta zona se encuentran muros de 10 cm de espesor de hormigón prefabricado, con una capa de pintura opaca por fuera, en el que se inserta aislante térmico transparente en la fachada por el exterior, de manera que hay sectores de la fachada sur que funcionan como un colector pasivo de calor durante el día y cediendo el calor hacia el interior durante la tarde y noche.



Clima:

El clima en Múnich, Alemania tuvo un total de 4220.76 °C-día anual en 2021, con una máxima de 641,78 en Enero y una mínima de 85,9 en Julio

Fotografías: Dieter Leistner. En <http://thomasherzogarchitekten.de/en/en-1989-pullach>

Empresa August Fichter

Año: 2015

Arquitectura: Pauly + Fichter de Neu-Isenburg

Ubicación: Raunheim, Alemania

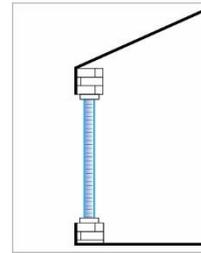
Latitud: 50°01'00"N

Programa: Industrial

Orientación ATT: Norte

ATT utilizado: TIMax® GL system Ug 0,8, Wacotech

Tipo ATT: Ventana tipo muro cortina



Descripción de ATT en proyecto:

La utilización de ATT otorga un buen aislamiento térmico y al mismo tiempo, una óptima transmisión de la luz, brindando una iluminación apropiada a las oficinas. Al presentar un U bajo, también se consigue protección solar, contra el deslumbramiento y el sobrecalentamiento en verano.

Clima:

El clima en Raunheim, Alemania tuvo un total de 3354,1 °C-día anual en 2021, con una máxima de 518,5 en Enero y una mínima de 54 en Julio.

English National Ballet

Año: 2019

Arquitectura: Glenn Howells Architects

Ubicación: Londres, Reino Unido.

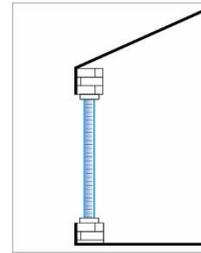
Latitud: 51°30'46"N

Programa: Cultural

Orientación ATT: Norte

ATT utilizado: TIMax® GL-PlusF, Wacotech

Tipo ATT: Ventana tipo muro cortina



Descripción de ATT en proyecto

La fachada norte y oriente están revestida con paneles de aislante transparente, lo que maximiza la cantidad de luz natural que ingresa a los estudios para crear espacios de baile etéreos, mientras que hacia el oriente logra brindar privacidad hacia los edificios residenciales.

Clima:

El clima en Londres, Reino Unido, tuvo un total de 3050.74 °C-día anual en 2021, con una máxima de 467.14 en Enero y una mínima de 60.20 en Julio

Fotografías: Hufton+Crow Photography. En <https://www.architonic.com/en/project/wacotech-english-national-ballet/20167210>

Galería Stihl Waiblingen

Año: 2008

Arquitectura: Stuttgart Hartwig N. Schneider

Ubicación: Waiblingen, Alemania

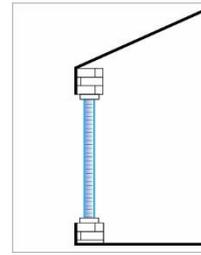
Latitud: 48°49'57"N

Programa: Cultural, galería de arte

Orientación ATT: Norte, Sur, Este y Oeste

ATT utilizado: TIMax® GL / TIMax® GL-PlusF, Wacotech.

Tipo ATT: Ventana tipo muro cortina



Descripción de ATT en proyecto:

La galería municipal Stihl Waiblingen es una casa de exposiciones con una arquitectura industrial, marcada por el uso de hormigón y vidrio translúcido, que permite el diálogo entre las dos obras del lugar. Se le reconoció dentro de los mejores edificios de Alemania en Octubre de 2009 y se le otorgó el premio Hugo Häring en 2012.

Clima:

El clima en Waiblingen, Alemania, tuvo un total de 3906,4 °C-día anual en 2021, con una máxima de 577,9 en Enero y una mínima de 85,4 en Julio

Fotografías: Christine Keinath. En <http://www.fischer-friedrich.de/projekte/sozialbauten/stihl-galerie#:~:text=Waiblingen,und%20schlanken%20STV%2DSt%C3%BCtzen%20ausgef%C3%BCht>

Centro para la ciencia e innovación, Universidad de San Francisco JLS

Año: 2013

Tipo ATT: Ventana (muro cortina y lucarna)

Arquitectura: NBBJ architects

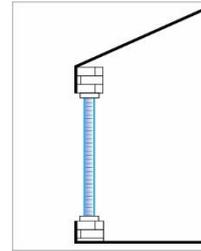
Ubicación: San Francisco, California, EE.UU.

Latitud: 37°46'30"N

Programa: Educativo

Orientación ATT: Oriente

ATT utilizado: Sistema de canal de vidrio translúcido Pilkington Profilit™ con aislamiento de aerogel Lumira®



Descripción de ATT en proyecto

La inspiración para el centro viene de la idea de aportar pasión al estudio de la ciencia, para esto se diseñó un lugar muy transparente, lo que se logró con la integración de una fachada de muro cortina, y aplicaciones de con ATT de aerogel, en un pasillo y lucarnas, el material es autoportante y se monta en un marco perimetral de metal.

Clima:

El clima en San Francisco, EE.UU, tuvo un total de 2063.07°C-día anual en 2021, con una máxima de 283.65 en Diciembre y una mínima de 81,24 en Junio

Fotografías: Bruce Damonte. En <https://architizer.com/projects/university-of-san-francisco-john-lo-schiavo-sj-center-for-science-and-innovation/>

Casa Solar

Año: 2011

Arquitectura: Studio Albori

Ubicación: Valle de Aosta, Italia.

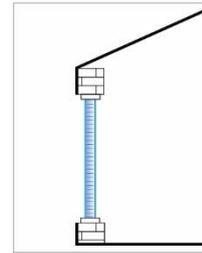
Latitud: 45°44'14"N

Programa: Residencial

Orientación SAT: Sur

Aislante utilizado: No especificado, marca Bendheim.

Tipo ATT: Ventana



Fuente: Architizer. Vista fachada norte



Descripción de ATT en proyecto:

El proyecto nace de la idea de aprovechar la hermosa vista que otorgan los Alpes occidentales del noreste de Italia. La fachada norte deja espacio para algunos vanos, mientras que en la fachada sur se destinan los espacios de permanencia al ser principalmente vidriado, favoreciendo la vista al lugar. La casa integra tecnologías para el ahorro energético, entre ellas la incorporación de ATT en la fachada sur para aprovechar el asoleamiento como forma de calefacción, integrando un material cambiante de fase al ATT, de manera que este pueda guardar y liberar el calor al interior.

