



# Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos



Proyecto Innova Chile Código: 09CN14-5706

"Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos"

Beneficiario



Co-desarrolladores





El Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos fue elaborado como producto resultado del proyecto ***“Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos”***

Código Innova Chile - 09CN14-5706.

**Beneficiario y Responsable del Proyecto** Instituto de la Construcción.

**Representante Legal** Bernardo Echeverría Vial.

**Mandante** Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas.

**Representante** Margarita Cordaro Cárdenas.

**Interesado** Ministerio de Educación.

**Representante** Esteban Montenegro Iturra.

**Director del Proyecto** José Pedro Campos Rivas.

**Jefe de Proyecto** Luciano Odone Ponce.

#### **Co-desarrolladores**

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción - CITEC de la Universidad del Bío Bío.

**Jefe de Área** Ariel Bobadilla Moreno.

Dirección de Extensión en Construcción – DECON UC, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Jefe de Área** Leonardo Veas Pérez.

Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – DICTUC S.A., filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Jefe de Área** José Miguel Pascual Dominguez.

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales – IDIEM, de la Universidad de Chile.

**Jefe de Área** Fabian Gonzalez Candia.

#### **Registro de propiedad Intelectual N° 217.124**

Primera Edición Mayo 2012

**ISBN: 978-956-8070-04-5**

Impreso en Sociedad Impresora R&R Ltda.

**Este proyecto fue desarrollado con aportes del Fondo de Innovación para la Competitividad del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.**

Las ideas expresadas en este Manual son responsabilidad de los autores y no representan necesariamente el pensamiento de Innova Chile.

Se permite la reproducción parcial o total de esta guía para efectos no comerciales, siempre y cuando se cite la fuente.

Instituto de la Construcción

La Concepción 322 OF.902 – Providencia

Santiago de Chile

Fono (56 2) 235 06 05

[www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)

## Presentación del Presidente del Instituto de la Construcción

Para el Instituto de la Construcción es una gran satisfacción presentar el **Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos**, elaborado por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción – CITEC, de la Universidad del Bío Bío, en el marco del Proyecto “Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos”, código INNOVA Chile -09CN14-5706.

El Proyecto señalado tiene su origen en la preocupación de la Dirección Nacional de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, por conocer el impacto real en el desempeño en materias de calidad ambiental y eficiencia energética alcanzado en un grupo de edificios públicos, a los cuales se les había incorporado de manera pionera, variables de sustentabilidad ambiental en su diseño, mediante especificaciones, soluciones constructivas y uso de equipos, y en los que se consideró optimizar el gasto en combustibles y energía para su operación.

El Instituto de la Construcción acogió este encargo y en su rol de articulador y coordinador, propuso actores y asociados para llevar a cabo esta labor. A partir del objetivo inicial de la Dirección Nacional de Arquitectura, estableció también objetivos complementarios, tales como aportar a mejoramientos cualitativos de diseño y gestión -extensibles a edificaciones de uso público- en el ámbito de la Construcción Sustentable, tema de primera línea a nivel mundial, y haciéndolo desde la experiencia local.

Así este Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, orientado principalmente a arquitectos, mandantes, diseñadores y especialistas en acondicionamiento ambiental y eficiencia energética, recoge la experiencia de haber medido y observado, en época de invierno y verano, diez edificios públicos en uso, ubicados en cinco regiones, de acuerdo a una metodología acorde con el estado del arte en estos ámbitos, y teniendo presente las reglamentaciones y normativas atinentes, propone estrategias, consideraciones y soluciones, para avanzar en el camino de tener edificios de uso público cada vez más sustentables, más eficientes y que a la vez otorguen óptimas condiciones medioambientales a sus usuarios.

Desde el punto de vista del mandante, esto permitirá desarrollar y establecer parámetros objetivos de diseño ambientalmente sustentable, permitiendo optimizar la inversión pública -lo que beneficia también a la privada- en términos de diseñar y construir edificios adecuados a las labores que allí se desempeñan -propiciando productividad, cualquiera sea la actividad- y con bajos costos de operación.

En este Proyecto el “Mandante” fue la Dirección Nacional de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, participó en calidad de “Interesado” el Ministerio de Educación, institución que ha desarrollado otros documentos en este ámbito, por lo que este Manual complementa y fortalece su gestión, para tener establecimientos de educación con las mejores condiciones medioambientales para el aprendizaje de sus alumnos, y con el menor costo de operación para sus administradores.

Para llevar a cabo las múltiples tareas que contempló el Proyecto, el Instituto convocó al Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción – CITEC, de la Universidad del Bío Bío; a la Dirección de Extensión en Construcción – DECON UC, de la Pontificia Universidad Católica de Chile; a la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – DICTUC S.A., filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y al Centro de Investigación,

Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales – IDIEM, de la Universidad de Chile, conformándose un inédito consorcio tecnológico, que permitió contar con los mejores profesionales e investigadores y poner sobre la mesa todo el conocimiento, experiencia y voluntad para llevar a cabo este trabajo de relevancia nacional, del cual este Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos—elaborado por el equipo del CITEC- es uno de sus resultados.

Asimismo este Proyecto contó con un importante cofinanciamiento por parte del Fondo de Innovación para la Competitividad del Comité InnovaChile de CORFO, correspondiente al 70,5 % del presupuesto total, con un aporte pecuniario de aproximadamente 350 millones de pesos, y que permitió llevar a cabo todas las labores e inversiones contempladas en su formulación. Éstas se desarrollaron desde fines de diciembre de 2009 hasta fines de junio de 2012.

En términos generales, el desarrollo del Proyecto contempló tres etapas-objetivos: a) Crear las condiciones para la ejecución del proyecto. Esto instalando las capacidades para diseñar e implementar sistemas de monitorización para medir el desempeño energético y la calidad medioambiental de edificios; b) Desarrollar los bienes públicos. Instalando los sistemas de monitorización en los 10 edificios públicos, ubicados entre la II y XI Región del país, para determinar sus distintos desempeños y analizar los factores que lo afectan. En particular el diseño, la calidad de la construcción, las instalaciones y los hábitos de consumo energético y finalmente proponer soluciones de mejoramiento debidamente valorizadas en términos económicos y c) Transferir los resultados del proyecto, divulgando los productos y resultados, para el conocimiento y la toma de decisiones de los actores involucrados en el diseño, construcción, operación y gestión energética de los edificios y sus desempeños en general, promoviendo actividades en conjunto con la sociedad, para crear una cultura de calidad ambiental y eficiencia energética en los edificios públicos.

Al terminar este Proyecto y con la presentación de este Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, agradecemos en primer lugar a la Dirección Nacional de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, por la confianza en nuestra Institución y por todo el compromiso y trabajo desarrollado para llevar a cabo este Proyecto; al Ministerio de Educación, por su interés, confianza y aportes; a las cuatro instituciones “Codesarrolladoras” CITEC, DECON UC, DICTUC S.A. e IDIEM, por su enorme aporte profesional y técnico, y su voluntad y generosidad para abordar el trabajo de manera conjunta, y por cierto a InnovaChile de CORFO que hizo los aportes pecuniarios para financiar gran parte del trabajo. Asimismo agradecemos a las autoridades y profesionales del Ministerio de Obras Públicas y del Ministerio de Educación, tanto a los equipos actuales como a quienes les antecedieron, y que en su momento apoyaron y apostaron a esta iniciativa, ya que estos resultados también les pertenecen.

**Bernardo Echeverría Vial**  
**Presidente**  
**Instituto de la Construcción**

*Este Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, en conjunto con el Manual de Gestión de la Energía en Edificios Públicos y los demás documentos productos de este Proyecto, tales como “Protocolos de Mediciones”, “Resultados de las Mediciones”, “Evaluaciones y Diagnósticos”, “Propuestas de Mejoras” y otros, pueden descargarse gratuitamente del sitio web del Instituto de la Construcción [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)*

## **Presentación Director Nacional de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas**

Chile puede crecer más y alcanzar el pleno desarrollo. La capacidad emprendedora, el talento y el esfuerzo de miles de compatriotas nos han permitido enfrentar con éxito el desafío de la globalización e insertarnos en los mercados mundiales.

Sin duda, la infraestructura física ha sido uno de los ámbitos más notorios de los cambios alcanzados. Hemos sido capaces de modernizar y mejorar sustantivamente la conectividad Vial, Recursos hídricos, Portuarios, Aeroportuarios y Edificación Pública de nuestro territorio nacional y en esta tarea ha sido clave la cooperación entre el sector público y privado.

Contribuir a la construcción de un país integrado, inclusivo y desarrollado, a través de los estándares de servicio y calidad, eficiencia, sustentabilidad y transparencia con que provee las obras y servicios de: infraestructura, edificación Pública y cautela el equilibrio hídrico que el país requiere, articulando los esfuerzos públicos y privados, mediante un proceso de planificación territorial participativo, orientado a las necesidades de la ciudadanía, con personal calificado y comprometido, en un clima que promueve la excelencia, el trabajo en equipo, el desarrollo personal e institucional y la innovación.

Este desarrollo requiere que las obras que emprendamos cumplan con estándares de calidad y seguridad más estrictos. Necesitamos que consideren plenamente las variables ambientales y del entorno y que estén a la altura de las expectativas de la sociedad. En definitiva, queremos que la infraestructura y la Edificación Pública sirvan para mejorar la equidad y la calidad de vida de las personas.

La Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, se desempeña operativamente en la supervisión, ejecución e inspección de la Edificación Pública, actuando por mandato de las distintas Instituciones del Estado. Ministerios como: Interior, Relaciones Exteriores, Salud, Educación, Justicia y Defensa. Poder Judicial, Poder Legislativo, Municipalidades, Contraloría, Fiscalía Nacional, etc.

La DA Nacional, se incorpora a trabajar en Alianza Público Privada, con el Instituto de la Construcción, Ministerios, distintas Universidades y empresas privadas, desde donde plantea la necesidad de evaluar experimentalmente las estrategias de diseño pasivo y activo incorporada a los nuevos edificios y a su vez en comparación con edificios actuales sin eficiencia y solicita al Comité de Certificación de Calidad Ambiental de Edificios la propuesta de realizar este proyecto, gestionado por el Instituto de la Construcción, desarrollado por DICTUC UC, DECON UC, IDIEM U de CHILE y CITEC U del BÍO-BÍO donde la DA-MOP participa como Institución Mandante en la presentación del proyecto a los fondos CORFO/INNOVA, denominado **“Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Publicas, mediante Monitorización de Edificios Construidos”**

Proyecto INNOVA CHILE N° 09 CN14-5706.

El objetivo fundamental de la DA es dar una amplia visión del tema de la sustentabilidad energética y sus beneficios en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, en especial en lo que se refiere Edificación pública, a todos los sectores que intervienen en la concreción de los proyectos de inversión en las áreas que competen al MOP.

En especial la Dirección Nacional de Arquitectura tiene como propósito avanzar en la capacitación de sus profesionales para obtener logros cada vez más eficientes en el desarrollo de la Edificación Pública que se nos mandata, con estándares de confort, habitabilidad y eficiencia energética.

James Fry Carey  
Director Nacional de Arquitectura (S)  
Ministerio de Obras públicas

## Presentación del Ministerio de Educación

La aplicación de estrategias de eficiencia energética y de calidad ambiental resulta especialmente relevante en el caso de la infraestructura escolar. Junto con los beneficios económicos inherentes a la correcta ejecución de este tipo de medidas, en los edificios escolares existen además otro tipo de ganancias, asociadas principalmente a la generación de conciencia ambiental y a la provisión de condiciones de confort que favorezcan el desempeño académico y el bienestar de alumnos y profesores.

Lo anterior ha sido reconocido por la ONU, al declarar el periodo 2005-2014 como el Decenio de las Naciones Unidas para la Educación con miras al Desarrollo Sostenible. De manera similar, la OECD ha declarado que las escuelas sustentables constituyen una de las prioridades de los estados y la sociedad.

Este contexto plantea importantes desafíos al MINEDUC, respecto a la incorporación de estos criterios en los distintos planes de inversión en infraestructura. Como criterio general, se ha buscado optimizar las estrategias pasivas para lograr adecuadas condiciones de confort térmico, acústico, lumínico y de calidad del aire, con bajos costos de operación y mantención. Del mismo modo, en las tareas de reconstrucción asociadas al terremoto de 2010, se ha puesto acento en la restitución de la infraestructura aplicando estos nuevos estándares, mejorando especialmente las estrategias pasivas, el grado de aislación térmica y promoviendo en algunos casos el uso de energía solar térmica para la provisión de agua caliente sanitaria.

El presente Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, constituye una valiosa herramienta para llevar a cabo estas medidas, entregando un sustento teórico y práctico a los profesionales del área, con recomendaciones atinentes a nuestra realidad nacional. En efecto, este manual surge de la experiencia recogida durante el monitoreo de diez edificios públicos, cuatro de los cuales correspondían a escuelas.

Para finalizar quisiéramos reiterar nuestro compromiso con esta instancia de trabajo y colaboración intersectorial, y hacer un sincero reconocimiento a los profesionales del Instituto de la Construcción, de la Dirección Nacional de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, y del consorcio de centros de investigación que llevaron a cabo el proyecto, cuyo compromiso y entrega constituyen un gran aporte a la tarea de mejorar nuestra infraestructura pública, y en especial los ambientes en que estudian y se desarrollan nuestros niños y niñas.

Ministerio de Educación

## **Proyecto Innova Chile**

“Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos”

## **Beneficiario y Responsable del proyecto**

Instituto de la Construcción

## **Mandante**

Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas

## **Interesado**

Ministerio de Educación

## **Co - desarrolladores**

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción - **CITEC** de la Universidad del Bío Bío.

Dirección de Extensión en Construcción – **DECON UC**, de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – **DICTUCS.A.**, filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales – **IDIEM**, de la Universidad de Chile.

## **Autoría y Desarrollo del Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos**

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción – **CITEC UBB**, de la Universidad del Bío-Bío.

## **Autores:**

Introducción: Ariel Bobadilla, Rodrigo Figueroa

Capítulo 1: Maureen Trebilcock, Muriel Díaz

Capítulo 2: Cristián Muñoz, Ariel Bobadilla, Rodrigo Figueroa, Daniela Besser

Capítulo 3: Maureen Trebilcock, Muriel Díaz

Capítulo 4: Maureen Trebilcock, Muriel Díaz

Capítulo 5: María Beatriz Piderit, Ilustraciones: Miguel Ángel Rodríguez

Capítulo 6: Freddy Guzmán

Capítulo 7: Reinaldo Sánchez

Capítulo 8: IDIEM, DITUC, CITEC-UBB, DECON-UC

Diagramación: Williams Contreras, Paula Riffo

**ISBN: 978-956-8070-04-5**

**Este proyecto fue desarrollado con aportes del Fondo de Innovación para la Competitividad del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.**

# Índice de Contenidos

Introducción .....	1
1. Clima y Arquitectura.....	13
1.1. Introducción .....	13
1.2. Estrategias de diseño arquitectónico pasivo .....	22
2. Diseño de la Envolvente .....	29
2.1. Muros envolventes .....	31
2.2. Cubiertas.....	34
2.3. Pisos.....	36
2.4. Puentes térmicos .....	40
2.5. Ventanas .....	47
2.6. Infiltraciones de aire .....	55
3. Estrategias de Calentamiento Pasivo.....	65
3.1. Ganancias Solares Directas .....	66
3.2. Ganancias Solares Indirectas.....	69
3.3. Ganancias Solares Aisladas.....	71
3.4. Masa Térmica.....	73
4. Estrategias de Enfriamiento Pasivo.....	77
4.1. Ventilación cruzada .....	79
4.2. Ventilación por efecto convectivo .....	82
4.3. Ventilación nocturna de masa térmica.....	86
4.4. Enfriamiento pasivo evaporativo de flujo descendente PDEC .....	88
4.5. Intercambiadores de calor geotérmicos .....	90
5. Estrategias de Iluminación Natural.....	93
5.1. Introducción .....	93
5.2. Estrategias de captación de la luz natural .....	94

5.3. Estrategias de transmisión de la luz natural .....	102
5.4. Estrategias de distribución de la luz natural .....	107
5.5. Estrategias de protección solar .....	112
5.6. Estrategias de control de la iluminación .....	116
5.7. Integración en el proceso de diseño .....	118
6. Diseño acústico .....	123
6.1. Estrategias de Diseño Acústico .....	125
6.2. Distribución, Forma y Tamaño de los Recintos .....	126
6.3. Aislamiento Acústico .....	128
6.4. Acondicionamiento Acústico .....	134
6.5. Control de Ruido .....	138
7. Integración de Sistemas Térmicos .....	147
7.1. Energía Solar .....	147
7.2. Rendimiento de colectores solares .....	153
7.3. Demanda energética para Calefacción, A.C.S. y Piscinas .....	154
7.4. Proyecto energía solar térmica .....	157
7.5. Bomba de calor .....	157
7.6. Sistemas VRV .....	161
7.7. Calderas de alta eficiencia .....	165
8. Casos de Estudio .....	171
8.1. Edificio de Terminal de pasajeros Aeropuerto Desierto de Atacama. ....	172
8.2. Edificio Secretaría Ministerial de Obras Públicas, Antofagasta .....	179
8.3. Escuela e Internado Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue .....	185
8.4. Edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt .....	195
8.5. Edificio Escuela Teniente Merino, Cochrane .....	204

# Introducción

## Proyecto INNOVA-CHILE N° 09 CN14-5706

Con fecha 21 de diciembre de 2009, el Comité Innova Chile, dependiente de la Corporación de Fomento de la Producción CORFO, y el Instituto de la Construcción, celebraron el convenio de ejecución del proyecto Innova Chile N° 09 CN14-5706 denominado: “Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos”. Proyecto que se postuló a la Línea de Bienes Públicos para la Innovación 2009 de Innova Chile, por mandato de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas.

Responsable de la ejecución del proyecto fue un consorcio tecnológico formado por el Instituto de la Construcción (IC), el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío (CITEC UBB), el Departamento de Extensión en Construcción (DECON) y la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica (DICTUC) de la Universidad Católica y, el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales IDIEM de la Universidad de Chile.

Las motivaciones, los elementos del proyecto y parte de sus resultados principales, se presentan sumariamente como sigue:

## El problema y las motivaciones del proyecto

El planteamiento de problema de esta iniciativa deriva de la necesidad de la sociedad chilena de mejorar la calidad ambiental y la eficiencia y ahorro en el uso de la energía en los edificios públicos. Problema económico y social, no menor, de impacto nacional que afecta la seguridad energética del país, el medio ambiente, la calidad de vida y la productividad de las personas y, en consecuencia, el presupuesto nacional. Estudios demuestran que si en el decenio 2006-2015 el país redujese sólo en un 1.5% su consumo energético en el sector edificio, el ahorro esperado sería de USD 3.450 millones [MINVU, 2006]. Sólo la deficiente aislación térmica del parque de edificios en Chile le irroga al Estado un mayor gasto, del orden de USD 1.000 millones anuales. Otras mermas, de difícil cuantificación pero no menos importantes, resultan de los daños a la salud y



**Figura 1.** Edificio Secretaría Ministerial de Obras Públicas, Antofagasta, Región de Antofagasta. Con EE.



**Figura 2.** Edificio Departamento de Criminalística de Carabineros de Chile, Antofagasta, Región de Antofagasta. Sin EE



**Figura 3.** Edificio Terminal de Pasajeros, Desierto de Atacama, Región de Atacama. Con EE.



**Figura 4.** Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas, Copiapó, Región de Atacama. Sin EE.



**Figura 5.** Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas, Puerto Montt, Región de Los Lagos. Sin EE.



**Figura 6.** Edificio Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt, Región de Los Lagos. Con EE.

a la productividad de las personas, como consecuencia de habitar en ambientes inconfortables por mala calidad termo ambiental de los edificios.

En el año 2005, la Comisión Nacional de Energía (CNE), dependiente del Ministerio de Economía de Chile, lanzó el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), con el objetivo de “consolidar el uso eficiente como una fuente de energía, contribuyendo así al desarrollo energético sustentable de Chile”. Con ese fin se han implementado una serie de iniciativas público privadas en los distintos sectores del consumo energético, orientadas a la regulación, fomento, difusión y educación en materia de eficiencia energética.

Uno de los ejes de acción principal, consideró la introducción de criterios de eficiencia energética en la construcción pública nueva y la realización de auditorías energéticas, con la finalidad de establecer una línea base de consumos energéticos en el sector edificios, e identificar oportunidades de ahorro de energía. En ese contexto, la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas MOP comenzó el año 2006 un proceso de incorporación de criterios de EE y sustentabilidad en las obras públicas, para diseñar y construir edificios térmicamente eficientes con estándares ambientales mejorados. Como resultado de esas acciones, existe actualmente un número importante de edificios públicos, algunos terminados y otros en proceso de construcción, con estrategias de diseño pasivo e innovadores sistemas de calefacción y ventilación de alto rendimiento. Con la incorporación de estos estándares se buscó mejorar los desempeños térmicos, acústicos, lumínicos y la calidad del aire interior de los edificios públicos. Todo esto significó sin embargo, una mayor inversión cuya eficacia y rentabilidad el estado de Chile necesitaba conocer y evaluar.

El consumo energético de un edificio varía ostensiblemente dependiendo del clima de la localidad, su diseño, la calidad de los procesos constructivos utilizados, el uso, la gestión energética, los sistemas de control, etc. Además, los edificios están expuestos de manera dinámica a múltiples y variadas influencias físicas que afectan de manera determinante el consumo energético. Optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida en un edificio y los servicios o funciones que en él se desarrollan, obliga a observar los siguientes sistemas concomitantes: el sistema edificio, definido por su diseño y construcción; el sistema clima, definido por las variables climáticas del lugar donde se emplaza el edificio; el sistema instalaciones, definido por las características de los equipos consumidores de energía y; el sistema usuario, determinado por las prácticas de uso y expectativas de confort térmico y calidad medioambiental.

Estos sistemas interactúan en forma dinámica, de modo que la relación entre el consumo y la calidad medioambiental de los edificios con el diseño constructivo, con los aparatos consumidores de energía y con las prácticas de uso, sólo es posible establecerla observando continuamente el comportamiento del edificio en uso durante periodos prolongados, lo que se puede hacer, solamente,

con técnicas de monitorización. Éstas son técnicas de base experimental, que utilizan redes sensoriales y dispositivos para capturar, transmitir, procesar y controlar, en tiempo real, datos aplicables a la medición y control del consumo energético y variables ambientales de edificaciones y viviendas [Energy Information Administration, 2012].

La necesidad de evaluar experimentalmente las estrategias de diseño pasivo y activo incorporadas a los nuevos edificios, llevó a la Dirección de Arquitectura del MOP a solicitar al Instituto de la Construcción una iniciativa conducente a evaluar, en fase post ocupación, los desempeños energéticos y ambientales de diez edificios públicos en cinco regiones de Chile. Dos edificios por región, uno que en sus bases de licitación hubiese incorporado criterios de eficiencia energética y otro que no. Interesaba evaluar, comparando en una misma región, las distintas estrategias de diseño utilizadas, con el objetivo de medir el valor agregado de la mayor inversión en mejoramiento termo ambiental realizada por el Estado de Chile. Adicionalmente, se pretendía identificar y desarrollar oportunidades de ahorro de energía aplicables al diseño y construcción de los futuros edificios públicos.

Con esa finalidad se desarrolló el Proyecto Innova Chile N°09 CN14-5706. Su desarrollo obligó a implementar sistemas de monitorización, para medir consumos energéticos, parámetros físico constructivos y la calidad ambiental de edificios públicos en uso, junto con un método para medir y calificar desempeños y estrategias de diseño. En paralelo, se aplicaron encuestas de percepción para confrontar la calidad ambiental medida con la opinión de los usuarios de dichos edificios. En resumen, se buscó desarrollar un conocimiento aplicable al mejoramiento energético ambiental de los futuros edificios públicos en Chile, contexto en el que se inserta esta Guía de Diseño.

## Los objetivos del Proyecto

El trabajo postuló los siguientes objetivos:

Evaluar experimentalmente el desempeño energético y las condiciones medio ambientales de edificios, para contrastar las hipótesis de desempeño proyectadas, desarrollar estrategias de optimización y, obtener parámetros para el mejoramiento y la certificación de eficiencia energética y calidad ambiental de edificaciones públicas en Chile.

Con ese objetivo, el proyecto propuso: diseñar e implementar sistemas de monitorización para medir consumos energéticos y la calidad ambiental de edificios públicos en uso; analizar la relación del consumo energético con las características físico constructivas de los edificios, las instalaciones demandantes de energía y los hábitos de consumo energético, entre otros y, finalmente; identificar



**Figura 7.** Colegio Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue, Región de la Araucanía. Con EE.



**Figura 8.** Escuela Rucamanke, Reigolil, Región de la Araucanía. Sin EE.



**Figura 9.** Escuela Teniente Merino, Cochrane, Región de Aysén. Con EE.



**Figura 10.** Escuela E-7 Gabriela Mistral, Aysén, Región de Aysén. Sin EE.



**Figura 11.** Mediciones de permeabilidad al aire de la envolvente. Edificio Policía de Investigaciones de Puerto Montt.



**Figura 12.** Mediciones de flujo de calor en muro de envolvente perimetral. Edificio PDI, Puerto Montt.

y desarrollar propuestas aplicables al ahorro energético y mejoramiento de la calidad ambiental de edificios públicos.

## Etapas del Proyecto

El proyecto se desarrolló en tres etapas, las que se ejecutaron en un plazo de treinta meses, durante el periodo comprendido entre diciembre de 2009 y mayo de 2012.

**Etapas I: Instalación de Capacidades:** periodo durante el cual se ejecutan las acciones necesarias para crear las condiciones para desarrollar el trabajo de monitorización. Se diseñan e implementan los métodos de monitorización, se definen y validan los protocolos para evaluar energéticamente y ambientalmente los edificios; se prepara el personal necesario para las campañas de mediciones y se caracterizan y levantan los edificios sujetos de estudio.

**Etapas II: Desarrollo:** periodo durante el cual se ejecutan las campañas experimentales y se construyen los productos resultados del proyecto; diagnósticos, métodos, propuestas de mejoras, manuales, guías técnicas, entre otros. Durante esta etapa se realizan dos campañas experimentales en cada uno de los diez edificios sujetos de estudio que consultó el trabajo: una que cubrió el periodo invernal y la otra el estival, cada una duró 25 días promedio.

**Etapas III: Transferencia:** periodo durante el cual se ejecutan las acciones conducentes a transferir a los usuarios los productos resultados del proyecto, y se valida el modelo de sustentabilidad que se propuso a Innova Chile, para masificar los resultados en la fase post proyecto.

## Elementos Metodológicos

Las preguntas que planteó el proyecto fueron varias. Entre éstas destacan las siguientes: ¿Cuál es la capacidad de los edificios para limitar la demanda de energía?; ¿Cuánta energía demanda el edificio, es mucha, es poca?; ¿Cuál es la capacidad de las instalaciones para limitar el consumo energético?; ¿Cuánta energía consume el edificio, es mucha, es poca?; ¿El desempeño energético del edificio es bueno, es malo, qué causas lo determinan, cuál es su orden de importancia?; ¿Las condiciones ambientales de los recintos son buenas, son malas, qué factores las explican?; ¿La percepción ambiental de los usuarios es buena, es mala, qué causas la explican?; ¿Cómo se comparan las variables medioambientales medidas con la percepción de los usuarios?; ¿Cómo se comparan los consumos energéticos y las condiciones ambientales de los edificios con y sin inversión en mejoramiento energético ambiental?; ¿Cuál es la rentabilidad de la inversión realizada en cada caso?. Las preguntas anteriores se orientaron a encontrar unas respuestas que permitieran

responder, a la interrogante de mayor interés: ¿Las estrategias de diseño implementadas, han tenido los resultados esperados?

Para responder a las preguntas, el diseño metodológico consideró variados elementos constitutivos, todos ellos importantes, entre los cuales destacan:

## Edificios Sujetos de Estudio.

Se seleccionaron diez edificios públicos gestionados por la DA/MOP de cinco regiones del país, edificios con y sin tecnologías de eficiencia energética y mejoramiento ambiental incorporadas. Los edificios que consultó el estudio, con los destinos que se señalan se presentan en la Tabla 1:

**Tabla 1.** Edificios con y sin criterios de eficiencia sujetos de estudio <sup>1</sup>

Región	Edificios	
	Con criterios de EE	Sin criterios de EE(1)
II de Antofagasta	Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas, Antofagasta.	Departamento de Criminalística de Carabineros de Chile, Antofagasta.
III de Atacama	Terminal de pasajeros Aeropuerto Desierto de Atacama, Copiapó.	Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Atacama, Copiapó.
IX de La Araucanía	Colegio e Internado Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue.	Escuela Rucamanke de Reigolil, Curarrehue.
X de Los Lagos	Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt.	Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Los Lagos, Puerto Montt.
XI de Aysén	Escuela Teniente Merino, Cochrane.	Escuela Gabriela Mistral, Aysén.

## Monitorizaciones y Evaluaciones

El levantamiento de información en terreno, consideró la medición continua y/o puntual de una serie de parámetros físico constructivos, ambientales y de consumo energético, con el objetivo de evaluar un conjunto de prestaciones o desempeños del edificio. Desempeños entendidos como el conjunto de características, cualitativas o cuantitativas del edificio, identificables objetivamente, que contribuyen a determinar su aptitud para responder a diferentes funciones para los que ha sido diseñado [Ministerio de Vivienda de España, 2006].

La determinación de indicadores y análisis de desempeños, combinó técnicas experimentales de monitorización con otras de simulación. Técnicas de monitorización para medir, bajo régimen dinámico, consumos energéticos, patrones de consumo horario, diario y estacional, junto con medición de variables ambientales y propiedades térmicas, acústicas y permeables de la construcción. Destaca el uso de técnicas de termoflujometría, presurización y termografía,

*1. Se refiere a que los términos de referencia con los que se licitó el diseño y construcción del edificio, no incorporaron criterios de eficiencia energética.*



**Figura 13.** Determinación de imágenes térmicas de envolvente mediante cámara termográfica.



**Figura 14.** Monitoreo de concentración de CO<sub>2</sub> en aulas. Escuela Francisco Valdés Subercaseaux.



**Figura 15.** Mediciones de demanda y consumo de energía en sala de calderas. Edificio MOP Puerto Montt.



**Figura 16.** Determinación de características acústicas de sala 5, colegio Francisco Valdés Subercaseaux. Curarrehue, Región de la Araucanía.



**Figura 17.** Monitorización de variables ambientales higrotérmicas. Oficina de Dirección, MOP Puerto Montt.



**Figura 18.** Medición de variables ambientales lumínicas, sala 4 Escuela Rucamanke. Reigolil, Región de la Araucanía.

no utilizadas combinadamente en Chile hasta entonces en edificios públicos. En paralelo, se aplicaron encuestas de percepción para medir el grado de satisfacción de los usuarios de los edificios.

La preparación consideró el diseño de protocolos estandarizados de medición, procesamiento y análisis de información, uno de los productos resultados del proyecto, y la preparación de cuadros técnicos en el uso de ellos. Este proceso consultó una etapa de prueba y validación de protocolos, trabajo que se cumplió en el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, CITEC UBB.

El trabajo consultó la elaboración y aplicación de los siguientes cinco protocolos:

**1.- Protocolo de Caracterización de Edificios:** Útil para levantar información sobre el edificio y sus instalaciones y para conocer la estructura y el funcionamiento del edificio desde el punto de vista energético ambiental. Permite organizar sistemáticamente información necesaria para realizar monitoreos y auditorías e interpretar sus resultados. Información del edificio respecto del diseño, materialidad, estado de conservación y su relación con el entorno; información para caracterizar sus instalaciones consumidoras de energía, inventario de los principales equipos con sus características técnicas relevantes; información para caracterizar el régimen de funcionamiento del edificio, capacidad máxima, funciones y tareas más habituales, periodos, etc.

**2.- Protocolo de Medición de Parámetros Energéticos:** Útil para medir y levantar información de consumo de energías en el edificio, rendimiento de utilización, calidad de suministros. Información para apreciar la eficiencia energética de las instalaciones, la calidad térmica del edificio y para decidir medidas de optimización.

**3.- Protocolo de Medición de Parámetros Ambientales:** Útil para medir y levantar información de variables ambientales de recintos representativos del edificio, a partir de la cual estar en condiciones de apreciar su desempeño energético ambiental. Especifica procedimientos para efectuar monitoreos y/o determinaciones de temperaturas del aire y de superficies, humedad ambiental, niveles de iluminación y de ruidos y concentraciones de CO<sub>2</sub>.

**4.- Protocolo de Medición de Parámetros Físico Constructivos:** sirve para medir y levantar información sobre parámetros físico constructivos del edificio, útiles para calificar el desempeño del edificio en cuanto su diseño. Especifica procedimientos para efectuar monitoreos y determinaciones de permeabilidad al aire, flujos de calor y transmitancias térmicas de la envolvente, necesarios para caracterizar in situ la hermeticidad y calidad térmica de la construcción.

**5.- Protocolo de Medición de Percepción de Usuario:** Útil para evaluar, a través de encuestas diseñadas al efecto, el grado de satisfacción del usuario del edificio con las condiciones medio ambientales, térmicas, acústicas y aéreas, de los recintos.

## Matriz de Análisis y Sistema de Calificación de Desempeño

Se diseñó e implementó una matriz de medición y análisis de desempeño de cuatro dimensiones o frentes de observación post ocupacional. El primero, de análisis físico del edificio, que mide la aptitud de su diseño pasivo a través de la determinación de su capacidad para limitar la demanda energética y, particularmente, la aptitud de la envolvente para limitar flujos de calor y aire, entre otras determinaciones. El segundo, dirigido a conocer el confort ambiental, higrotérmico, acústico, lumínico y respiratorio que brinda el edificio a sus usuarios. El tercer frente se orienta a conocer la eficiencia energética de las instalaciones previstas para el acondicionamiento ambiental. El Cuarto frente de observación se dedica a medir la percepción de los usuarios del edificio con las condiciones medio ambientales térmica, acústica y aérea de los recintos.

En relación a las necesidades de respuestas, para cada uno de los frentes de observación, se definen exigencias de desempeños e indicadores parametrizables, a través de los cuales éstos se miden y evalúan. En la Tabla 2, se resume la matriz de análisis considerada, se presentan las áreas de análisis, los parámetros de desempeño e indicadores a través de los cuales se miden.



**Figura 19.** Aplicación de encuesta percepción de usuarios Escuela E-7 Gabriela Mistral, Aysén, Región de Aysén.



**Figura 20.** Sistema informático de captura y transmisión de datos de forma remota. Sala 4, escuela Rucamanke. Reigolil, Región de la Araucanía.



**Figura 21.** Mediciones de parámetros de combustión en estufas a leña. Escuela Rucamanke Reigolil, Región de la Araucanía.



Figura 22. Evolución concentración de CO<sub>2</sub> en aire interior y exterior. Aula 5 Escuela Francisco Valdés Subercaseaux periodo 0.8.08. 2010 hasta 24.08.2010.



Figura 23. Etiqueta calidad del aire interior. Aula 5 Escuela Francisco Valdés Subercaseaux periodo 0.8.08. 2010 hasta 24.08.2010.

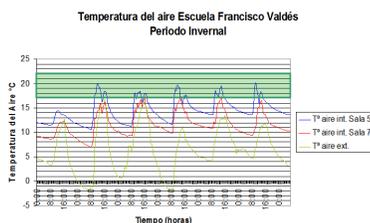


Figura 24. Evolución condiciones ambientales termo higrométricas. Aula 5 Escuela Francisco Valdés Subercaseaux periodo 0.8.08. 2010 hasta 24.08.2010

Tabla 2. Matriz de evaluaciones y análisis. Áreas de análisis, desempeños e indicadores consultados en el proyecto

ANÁLISIS	DESEMPEÑO	INDICADORES
Físico Constructivo Edificio	Eficiencia Energética	Demanda de energía para calefacción Dec, kW-h/m <sup>2</sup> año.
		Demanda de energía para refrigeración Der, kW-h/m <sup>2</sup> año.
	Aislación Térmica Envoltante	Aislación térmica de fachadas U <sub>m</sub> , W/m <sup>2</sup> K
		Aislación térmica de cubierta U <sub>c</sub> , W/m <sup>2</sup> K
		Aislación térmica de piso U <sub>p</sub> , W/m <sup>2</sup> K
		Aislación térmica de puente térmico U <sub>pt</sub> , W/m <sup>2</sup> K
		Porcentaje de área de puente térmico A <sub>pt</sub> , %
		Aislación térmica ponderada U <sub>pV</sub> , W/m <sup>2</sup> K
		Factor solar de vanos caloportadores, F <sub>SVC</sub> , s/d
	Aislación Acústica	Infiltración de aire a través de la envoltante a 50Pa CAH, Vol./h
		Pérdida de transmisión sonora de fachadas D2m nT, dBA
	Contribución Luz Natural	Pérdida de transmisión sonora de elementos divisorios R', dBA
		Factor luz día FLD, %
Ambiente Interior Edificio	Confort Acústico	Ruido de fondo LAeq,T, dBA
		Tiempo de reverberación Tr, s
		Índice de percepción de la palabra STI, s/d
	Confort Higrotérmico	Porcentaje del tiempo en zona de confort P <sub>Z0</sub> , %
	Confort Lumínico	Porcentaje de tiempo con iluminancia aceptable Ci, %
		Porcentaje de tiempo con distribución de iluminancia aceptable U <sub>A</sub> , %
Calidad de Aire Interior	Porcentaje de tiempo con concentración de CO <sub>2</sub> bajo el umbral 1000ppm Poc, %	
	Porcentaje de tiempo de ocupación por categoría de calidad de concentración de CO <sub>2</sub> Pos, %	
Percepción de Usuarios	Percepción de Usuarios	Porcentaje de satisfacción Ps, %
Instalaciones Consumidoras	Eficiencia Energética	Rendimiento instalación térmica R, %
		Consumo energía para iluminación CeI, W/ m <sup>2</sup>

El sistema de calificación de desempeño desarrollado y propuesto por CITEC UBB, utiliza el método conocido como de “Benchmarking” de construcción de referencias, y se basa en parte en el sistema propuesto por Madellane [Madellane, 2006]. Considera para calificar, siete clases o niveles de desempeños que van del A (excelente) al G (muy malo), de forma similar al sistema de etiqueta para calificar eficiencia energética de aparatos electrodomésticos.

El dominio definido por las referencias A y G se determina, para cada desempeño, a partir de la revisión de estado del arte local y análisis de viabilidad técnica y económica. En tanto el nivel intermedio E representa la clase que se entiende aceptable y se define a partir de valores límites que fijan ordenanzas u normas nacionales cuando éstas existen, investigaciones y estudios locales, ordenanzas extranjeras o por acuerdo establecido previamente y según las expectativas existentes. En la Figura 28 se muestra el modelo de construcción del método aplicado a cada uno de los desempeños sujetos de estudio.

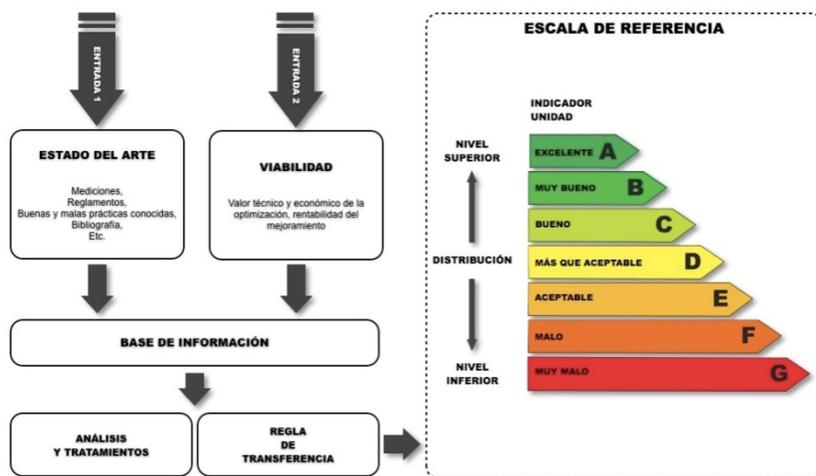


Figura 28. Modelo de método de construcción de referencias del sistema de calificación de desempeños

## Técnicas de Medición y Análisis

El levantamiento de información en terreno consideró la medición continua y/o puntual de una serie de parámetros físico constructivo, ambientales y de consumo energético. Las dimensiones, los parámetros a través de las cuales se sintetizan y las técnicas con sus referencias, se muestran en la Tabla 3. Adicionalmente, se implementó un sistema informático programable de captura, almacenamiento y transmisión de datos vía Web por medio de un navegador convencional y desde cualquier lugar con acceso a internet. Sistema que permitió visualizar y hacer control a distancia del proceso de toma de información.



Figura 25. Etiqueta calidad confort higrotérmico. Aula 5 Escuela Francisco Valdés Subercaseaux periodo 0.8.08. 2010 hasta 24.08.2010.

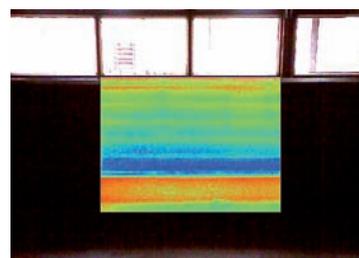


Figura 26. Imagen termográfica de envolvente. Escuela Rucamanke.

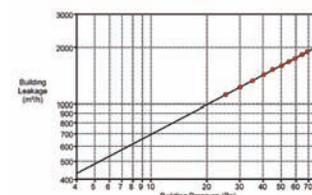


Figura 27. Permeabilidad al aire de envolvente versus presión diferencial. Edificio Ministerio de Obras Públicas.

Parámetro medido	Unidad	Edificio Objeto	Edificio Referencia
Demanda de Energía de Calefacción	kW-h / m <sup>2</sup> año	64,0	39,6
Demanda de Energía de Refrigeración	kW-h / m <sup>2</sup> año	2,8	4,2

Figura 29. Demanda energética de calefacción y refrigeración Escuela Rucamanke. Edificio objeto y referencia.

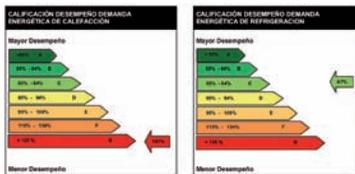


Figura 30. Etiqueta Calificación Energética Escuela Rucamanke. Reigolil Región de la Araucanía.

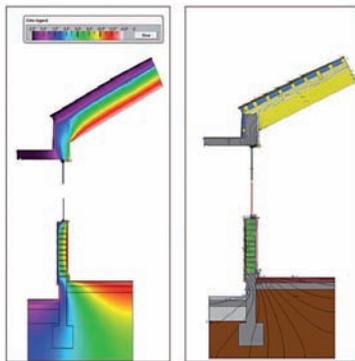


Figura 31. Simulación de puentes térmicos, detalle envoltorio sala de clases edificio Escuela Rucamanke. Reigolil Región de la Araucanía.

Tabla 3. Desempeños sus indicadores y las técnicas de medición empleadas.