Clima:

El clima en Valle de Aosta, Italia, tuvo un total de 3699.85 °C-día anual en 2021, con una máxima de 602.37 en Enero y una mínima de 29,67 en Julio

Fotografías: Studio Albori. En <http://hicarquitectura.com/2015/08/studio-albori-solar-house/>

Ciudad del océano y el surf

Año: 2011

Tipo ATT: Ventana tipo muro cortina

Arquitectura: Steven Holl Architects, Solange Fabião y Rüssli Architekten

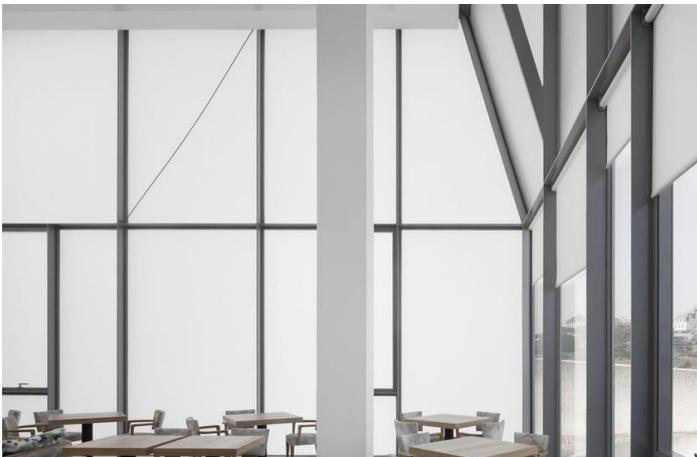
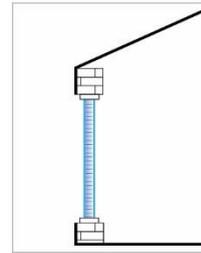
Ubicación: Biarritz, Francia.

Latitud: 43°28'48"N

Programa: Cultural, museo.

Orientación ATT: Norte, Sur, Este y Oeste

ATT utilizado: Kapilux T/ Okalux Evo / Okatherm, Okalux.



Descripción de ATT en proyecto:

La localización en Biarritz, ciudad del surf permite la inspiración del volumen, donde se crea un diseño que logre incorporarse con la topografía y la idea de las olas del mar. Funciona como museo, centro cultural y restaurante. La transparencia logra mantener el juego de ser parte del entorno al estar dentro del edificio.

Clima:

El clima en Biarritz, Francia, tuvo un total de 2228,34 °C-día anual en 2021, con una máxima de 394,52 en Enero y una mínima de 36,57 en Julio

Polideportivo, Gimnasio Lily Braun

Año: 2021

Tipo ATT: Ventana

Arquitectura: Scholl.balbach.walker y Architektenpartnerschaft

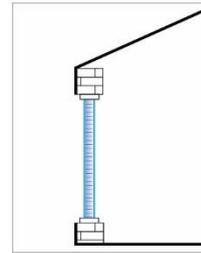
Ubicación: Berlín, Alemania.

Latitud: 52°31'28"N

Programa: Deportivo

Orientación ATT: Norte, Sur, Este y Oeste

ATT utilizado: Okalux K, Okalux.



Descripción de ATT en proyecto:

Con el aumento de personas en la ciudad, se tomó la iniciativa de construir una mayor cantidad de recintos deportivos. Se comenzaron a construir con tecnologías modernas con un enfoque bioclimático, como en este caso, que se integra ATT para un aprovechamiento de la luz natural de forma homogénea y

un alto nivel de aislamiento térmico, lo que reduce los costos en energía. Además, el acristalamiento es resistente a los golpes, por lo que es apto para una zona deportiva.

Clima:

El clima en Berlín, Alemania, tuvo un total de 3794.28 °C-día anual en 2021, con una máxima de 592.26 en Enero y una mínima de 38.27 en Julio.

Fotografías: Hans Jürgen Landes. En <https://www.okalux.com/references/reference/standardised-sports-halls-lily-braun-gymnasium/>

Escuela de Arquitectura, Instituto Pratt

Año: 2006

Tipo ATT: Ventana tipo muro cortina

Arquitectura: Steven Holl Architects y Rogers Marvel Architects

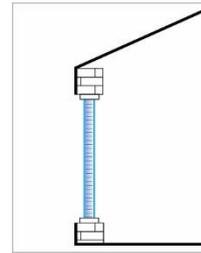
Ubicación: Nueva York, EE.UU.

Latitud: 40°42'51"N

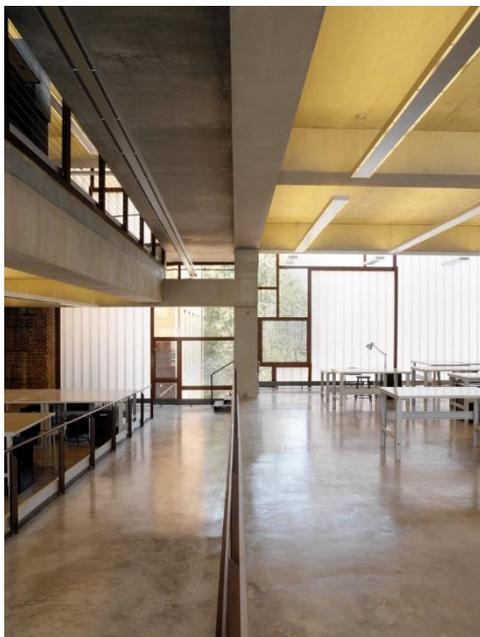
Programa: Institucional

Orientación ATT: Norte, Sur, Este y Oeste

ATT utilizado: Okapane™ Channel Glass Insulation, Bendheim.



Fuente: David Sundberg, Plataforma Arquitectura



Descripción de ATT en proyecto:

El edificio se destaca por su transparencia y luminosidad, en comparación con los edificios colindantes de albañilería, funcionando como una conexión con estos. El ATT es blanco translúcido y protege los espacios interiores de las duras temperaturas tanto en invierno como en verano. Se estructura sobre 6 pilares prefabricados de hormigón y el resto de la fachada es estructurada por perfiles de acero de color rojizo.

Clima:

El clima en Nueva York, EE.UU, tuvo un total de 4072.83 °C-día anual en 2021, con una máxima de 746.37 en Enero y una mínima de 27.99 en Julio.

Fotografías: David Sundberg. En <https://bendheim.com/project/pratt-institute-higgins-hall/>

Casa solar autosuficiente en Freiburg

Año: 1993

Arquitectura: Fraunhofer-Institut

Ubicación: Friburgo de Brisgovia, Alemania

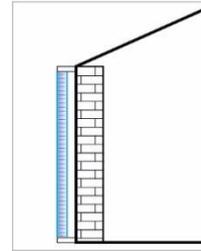
Latitud: 47°59'45"N

Programa: Fundación

Orientación ATT: Sur

ATT utilizado: Estructura capilar, producto desconocido

Tipo ATT: Muro



Descripción de ATT en proyecto:

El edificio es la sede del instituto Fraunhofer para sistemas de energía solar, fundación que desde 1981 se dedicaba a la investigación de la energía solar y su aplicación. De esta manera se diseñó una sede que fuera completamente autosuficiente con energía solar y entre los sistemas integrados se encuentra el ATT, el cual se ubica adosado a muros y en algunas ventanas. La ganancia energética que suponía el ATT incluso servía para la calefacción del agua.

Clima:

El clima en Friburgo, Alemania tuvo un total de 3312,1 °C-día anual en 2021, con una máxima de 549,4 en Enero y una mínima de 59,4 en Junio

Fotografías: Holger Wolpensinger, Bonn. En

<https://sdg21.eu/galerien/energieautarkes-solarhaus-freiburg>

Desarrollo

Capítulo 3: Integración SAT en salas de escuelas chilenas

En este capítulo se mostrarán posibilidades de integración del ATT en las salas de clases de los casos seleccionados, basándose en la información que se obtuvo de las fichas de edificios sobre cómo se incluye el ATT en los edificios internacionalmente, además de tener en consideración las materialidades aptas para la integración de este.

Las opciones que se mostrarán a continuación son un resumen de la información que se pudo recabar a lo largo de la investigación, donde las propuestas consideran las formas de aplicación, los materiales y otras condicionantes que se describirán en cada caso, si bien pueden existir más opciones de integración estas son una base para comprender de qué manera se podría implementar en la realidad de las escuelas chilenas.

Lo que se mostrará en las fichas de integración tiene como propósito visualizar y llevar a lo arquitectónico lo investigado, más que el aspecto constructivo, por lo que si se quisiera realizar la aplicación de ATT se debería hacer un estudio de caso específico, considerando las variables del clima, de la escuela y del material para lograr una integración correcta, además de poder aproximar valores más reales y agregar técnicas de aprovechamiento de la ganancia energética o bien de sombreadamiento que evite el sobrecalentamiento.

Si bien se realiza un cálculo de la ganancia energética este asume algunos valores que no son relevantes a la hora de aproximar la utilidad del ATT, pero que son muy importantes si se quiere realizar la integración en realidad, ya que requiere un estudio energético a largo plazo y considerando los valores más cercanos a los reales de cada variable para que no surjan problemas en el funcionamiento del ATT posterior a su aplicación, ya sea en muros o en ventanas, aunque en ventanas el riesgo es menor.

La Asociación Comercial de Aislamiento Térmico Transparente eV²⁰ en Friburgo otorga una ecuación que permite el cálculo de la calefacción otorgada por la integración de ATT en muro y en ventana, por un método de cálculo mensual.

Estas ecuaciones se utilizarán para calcular la ganancia energética de una opción seleccionada bajo el criterio de cuál puede ser más favorable y que resume de mejor manera las formas de aplicación investigadas. Esto permitirá tener una aproximación del funcionamiento del ATT al ser integrado en la realidad chilena en distintos climas.

Las ecuaciones a utilizar son las siguientes, donde la ecuación (1) se utilizará en la integración en muros y la (2) en ventanas.

$$Qm = U \cdot A_j \cdot \left(\frac{\alpha \cdot g_{ATT}}{U_{ATT}} \cdot F_s \cdot F_f \cdot I_{S_j} - R_{se} \cdot F_f \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \right) \cdot t \quad (1)$$

$$Qv = U \cdot A_j \cdot R_{se} \left(\alpha \cdot I_{S_j} - F_f \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \right) \cdot t \quad (2)$$

Donde:

Q_m = Ganancia de calor (Wh)

U = Transmitancia térmica del componente constructivo (del muro sobre el que se adosa el ATT) (W/m^2K)

A_j = Superficie total del ATT integrado (m^2)

α = Coeficiente de absorción del componente constructivo

g_{ATT} = Factor solar del ATT

U_{ATT} = Transmitancia térmica del ATT (W/m^2K)

F_s = Factor de reducción por sombra

F_F = Factor de reducción de la superficie vidriada por superficie de marco

I_{s_j} = Insolación total en la orientación correspondiente

R_{se} = Resistencia superficial exterior (m^2K/W)

F_f = Factor de forma entre el componente constructivo y el cielo

h_r = Emisividad exterior (W/m^2K)

$\Delta\theta_{er}$ = Media de la diferencia de temperatura entre el aire exterior y la temperatura aparente del cielo (K)

t = Duración del espacio tiempo a calcular por mes (hr)

El texto de la Asociación Comercial de Aislamiento Térmico Transparente eV sugiere algunos datos para asumir en el desarrollo de la ecuación, mientras que especifica que si bien para un caso real es necesario contar con el dato de I_{s_j} (Insolación total en la orientación correspondiente) para efectos de una aproximación se puede considerar la radiación difusa global. Este valor se toma del sitio web <https://solar.minenergia.cl/exploracion> donde se define la ubicación (ya sea Viña del Mar, Valparaíso, Talca o Puerto Montt) y se obtienen los datos de radiación difusa y las horas en las que esta influye. Como resultado de asumir este valor global se pueden subestimar las ganancias en invierno o sobreestimar en verano.

Algunos valores predeterminados para la ecuación son:

$\alpha = 0,9$ para la integración en muros, asumiendo un muro con una capa negra y $0,6$ para la integración en ventanas, asumiendo que el calor ingresa a una superficie de color al interior de la sala de clases.

$F_s = 0,9$ ya que no se considera la integración de sombreadamiento, por lo que no es 1 por no asumir una situación perfecta, ya que puede existir polvo y otras partículas que obstaculicen al material.

$F_f = 0,15$ ya que es un porcentaje similar a lo que tienen de marco la mayoría de los productos utilizados y este dato se puede asumir para una aproximación ya que no es tan relevante como lo son los otros datos que no se encuentran en esta tabla.

$R_{se} =$ Dado en el texto de la ecuación con un valor de $0,04$ (m^2K/W).

$F_f = 0,5$ para componente vertical, lo cual corresponde a los casos a presentar.

$h_r =$ Emisividad exterior de 4 (W/m^2K)

$\Delta\theta_{er} = 10$ K

A. Aplicación en muros

En la aplicación de ATT sobre muros hay condicionantes que determinan las posibilidades, las cuales se pueden inferir a partir de la descripción del material que se realizó en el capítulo 2 y de las fichas de edificios. Estas son:

- Las dimensiones determinadas por los materiales indicados en la Tabla 2, que son aptos para aplicarse sobre muro.
- Se debe aplicar sobre muros de alta inercia térmica como albañilería u hormigón.
- Para aumentar la absorción de la energía por parte del muro se debe agregar una capa de color negro a la superficie.
- La orientación del material debe ser Norte.
- En cuanto a la arquitectura, no se ve que se integre completamente sobre un muro ciego.
- Puede existir un espacio entre el ATT y el muro, que en ocasiones es solo aire y en otras se llena con gas, que mejora el mantenimiento del calor en la cavidad.