DESEMPEÑO	INDICADOR	TÉCNICA / NORMA
Eficiencia Energética	Demanda de energía para calefacción Dec, kW-h/m <sup>2</sup> año.	Monitoreo de Consumos Energéticos según protocolo.
	Demanda de energía para refrigeración Der, kW-h/m <sup>2</sup> año.	Simulación Computacional Dinámica.
Aislación Térmica de Envoltorio	Aislación térmica de fachadas U <sub>m</sub> , W/m <sup>2</sup> K	Termoflujometría según ASTM 518-10.
	Aislación térmica de cubierta U <sub>c</sub> , W/m <sup>2</sup> K	Procedimiento de Cálculo según NCh853.Of2007.
	Aislación térmica de piso U <sub>p</sub> , W/m <sup>2</sup> K	Termografía infrarroja según ASTM C1060-90.
	Aislación térmica de puente térmico U <sub>pt</sub> , W/m <sup>2</sup> K	Simulación computacional dinámica mediante TAS.
	Porcentaje de área de puente térmico A <sub>pt</sub> , %	Cálculo según protocolo .
	Aislación térmica ponderada U <sub>pv</sub> , W/m <sup>2</sup> K	Cálculo a partir de datos experimentales según protocolo.
	Factor solar de vanos caloportadores, F <sub>svc</sub> , s/d	Cálculo según protocolo .
Aislación Acústica	Infiltración de aire a través de la envoltorio a 50Pa CAH, Vol./h	Presurización según UNE13728:2003 (Blower Door) para determinar permeabilidad al aire de la envoltorio.
	Pérdida de transmisión sonora de fachadas D2m nT, dBA	ISO140-5: 1998 para determinación in situ de diferencia de niveles normalizados.
Aislación Acústica	Pérdida de transmisión sonora de elementos divisorios R', dBA	NCh 2785 Of2003 para determinar in situ el índice de reducción sonora aparente.
	Contribución Luz Natural	Factor luz día FLD, % Simulación computacional dinámica mediante Radiance. Monitorización de variables lumínicas según protocolo.
Confort Acústico	Ruido de fondo LAeq,T, dBA	Norma ISO1996-2:2007 para determinación del ruido de fondo in situ.
	Tiempo de reverberación Tr, s	Norma ISO3382:1997 para determinación del tiempo de reverberación in situ.
	Índice de percepción de la palabra STI, s/d	
Confort Higrotérmico	Porcentaje del tiempo en zona de confort P <sub>Z0</sub> , %	Monitorización de variables higrotérmicas según protocolo. Procedimiento de Cálculo según modelo de Auliciens [Szokolay,2004].
Confort Lumínico	Porcentaje de tiempo con iluminancia aceptable C <sub>i</sub> , %	Simulación computacional dinámica mediante Radiance.
	Porcentaje de tiempo con distribución de iluminancia aceptable U <sub>A</sub> , %	Monitorización de variables lumínicas según protocolo.
Calidad de Aire Interior	Porcentaje de tiempo con concentración de CO <sub>2</sub> bajo el umbral 1000ppm Poc, %	Monitorización de concentración de CO <sub>2</sub> en recintos según protocolo.
	Porcentaje de tiempo de ocupación por categoría de calidad de concentración de CO <sub>2</sub> Pos, %	Categorización de calidad de aire interior según Norma UNE-EN 15252: 2008.
Percepción de Usuarios	Porcentaje de satisfacción Ps, %	Encuesta de percepción de usuarios según protocolo.
Instalaciones Consumidoras	Rendimiento instalación térmica R, %	Monitorización de variables de consumo de energía térmica y de iluminación según protocolo.
	Consumo energía para iluminación CeI, W/ m <sup>2</sup>	

## Productos Resultados del Proyecto

Las distintas mediciones y evaluaciones post ocupacionales realizadas, permitieron evaluar distintas estrategias pasivas y activas. Este proceso permitió además, desarrollar conocimiento tecnológico, objetivo último del proyecto, que se empaqueta para su transferencia y aplicación al mejoramiento energético y ambiental de los futuros edificios públicos en Chile. Propósitos para los cuales se desarrollan manuales y guías técnicas, informes diagnósticos, seminarios y otros, que en conjunto constituyen los resultados intermedios y finales del proyecto.

Los principales productos resultado del proyecto, algunos de los cuales se exponen parcialmente en este Manual, son siete y se explican sumariamente como sigue:

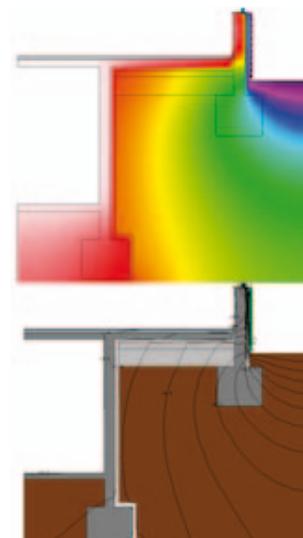
**Producto resultado 1:** Protocolos de medición y levantamiento de información. Procedimiento normalizado que sirve para estandarizar los procesos de medición y levantamiento de información aplicables a la evaluación energética y ambiental de edificios. Protocolos para caracterizar edificios, efectuar determinaciones y monitoreos de variables de consumo energético, ambiental y físico constructivas, y aplicar mediciones de percepción de usuarios. Protocolos disponibles en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)

**Producto resultado 2:** Método de calificación de desempeño. Procedimiento para evaluar la calidad de estrategias de diseño activas y pasivas de edificios. Método del tipo Benchmarking que utiliza un sistema de referencia o etiquetado y mediciones de desempeño y verificaciones de cumplimiento, para inferir respecto de la eficacia y rentabilidad de la estrategia utilizada. Informe disponible en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)

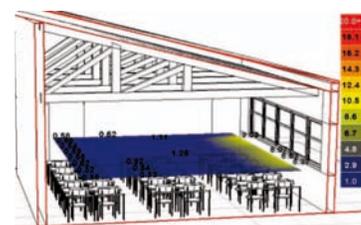
**Producto resultado 3:** Informe de Mediciones. Informe que da cuenta de la información primaria recogida como resultado de la aplicación de los protocolos. En general, datos sobre el edificio que derivan de catastros y otros resultados de mediciones de consumo, medio ambientales y físico constructivas. Informe disponible en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)

**Producto resultado 4:** Informes Diagnósticos. Informe que da cuenta de la evaluación de las estrategias pasivas y activas de los edificios. Trabajo de análisis que utiliza las mediciones y el sistema de calificación de desempeños, dirigido a apreciar la capacidad que tienen los edificios para limitar la demanda energética y de proveer condiciones de confort ambiental a sus usuarios. A partir del análisis, se establece y pone en relación de importancia los factores que determinan el comportamiento de los edificios y se proponen mejoras. Informe disponible en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl)

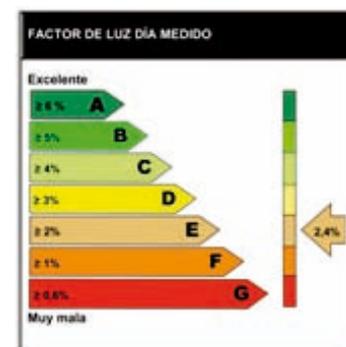
**Producto resultado 5:** Informe de Mejoras. Informe que detalla las especificaciones técnicas de soluciones, debidamente evaluadas



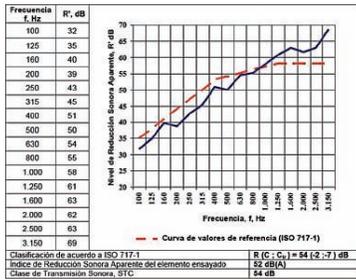
**Figura 32.** Simulación de puentes térmicos, detalle envoltente térmica fundación y muro perimetral piso 1 Edificio Policía de Investigaciones de Puerto Montt.



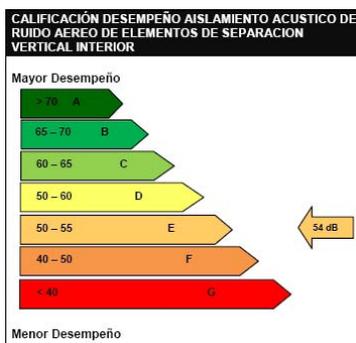
**Figura 33.** Simulación Lumínica sala de clases 7. Escuela Francisco Valdés Subercaseaux. Curarrehue, Región de la Araucanía.



**Figura 34.** Etiqueta calidad factor luz día Escuela Francisco Valdés Subercaseaux. Curarrehue, Región de la Araucanía.



**Figura 35.** Resultado de mediciones de Índice de Reducción Sonora Aparente Sala 5. Evaluación Elemento de Separación Interior. Escuela Francisco Valdés Subercaseaux. Curarrehue, Región de la Araucanía.



**Figura 36.** Etiqueta de calidad aislamiento acústico de ruido aéreo de elementos de separación vertical Escuela Francisco Valdés Subercaseaux. Curarrehue, Región de la Araucanía.

económicamente, para mejorar, hasta el nivel conceptualizado como aceptable, los desempeños energéticos y ambientales valorados insuficientes en cada uno de los edificios comprendidos en la muestra. Soluciones que involucran cambios en los diseños, en las instalaciones destinadas al acondicionamiento ambiental y en las formas de gestión y utilización de los edificios. El presente Manual incluye fichas resúmenes de los informes de medición, diagnóstico y mejoras de algunos edificios. El Informe in extenso se encuentra disponible en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl).

**Producto resultado 6:** Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Guía Técnica dirigida a los profesionales responsables de proyectos y construcción de edificios públicos. Incluye recomendaciones y soluciones aplicables al diseño, los procesos constructivos y al control de calidad de obras con criterios de eficiencia energética. Resume para su transferencia la experiencia y conocimiento desarrollado a través de las distintas evaluaciones que consultó el proyecto. Producto resultado que se informa con este Manual de Diseño. Disponible en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl).

**Producto resultado 7:** Manual de Gestión Energético para Edificios Públicos dirigida a responsables de la gestión energética de edificios. Incluye la especificación de un sistema de gestión para el ahorro y uso racional de la energía en los edificios. Disponible en [www.iconstruccion.cl](http://www.iconstruccion.cl).

## Bibliografía

Energy Information Administration, (2012). [En Línea]. Washington DC, EEUU, disponible en: [http:// www.eia.gov/](http://www.eia.gov/) [Accesado el día 25 de abril de 2012]

Madellane C. (2006). Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation, Tesis de grado Doctor, Bordeaux, Universidad de Bordeaux I.

Ministerio de Vivienda de España, (2006). Código Técnico de la Edificación. Madrid, España.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, (2006). Bases Técnicas: Estudios 1 y 2, Preinversional y Diseño de Mecanismos Operacionales para la Inversión Pública en el Reacondicionamiento Térmico del Parque de Viviendas Existentes. Santiago, Chile.

Szokolay, S. (2004), Introduction to Architectural Sciences. The basis of sustainable design, Amsterdam, Elsevier.

# 1. Clima y Arquitectura

## 1.1. Introducción

La relación entre clima y arquitectura es un aspecto clave en el diseño arquitectónico, pues la obra de arquitectura se beneficia de los aspectos positivos del clima y busca protegerse de sus inclemencias. Siguiendo estos preceptos, es de vital importancia entender al objeto arquitectónico como un modificador del sistema natural, que es a su vez modificado por las características del medio ambiente en el que se inserta.

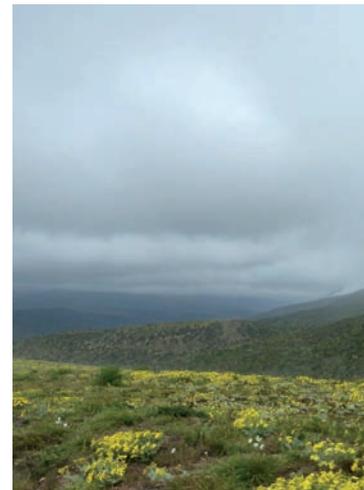
Los principales factores dependientes del clima en que se emplaza un edificio y que afectan el bienestar de los ocupantes son la temperatura, humedad, radiación solar, vientos, nubosidad y pluviometría. A estos factores dependientes se les llama parámetros climáticos. En este capítulo se explicará cómo realizar un correcto análisis de las condiciones climáticas para un contexto específico y se definirán las estrategias generales de diseño pasivo de edificaciones públicas aplicadas a cada una de las zonas climáticas de Chile.

Chile es un país que se caracteriza por su particular geografía. Ésta implica grandes diferencias climáticas a lo largo y ancho del territorio. La latitud (entre los paralelos 17°29'57" S y 56°32' S), corrientes marinas y geografía hacen que nuestro país posea casi todos los climas existentes.

Esta diversidad nos pone ante un escenario muy interesante, donde se pueden generar múltiples respuestas arquitectónicas a la condicionante climática dentro del mismo territorio.

Según la clasificación climática de Koppen, Chile incluye dentro de sus límites al menos a siete de los grandes subtipos climáticos:

- Clima desértico en el norte
- Tundra en este y sur
- Glaciares en este y sur
- Húmedo subtropical en Isla de Pascua
- Clima mediterráneo en Chile central
- Clima oceánico en el sur
- Clima polar en el territorio antártico



**Figura 1.1.** Microclima en parque nacional Fray Jorge: bosque húmedo pluvial valdiviano en zona Norte Litoral

---

### Propósito

Identificar los factores climáticos presentes en el lugar de emplazamiento

### Efecto

Reducción del gasto energético, mejora en la satisfacción del usuario.

### Opciones

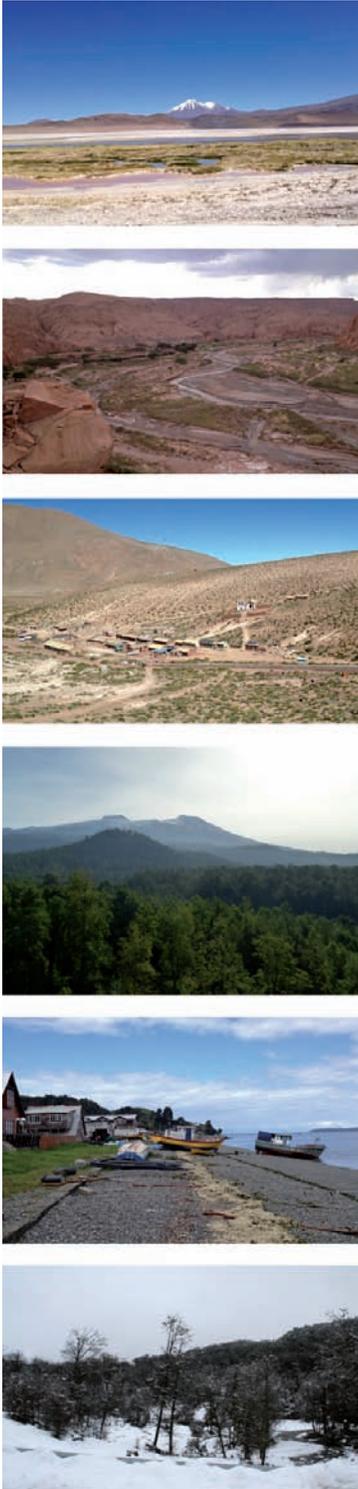
Analizar en base a datos climáticos, software, visitas a terreno, etc.

### Coordinación

Todas las estrategias de diseño pasivo dependen de un buen análisis climático.

### Prerrequisitos

Visitas a terreno, recopilar información climática, revisión normativa.



**Figura 1.2.** Diversidad climática en Chile

## Problemática clave

El análisis del clima de un lugar debe considerar diversos parámetros climáticos, y se puede realizar basándose en datos climáticos históricos de las distintas bases meteorológicas existentes en el país.

En este análisis es necesario considerar si existe un microclima en la región de estudio. Los microclimas pueden ser de origen natural, asociados principalmente a excepcionalidades geográficas que influyen en el clima (valles, dirección de los vientos, altitud, etc.) o microclimas urbanos, que se caracterizan por islas de calor, disminución de la velocidad y reorientación de los vientos, etc.

## Parámetros de análisis climático

Para caracterizar un clima es necesario considerar los distintos parámetros que lo componen. Estos factores nos ayudan a entender el comportamiento del medio natural en que se emplaza un proyecto de modo de conocer las ventajas que podemos aprovechar y de qué elementos climáticos es necesario protegerse.

### Temperatura

Se refiere a la radiación solar que es acumulada por el suelo y luego entregada al aire como radiación infrarroja. La temperatura normalmente es medida como temperatura relativa del aire en grados Celsius (°C). Cuando hablamos de temperatura interior de un recinto se debe considerar la temperatura del aire y la temperatura radiante de los muros.

### Grados Día

Como una forma de caracterizar un clima en base a la temperatura, se utiliza el concepto de grados día (de calefacción y enfriamiento) que es un indicador del grado de rigurosidad climática de un sitio, que relaciona la temperatura horaria de una localidad con una temperatura base.

Los grados día de calefacción se definen como la suma anual de las diferencias horarias entre la temperatura del aire exterior y una temperatura base de calefacción para todos los días del año, en los casos en que la temperatura exterior es menor que la temperatura base.

Para los grados día de enfriamiento se utiliza la misma definición sobre los casos en que la temperatura exterior es mayor que la temperatura base.

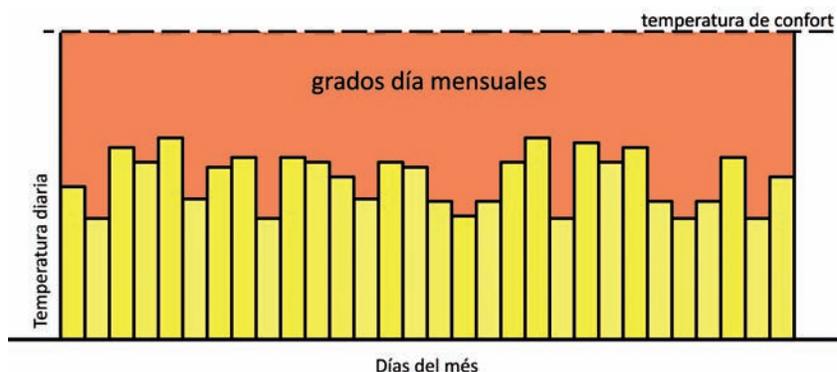


Figura 1.5. Grados día

Los grados día de calefacción en base a 15°C son el parámetro bajo el cual se realizó la zonificación térmica presente en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Como se puede ver en la definición de grados día, ésta no considera las oscilaciones térmicas diarias ni la diferencia de temperatura entre las estaciones de invierno y verano, como tampoco considera otros parámetros climáticos.

Es muy necesario considerar al momento de calificar un clima determinado las temperaturas medias en invierno y verano, las mínimas en invierno y máximas en verano, además de las oscilaciones térmicas diarias.

### Radiación solar

La radiación solar depende de la inclinación con que llega ésta a la superficie de la tierra y del ángulo en que se encuentra el sol respecto del norte. Las estaciones del año se diferencian por el ángulo de inclinación de los rayos del sol, lo que afecta a la cantidad de energía que llega efectivamente a la tierra. Es por esto que en Chile existen diferencias entre la radiación solar en verano (mayor) y en invierno (menor).

Estos datos dependen del azimut y la altitud del sol respecto del cenit. Es importante también considerar la nubosidad y la época del año en que se quiere aprovechar la radiación del sol.

La radiación solar tiene una componente de radiación directa y otra componente de radiación solar difusa. Un análisis de radiación solar disponible en las cubiertas de los edificios permite también decidir acerca de las mejores ubicaciones para paneles solares térmicos.

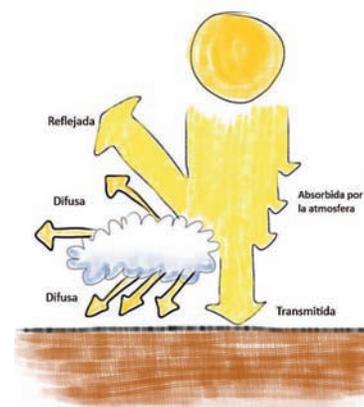


Figura 1.3. Composición de la radiación solar

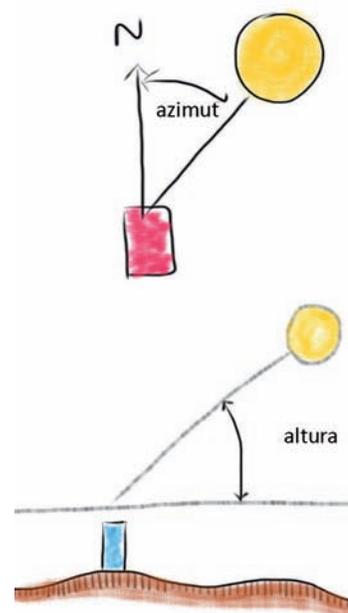
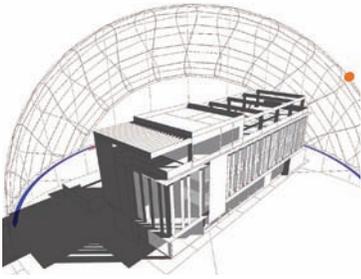
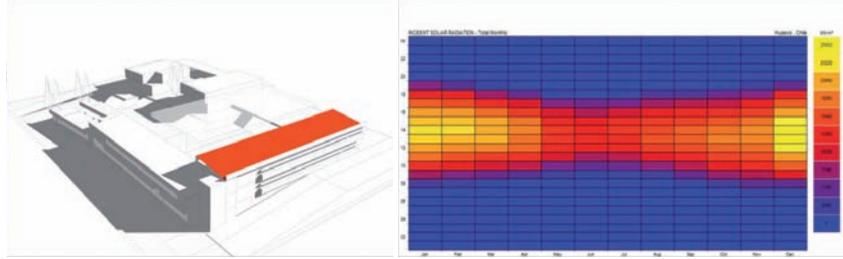


Figura 1.4. Altura del sol y azimut



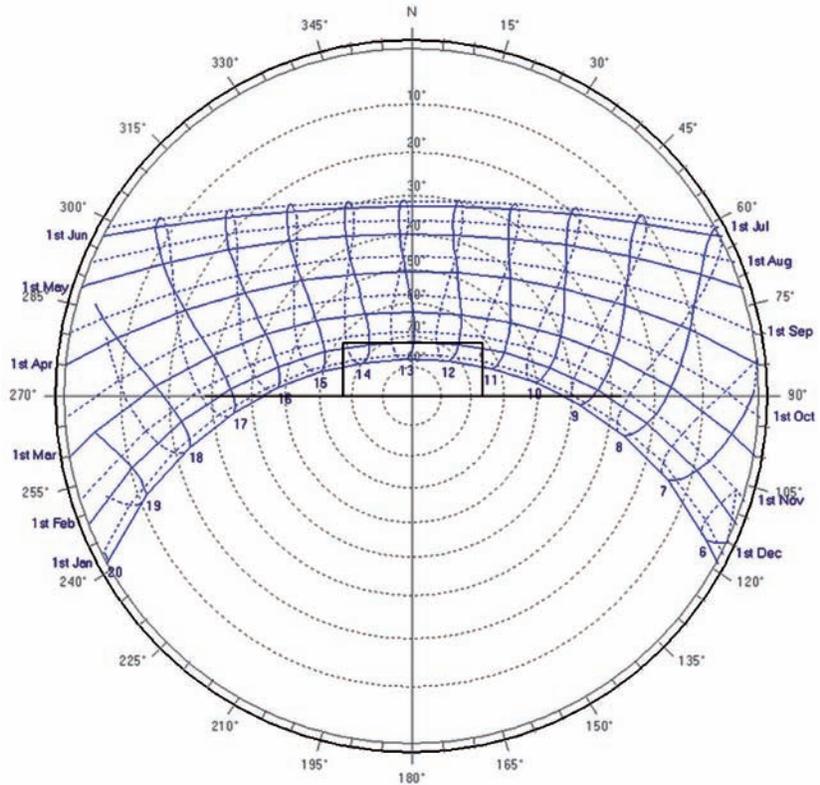
**Figura 1.6.** Análisis de asoleamiento de fiscalía de Chillán. BGL Arquitectos. (Elaboración propia).