Primero se definieron las dimensiones y ubicación del ATT para el diseño arquitectónico de la integración sobre cada Tipo y posteriormente se dimensionaron según los dos materiales disponibles, por lo que en cada opción de integración se verán dos formas, ya sea utilizando el material Okalux TWD u Opakane. En las fichas se muestra un modelo del

Tipo del que se trata la ficha, luego un modelo con las opciones dibujadas a nivel general, más abajo una elevación de la fachada en la que se integra el ATT, donde se muestran las dos opciones según el material y finalmente un corte donde se indica la ubicación del ATT.

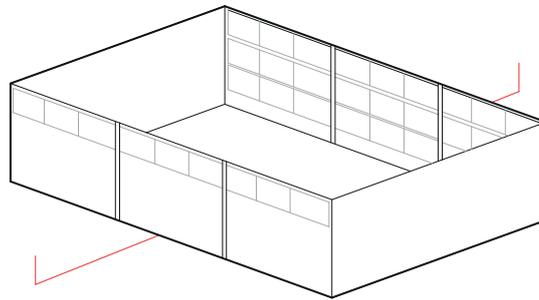
En la parte inferior se encuentra una tabla de “ganancia energética” que muestra la ganancia de algunas opciones, calculando la más óptima arquitectónicamente. La ganancia depende de la ubicación geográfica, por lo que se considerará la ubicación de los Tipos que se mencionan en la ficha de escuelas y se calculará en Marzo y en Julio, considerando que son el mes más cálido y el más frío respectivamente, en los que hay clases. Además, para este cálculo se consideran las posibles horas de funcionamiento de las escuelas, entre las 7.00 AM y las 20.00 PM, desde cuando comienza la apertura de las salas hasta que estas se cierran, por los colegios que tienen jornada de tarde. Esto se calcula durante 5 días de la semana, lo que definirá la cantidad de horas que se estará generando una ganancia útil. Estos cálculos más detallados se encuentran en Anexos 2.

Considerando un valor aproximado para calefaccionar un recinto sin aislante térmico, se define una necesidad de $0,1 \text{ kW/m}^2$, por lo que para las salas de 54 m^2 se necesitan $5,4 \text{ kWh}$, para la de $7,2 \times 7,2 \text{ m}$ se requieren $5,18 \text{ kWh}$ y para la de $9 \times 9 \text{ m}$, una ganancia de $8,1 \text{ kWh}$.

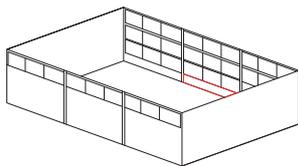
Con esto se puede tener una referencia de lo que significa la ganancia que ofrece la aplicación de ATT sobre muros. Estos valores se podrán ver al final de cada ficha de integración.

Integración de ATT sobre muro

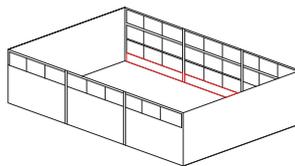
Tipo 606



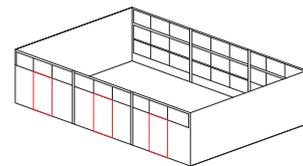
Opción 1



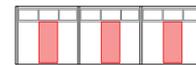
Opción 2



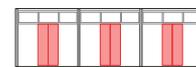
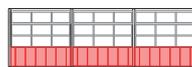
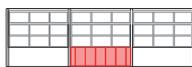
Opción 3



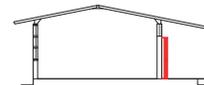
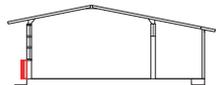
Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte

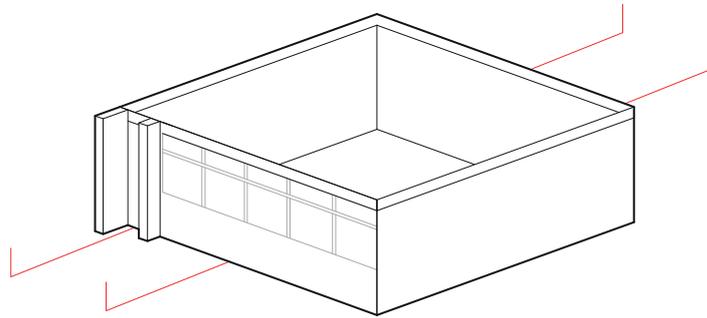


Ganancia energética (W/hr)

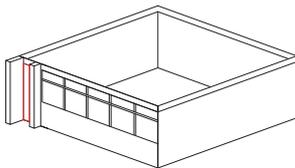
	Okalux TWD				Okapane			
	Viña del Mar		Talca		Viña del Mar		Talca	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio	Marzo	Julio	Marzo	Julio
Opción 3 5,4 m ² ATT	2921	991	2310	970	6843	2872	5639	2832

Integración de ATT sobre muro

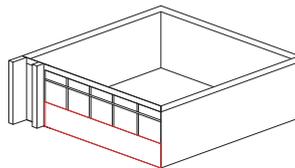
Tipo 510



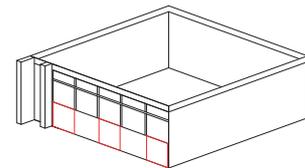
Opción 1



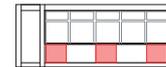
Opción 2



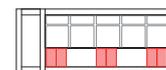
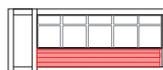
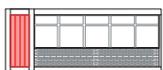
Opción 3



Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte

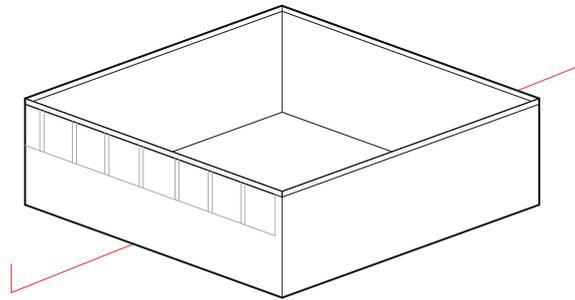


Ganancia energética (W/hr)

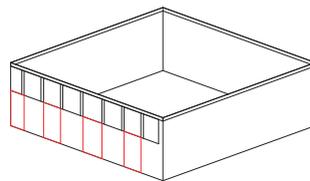
	Okalux TWD		Okapane	
	Valparaiso		Valparaiso	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio
Opción 1 2,3 m ² ATT	1472	763	3361	1893
Opción 3 5,4 m ² ATT	3450	1786	7885	4439