**Figura 1.7.** Análisis de radiación solar sobre cubierta de Escuela Mireya Zuleta de Huasco. ARF Arquitectos. (Elaboración propia).

### Asoleamiento

Se refiere a la trayectoria solar que recibe el sitio donde se proyecta y los espacios interiores del edificio ya construido. La incidencia del asoleamiento depende de la ubicación del proyecto con respecto al sol. Para conocer esta información es recomendable utilizar la carta solar del lugar en estudio, la que depende de la latitud. Las ciudades chilenas se encuentran entre las latitudes 17°29'57" S y 56°32' S.



**Figura 1.8.** Carta solar de la ciudad de Constitución

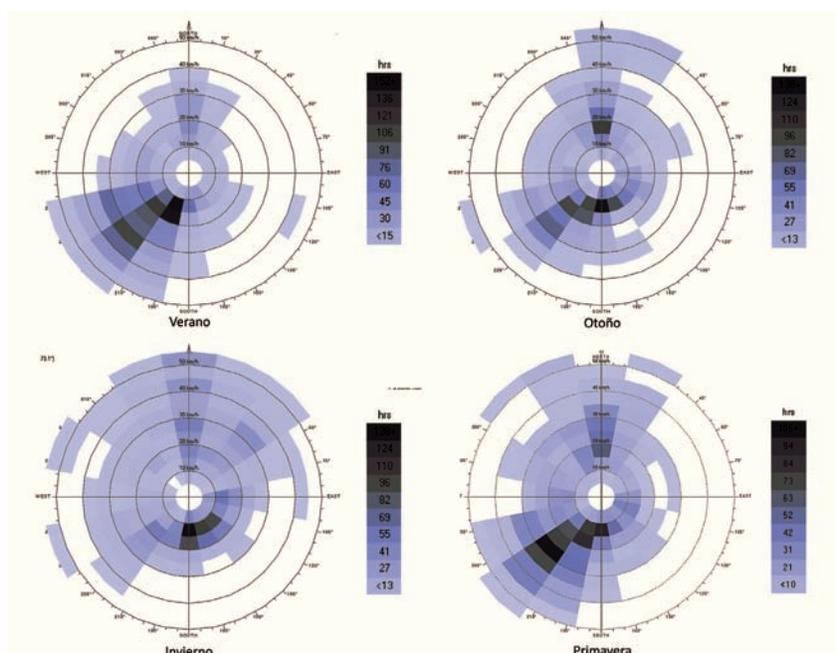
Se recomienda realizar análisis de asoleamiento para las distintas épocas del año y distintas horas del día.

## Humedad

Se refiere a la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. El aire al aumentar su temperatura es capaz de contener una mayor cantidad de agua. Este factor es entendido como humedad relativa del aire. El aire contiene una mayor cantidad de vapor de agua si se encuentra cerca de fuentes de agua como el mar o lagos y menor cantidad si se trata de climas áridos o desérticos. La humedad del aire influye en la sensación térmica y en la posibilidad de condensación. En climas con alta humedad relativa y bajas temperaturas invernales existen mayores riesgos de ocurrencia de condensación en los elementos constructivos.

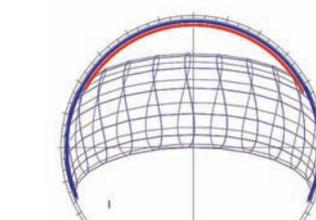
## Vientos predominantes

Los vientos son movimientos de aire debido a diferencias de presión en la atmósfera. Los parámetros de viento son velocidad, dirección y frecuencia.

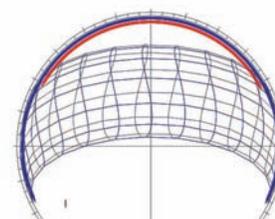


**Figura 1.10.** Vientos predominantes para las cuatro estaciones en Concepción (frecuencia de vientos –hrs)

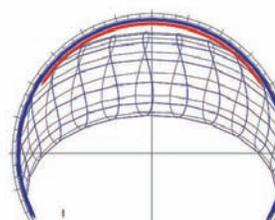
La velocidad se refiere a la rapidez con que se mueve una masa de aire, puede ser medida en km/h y en m/s. La dirección desde la que sopla el viento se mide con respecto a los puntos cardinales y es expresada en grados desde el norte geográfico. Como aparece en la figura 1.10 la frecuencia de vientos está referida a la cantidad de horas en que se presenta cierta velocidad del viento en un período. Por ejemplo, la mayoría de las localidades del valle central de Chile se caracterizan por vientos predominantes del Norte en invierno y del Suroeste en verano. El viento Norte va acompañado de lluvias invernales, mientras que el viento Suroeste es fresco y de alta velocidad.



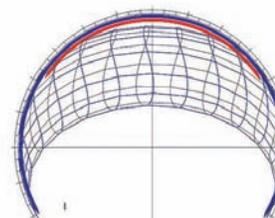
Antofagasta



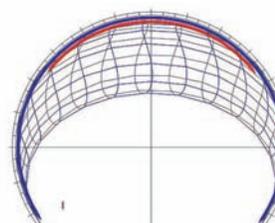
Copiapó



Curarrehue/ Reigolil



Puerto Montt



Cochrane

**Figura 1.9.** cartas solares para las localidades en que se emplazan los edificios analizados con el proyecto INNOVA DA MOP.

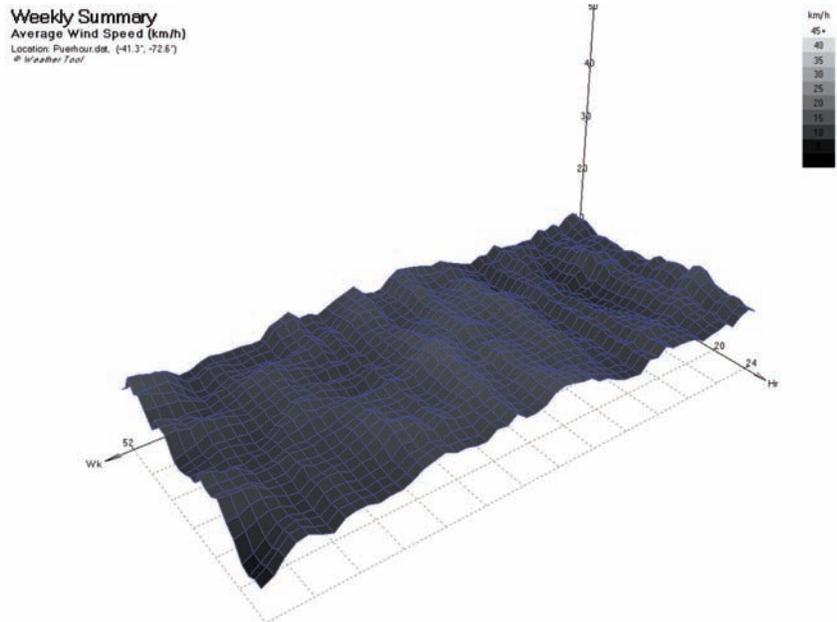


Figura 1.11. Velocidad del viento en Puerto Montt

### Nubosidad

Es la cantidad de días cubiertos y la extensión de cielo cubierto por nubes. Este factor no siempre está documentado en los informes climáticos, por lo que se recomienda la observación del cielo y consultar datos con los habitantes de la zona. Este factor se relaciona con la radiación solar disponible y la calidad y cantidad de iluminación natural. En iluminación se utiliza el concepto de tipos de cielo que se refiere a la definición hecha por la Comisión internacional de iluminación (CIE) de cuatro niveles de nubosidad.

### Precipitaciones

Las precipitaciones representan la cantidad el agua que cae sobre la tierra en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve, aguanieve, granizos. Esta clasificación no incluye la neblina ni el rocío. La cantidad de precipitaciones de un lugar y en un tiempo determinado se llama pluviosidad. Ésta se mide en litro por metro cuadrado de agua caída ( $l/m^2$ ) pero se entregan en mm pues un litro sobre un metro cuadrado tiene una altura de 1mm. Este valor se entrega normalmente como promedio mensual.

Este factor es determinante al diseñar la envolvente de los edificios y se ve relacionado con la velocidad y dirección del viento.

## Zonificación climática de Chile (NCh 1079 Of.2008)

Tabla 1.1. Zonificación climática de Chile NCH 1079 Of 2008

ZONA	CARACTERÍSTICAS GENERALES
1 NL	<b>Norte Litoral:</b> Se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de La Ligua, ocupando la faja costera el lado de la cordillera de la Costa, hasta donde se deja sentir directamente el mar. En los valles que rematan los ríos y quebradas se producen penetraciones de esta zona hacia el interior. Ancho variable llegando hasta 50 km aproximadamente.
2 ND	<b>Norte Desértica:</b> Ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes) desde el límite con el Perú hasta la altura de Potrerillos, Pueblos Hundido y Chañaral excluidos. Como límite oriental puede considerarse la línea de nivel 3000 m aproximadamente.
3 NVT	<b>Norte Valles Transversales:</b> Ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona NL excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400 m y desde Pueblo Hundido hasta el valle del río Aconcagua, excluido.
4 CL	<b>Central Litoral:</b> Cordón costero continuación zona NL desde el Aconcagua hasta el valle del Bío-Bío excluido. Penetra ampliamente en los anchos valles que abren las desembocaduras de los ríos.
5 CI	<b>Central Interior:</b> Valle central comprendido entre la zona NL y la precordillera de los Andes por bajo los 1000 m. Por el N comienza con el valle del Aconcagua o por el S llega hasta el valle del Bío-Bío excluido.
6 SL	<b>Sur Litoral:</b> Continuación de zona CL desde el Bío-Bío hasta Chiloé y Puerto Montt. Variable en anchura, penetrando por los valles de los numerosos ríos que la cruzan.
7 SI	<b>Sur Interior:</b> Continuación de zona CI desde el Bío-Bío incluido, hasta la Ensenada de Reloncaví. Hacia el E, hasta la Cordillera de los Andes por debajo de los 600 m aproximadamente.
8 SE	<b>Sur Extremo:</b> La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el E.
9 An	<b>Andina:</b> Comprende la faja cordillerana y precordillerana superior a los 3000 m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al Sur de Puerto Montt. > 900 m de altitud.

### Zonificación climática v/s Zonificación térmica

La zonificación climática definida en la NCh1079 Of.2008 se basa en las características del clima; temperatura, humedad, continentalidad, etc. La zonificación térmica definida en el artículo 4.1.10 de la OGUC en cambio, se basa en el concepto de grados día de calefacción.



Figura 1.12. Zonificación climática NCh 1079 Of.2008

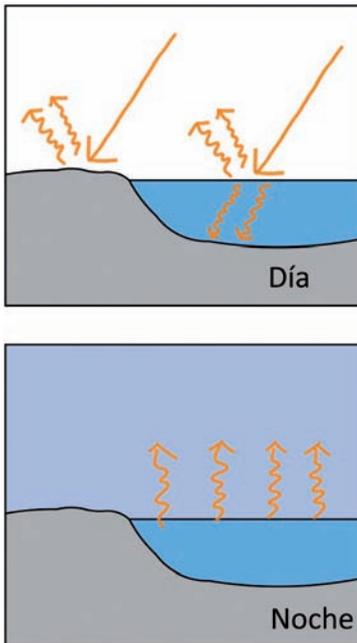


Figura 1.13. Regulación térmica por masa de agua

### Microclima

Los datos climáticos recogidos para una localidad se pueden ver modificados por características del entorno geográfico del lugar (Vivienda, 1997). Es por esto que hay que atender a los siguientes factores para realizar un estudio más adecuado del clima del lugar donde se emplaza un proyecto.

### Forma del territorio (topografía)

La topografía del lugar puede influir en la cantidad de radiación que recibe el lugar, las temperaturas, sombras arrojadas sobre el proyecto, dirección del viento entre otros.

### Pendiente

La orientación de una pendiente puede influir en la cantidad de radiación solar que recibe el edificio y en las sombras que se proyectan sobre él.

### Valles

Los valles condicionan la iluminación y radiación solar, la dirección y velocidad de los vientos y el nivel de exposición que tendrá la construcción al viento y las precipitaciones.

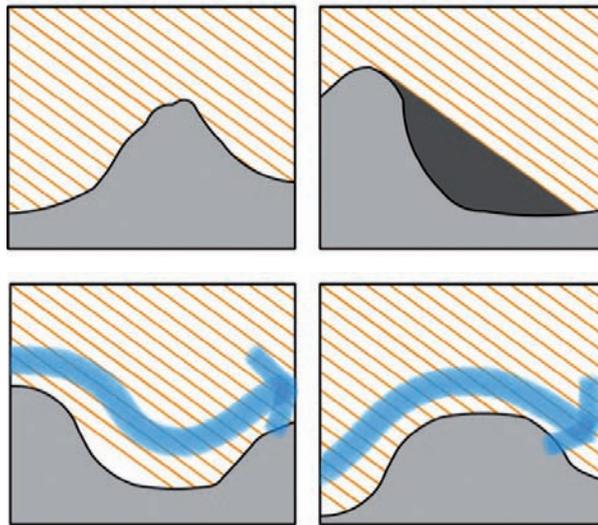


Figura 1.14. Modificaciones climáticas por la presencia de valles

### Agua

La cercanía a cuerpos de agua modifica principalmente la humedad del aire y la temperatura. Lagos, estanques y el mar funcionan como reguladores térmicos gracias a la inercia de las masas de agua. Los ríos y esteros en cambio producen un enfriamiento del aire y aumento de la humedad relativa. Los humedales producen un aumento de la humedad relativa del aire. La cercanía al mar influye en la dirección de los vientos y su magnitud.

## Núcleos urbanos

Las grandes ciudades producen modificaciones considerables en el clima circundante. El factor más conocido es la isla de calor en que se produce un aumento de las temperaturas en las zonas urbanas con respecto a las zonas rurales circundantes. Otros cambios que se producen en las ciudades son modificaciones de la dirección del viento y zonas de turbulencia cerca de edificios muy altos, mala calidad del aire y baja visibilidad.

## Vegetación

La vegetación puede influir en todos los parámetros climáticos antes mencionados dependiendo de la escala en que esté presente la vegetación. La capa vegetal absorbe la luz solar creando sombra, lo que disminuye el asoleamiento y la luminosidad de los edificios que se ven afectados por ésta. También produce un aumento de la humedad por evapotranspiración, lo que modifica la temperatura del aire.

La vegetación puede ser considerada como un factor previo al diseño o incluirse en el diseño de un edificio aprovechando sus ventajas y la gran variedad de especies existentes.

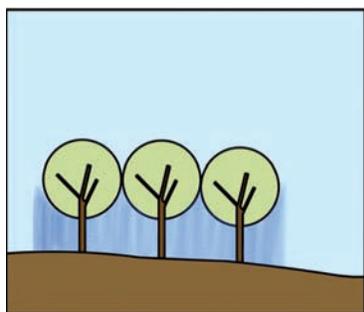


Figura 1.16. Humectación por evapotranspiración.

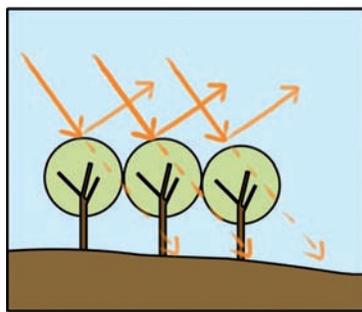


Figura 1.17. Absorción de radiación solar

## Implementación

Es necesario conocer el clima y si existe un microclima en el lugar donde se emplazará el proyecto. Esta información nos ayuda a tomar las decisiones más acertadas con respecto al diseño del edificio antes de comenzar el diseño esquemático del mismo. Se recomienda analizar los datos climáticos disponibles, hacer visitas a terreno que incluyan entrevistas con los habitantes del lugar respecto del clima, sus variaciones durante el día y las estaciones.

Los datos recabados se pueden utilizar para distintos cálculos respecto del comportamiento del edificio, como por ejemplo demanda de calefacción y refrigeración, factor de luz día, etc.

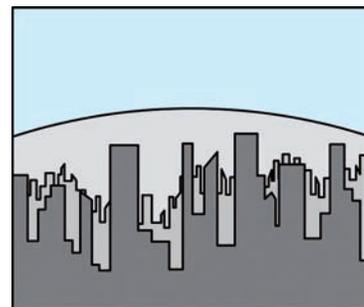
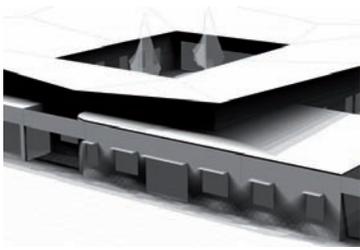


Figura 1.15. Turbiedad del aire en núcleos urbanos



**Figura 1.18.** Efecto de aleros en ventanas para protección solar fachada norte - CESFAM Entrelagos. Francisco Oliver Arquitecto. (Elaboración propia)

Las estrategias de diseño pasivo buscan hacer un edificio más eficiente desde el punto de vista energético.

Esto no significa que sean aplicables en todos los casos. Muchas veces al tomar decisiones de diseño se deben considerar otros factores como el sitio disponible para realizar el proyecto, el tipo de uso que este tendrá, factores económicos y también aspectos de calidad arquitectónica.

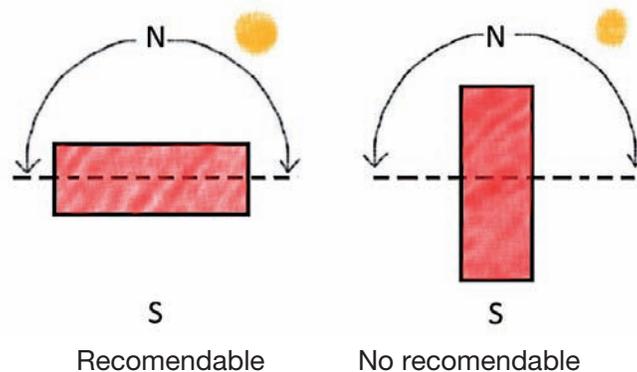
## 1.2. Estrategias de diseño arquitectónico pasivo

Una vez que realizado un buen análisis de las características climáticas y microclimáticas del emplazamiento del proyecto, se deben tomar decisiones de diseño para aprovechar las ventajas del clima y minimizar sus desventajas, con el objetivo de alcanzar el bienestar de los usuarios de las edificaciones públicas con un mínimo consumo de energía

### Orientación

La orientación de los edificios determina en gran parte la demanda energética de calefacción y refrigeración del mismo en el futuro. Una buena orientación podría minimizar considerablemente las demandas energéticas a través del control de las ganancias solares.

Las edificaciones públicas se caracterizan por altas ganancias internas generadas por usuarios, equipos e iluminación, por lo que se recomienda – siempre que sea posible - una orientación norte y sur de sus fachadas principales, ya que esto facilita las estrategias de protección de fachadas. Una orientación oriente y poniente es menos recomendable, ya que la incidencia solar es más compleja de controlar en estas fachadas.



**Figura 1.19.** Orientación de las fachadas

Las distintas fachadas de una edificación pública tienen diferentes condiciones de asoleamiento, por lo que pueden ser tratadas según las estrategias que se detallan a continuación:

### Norte

Una fachada orientada al norte recibe la radiación solar durante la mayor parte del día, dependiendo de la latitud en que se encuentre y la época del año. En invierno el sol se encuentra más bajo con respecto al cenit por lo que tendrá una mayor penetración a través de superficies acristaladas. Esta fachada se puede sombrear fácilmente en verano con protecciones horizontales como aleros o repisas de luz.

## Este

La fachada Este recibirá el sol por la mañana tanto en invierno como en verano. En esta orientación el sol es bajo ya que recién asoma por el horizonte. La presencia de superficies acristaladas en esta fachada puede generar sobrecalentamiento en determinados climas si no es protegida.

## Sur

Esta fachada no recibe radiación solar en forma directa durante gran parte del año. Sólo en verano puede recibir algo de sol, dependiendo de la latitud. Debido a esto, esta fachada no requiere de protección solar, pero sus superficies acristaladas deben lograr un adecuado balance que evite excesivas pérdidas de calor y logre una adecuada iluminación natural, dependiendo del clima en que se emplace.

## Oeste

La fachada oeste recibe radiación solar durante la tarde, lo que coincide con las más altas temperaturas del día. Debido a esto, esta fachada tiene los mayores riesgos de sobrecalentamiento en verano, por lo que es necesario proteger las superficies acristaladas que se encuentran sobre ésta. Las protecciones solares pueden ser exteriores, interiores, móviles, fijas, o incluso puede ser un vidrio con control solar.



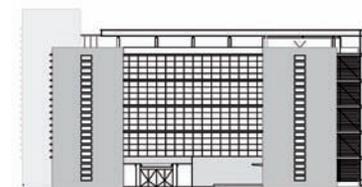
**Figura 1.20.** Fachada sur edificio de la Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas, Antofagasta, región de Antofagasta.



**Figura 1.21.** Protección de fachada sur-poniente, nor-orienté y patio interior con pantalla de acero galvanizado. Factor de sombra 37%



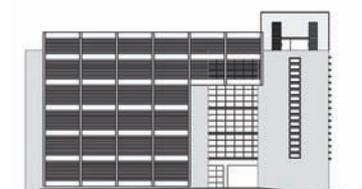
Fachada nor-orienté: Losetas de hormigón como aleros



Fachada nor-poniente: retraída bajo cielo de pantalla de acero galvanizado



Fachada Sur-orienté: Losetas de hormigón como aleros

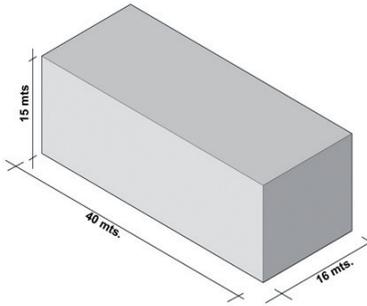


Fachada sur-poniente: Pantalla de acero galvanizado

**Figura 1.22.** Estrategias de protección de fachada aplicadas en el edificio de la Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas, Antofagasta, región de Antofagasta.

### Ejercicio:

Se requiere calcular el factor de forma de un edificio de 5 pisos (alto 15m); de ancho 16m y de largo 40m.



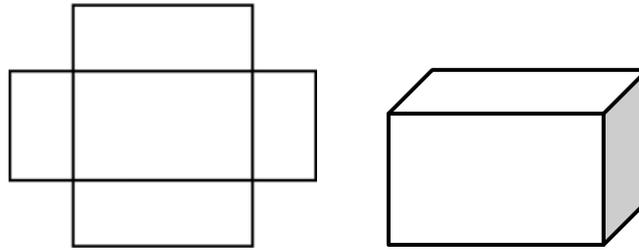
$$\text{Factor de forma} = \frac{\text{superficie}}{\text{volumen}}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de forma} &= \frac{2320}{9600} \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

## Factor de forma

La volumetría de un edificio debe estar relacionada con el clima en que éste se encuentre emplazado y el programa de uso que contiene. Para esto el arquitecto debe tener claridad acerca de si el edificio busca conservar el calor dentro de sí o disiparlo al ambiente.

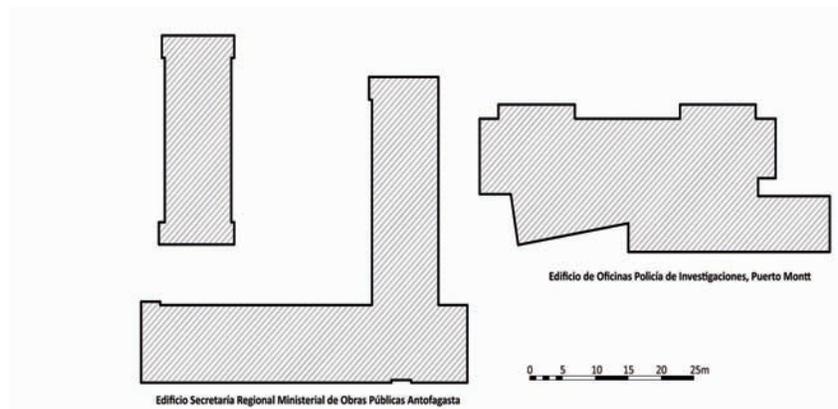
El factor de forma es una ecuación simple que relaciona la superficie envolvente con el volumen envuelto. Un factor de forma bajo significa que el edificio tiene menos pérdidas.



Superficie envolvente

Volumen envuelto

Para reducir al máximo las pérdidas de calor no deseadas, se recomienda minimizar la superficie de la envolvente. En el caso de que se quisiera que el edificio perdiera calor por su envolvente, por ejemplo en climas cálidos, se recomienda aumentar el factor de forma.



**Figura 1.23.** Sombra de planta Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas, Antofagasta, región de Antofagasta y Edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt Décima Región de los Lagos. Grafica cómo se buscó maximizar la superficie de envolvente al modificar la planta del edificio en Antofagasta y cómo el edificio en Puerto Montt busca una planta más compacta para disminuir su factor de forma.

Los volúmenes pequeños suelen tener un factor de forma mayor que los grandes edificios, especialmente si son de un solo nivel.

En el caso de que no se pueda modificar el factor de forma de un edificio – debido a requerimientos funcionales – se debe prestar

más atención a la calidad de la envolvente (en climas fríos) y al control de la radiación solar (ya sea aprovechándola en climas fríos o minimizándola en climas cálidos).

### Zonificación interior

Con esta estrategia se quiere organizar los espacios que contiene un edificio de acuerdo a sus necesidades de calefacción, iluminación natural y confort acústico.

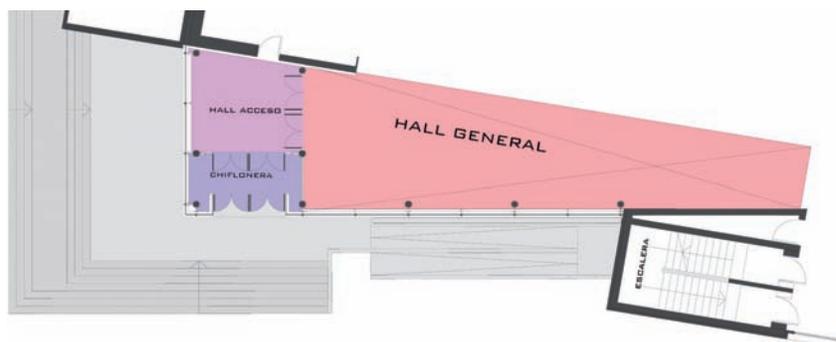
Normalmente un edificio contiene espacios con distintos usos, tales como oficinas, salas de reuniones, baños, bodegas etc. Estos espacios tienen distintas necesidades, por lo tanto deben ubicarse en distintas zonas del edificio. Por ejemplo, una sala de reuniones con proyección de imágenes no necesita la entrada de luz natural directa, por lo que sería mejor ubicarla en el sur del edificio, del mismo modo es necesario aislarla de los ruidos exteriores.

### Protección del acceso

En climas fríos o templados es necesario proteger los accesos a los edificios de las temperaturas exteriores y del viento en invierno.

Con este fin se recomienda que la entrada a los edificios sea por un espacio cerrado o vestíbulo configurado por dobles puertas. Esta estrategia permite que el acceso actúe como una zona de transición que evita excesivas pérdidas de calor por ventilación.

En zonas con lluvias, es necesario además crear un espacio donde la gente pueda guarecerse antes de ingresar a los edificios.



**Figura 1.24.** Acceso a edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt Décima Región de los Lagos. Chiflonera y hall de acceso controlado para disminuir las pérdidas de energía.

$$\text{Factor de forma} = \frac{\text{superficie}}{\text{volumen}}$$

$$\begin{aligned} \text{MOP Antofagasta} &= \frac{4925}{5904} \\ &= 0,834 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PDI Pto. Montt} &= \frac{3460}{5015,5} \\ &= 0,688 \end{aligned}$$



**Figura 1.23.** Acceso edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt Décima Región de los Lagos.

## Proceso de diseño

El propósito de este proceso es identificar los factores climáticos que afectaran a la edificación pública antes de comenzar el proceso de diseño esquemático, para luego identificar las principales estrategias de diseño apropiadas para el clima local. Es necesario tener la mayor cantidad de información posible al enfrentar este proceso.

1.- Identificación del clima y microclima: Es necesario estudiar las temperaturas máximas, mínimas, máximas promedio y mínimas promedio del lugar para las cuatro estaciones del año. Considerar además los niveles de humedad relativa del aire para dichos periodos, pluviometría de la zona, asoleamiento y niveles de radiación solar, dirección y velocidad del viento, nubosidad.

Se deben considerar situaciones geográficas excepcionales de la zona en que se ubicará el edificio, conocidas como microclima. Los factores más importantes que intervienen en los microclimas son: grado de continentalidad, forma general del territorio, obstrucciones como cerros, montañas y valles. Estas individualidades afectan a los factores climáticos antes mencionados.

2.- Estudio de las estrategias adecuadas para el clima en estudio: de acuerdo a la zonificación climática establecida por la NCh 1079 of 2008, se sugiere considerar distintas estrategias de diseño pasivo para edificios públicos localizados en cada uno de los distintos climas existentes en Chile, las que se detallan en los siguientes capítulos de este Manual.

**Tabla 1.2.** Cuadro de relaciones entre estrategias de diseño y zonas climáticas

	Aislación Térmica	Aislación de puente Térmico	Masa Térmica	Control infiltraciones	Ganancias directas	Ganancias indirectas	Ventilación cruzada	Ventilación convectiva	Ventilación nocturna con Masa Térmica	Enfriamiento evaporativo	Protección solar
1 NL	0	0	●	0			●	●	●	●	●
2 ND	0	0	●	0			●	●	●	●	●
3 NVT	0	0	●	0	0		●	●	●	●	●
4 CL	●	●	●	●	0	0	●	●	●		●
5 CI	●	●	●	●	0	0	●	●	●	●	●
6 SL	●	●	●	●	0	0	●	●	0	0	0
7 SI	●	●	●	●	0	0	●	●	0	0	0
8 SE	●	●		●	●	●	●	●		0	0
9 An	●	●		●	●	●	●	●			

● Recomendado

○ Opcional: realizar con criterios dependiendo del uso y clima, apoyar la decisión con simulación

## Glosario

**Azimut:** Es el ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico

**Cénit:** Zenith. Intersección de la vertical de un lugar y la esfera celeste. Punto más alto en el cielo con relación al observador, que se encuentra justo sobre su cabeza (90°).

**Humedad relativa del aire:** La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.

**Isla de calor:** Fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, los gases contaminantes o la generación de calor.

## Bibliografía

Bustamante, W. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago de Chile: MINVU.

D'Alençon, R. (2008). Acondicionamientos: Arquitectura y técnica (Primera Edición ed., Vol. II). (P. Mardones Hiche, Ed.) Santiago de Chile, Chile: Ediciones Arq; Escuela de Arquitectura pontificia Universidad Católica de Chile.

Instituto Nacional de Normalización. (2008). NCH 1079.Of2010 Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

Kwok, A., & Grondzik, W. (2007). The Green Studio Handbook (Primera edición ed.). Oxford, Inglaterra: Architectural Press, Elsevier Inc.

Vivienda, D. g. (1997). Arquitectura y Clima en Andalucía: Manual de diseño. Sevilla.



## 2. Diseño de la Envolvente

La envolvente de una edificación pública tiene una vital importancia por cuanto genera la mediación entre el espacio interior – que busca ser confortable para sus ocupantes – y el clima exterior. Según esto, las primeras consideraciones de la envolvente se relacionan con la orientación del edificio y con el diseño y ubicación de las ventanas.

El primer principio para el diseño de la envolvente es la aislación térmica, ya que en la mayoría de los climas de Chile, una de las estrategias más efectivas de diseño pasivo consiste en aislar la envolvente de la edificación con el objetivo de minimizar las pérdidas de calor por conducción. El segundo principio esencial consiste en sellar la envolvente al paso del aire, evitando de este modo las pérdidas de calor por infiltraciones.

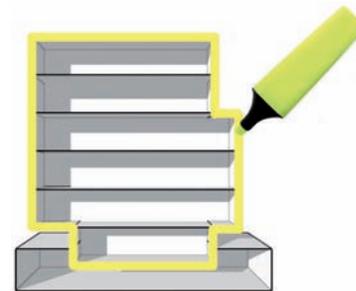


**Figura 2.2.** Edificio PDI de Puerto Montt, que posee una envolvente térmica mejorada. (Fotografía DA MOP Región de Los Lagos)

En general, en la edificación pública, la aislación térmica de la envolvente se logra a través de la incorporación de un material aislante y de la especificación de ventanas que cumplan con determinados estándares según la zona climática.

Un edificio con una buena envolvente, que evite pérdidas de calor por conducción y por infiltraciones, tendrá un mejor confort térmico para sus ocupantes, menor riesgo de ocurrencia de condensación, y mayor durabilidad de la edificación. En edificios calefaccionados y/o refrigerados, esto se traduce también en una disminución de la demanda energética de calefacción y/o refrigeración, lo que a su vez implica menores costos de operación.

La envolvente se compone por elementos de cubiertas, fachadas, pisos y cerramientos en contacto con el terreno, según se ilustra en



**Figura 2.1.** Identificación de una envolvente térmica continua.

### Propósito

Eficiencia energética, confort térmico, disminución riegos de condensación

### Efecto

Disminución de la demanda de calefacción y refrigeración, mejores temperaturas radiantes medias

### Opciones

Tipo de aislante, ubicación, tipo de ventana

### Coordinación

Estrategias de ventilación natural, diseño acústico

### Estrategias relacionadas

Calentamiento pasivo, inercia térmica, diseño acústico.



Figura 2.3. Escuela Teniente Merino de Cochrane. (Zona 8 SE)

Este edificio cuenta con una envolvente térmica compuesta por muros envolventes con aislación en poliestireno expandido de e:50 mm., techumbre con lana mineral de e : 160 mm. y ventanas de DVH con marco proyectante de PVC (ver Casos de Estudio).

Resistencia Térmica :

$$RT = \frac{e}{\lambda}$$

e : espesor material  
 $\lambda$  : conductividad material

Transmitancia Térmica:

$$U = \frac{1}{RT}$$

la figura 2.1. Este capítulo propone soluciones típicas para cada elemento, de acuerdo a los estándares definidos para cada zona climática de Chile, considerando un nivel E o Aceptable dado por los valores mínimos a los cuales se puede optar, quedando como desafío el lograr niveles de mejor desempeño que pueden alcanzar los niveles D (Más que aceptable) hasta A (Excelente).



Figura 2.4. Escala de referencia de calificación Fuente: Citec UBB.

Los niveles de calificación se construyen considerando el valor U establecido por la NCh1079 Of.2008 como valor E o Aceptable, pudiendo llegar a niveles superiores o inferiores. Los niveles inferiores se consideran como no aceptables y los superiores como mejores desempeños. Los valores U variarán de acuerdo a la zona climática y los porcentajes que determinan cada calificación (siendo E un rango cercano al 100%).

Tabla 2.1. Componentes de la envolvente

Cubiertas	 Cubiertas en contacto con el aire	 Cubiertas en contacto con espacios no habitables
Fachadas	 Muros envolventes	 Vanos
Pisos	 Pisos en contacto con el terreno	 Pisos en contacto con el aire

## 2.1. Muros envolventes

Los muros envolventes son aquellos cerramientos exteriores en contacto con el aire cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal. Cumplen un rol fundamental en confinar la envolvente térmica del edificio, por lo que deben alcanzar un buen estándar de aislación, dependiendo de la zona climática en que se emplacen.

La siguiente Tabla define los valores de transmitancia térmica (Valor U) recomendados para muros envolventes de edificaciones públicas situadas en cada zona climática de Chile.

**Tabla 2.2.** Transmitancia térmica y R100 para muros envolventes

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U muros (W/m <sup>2</sup> K)	2	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
R100 muros (m <sup>2</sup> K/W *100)	33	183	108	108	150	150	183	233	316

Una opción posible para cumplir con estos estándares es especificar un material aislante térmico rotulado según la norma NCh 2251 que indique un valor R100 mayor o igual al definido en la Tabla.

En esta sección, se presentan soluciones de muros envolventes apropiadas para cada zona climática de Chile, donde se ha tenido especial cuidado en que cada solución presentada minimice el efecto de los puentes térmicos. Se deben considerar estas soluciones como recomendaciones, ya que es posible generar composiciones distintas a las presentadas aquí, siempre que cumplan con los estándares definidos



**Figura 2.5.** Lana de vidrio  
La lana de vidrio es un aislante térmico de lana mineral fabricada por filamentos de vidrio. Se comercializa en rollos o paneles; con papel, con polipropileno y con papel aluminio.

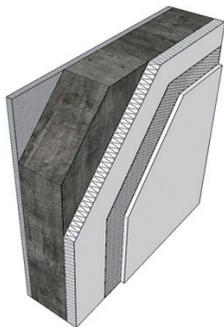
$$\lambda = 0,04 \text{ a } 0,044 \text{ W/ m K}$$



**Figura 2.6.** Poliestireno expandido

El poliestireno expandido (EPS) es un aislante térmico compuesto de material plástico celular y rígido. Se comercializa en paneles rígidos de distintas densidades y distintos espesores.

$$\lambda = 0,036 \text{ a } 0,043 \text{ W/ m K}$$

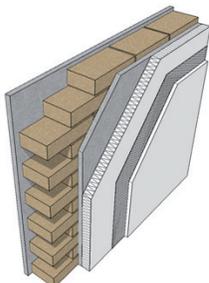


**Figura 2.7. Solución muro N°1**  
Muro de hormigón armado de e: 200 mm. con estuco interior de e: 25 mm y sistema EIFS o SATE, con material aislante de poliestireno expandido de densidad 20 Kg/m<sup>3</sup>.

### Sistema EIFS O SATE

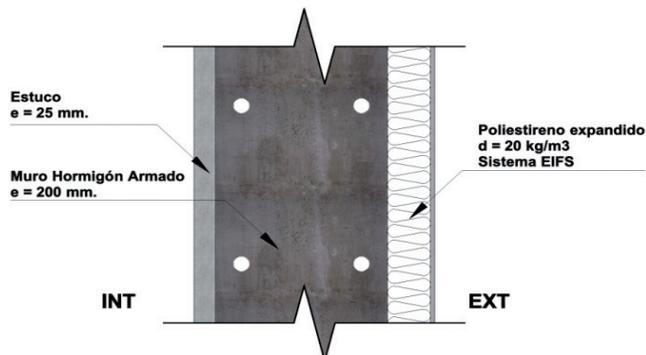
Sistema de revestimiento exterior que provee al muro de aislación térmica y una terminación impermeable al agua.

EIFS: External Insulate Finish System  
SATE: Sistema Aislación Térmica Exterior



**Figura 2.9. Solución Muro N°2**  
Muro de albañilería de ladrillos de densidad 1400 kg/m<sup>3</sup>, estuco interior de e: 25 mm y sistema EIFS o SATE, con material aislante de poliestireno expandido de densidad 20 Kg/m<sup>3</sup>.

## Solución Muro N°1



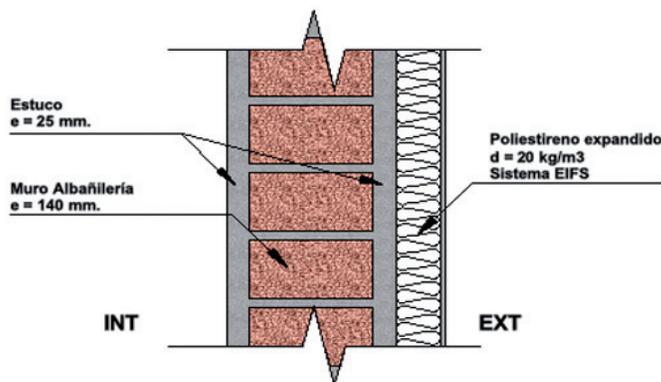
**Figura 2.8. Doble solución Muro N°1**

**Tabla 2.3** Transmitancia térmica y R100 para muros envolventes

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	2	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Poliestireno expandido espesor (mm)	30*	70	40	40	60	60	70	90	120

\* Si bien el espesor requerido es 10 mm, se recomienda considerar un mínimo de 30 mm por razones constructivas.

## Solución Muro N°2



**Figura 2.10. Detalle Solución Muro N°2**

**Tabla 2.4** Transmitancia térmica y R100 para muros envolventes

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	2	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Poliestireno expandido espesor (mm)	30*	70	40**	40**	50	50	60	80	110

\* Si bien el espesor requerido es 10 mm, se recomienda considerar un mínimo de 30 mm. por razones constructivas.

\*\* Si bien el espesor requerido es 35 mm, el espesor típico comercial es de 40 mm Por ello se debe aproximar el espesor requerido al espesor comercial superior más próximo.

### Solución Muro N°3

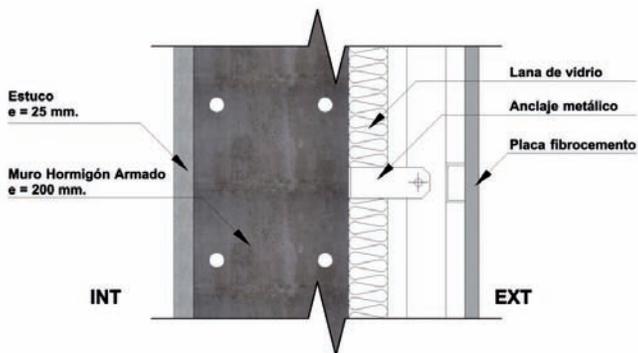


Figura 2.11. Detalle solución Muro N° 3

Tabla 2.5 Transmitancia térmica y R100 para muros envolventes

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m²K)	2	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Lana vidrio espesor (mm)	30*	70	40	40	60	60	70	90	120

\*Si bien el espesor requerido es 10 mm, se recomienda considerar un mínimo de 30 mm por razones constructivas.

### Solución Muro N°4

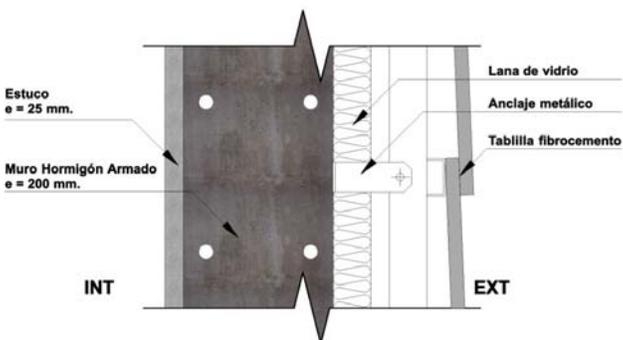


Figura 2.13. Detalle solución Muro N° 4

Tabla 2.6 Transmitancia térmica y R100 para muros envolventes

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m²K)	2	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Lana vidrio espesor (mm)	30*	70	40	40	60	60	70	90	120

\*Si bien el espesor requerido es 10 mm, se recomienda considerar un mínimo de 30 mm por razones constructivas.

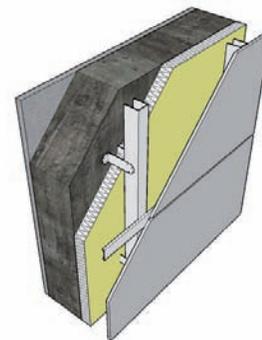


Figura 2.12. Solución Muro N° 3 Muro de hormigón armado de e : 200 mm. con estuco interior de e : 25 mm y sistema de fachada ventilada, con aislante térmico de lana de vidrio en rollo, en diferentes espesores, cámara de aire ventilada y revestimiento exterior en panel de fibrocemento.

#### SISTEMA FACHADA VENTILADA (FV)

Una fachada ventilada es un sistema constituido por un elemento de revestimiento exterior soportado por una subestructura mediante fijaciones y anclajes, quedando entre el revestimiento y la zona portante, un espacio donde el aire puede circular.

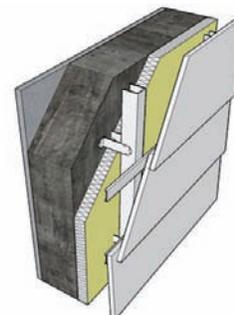


Figura 2.14. Solución Muro N° 4 Muro de hormigón armado de e : 200 mm con estuco interior de e : 25 mm y sistema de fachada ventilada en estructura metálica, con aislante térmico de lana de vidrio en rollo, en diferentes espesores, cámara de aire ventilada y revestimiento exterior de tablillas de fibrocemento tipo Siding.

## 2.2. Cubiertas

Las cubiertas son aquellos cerramientos superiores en contacto con el aire cuya inclinación es igual o inferior a 60° respecto a la horizontal. Cumplen un rol fundamental en confinar la envolvente térmica del edificio, por lo que deben alcanzar un buen estándar de aislación, dependiendo de la zona térmica en que se emplacen.