Integración de ATT sobre muro

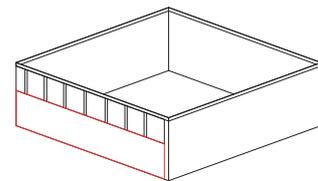
Tipo 801



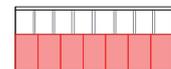
Opción 1



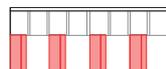
Opción 2



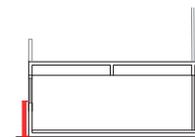
Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte



Ganancia energética (W/hr)

Opción 1 5 m ² ATT	Okalux TWD		Okapane	
	Puerto Montt		Puerto Montt	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio
	3728	450	8351	1582

B. Aplicación en ventanas

En la aplicación de ATT como ventana también hay condicionantes que determinan las posibilidades de integración arquitectónica del material, las que se pueden inferir de la ficha de edificios, donde la mayoría de los presentados corresponden a ventana tipo muro cortina. Estas son:

- Las dimensiones determinadas por los materiales indicados en la Tabla 2, que son aptos para utilizarse como ventanas.
- Se puede aplicar en cualquier orientación.
- El material, si bien se puede montar de forma horizontal generalmente se hace de forma vertical, probablemente para mantener mejor las condiciones del material, al no ejercer peso sobre este.
- Se utiliza casi siempre como muro cortina o ventana de piso a cielo, donde lo único que interrumpe su aplicación es el marco portante a través del cual se inserta al edificio.
- Debe existir una apertura destinada a vidrio transparente, ya que al no dejar pasar la luz completamente existe una interrupción con el entorno, por lo que no se puede aplicar a todo a menos que esta sea la intención, como por ejemplo en una biblioteca o sala de reuniones.
- Este se puede aplicar sobre climas similares a los de las regiones seleccionadas.

Para proponer la integración se siguió una metodología similar a la de integración sobre muro, donde primero se definieron las dimensiones y ubicación del ATT para el diseño arquitectónico de la integración sobre cada Tipo y posteriormente se dimensionaron según los dos materiales disponibles, por lo que en cada opción de integración se verán dos formas.

Para este caso existían muchas más opciones de material, por lo que se seleccionaron dos, el que posee mejor U y el que posee el U más alto, seleccionando el material Lumira Aerogel y Kapilux K. En las fichas se muestra un modelo del Tipo del que se trata la ficha, luego un modelo con las opciones dibujadas a nivel general, más abajo una elevación de la fachada en la que se integra el ATT, donde se muestran las dos opciones según el material y finalmente un corte donde se indica la ubicación del ATT.

La integración en el Tipo 801 se realizó en lo que corresponde al segundo piso de madera, ya que el de albañilería, correspondiente al primer piso, se utiliza en la parte de integración de muro, al no ser compatible la madera con este tipo de integración.

En la parte inferior se encuentra una tabla de “ganancia energética” que muestra la ganancia de algunas opciones, calculando la más óptima arquitectónicamente. En este caso también se calcula en Marzo y Julio, en las horas que se mencionan anteriormente, la diferencia es que en este caso el que muestra la menor cantidad de ganancia energética es el mejor aislante, ya que evita el sobrecalentamiento en verano y por otro lado, el que

representa la menor pérdida energética (valor en negativo) es el que evita la mayor cantidad de pérdida en invierno.

Se estima que las salas de clases cuentan con vidrio monolítico, el cual tiene un U de 5,8, lo que significa que tiene una mayor ganancia energética en verano y una alta pérdida en invierno, lo que lo hace desfavorable. En la Tabla 3 se pueden encontrar los valores para comparar la pérdida y ganancia de los casos mencionados, pero esta vez con vidrio monolítico. Esto permite tener una referencia más clara de lo que aporta la integración de ATT como ventana.

Se debe tener en consideración que este cálculo es un aproximado, reemplazando en la ecuación (2) únicamente el dato U con el valor 5,8, por lo que puede tener variables si se emplea en una ecuación destinada al cálculo de la pérdida y ganancia de energía del vidrio monolítico.

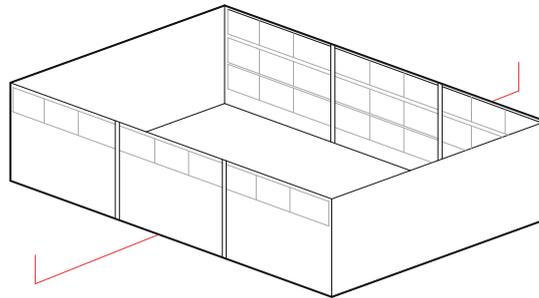
Tabla 3. Pérdida y ganancia energética de vidrio monolítico

Ciudad	Área ATT	Julio	Marzo
Viña del Mar	4,72 m ²	-1999,5	182,2
Valparaíso	8 m ²	-3389,0	308,8
Puerto Montt	5 m ²	-2234,1	1894,0

Los valores para ganancias y pérdidas varían mucho ya que al crear una relación entre la ganancia energética y la radiación se puede observar que existe una pendiente de alto valor, por lo tanto, un pequeño aumento en la radiación difusa provoca un aumento mucho mayor de la ganancia energética, además de que las horas consideradas para el caso de Puerto Montt son menos ya que la radiación en invierno tiene una duración de aproximadamente 9 horas.

Integración de ATT como ventana

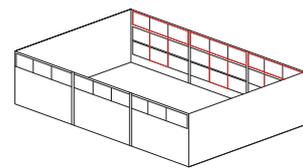
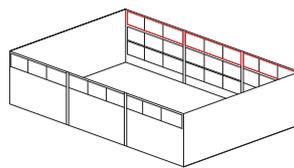
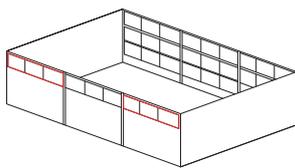
Tipo 606



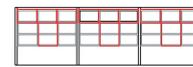
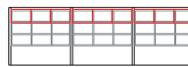
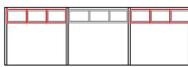
Opción 1

Opción 2

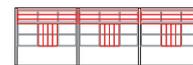
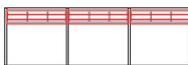
Opción 3



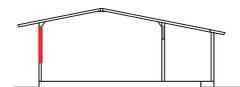
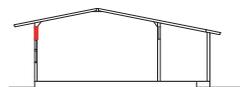
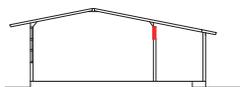
Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte

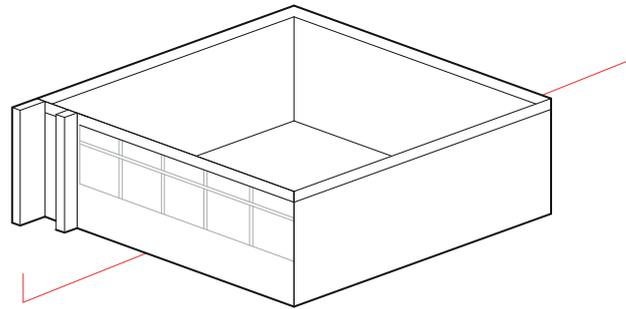


Ganancia energética (W/hr)