La siguiente Tabla define los valores de transmitancia térmica (Valor U) recomendados para cubiertas de edificaciones públicas situadas en cada zona climática de Chile.

**Tabla 2.7** Transmitancia térmica y R100 para cubiertas

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,25	0,25
R100 (m <sup>2</sup> K/W *100)	111	111	153	153	236	236	319	386	386



**Figura 2.15.** Lana mineral

La lana mineral es un aislante térmico compuesto por fibras minerales largas y extra finas. Se comercializa como colchoneta libre, con papel por una cara y papel dos caras; como también en rollo con foil de aluminio.  
 $\lambda = 0,03$  a  $0,043$  W/ m K



**Figura 2.16.** Celulosa

La celulosa es un aislante higratérmico y acústico de origen vegetal que puede incorporar compuestos que le otorgan propiedades ignífugas. Se aplica proyectado y tiene la ventaja de sellar todos los intersticios evitando posibles fugas.  
 $\lambda = 0,039$  a  $0,045$  W/ m K  
 Densidad: 120 a 125 kg/m<sup>3</sup>

Una opción posible para cumplir con estos estándares es especificar un material aislante térmico rotulado según la norma NCh 2251 que indique un valor R100 mayor o igual al definido en la Tabla.

En esta sección se presentan soluciones de cubiertas apropiadas para cada zona climática de Chile, donde se ha tenido especial cuidado en que cada solución presentada minimice el efecto de los puentes térmicos. Considerar las soluciones como recomendaciones, ya que es posible generar soluciones distintas a las presentadas aquí, siempre que cumplan con los estándares definidos.

## Solución Cubierta N°1

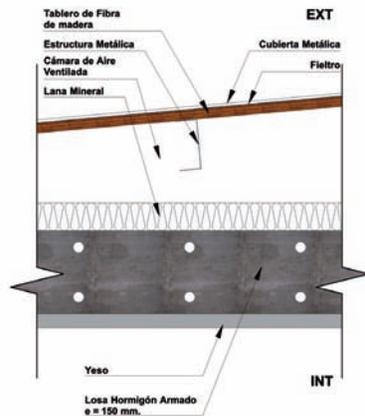


Figura 2.17. Detalle solución cubierta N° 1

Tabla 2.8 Transmitancia térmica para cubiertas

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,25	0,25
Lana mineral espesor (mm)	40	40	60	60	100	100	150	200	200

## Solución Cubierta N°2

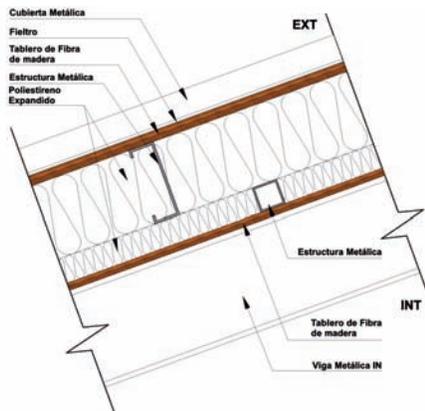


Figura 2.19. Detalle solución cubierta N° 1

Tabla 2.9 Transmitancia térmica para cubiertas

		ZONA CLIMÁTICA								
		1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)		0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,25	0,25
Poliestireno expandido	Den. 20 kg/m <sup>3</sup> esp : (mm)	30*	30*	40	40	70	70	100	130	130
	Den. 10 kg/m <sup>3</sup> esp : (mm)	30*	30*	40	40	80	80	120	150	150

\*Si bien el espesor requerido es 20 mm, se recomienda considerar un mínimo de 30 mm por razones constructivas.

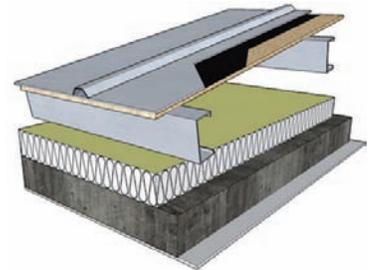


Figura 2.18. Solución cubierta N°1  
Losa de hormigón armado de e : 150 mm. con enlucido de yeso interior. Sobre la losa, aislante térmico en lana mineral con papel una cara, en diferentes espesores; cámara de aire ventilada y cubierta metálica sobre tablero de fibra de madera con barrera hidrófuga.

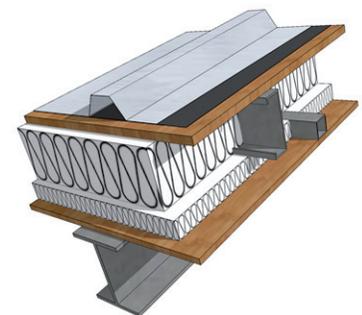


Figura 2.20. Solución cubierta N°2  
Estructura en base a vigas metálicas IN con placa de contrachapado en 15 mm. De terminación interior. Sobre la placa, una capa de aislación en poliestireno expandido entre un entramado metálico tubular adosado a la parte interior de costaneras metálicas entre las cuales va una segunda capa de material aislante. Sobre las costaneras, una placa de contrachapado estructural y sobre ella fieltro y cubierta metálica.

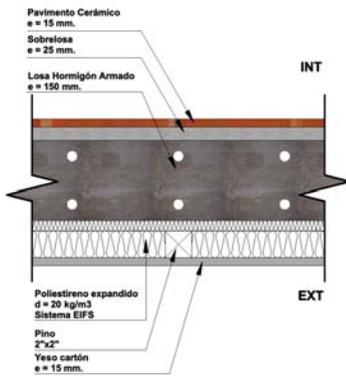


Figura 2.21. Figura 2. 6 Solución piso ventilado

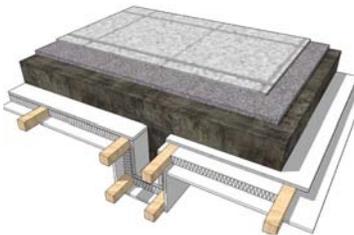


Figura 2.22. Losa hormigón armada espesor 150 mm. con sobrelosa y pavimento cerámico. Bajo losa, aislación en base a poliestireno expandido en dos capas con estructura secundaria de apoyo para terminación inferior en placa de yeso cartón de 15 mm. de espesor

## 2.3. Pisos

Los pisos son aquellos cerramientos inferiores horizontales o ligeramente inclinados en contacto con el aire, con el terreno, o con un espacio no habitable.

### Complejo de Pisos Ventilados

El complejo de pisos ventilados es el conjunto de elementos que lo conforman y que se encuentran en contacto con el exterior y no directamente con el terreno, incluyendo los planos inclinados de rampas y escaleras. Esto sucede cuando un espacio se encuentra sobre un estacionamiento, sea subterráneo o no, o sobre espacios no calefaccionados generalmente no habitables lo cual genera que el flujo de calor vaya de la zona calefaccionada (el espacio superior) a las zonas más frías. Por ello se hace necesario proteger estos elementos para evitar pérdidas térmicas.

La siguiente Tabla define los valores de transmitancia térmica (Valor U) recomendados para pisos ventilados y el equivalente R100 para materiales aislantes de edificaciones públicas situadas en cada zona climática de Chile.

Tabla 2.10 Transmitancia térmica y R100 para pisos ventilados

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	3	0,7	1,2	1,2	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4
R100 (m <sup>2</sup> K/W *100)	11	121	61	61	103	103	121	178	228

Una opción posible para cumplir con estos estándares es especificar un material aislante térmico rotulado según la norma NCh 2251 Of. 2010 que indique un valor R100 mayor o igual al definido en la Tabla.

### Pisos en contacto con el terreno

La siguiente Tabla define los valores de transmitancia térmica (Valor U) recomendados para pisos en contacto con el terreno para edificaciones públicas situadas en cada zona climática de Chile.

Tabla 2.11 Transmitancia térmica para pisos en contacto con terreno

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3

Para la determinación del valor U de soluciones de pisos en contacto con el terreno se debe considerar cada edificio como un caso de análisis en particular. La transmitancia térmica en estos elementos depende fundamentalmente de la relación área /perímetro, y otros factores tales como la conductividad térmica del terreno.

Un método de cálculo simplificado para la determinación de los valores U para los casos de pisos en contacto con el terreno con un máximo de 0,5 m por de bajo de éste, se explica a continuación:

a) Levantar información de acuerdo al tipo de solución y su materialidad, identificando uno de los tres tipos de soluciones de pisos en contacto con el terreno:

Sin aislación

Con aislación horizontal en el perímetro

Con aislación vertical en el perímetro

b) Con los antecedentes del edificio calcular la longitud característica B', como el cociente entre la superficie del piso en contacto con el terreno y la longitud de su perímetro según la siguiente expresión:

$$B' = \frac{A}{1/2 P}$$

Donde:

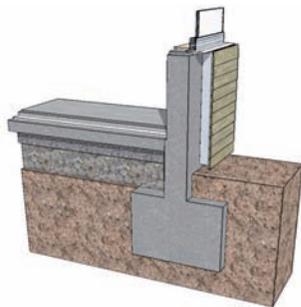
A: Área del piso en contacto con el terreno. (m<sup>2</sup>)

P: Perímetro del piso en contacto con el terreno. (m)

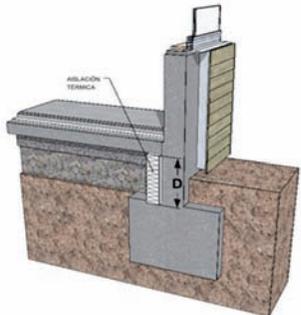
c) Para aquellas soluciones de piso en contacto con el terreno que contemplen la utilización de material aislante, calcular la resistencia térmica de éste. Donde:

d) La transmitancia térmica de pisos de soluciones en contacto con el terreno que no dispongan de material aislante se obtendrán de la segunda columna R<sub>s</sub>, de la tabla 4.3.2 en función de su longitud característica B'. Valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

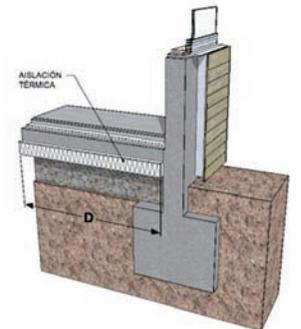
e) La transmitancia térmica de pisos de soluciones en contacto con el terreno que dispongan de material aislante se obtendrán de la tabla 4.3.2, en función del ancho D de la banda de aislamiento perimétrico, de la resistencia térmica del aislante R calculada mediante la expresión del punto C y la longitud característica B'. Valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.



Sin aislamiento

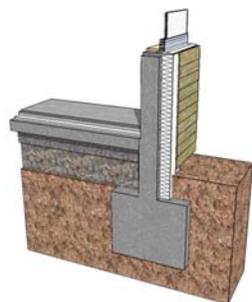


Con aislamiento vertical



Con aislamiento horizontal

Figura 2.23. Tipos de soluciones de pisos en contacto con el terreno para cálculo simplificado.



La aislación vertical puede realizarse por dentro o por fuera, dependiendo de los requerimientos del recinto, sin embargo la ventaja de hacerlo por fuera es que el material aislante puede continuar hasta el sobrecimiento protegiendo la unión del radiador con el muro.

Tabla 2.12 Transmitancia Térmica U de pisos en contacto con el terreno ( $W/m^2K$ )

$R_s$	$D=0,50\text{ m}$					$D=1,0$					$D\geq 1,5\text{ m}$					
	$R_a(m^2K/W)$					$R_a(m^2K/W)$					$R_a(m^2K/W)$					
B'	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
0,18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
$\geq 20$	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Para otros casos de análisis se puede utilizar el método de cálculo descrito en la norma UNE-EN ISO13370:1998.

### Ejemplo de aplicación

Para el caso de un edificio cuya área de piso en contacto con el terreno es de  $600m^2$  y su perímetro  $100\text{ m}$ , y que posee una banda de aislación térmica horizontal de poliestireno expandido cuya conductividad térmica es de  $0,040\text{ (W/mK)}$  y espesor  $60\text{ mm}$ , como se muestra en la figura 4.2.3, el valor de transmitancia térmica de la solución de piso en contacto con el terreno se calcula de la siguiente manera:



Figura 2.24. Solución de piso en contacto con el terreno

i) Identificación de solución: Solución de piso en contacto con terreno con banda de aislación horizontal,  $D = 1$ .

ii) Cálculo de longitud característica edificio.

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} = \frac{600}{\frac{1}{2}100} = 12.$$

iii) Cálculo de resistencia térmica del material aislante.

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,06}{0,040} = 1,5 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

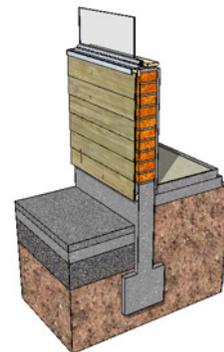
iv) Si  $D = 1,0\text{m}$ ;  $B' = 12$ ;  $R=1,5 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ ; se deduce de la tabla 4.3.2 el valor  $U=0,31 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**Tabla 2.13** Transmitancia Térmica U de pisos en contacto con el terreno (W/m<sup>2</sup>K)

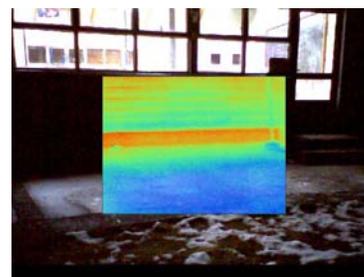
B'	R <sub>s</sub> 0,00	D=0,50 m					D=1,0					D≥1,5m				
		R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> K/W)					R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> K/W)					R <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> K/W)				
		0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
0,18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Se deduce del cuadro anterior, que anchos de banda perimetral sobre los 1,5 m no tienen un impacto significativo en el mejoramiento térmico del complejo de pisos en contacto con el terreno. Desde el punto de vista térmico no se justifican anchos mayores. Por otro lado, dependiendo del requerimiento de aislación térmica los anchos de banda pueden ser incluso menores. En el ejemplo anterior, aumentar de 1,0 a 1,5 m significó pasar de una transmitancia térmica 0,31 a 0,30 W/m<sup>2</sup>K, cambio que representa una menor pérdida de 0.01 W/ m<sup>2</sup>K. Esta menor pérdida térmica y beneficio se debe finalmente comparar con el mayor costo que significa el mayor ancho de banda.

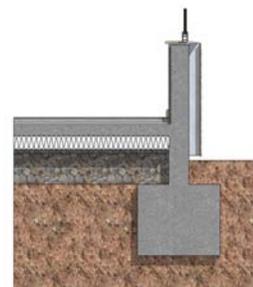
En resumen, es importante realizar una evaluación técnica económica al momento de decidir sobre la elección y dimensiones del material aislante.



**Figura 2.25.** Detalle solución de piso, Escuela Rucamanke, sector Reigollil, Curarrehue.



**Figura 2.26.** Imagen termográfica. Escuela Rucamanke. Evidencia de encuentro de piso y sobrecimiento no protegido.



Las densidades del poliestireno expandido van desde los 10 hasta los 50 kg/m<sup>3</sup>. Las densidades de 10 y 15 se consideran de baja densidad y poca resistencia a la compresión por lo cual no se recomienda para su uso bajo radieres. La densidad de 20 es considerada de capacidad mecánica media y los de 25 a 30, de alta resistencia. Estos últimos son recomendables para colocar bajo radieres sujetos a tránsitos pesados y altas cargas dada su mayor capacidad de resistencia mecánica y estabilidad dimensional.

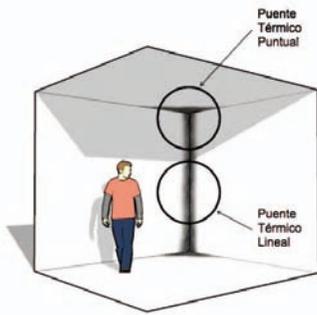


Figura 2.27. Figura 2.13: Puentes térmicos lineales y puntuales.

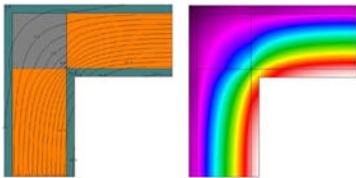


Figura 2.28. Figura 2.13: Puente térmico por geometría. Muro perimetral esquina al exterior.

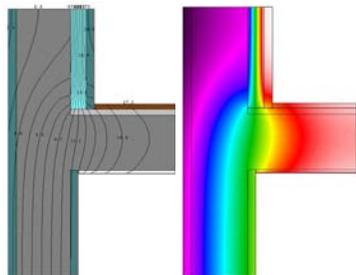


Figura 2.29. Figura 2.13: Puente térmico constructivo. Encuentro losa/muro exterior. Aislación interior muro superior.

## 2.4. Puentes térmicos

Se considera puente térmico a zonas concretas de la envolvente del edificio en los cuales se presenta una drástica variación de la resistencia térmica, ya sea por un cambio de geometría; un cambio de los materiales empleados (penetración de la envolvente de materiales con una conductividad térmica distinta) o por un cambio en el espesor del revestimiento (ISO 7435 / NCh3136/1 of.2008).

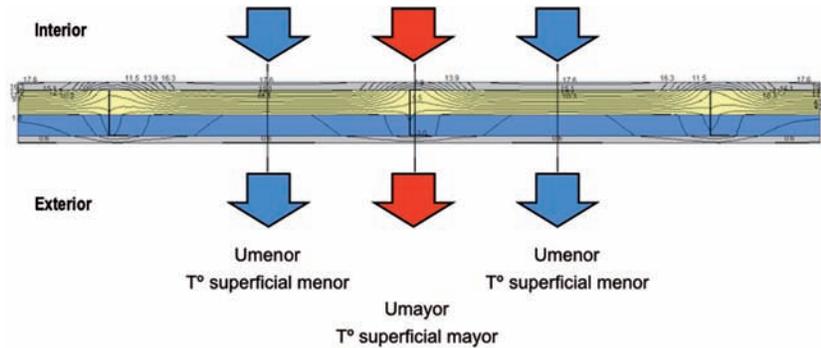


Figura 2.30. Diagrama de isotermas en tabique perimetral con puente térmico generado por estructura metálica. La temperatura superficial exterior será mayor en la zona con puente térmico dado que se perderá energía por existir una menor resistencia térmica. Fuente: Simulación y evaluación de puentes térmicos (Muñoz, 2011.)

Los puentes térmicos son difíciles de solucionar o evitar una vez que la obra está construida, por ello se hace importante detectarlos en etapa de diseño de manera de eliminarlos o reducir sus consecuencias negativas los cuales pueden ser tan graves como un efecto significativo sobre la demanda de energía al aumentar las pérdidas de calor o aumentar las ganancias solares durante el verano; una reducción de las temperaturas superficiales interiores; puntos fríos en el edificio; peligro de condensación intersticial; deterioro de la estructura; degradación estética de los cerramientos con el aumento de costos de mantención y, el más perjudicial, la disminución de condiciones higiénicas y de confort de los usuarios por condensación de vapor de agua y aparición de moho y hongos.

Los puentes térmicos se clasifican en puentes térmicos puntuales o puentes térmicos lineales y puentes térmicos por geometría o constructivos.

- **Puentes Térmicos Puntuales:** se presentan en zonas puntuales, por ejemplo, en la intersección de tres cerramientos formando un vértice de la envolvente exterior.
- **Puentes Térmicos Lineales:** se manifiestan a lo largo de una determinada longitud, por ejemplo, entre la intersección de dos cerramientos verticales exteriores que forman una esquina.

- **Puentes Térmicos por geometría:** se manifiestan en aquellas zonas donde hay un cambio de dirección de la envolvente sin que ésta presente cambios de materialidad.
- **Puentes Térmicos constructivos:** se manifiestan en aquellas zonas con o sin cambio de dirección de la envolvente, donde se encuentran materialidades con diferentes resistencias térmicas.

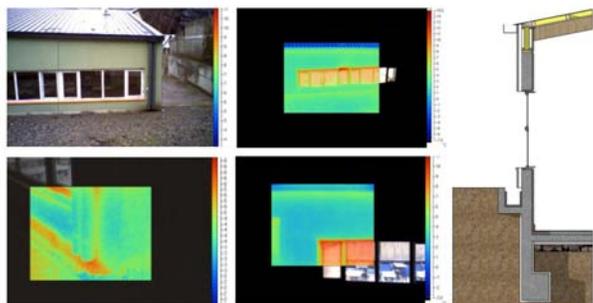
### Evaluaciones de Puentes Térmicos:

Los puentes térmicos pueden ser evaluados a través del método de cálculo manual especificado en la NCh853 Of.91, determinando un valor ponderado asociado a las áreas expuestas al puente. Adicionalmente, la NCh3136/1 Of.2008 define un procedimiento más preciso para determinar puentes térmicos considerando el problema como un caso multidimensional.

Los métodos de simulación permiten a través de un software 2d y 3d, determinar valores U o flujos de calor asociados a una solución constructiva. Estos programas son específicos y generalmente arrojan visualizaciones detalladas de la zona que se quiere evaluar. Sin embargo, para medir su influencia sobre la demanda total de energía, el detalle debe ser incorporado a un programa que permita evaluaciones globales asumiendo todas las variables que afectan el desempeño del edificio, siendo la solución constructiva una más de ellas.

El método que permite validar una solución constructiva es el experimental a través de la construcción de probetas y desarrollo de ensayos en una Cámara Térmica. Este proceso permite certificar y validar los cálculos teóricos y simulaciones siendo el único procedimiento oficialmente reconocido para asegurar el comportamiento térmico de una solución constructiva y con ello la corrección o eliminación de puentes térmicos.

Si la construcción ya está ejecutada, se pueden identificar los puentes térmicos a través de una imagen termográfica utilizando una cámara especializada. Ésta nos entregará una visión de las zonas frías o calientes de la envolvente al obtener imágenes interiores o exteriores del edificio, lo que nos permitirá detectar y evaluar posibles mejoras a problemas de puentes térmicos.

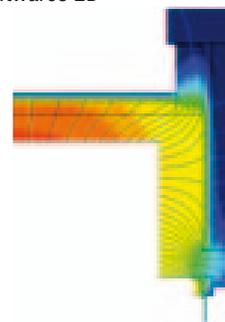


**Figura 2.32.** Muro fachada sala de clases Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. Foto exterior, termografías y corte.



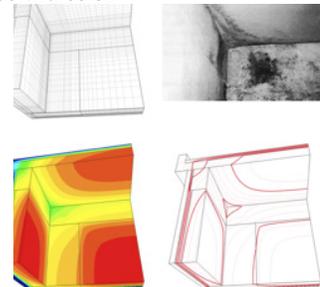
**Figura 2.31.** Efectos indeseados típicos de puentes térmicos.

#### Softwares 2D



- THERM - Flujo de Calor
- Heat 2 - Flujo de Calor
- Usai - Valor U y Comportamiento Higrotérmico
- Flixo - Flujo de Calor, Valor U y Comportamiento Higrotérmico

#### Softwares 3D



- Heat 3
- AnTherm
- Physibel - Trisco / Volta / Kobru



**Figura 2.33.** Sistemas de evaluación y cámara termográfica.

**Ejemplo de cálculo RT y U de un muro heterogéneo.** Se requiere calcular un valor U ponderado en función de la participación de las zonas con y sin puente térmico:

**Muro :**

**Estructura:**

Hormigón Armado, espesor 150 mm.  
Conductividad térmica  $\lambda$  : 1,63 W/(mK)

**Revestimiento interior:**

Estuco : 25 mm.  
Conductividad térmica  $\lambda$  : 1,4 W/(mK)

**Aislación térmica:**

Poliestireno expandido.  
Espesor : 50 mm., densidad 20 kg/m<sup>3</sup>  
Conductividad térmica  $\lambda$  : 0,0384 W/(mK)

**Cámara de aire no ventilada:**

Espesor: 40 mm.  
RT : 0,164 m<sup>2</sup>K/W

**Revestimiento exterior:**

Fibrocemento, espesor : 6 mm.  
Conductividad térmica  $\lambda$  : 0,22 W/(mK)

**Estructura secundaria:**

Perfil metálico U.  
90 x 38 x 0,85 mm.  
Conductividad térmica  $\lambda$ : 0,000613 W/(mK)  
Nota: perfil U requiere cálculo aparte por coeficiente de forma.

**Resistencia superficial:**

Interior : Rsi = 0,12 m<sup>2</sup>K/W  
Exterior : Rse = 0,05 m<sup>2</sup>K/W

**Cálculo RT:**

RT muro = Rsi + Rse +  $\sum e$  material /  $\lambda$  material

**RT zona con puente térmico:**

RT = 0,17 + 0,15 / 1,63 + 0,025 / 1,4 + 0,006 / 0,22 + 0,98  
RT = 0,17 + 0,09 + 0,018 + 0,03 + 0,98  
RT = 1,29  
**Ucpt = 1/RT = 0,78 W/(m<sup>2</sup>K)**

**RT zona sin puente térmico:**

RT = 0,17 + 0,15 / 1,63 + 0,025 / 1,4 + 0,05 / 0,0384 + 0,006 / 0,22 + 0,164  
RT = 0,17 + 0,09 + 0,018 + 1,3 + 0,03 + 0,164  
RT = 1,76

**Uspt = 1/RT = 0,57 W/(m<sup>2</sup>K)**

Considerando que el 93% de la superficie del muro corresponde a la zona sin puente térmico y el 7% restante a la con puente térmico tenemos:

Uspt x 0,93 = 0,57 x 0,93 = 0,53 W/(m<sup>2</sup>K)  
Ucpt x 0,07 = 0,78 x 0,07 = 0,055 W/(m<sup>2</sup>K)  
Uponderado muro = 0,53 + 0,055

**U ponderado = 0,59 W/(m<sup>2</sup>K)**

Para dar terminación a muros de hormigón es habitual que se utilicen revestimientos exteriores que requieren de estructuras secundarias, ya sean metálicas o de madera. Éstas, al fijarse a los muros, generan puentes térmicos que pueden afectar el desempeño original de los mismos. Su influencia, mayor o menor, dependerá de la superficie comprometida ya sea por apoyos puntuales o lineales. De igual modo, la colocación de elementos de terminación interior pueden generar el mismo efecto sobre la envolvente, pero con riesgo de condensación superficial.

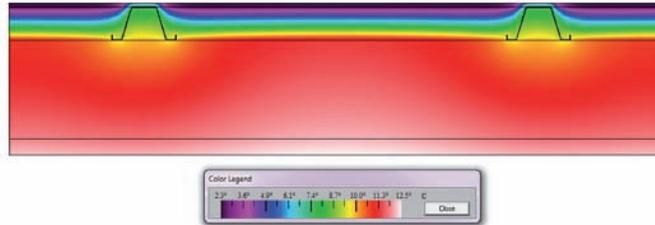


Figura 2.34. Planta, muro zona Escuela e Internado Francisco Valdés S., Curarrehue. Simulación imagen flujo de calor, Therm.

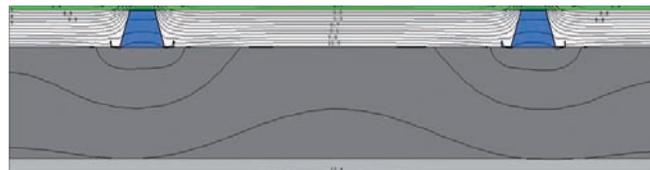


Figura 2.35. Planta, muro zona Escuela e Internado Monseñor Francisco Valdés S., Curarrehue. Simulación imagen isotermas, Therm.

El efecto sobre el elemento se calcula utilizando la fórmula para determinar el valor de resistencia térmica aplicado a la zona sin puente térmico y luego se repite el procedimiento para la zona con puente térmico. La influencia que el puente puede tener sobre la solución se hace obteniendo un valor ponderado, es decir, se considera una relación porcentual respecto de la zona con puente térmico y la zona sin este puente. Aplicando este procedimiento podemos obtener un valor ponderado de la transmitancia térmica el cual es más cercano a la realidad pues considerará la resistencia térmica del conjunto y no sólo el de la zona sin puente térmico, si existiera, como sucede muchas veces en las fichas técnicas. Hacer los ajustes necesarios nos ayudará a mejorar el desempeño global de nuestro diseño.

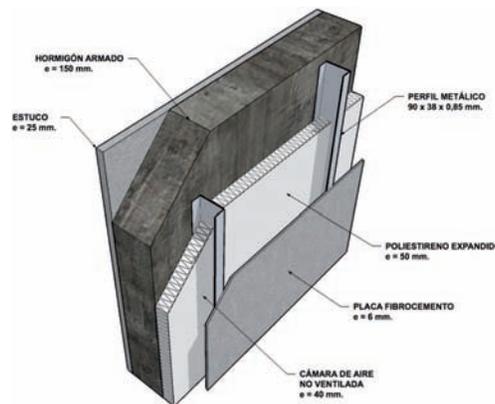
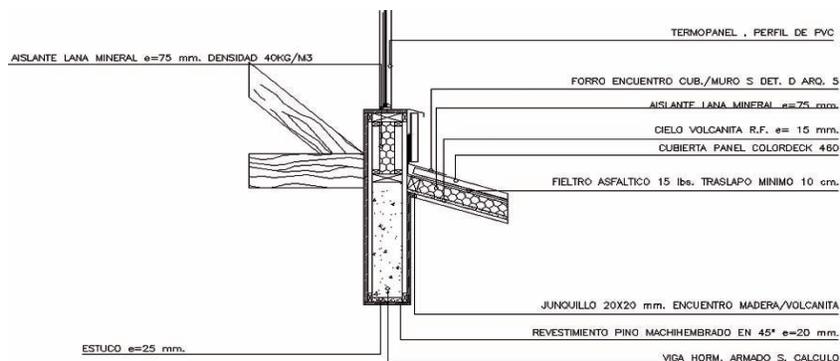


Figura 2.36. Ejemplo para cálculo de U ponderado. Fuente: Elaboración propia.

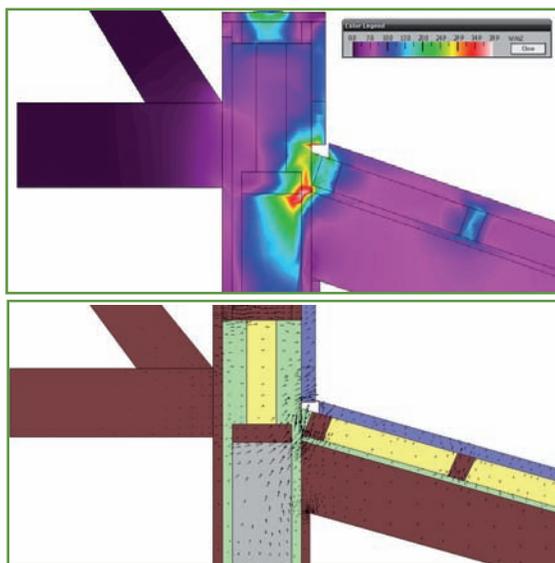
La situación que requiere especial atención en la resolución de los puentes térmicos se relaciona con las diferencias de temperatura que se pueden producir en una superficie asociadas a niveles altos de humedad relativa ya que al generar puntos fríos pueden acercarse a la temperatura de punto de rocío y con ello generar condensación tanto superficial como intersticial.

En la Escuela Monseñor Francisco Valdés S. de la comuna de Curarrehue, la asesoría en eficiencia energética permitió corregir o mejorar el desempeño de varios puntos sensibles de la envolvente. Para el encuentro de ventana superior y cubierta se desarrolló originalmente el detalle que aparece graficado a continuación.



**Figura 2.37.** Detalle original encuentro ventana superior y cubierta Escuela Monseñor Francisco Valdés S., Curarrehue. (Fuente: Inf. técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

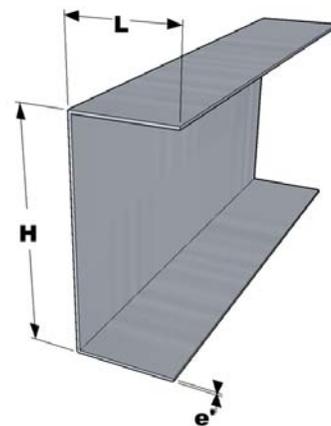
El encuentro evidencia un flujo de calor representado por vectores, a través del encuentro de los elementos en el punto de cambio de geometría y por los elementos con diferente conductividad térmica que se encuentran o donde se pierde la continuidad de la aislación térmica.



**Figura 2.38.** Detalle original encuentro ventana superior y cubierta. Flujo de calor y flujo de vectores. Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

De los análisis realizados se propone un detalle mejorado que permite mejorar el comportamiento del encuentro, dado que se

Cálculo RT para perfil U :



$$RT = \frac{L + L}{H} \cdot \frac{1}{\lambda m} \cdot e'$$

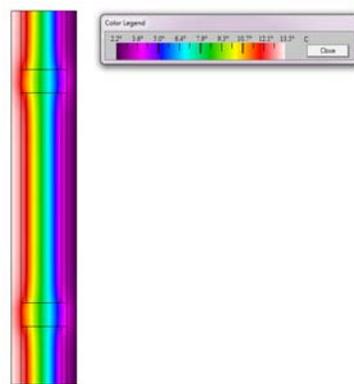
Donde :

L = ala del perfil

H = altura perfil

e' = espesor perfil

$\lambda m$  = conductividad térmica del material



**Figura 2.39.** Corte, Simulación imagen flujo de calor, Therm.



**Figura 2.40.** Planta, Simulación imagen flujo de calor, Therm.



**Figura 2.41.** Planta, Simulación imagen isotermas, Therm

Muro madera zona antigua, habilitación. Escuela Monseñor Francisco Valdés, Curarrehue.

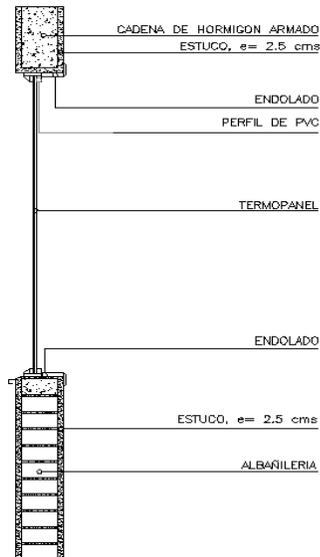


Figura 2.42. Situación original, corte.

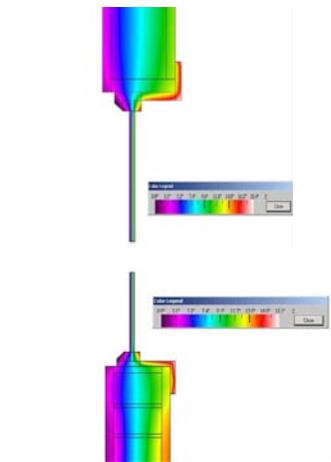


Figura 2.43. Situación original, Simulación temperaturas, Therm.

Ventana típica, situación original. Escuela Monseñor Francisco Valdés, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

advirtió además de pérdida de calor, también riesgo de condensación superficial e intersticial.

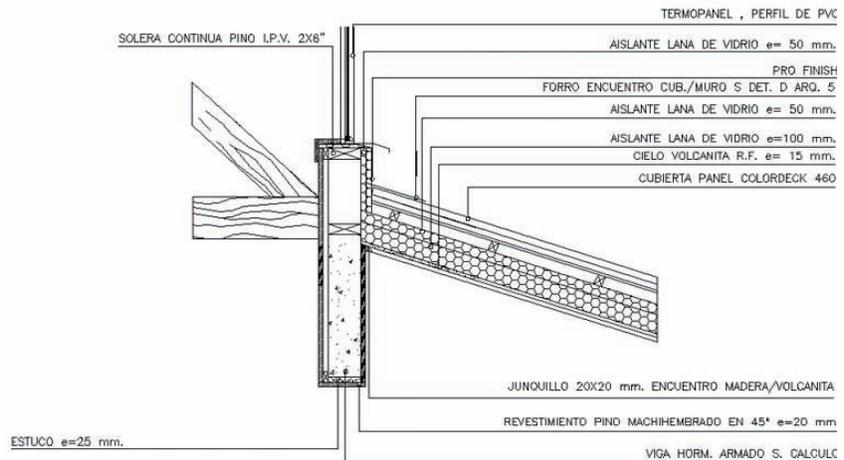


Figura 2.44. Detalle modificado encuentro ventana superior y cubierta. Escuela Francisco Valdés S., Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

Las mejoras consideraron reducir el flujo de calor en el punto de encuentro mejorando la aislación térmica y dándole continuidad a la protección térmica.

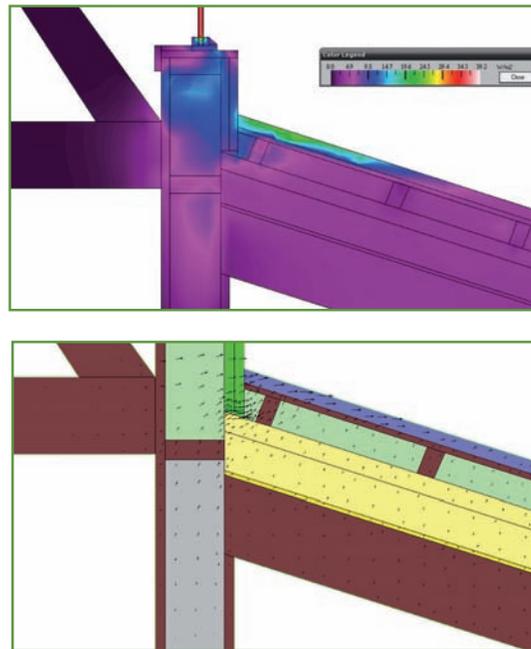
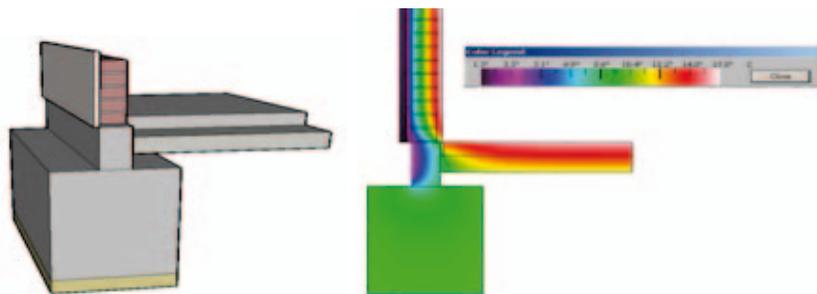


Figura 2.45. Detalle mejorado encuentro ventana superior y cubierta. Flujo de calor y flujo de vectores. Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

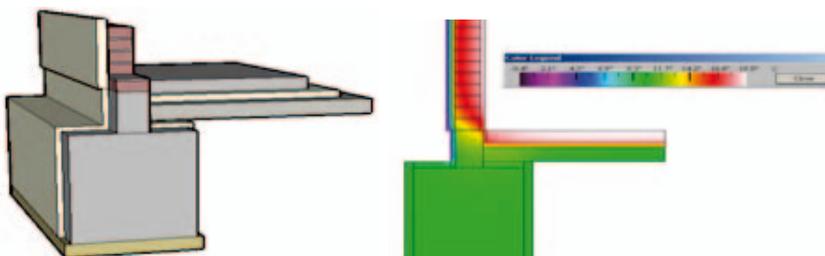
Para el caso del sobrecimiento, en la solución original se detectó que al someterlo a análisis térmico, éste perdía alrededor de 4°C producto de la unión muro-radier a través del sobrecimiento.



**Figura 2.46.** Detalle original encuentro muro-sobrecimiento-radier, Temperaturas. Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

Estas pérdidas de calor se generan en una zona donde las diferencias de temperatura y las condiciones de humedad relativa generan un alto riesgo de condensación superficial.

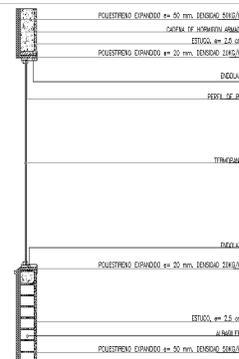
Para mejorar este encuentro se propuso aplicar aislación térmica tanto en muros como en radier y sobrecimiento, disminuyendo así considerablemente el flujo de calor en la zona de cambio de geometría, que era el punto más conflictivo. De esta manera se aportó mejor desempeño al muro.



**Figura 2.47.** Detalle modificado encuentro muro-sobrecimiento-radier, temperaturas. Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

A pesar de que se mantuvo en la zona de encuentro de radier con sobrecimiento de un flujo de temperatura identificado en las simulaciones, éste bajó en muros de 20 a 7 W/m<sup>2</sup> y de 36 a 10 W/m<sup>2</sup>, lo cual implica menores pérdidas globales de energía y menor riesgo de condensación. El complejo de techumbre consideraba originalmente aislación térmica bajo la cubierta metálica y entre las costaneras, cuestión que generaba puntos débiles térmicamente, como se visualiza en las imágenes de flujo de calor y de vectores.

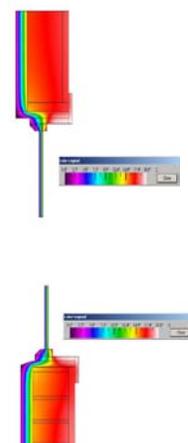
La propuesta de mejora consideró aislación exterior en base a poliestireno expandido en densidades altas y espesores diferentes en muros y rasgos de ventana. Las simulaciones dan cuenta de menores flujos de calor y temperaturas superficiales



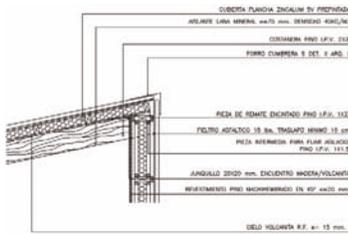
**Figura 2.48.** Situación modificada, corte.



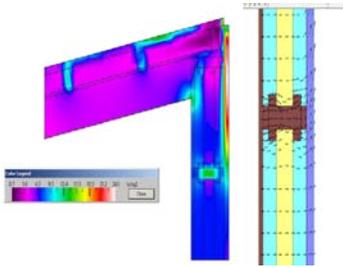
**Figura 2.49.** Situación modificada, Simulación flujo de calor, Therm.



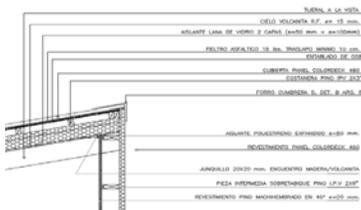
**Figura 2.50.** Situación modificada, Simulación temperaturas, Therm. Ventana típica, situación mejorada. Escuela Monseñor Francisco Valdés, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)



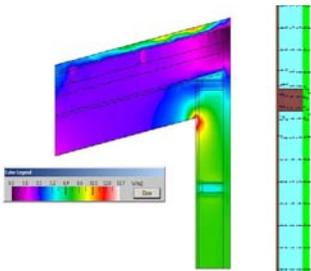
**Figura 2.51.** Figura 2. 27: Corte situación original, aislación por el interior del muro y entre costaneras en techumbre.



**Figura 2.52.** Figura 2. 40: Aumento de flujo de calor y vectores por interrupción de aislación.

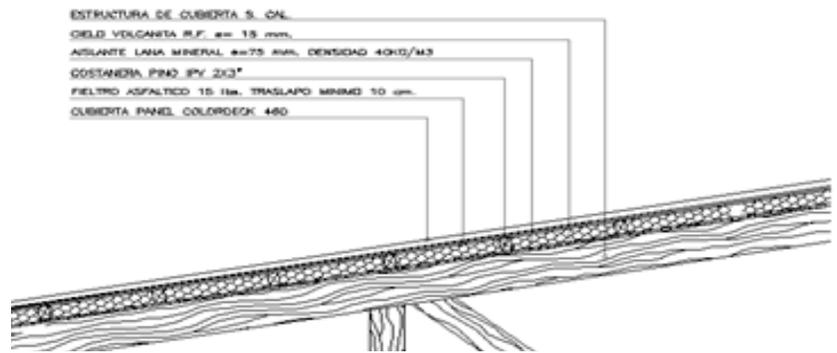


**Figura 2.53.** Figura 2. 39: Corte situación modificada, aislación por el exterior del muro y sobre costaneras de techumbre.