Opción 1 4,72 m ² ATT	Lumira aerogel		Kapilux K	
	Viña del Mar		Viña del Mar	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio
	6,59	-72,3	56,5	-620,5

Integración de ATT como ventana

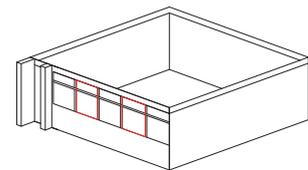
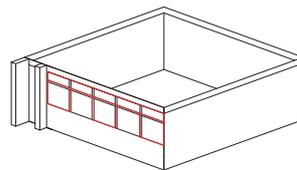
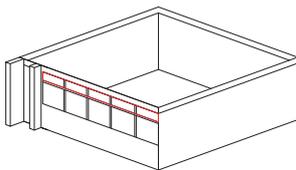
Tipo 510



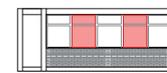
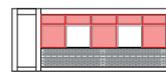
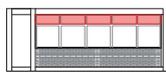
Opción 1

Opción 2

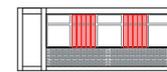
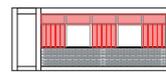
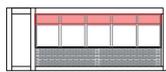
Opción 3



Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte

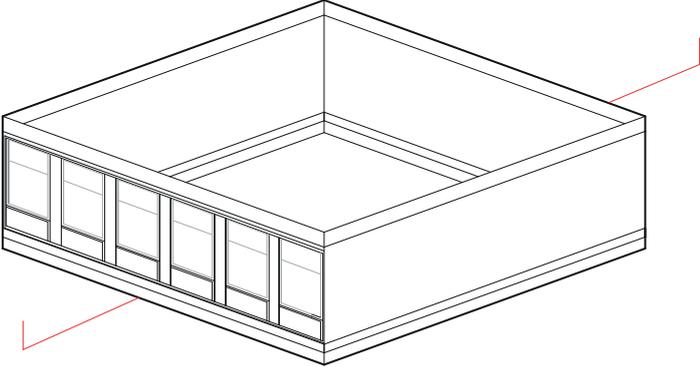


Ganancia energética (W/hr)

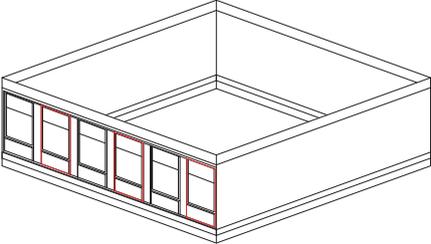
	Lumira aerogel		Kapilux K	
	Valparaíso		Viña del Mar	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio
Opción 1 5,4 m ² ATT	39,9	-34,9	337,6	-299,3

Integración de ATT como ventana

Tipo 520



Opción 1



Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte

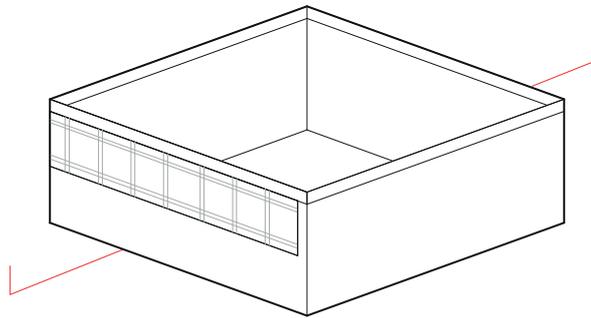


Ganancia energética (W/hr)

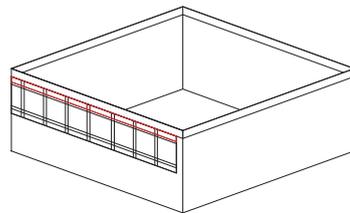
	Lumira aerogel		Kapilux K	
	Viña del Mar		Viña del Mar	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio
Opción 1 8 m ² ATT	11,1	-122,7	95,8	-1051,7

Integración de ATT como ventana

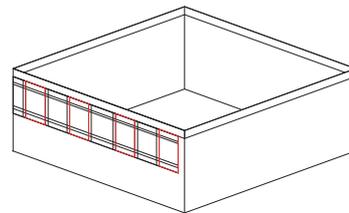
Tipo 801



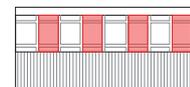
Opción 1



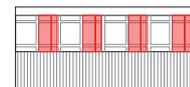
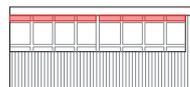
Opción 2



Material Okalux TWD



Material Okapane



Corte



Ganancia energética (W/hr)

	Lumira aerogel		Kapilux K	
	Puerto Montt		Viña del Mar	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio
Opción 1 5 m ² ATT	68,5	-80,8	587,8	-693,3

Conclusiones

El Aislante térmico transparente es un material del cual no existe registro en Chile ni tampoco investigaciones al respecto, de hecho, la mayoría de la información se puede encontrar en inglés o en alemán, dado el país de origen de este material, sin embargo, luego de lo investigado se puede concluir que el ATT es una opción prometedora para el reacondicionamiento térmico de las escuelas chilenas, específicamente las construidas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos.

Esto es importante de investigar ya que las escuelas construidas por la SCEE existen desde antes de que se implementara cualquier tipo de exigencia respecto a la aislación térmica y se instauran en un contexto muy diferente al actual, donde la problemática radicaba en la falta de establecimientos educativos más que en la calidad de la infraestructura de estos.

La infraestructura comienza a tener un papel más relevante cuando aparecen reglamentaciones como la RT 2007, y posteriormente la RT 2022, que comienzan a reconocer la importancia de la aislación en los recintos habitables, aunque si bien la RT 2007 solo consideraba la vivienda, se ha avanzado hasta llegar a la RT 2022 que sí incluye exigencias para recintos educativos. De esta manera el confort térmico comienza a ser considerado como un factor destacado en la calidad de los recintos habitables.

Pero no solamente la RT reconoce esta importancia, sino los mismos estudiantes que han sufrido las consecuencias de las malas condiciones de la infraestructura escolar, al punto de manifestarse para exigir que se mejore el acondicionamiento térmico del interior de las salas de clases.

Las escuelas no pueden transformarse en un “iglu” como uno de los casos mencionados, en los que los estudiantes vayan a exponer su salud. Los establecimientos deben asegurar como un punto mínimo el confort térmico tanto para los estudiantes como para los profesores y toda la comunidad que forma parte de los colegios, donde pasan una mayor parte del día.

El acondicionamiento térmico está relacionado estrechamente con la calidad de la educación, que no solo consiste en los contenidos educativos sino también en el lugar en el que esta se otorga, ya que como se mencionaba anteriormente la mala calidad de la infraestructura influye en el aprendizaje y aumenta la brecha desigual. De esta manera, se vuelve imperante el evaluar las condiciones de las escuelas y mejorarlas.

Se puede observar en las fichas de escuelas que muchas no han sido reacondicionadas y que hay escuelas de las mismas dimensiones de salas y materialidades en diferentes zonas geográficas de Chile, que por lo tanto tienen exigencias térmicas distintas. Entre esto se destaca que los climas presentados tienen 3216,4 °C-día anualmente como máxima y 2069,0 °C-día anuales como mínima. Esto indica que el lugar con la máxima cantidad de °C-día es donde se requiere más energía para calefaccionar y llegar a una temperatura ideal, en este caso definida en 20°C.

Entre los materiales encontrados con los que se construyen las escuelas por la SCEE el con menor U era el de madera, seguido por la albañilería, el hormigón y finalmente por el hierro. Siendo este último un caso de cerramiento específico en una fachada de la tipología 520, del cual no existe registro de contar con aislantes.

La mayoría de los casos encontrados tenían cerramientos de madera o albañilería y presentaban un valor más alto de U de lo requerido por la RT 2007, aunque algunos, los de madera principalmente estaban dentro de las exigencias, sin embargo al compararlo con la nueva RT 2022 se puede observar que ninguno cumple con el requerimiento mínimo para el complejo de muros, por lo que se hace necesario un reacondicionamiento, dado que estos valores se establecen considerando lo más apto para el confort térmico interior.

Así, aparece el ATT como una posible solución a los problemas de acondicionamiento de los recintos educacionales ya que es un material que de por sí mejorará la aislación del complejo de muro o de las ventanas al destacarse por su bajo valor de transmitancia térmica, pero además por las propiedades y formas de uso descritas a lo largo de la investigación.

Un uso interesante es el de la aplicación sobre muro ya que dadas las propiedades translucidas del material y de alto rendimiento como aislante, permite la ganancia de calor, funcionando como un muro Trombe.

Como se vio en las fichas de edificios internacionales, este material al ser utilizado como muro se aplica principalmente en climas fríos, ya que como guarda tan bien el calor al interior de la cavidad de aire o del muro en sí, produce un aumento elevado de la temperatura del muro y por lo tanto del interior del recinto y esto podría producir problemas de aplicarse en un clima muy caluroso. El clima en cuanto a los °C-día donde se aplica el ATT como muro ronda alrededor de los 3900 °C-día anualmente, lo que significa que son climas con requerimientos energéticos similares a los de Puerto Montt o más fríos, lo que nos lleva a concluir que si nos guiamos por estos datos, el ATT sobre muro se debería aplicar en ciudades como Puerto Montt o que se ubiquen más hacia el sur.

Solo basándose en lo observado en las fichas de edificios no se podría asegurar que el ATT no tendría problemas en su funcionamiento al aplicarse sobre muros en climas como el de Viña del Mar, Valparaíso o Talca, ya que sus niveles de °C-día son más altos y existe la posibilidad de que exista un sobrecalentamiento que afecte su funcionamiento o utilidad. Aunque, de todas maneras, en los edificios internacionales de ejemplo sobre muro se observa que no cuentan con algún tipo de sombreado, por lo que existe la posibilidad de que se puedan aplicar más hacia el norte de Puerto Montt o en climas más calurosos que ese, considerando estrategias de sombra, sobre todo para el verano y también la aplicación de ATT en dimensiones menores, ya que no necesariamente este debe cubrir toda la fachada.

En cuanto al uso del ATT como ventana o muro cortina cambian las condiciones, ya que al ser un buen aislante en comparación con el vidrio monolítico o incluso el DVH² este puede ser apto para uso en climas de más calor, como se expuso en la investigación. Esto también

² Doble vidrio hermético con cámara de aire de 12 mm tiene un U= 2,5 (W/m²K)

se expresa en las fichas de edificios ya que los °C-día de las ciudades donde se integra varían desde los 4000 a los 2000 °C-día anuales por lo que el rango de climas donde es aplicable es mucho más amplio, encontrando similitudes con las ciudades chilenas seleccionadas para esta investigación, lo que significa que a primera vista es posible integrarlo y obtener buenos resultados al menos entre Viña del Mar y Puerto Montt, basándose solo en los °C-día.

Volviendo a la pregunta de investigación “¿Cómo se puede integrar el sistema de aislante térmico transparente en el reacondicionamiento de escuelas chilenas construidas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales?” es posible aproximar una respuesta a través de las fichas de integración, donde se puede observar a grandes rasgos que tipos de materiales se podrían agregar, a qué tipo de escuelas, en qué climas y con qué dimensiones. Ya que, luego de una revisión bibliográfica que permita comprender las variables de las escuelas y del ATT es posible llegar a un resumen arquitectónico de integración.

Para comprender los datos obtenidos al final de cada ficha de integración de ATT sobre muro sirve tener la referencia de que para calefaccionar 1 m² de un recinto sin aislación térmica se requieren aproximadamente 0,1 kW/m², por lo que las salas seleccionadas requieren 5,4 kWh, 5,18 kWh y 8,1 kWh.

En los casos propuestos y calculados las ganancias para aproximadamente 5 m² varían entre 3,7 kWh (Puerto Montt) a 2,9 kWh (Viña del Mar) durante Marzo, mientras que en Julio se tiene una ganancia entre 1,7 kWh (Valparaíso) a 0,45 kWh (Puerto Montt), esto con el material Okalux TWD. Estas ganancias al no sobrepasar las exigencias generales mencionadas anteriormente, dan a entender que esta es una opción que podría investigarse para llevar a la realidad.

El material Okalux TWD ofrece una ganancia energética que puede ser un aporte para el acondicionamiento térmico ya que está calculado de forma sobredimensionada con la radiación al no estar definida según orientación y sin ningún tipo de sombreado o técnica de climatización.

Con el material Okapane las ganancias energéticas son mayores, pero este material si bien podría usarse sobre muro, al igual que varios otros, es principalmente para ventanas. En este caso se integró a muro ya que utilizaba una técnica similar en el caso mencionado de la “Casa solar” en Italia. De todas maneras, entre las máximas en Marzo y mínimas en Julio se presentan valores entre 8,3 kWh a 1,5 kWh, por lo que se puede asumir que puede llegar a tener problemas de sobrecalentamiento al interior durante los meses cálidos.

Es importante recordar que el calor no se transmite de forma inmediata, sino que se concentra y se va liberando lentamente hacia el interior, con una diferencia de 6 horas aproximadamente, aunque esto depende del espesor del muro y de sus características. Sin embargo, al ser los muros perimetrales de bajo espesor es posible que el calor se traspase más rápido, no logrando que la sala se encuentre calefaccionada al otro día en la mañana,

pues la radiación acumulada al liberarse durante la tarde/noche podría no llegar a durar hasta el otro día.

Por otro lado, para comprender los datos obtenidos en ventanas se tiene como referencia la pérdida o ganancia de energía calculada en la Tabla 3, del vidrio monolítico para la misma área que se calculó con ATT. De esta manera se puede observar que el ATT es apto para evitar una gran cantidad de pérdidas en Julio en todos los climas seleccionados, ya sea utilizando el producto Lumira Aerogel o Kapilux K, aunque se debe destacar el alto rendimiento del ATT de aerogel, lo cual está directamente relacionado con su valor U.

Al ser prometedor el material como ventana es importante recordar que en general, mientras menor es el U, menor es el % de transmisión de la luz del ATT, por lo tanto, aunque difunda de forma homogénea la luz y la haga apta para las salas de clases se debe mantener un diseño que otorgue la posibilidad del aprovechamiento de la difusión de la luz pero también de la visión hacia el exterior de modo que no se pierda la conexión con este, como se ve en la mayoría de los edificios mostrados en las fichas.

Las escuelas seleccionadas presentaban en general un % de iluminación superior al exigido por la OGUC, por lo que no sería un problema agregar en estas tipologías el ATT con menor % de transmisión de la luz, pero sí se debe considerar su aplicación en los casos que estaban debajo de estos valores, los cuales se pueden observar en la Tabla 1. Resumen de escuelas. Para estos casos hay que hacer un balance entre el tipo de iluminación que ingresa a la sala, ya que si la mayor parte de esta genera encandilamiento o dificulta la realización de las clases de alguna manera es posible que disminuir el % de iluminación a cambio de una mejor distribución de este no sea tan malo. Mientras que, para las ventanas específicamente ubicadas al sur, que son más oscuras la razón principal para aplicar el ATT sería para mejorar el aislamiento térmico de la sala, ya que en la fachada sur no sirve aplicar ATT sobre muro.

Finalmente, se concluye que, los valores que resultan de la aplicación de los productos de ATT seleccionados dan luces de que en cuanto a la ganancia energética este material efectivamente podría ser un aporte al reacondicionamiento de las escuelas y por la parte arquitectónica, luego de generar un cruce de información entre el material y las escuelas, se comprende que muchas de estas son aptas para su aplicación tanto por la materialidad de los muros como la disposición y cantidad de ventanas, por lo que sería interesante extender la investigación sobre el material a más escuelas e incluso a distintos recintos.

Bibliografía

¹ Educación 2020. (2018, junio 15). Fríos que calan: las consecuencias de las bajas temperaturas en el aprendizaje. Educación 2020. <https://www.educacion2020.cl/noticias/frios-que-calan-las-consecuencias-de-las-bajas-temperaturas-en-el-aprendizaje/>

² VRIP Universidad de Bío-Bío. (2018, junio 24). Investigadora UBB: "Hay que garantizar el derecho al confort térmico de los niños". Vicerectoría de investigación y Postgrado, Universidad del Bío-Bío. <http://vrip.ubiobio.cl/inicio/noticias/investigadora-ubb-hay-que-garantizar-el-derecho-al-confort-termico-de-los-ninos/>

³ Agencia Chilena de Eficiencia Energética (Achee). (2012). Guía de eficiencia energética para establecimientos de educacionales. https://drive.google.com/file/d/1ObfW9kMnBrC_lorbUb7kBoXAVyeUHOdm/view

⁴ Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales. (1987). 50 años de labor: 1937-1987. Sociedad Constructora de Establecimientos Educacionales.

⁵ Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). [Número de Establecimientos educacionales]. Recuperado [04/06/2022] de [Buscador Estadístico - SIIT] <https://www.bcn.cl/siit/estadisticasterritoriales//resultados-consulta?id=124753>

⁶ Dolarea, M. (2020). Transmitancia térmica envolvente vertical opaca [U]. Recuperado de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48836/3560901064859UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁷ Flavia, P., & Parada, I. R. (2020). Chile Archipiélago Escolar Enclaves educacionales del último lugar del territorio. [Tesis de magister, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Recuperado de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/47979>

⁸ Exss, U. (2018). De la racionalización constructiva a la arquitectura sistemática: edificios escolares para la reforma educacional de 1965 [Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Repositorio UC. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/2229>

⁹ Meuris, P. (s.f). Puente con vigas Vierendeel. [Fotografía]. Recuperado de https://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Vierendeel

¹⁰ Torres Gilles, C. y Rojas Böttner, P. (2017). Tipificación: experiencia de masificación e innovación en el diseño de edificios escolares públicos, construidos entre las décadas del 60 y 80 en Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250>

¹¹ Cabello, A. (2011). Temperaturas y grados-día de ciudades de Chile para el cálculo de pérdidas térmicas con fines de ahorro energético en edificios habitacionales. [Memoria de título, Universidad de Chile].

¹² Sanchez-Montañés, B. (2014, mayo 22). *Arquitectura Bioclimática: Conceptos y técnicas*. EcoHabitat. <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>

¹³ García, Á. S. (2019, diciembre 16). *Diseño pasivo: Concepto, ventajas y desventajas*. Reto KÖMMERLING. <https://retokommerling.com/disen-pasivo/>

¹⁴ Sun, Y., Wilson, R., & Wu, Y. (2018). A Review of Transparent Insulation Material (TIM) for building energy saving and daylight comfort. *Applied Energy*, 226, 713–729. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.094>

¹⁵ Wood, M., & Jesch, L. F. (1993). Transparent insulation technology: A technical note. *International Journal of Ambient Energy*, 14(3), 117–122. <https://doi.org/10.1080/01430750.1993.9675606>

¹⁶ Energie Experten. (2021). Transparente und transluzente Wärmedämmung. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/aussendaemmung/transparente-waermedaemmung>

¹⁷ Huenchunir, M. (Marzo de 2002). Sistemas de fachada con aislación térmica transparente. Recuperado de Arquiambiente: <https://arquiambiente.cl/archivo/pdf/bit-25.pdf>

¹⁸ Kaushika, N. D., & Sumathy, K. (2003). Solar transparent insulation materials: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7(4), 317–351. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(03\)00067-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1364-0321(03)00067-4)

¹⁹ BauNetz. (n.d.). Transparente Wärmedämmung. Baunetz Wissen. Recuperado 12 de Junio, 2022, de Transparente Wärmedämmung. Baunetz Wissen. <https://www.baunetzwissen.de/sonnenschutz/fachwissen/materialien/transparente-waermedaemmung-166656>

²⁰ Fachverband Transparente Wärmedämmung e. V. (2002, septiembre). Transparente Wärmedämmung Berechnung der solaren Wandheizung nach EnEV 2002 - Monatsverfahren. Recuperado de <https://docplayer.org/5841277-Transparente-waermedaemmung-berechnung-der-solaren-wandheizung-nach-enev-2002-monatsverfahren.html>