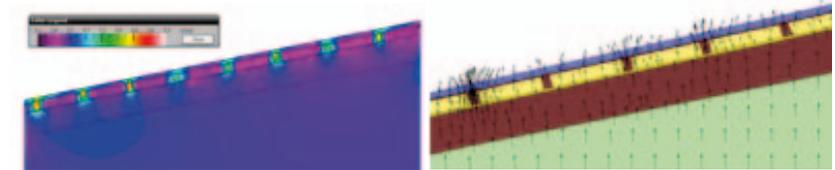


**Figura 2.54.** Figura 2. 24: Flujo de calor y vectores menor por aislación continua y exterior.

Encuentro muro-techumbre. Escuela Monseñor Francisco Valdés, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

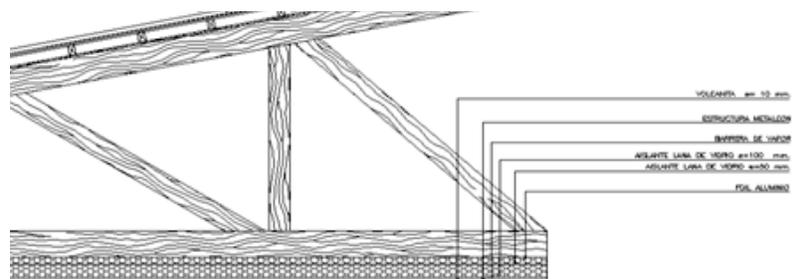


**Figura 2.55.** Detalle original complejo de techumbre. Escuela Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

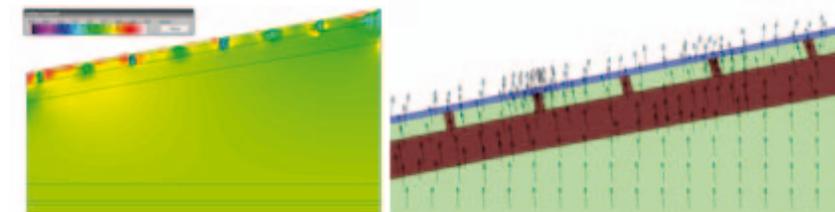


**Figura 2.56.** Detalle original complejo de techumbre. Flujo de calor y vectores. Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)

La modificación propuesta consideró generar un cielo falso bajo las cerchas definiendo una zona térmica más baja y regular, mejorando y aumentando la aislación en esa zona. De esta manera se evita que se generen puentes térmicos, lo cual se visualiza en las imágenes como un flujo menor de calor y un traspaso más homogéneo en la imagen de vectores.



**Figura 2.57.** Detalle modificado complejo de techumbre. Escuela Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue. (Fuente: Informe técnico Thiele & Sommerhoff consultores)



**Figura 2.58.** Detalle modificado complejo de techumbre. Flujo de calor y vectores. Escuela Monseñor Francisco Valdés., Curarrehue. (Fte: Inf. técnico Thiele & Sommerhoff)

## 2.5. Ventanas

La especificación apropiada de ventanas en un proyecto de arquitectura contribuye en gran medida a conseguir edificios energéticamente eficientes, seguros y confortables. Las ventanas, y todos los elementos transparentes que conforman la envolvente, permiten el ingreso de luz natural, pero también que sucedan otros intercambios que deben saber controlarse, inhibirse o aprovecharse según se trate, a saber: ganancias solares y pérdidas térmicas, flujos de aire en ambos sentidos, agua lluvias, ruidos y contaminantes atmosféricos, etc. La elección de la ventana se transforma así en una decisión de las más relevantes.

### Problemática Clave

Uno de los factores críticos son las prestaciones térmicas de las ventanas. Prestaciones o desempeños determinados por su comportamiento frente a los intercambios dinámicos de calor por transmisión y convección a través de su estructura. El traspaso de calor por transmisión, normalmente sintetizado a través del indicador transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ ) de la ventana, depende de las propiedades de conductividad térmica y ópticas de los materiales, sus espesores, cámaras de aire y diseño particular. El traspaso por convección, en tanto, se explica por el flujo de aire infiltrado a través de las juntas de unión de la ventana, depende del diseño de la perfilería, tipo de sellos y burletes, tolerancias entre hojas y marcos, entre otros factores. El flujo será mayor o menor dependiendo de su hermeticidad al aire, nombre que recibe su capacidad para oponerse a las infiltraciones de aire.

Las transmisión de calor es inducida por los diferenciales de temperatura interior-exterior del edificio, y las por convección, por diferenciales de presión producidos por la acción del viento, por la diferencia de temperatura interior-exterior y/o por la operación de aparatos de ventilación mecánica.

- Infiltración producida por el viento: resultado de la presión de viento sobre la fachada del edificio. Depende de la velocidad del viento incidente, la geometría del edificio y de su grado de exposición al viento (localización respecto de los edificios cercanos y la topografía y rugosidad del terreno).
- Infiltraciones por efecto de diferencia de temperatura: infiltración por efecto convectivo, también conocida como efecto chimenea o Stack, que se explica por la relación entre la temperatura y la densidad del aire: a mayor temperatura menor es la densidad del aire, por lo que menor será el peso que ejerce la columna de fluido que queda sobre la altura considerada de la grieta. En localidades en que la velocidad media del aire está sobre los 3 m/s prevalece el efecto de las presiones de viento sobre efecto de diferencia de temperatura.

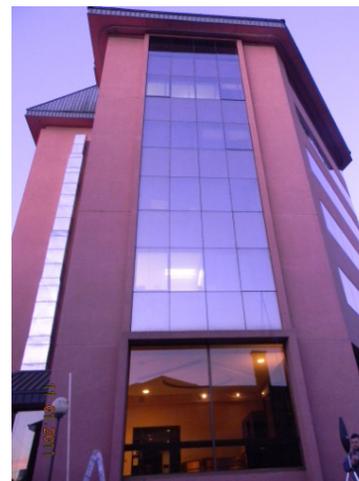


Figura 2.59. Figura 2. 1: Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Los Lagos, Puerto Montt.

#### Propósito

Eficiencia energética, confort térmico y acústico, disminución del riesgo de condensación.

#### Efecto

Mejorar el confort térmico y acústico de la edificación. Disminución de la demanda de calefacción.

#### Opciones

Tipo de ventana, tipo de vidrio, tipo de marcos, etc.

#### Coordinación

Diseño acústico, estrategias de ventilación natural.

#### Estrategias relacionadas

Calentamiento pasivo, diseño acústico.

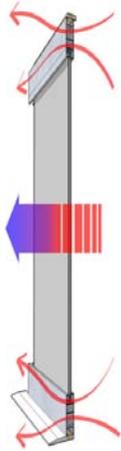


Figura 2.60. Mecanismos de traspaso de calor a través de las ventanas

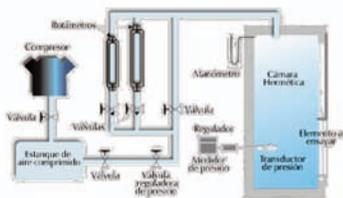


Figura 2.61. Esquema banco de ensayos de ventanas



Figura 2.62. Ensayo de ventanas

Desventajas de edificaciones con baja hermeticidad

**Calefacción:** Las pérdidas térmicas adicionales repercutirán en que un sistema de calefacción correctamente dimensionado pueda no ser capaz de alcanzar la temperatura requerida.

**Confort:** Las corrientes de aire y zonas frías localizadas pueden causar discomfort. En casos extremos, una infiltración excesiva puede generar espacios fríos e incomfortables durante las épocas de bajas temperaturas. Los edificios con baja hermeticidad pueden también aumentar la insatisfacción de sus usuarios.

**Riesgo de deterioro:** Las infiltraciones excesivas de aire pueden permitir que aire húmedo ingrese en la estructura, degradándola y reduciendo la efectividad del material aislante.

- Infiltración o exfiltración por sistemas mecánicos de ventilación: producida por la sobrepresión en el caso de un sistema de impulsión de aire o por la depresión producida por un sistema de extracción.

Es importante tener en cuenta, que en temporada de invierno en muchas zonas de la zona centro sur del país, especialmente en las más ventosas, las pérdidas por infiltración pueden superar con creces a las por transmisión.

## Hermeticidad al aire de las ventanas

La hermeticidad es el término genérico que se utiliza para describir la resistencia de la ventana a las infiltraciones de aire. Mientras mayor sea la hermeticidad a un determinado diferencial de presión a través de la envolvente, menor será la infiltración. La permeabilidad al aire en tanto es la propiedad física utilizada para medir la hermeticidad al aire de la ventana. Se define como el índice de traspaso de aire por hora por m<sup>2</sup> de área de ventana a un diferencial de presión de referencia de 100 Pascales (m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup>). Se suele también referir a metros lineales de juntas de unión a la misma presión (m<sup>3</sup>/h m).

Estos índices de infiltración se determinan mediante ensayo en un Banco de Infiltraciones según NCh892.Of2001. En función de estos índices las ventanas se clasifican en cuatro clases como se muestra en la siguiente Tabla, conforme establece la NCh888.Of2000.

Tabla 2.14 Clases de permeabilidad al aire de ventanas. Valores medidos a 100 Pa.

Tipo	Caudal máximo de aire por superficie de hoja (m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )	Caudal máximo de aire por metro lineal de junta (m <sup>3</sup> /h m)
60 a (mínimo)	60	12
30 a (normal)	30	6
60 a (especial)	10	2
60 a (reforzado)	7	1,4

(Fuente: NCh888.Of2000)

En la Tabla 2.14 se presenta un extracto de las características de hermeticidad de ventanas disponibles en el mercado nacional. Resume resultados de una muestra de 172 tipos de ventanas de aluminio y PVC, ensayadas entre los años 2010-2012 en el Banco de Infiltraciones de CITEC UBB en la Universidad del Bío-Bío. Trabajo realizado por encargo de distintos fabricantes locales.

**Tabla 2.15** Permeabilidad al aire de ventanas de aluminio y PVC según tipo de apertura

Tipo	Permeabilidad al aire a 100 Pa ( $m^3/h m^2$ )			
	Mínima	Máxima	Promedio	N° de casos
Abatir	0.2	6.6	3.4	2
Corredera 2 hojas (1 fija, 1 móvil)	0.7	44.8	12.9	112
Corredera 2 hojas móviles	6.8	113.9	23.4	29
Guillotina	3.8	28.6	19.7	12
Oscilo batiente	0.7	4.4	2.9	3
Proyectante	1.7	15.7	7.6	10
Proyectante do- ble contacto	1.3	11.2	4.5	4

(Fuente: Elaboración propia)

De la muestra se infiere que la forma de apertura determina mucha de la capacidad de la ventana para oponerse a las infiltraciones de aire. Es alta además la dispersión de valores entre ventanas de un mismo tipo y distintas líneas y fabricantes, lo que da cuenta también de altas diferencias en calidad de diseños y ejecución.

Se observa que las ventanas oscilo batientes presentan los mejores valores de hermeticidad, seguidas por las de abatir y proyectantes. Por contraparte las de corredera y guillotina son las menos herméticas. De la muestra, que reúne la mayoría de las líneas y productos ventanas disponibles en el mercado nacional, se deducen diferencias de hermeticidad de uno a ocho en todo el rango de tipos de ventanas considerados.

Estas diferencias se aprecian significativas y refuerzan la idea de una adecuada elección de las características permeables de las ventanas en un proyecto con objetivos de eficiencia energética. Definida las exigencias mínimas que debiera cumplir un proyecto en una zona determinada, el responsable del proyecto debiera exigir los certificados que den cuenta del cumplimiento de la exigencia.

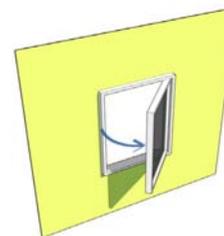
### Criterio de elección de las características de las ventanas

La gran diversidad climática presente en Chile es un factor que debe ser considerado al elegir y especificar ventanas para una determinada edificación. A continuación se explica un método para seleccionar ventanas en función de sus características térmicas y considerando las componentes transmisión y convección, además de exigencias mínimas para sus propiedades de resistencia al viento y estanqueidad al agua.

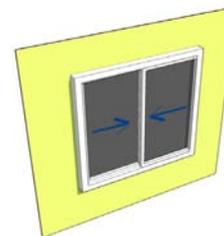
### Elección de características de transmisión térmica de la ventana

El primer criterio de selección es: la ventana debe tener una transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ ) certificada, igual o menor a la transmitancia térmica máxima recomendada por la NCh1079Of.2008 para

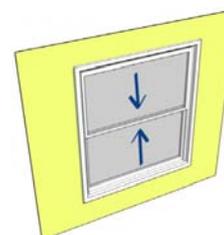
Permeabilidad al aire promedio de ventanas a 100 Pa ( $m^3/h m^2$ ) según tipo de apertura\*



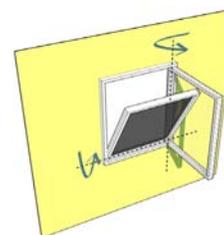
**Figura 2.63.** Ventana de abatir: 3.4  $m^3/h m^2$



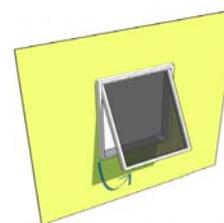
**Figura 2.64.** Ventana corredera:  
1 hoja móvil: 12.9  $m^3/h m^2$   
2 hojas móviles: 23.4  $m^3/h m^2$



**Figura 2.65.** Ventana guillotina :  
19.7  $m^3/h m^2$

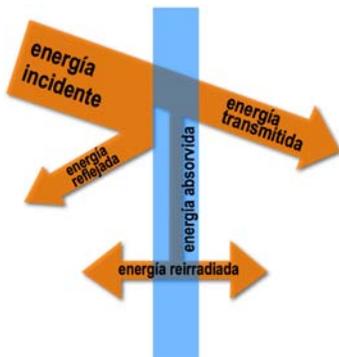


**Figura 2.66.** Ventana oscilo batiente:  
2.9  $m^3/h m^2$

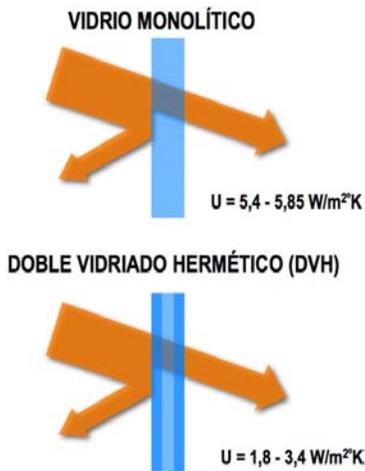


**Figura 2.67.** Ventana proyectante:  
7.6  $m^3/h m^2$  Proyectante de doble  
contacto: 4.5  $m^3/h m^2$

\* En base a muestra de ventanas ensayadas en el Banco de Infiltraciones de CITEC UBB.



**Figura 2.68.** Esquema que muestra la energía incidente en un cristal, la energía reflejada, absorbida, irradiada y transmitida hacia el interior.



**Figura 2.69.** Valores U típicos de diferentes tipos de vidrios

Ventajas del Doble Vidriado Hermético (DVH) respecto al vidrio monolítico.

Mejora el aislamiento acústico (cuando los vidrios tienen espesores diferentes)

- Mejora el poder aislante del elemento, reduciendo el riesgo de condensación superficial
- Reduce el efecto de "pared fría" aumentando el confort térmico junto a la ventana.
- Fabricado con vidrios de color o reflectivos, brinda protección solar y disminuye el riesgo de encandilamiento.

la localidad donde se emplace el edificio. La Tabla 2.16 define esos valores mínimos.

**Tabla 2.16** Transmitancia térmica máxima recomendada por zona climática para ventanas

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U (W/m²K)	5,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,4	2,4

(Fuente: NCh1079.Of2008)

El traspaso de calor por transmisión a través de las ventanas o muros cortina está determinado principalmente por la transmitancia térmica del vidrio utilizado, ya que su superficie expuesta es mucho mayor que la del marco o perfilería. La variación en el espesor del vidrio no genera variaciones apreciables en el valor U de la ventana o muro cortina, ya que siempre se utilizan espesores reducidos en comparación con espesores de otros materiales. Cambios más significativos se generan reduciendo la emisividad de los vidrios o utilizando doble o triple vidriado hermético.

El valor U de un vidrio simple, incoloro, de color o reflectante, de 4 a 10mm de espesor, fluctúa entre 5,4 y 5,85 W/m²K, lo que térmicamente es muy malo. Una solución compuesta por dos hojas de vidrio, separadas por una cámara de aire deshidratado o gas inerte, que es lo que se conoce como doble vidriado hermético (DVH), mejora sustancialmente la transmitancia térmica de la ventana o muro cortina. El valor U del DVH con cámara de aire de entre 6 y 18mm de espesor, varía entre 1,8 y 3,4 W/m²K, dependiendo del espesor del separador entre los cristales y del vidrio utilizado. La siguiente tabla muestra la transmitancia térmica de distintos tipos de vidrios disponibles en el mercado Chileno.

**Tabla 2.17** Valores U típicos para diferentes tipos de vidrios.

Grupo	Tipo	Vidrio (mm)	Cámara Aire (mm)	Transmitancia (W/m²K)
Simple	Claro	3	-	5.85
		4	-	5.8
Doble	Claro-Claro	4	6	3.3
		4	12	2.9
		4	18	2.7
		6	6	3.4
Doble reflectante	Claro	6	12	1.8
		6	12	1.8
		6	12	1.8
		6	12	1.8
Doble Baja emisividad	Claro	4	6	2.5
		6	6	2.4

La transmitancia térmica de la ventana, finalmente, es igual a la suma ponderada de la transmitancia térmica de los vidrios más la de los marcos. La transmitancia de los marcos, según materialidad y diseño puede ser significativamente distinta, no obstante el impacto térmico es casi siempre relativamente bajo. La reducción del

valor U nunca superan el 10% y dada la normalmente baja relación superficie vidrio/perfilería. Una estructura térmicamente protegido permite corregir puentes térmicos y reducir los efectos dañinos de la condensación de vapor acuoso en la ventana y alfeizar, lo que en algunas zonas del territorio nacional puede ser un problema importante.

### Elección de las características de hermeticidad al aire, estanqueidad al agua y resistencia al viento de la ventana

El segundo criterio de selección es: las ventanas deben cumplir con estándares de hermeticidad al aire, estanqueidad al agua y resistencia al viento certificados, según la ubicación geográfica y situación de exposición del edificio.

A continuación, se presenta un procedimiento para determinar el grado o clase deseable de las características físicas de las ventanas antes nombradas según dicho criterio. El método, cuyo enfoque es prestacional, se basa en parte en la Norma UNE 85-220-86 y fue desarrollado a través del proyecto Innova Chile N°C9CT-03. Se encuentra publicado en extenso en “Guía técnica para la prevención de patologías en las viviendas sociales” (Instituto de la Construcción, 2005) y extractos en los principales catálogos de productos de fabricantes de perfiles para carpinterías de vanos.

El método se construye a partir del conocimiento de las variables climáticas de viento y lluvia del lugar de ubicación de la ventana y de los factores de altura, exposición y entorno que condicionan las prestaciones de la ventana puesta en servicio. Utiliza de referencia información de variables climáticas recogidas de 24 estaciones meteorológicas ubicadas entre Arica y Punta Arenas. Se desarrolló con el propósito de servir de guía a los fabricantes de ventanas en la identificación de características y grado o clase que alcanzan sus productos, y de apoyo al desarrollo de nuevos productos más adecuados a los requerimientos climáticos del mercado geográfico al cual se destinan. De referencia también para proyectistas en la especificación precisa de características de ventanas, para demandarlas y exigir las correctamente.

Las características de estanqueidad al agua, permeabilidad al aire y de resistencia al viento de una ventana dependen, principalmente de:

- tamaño de la ventana. relación entre las partes practicables y fijas tipo y diseño de sellos y burletes
- tipo y forma de la perfilería
- diseño de las evacuaciones
- espesor y tipo de acristalamiento de la ventana.

En tanto, el grado o clase de dichas características son función de la ubicación geográfica, altura y entorno del edificio, del grado

Cálculo aproximado de la pérdida de calor a través de una ventana

Datos:

Área de ventana	: 1 m <sup>2</sup>
Transmitancia térmica U	: 5.5 W/m <sup>2</sup> K
Permeabilidad al aire a 100Pa	: 43,2 m/h m <sup>2</sup>
Temperatura interior Ti	: 20 °C
Temperatura exterior Te	: 5 °C

#### Bases de cálculo:

Pérdida por transmisión:

$$P_t = U A (T_i - T_e)$$

Pérdida por infiltración:

$$P_i = C_v Q_p (T_i - T_e)$$

Caudal de aire a la presión P:

$$Q_p = Q_{100} (P/100)^{2/3}$$

Caudal de aire a la presión de 100

Pascales:

Q<sub>100</sub>

Calor específico del aire C<sub>v</sub>:

0.34 W/ m °C

Cálculo de pérdidas a 4 Pascales:

Pérdidas por transmisión

$$Pt = 5.5 \times 1 \times (20 - 5) = 82,5 \text{ W}$$

Caudal a 4 Pascales

$$Q_{4pa} = 43,2 \times (4/100)^{2/3} = 5,05 \text{ m/h}$$

Pérdidas por infiltración:

$$Pi = 0.34 \times 5,05 \times (20 - 5) = 25,8 \text{ W}$$

¿Qué sucede bajo otras condiciones, como por ejemplo en la ciudad de Concepción?

Velocidad de viento (Km/h)	Pérdidas por transmisión (W)	Pérdidas por infiltración (W)	Pérdidas totales (W)
9,2 (1)	82,5	25,8	108,3
18,2 (2)	82,5	64,0	146,5
31,5(3)	82,5	133,0	215,5
(1) Velocidad en condición de calma, 10% del tiempo.			
(2) Velocidad media durante el mes de Julio.			
(3) Velocidad media en la dirección principal (N), 26% del tiempo			

Dentro de ciertas aproximaciones, se observa que en los casos críticos de invierno en Concepción, que coinciden con los eventos de mal tiempo y alta demanda de calefacción, las pérdidas por infiltración en ventanas de estas características de permeabilidad, puedan llegar a ser un 60% superiores a las por transmisión, que ya de por sí son altas.

de exposición o protección de la ventana y de las prestaciones de todo tipo (iluminación, ventilación, confort térmico y acústico), que la aplicación determine.

Con algunas modificaciones, el método considera los requisitos por clase o estándar que proponen las Normas Nacionales. La asociación de clases con localidades principales del país y situación de exposición, se deducen en parte de la comparación de las variables climáticas locales con las variables tipos que describe la Norma UNE 85-220-86 y en parte de la experiencia empírica y experimental recogida en el país para los propósitos de este desarrollo.

Los criterios que se exponen se refieren a la determinación de los parámetros básicos de las perfilerías exteriores convencionales a disponer en fachadas verticales. No se contemplan ni las ventanas en paramentos inclinados (integradas en cubiertas) ni las que forman parte de muros cortina (aunque puede afectar a las partes practicables de los mismos), ni las destinadas a compartimentación interior (como las mamparas), ni las carpinterías que dan a espacio público protegido (en galerías comerciales, recintos de exposiciones, terminales de transporte, etc.).

De igual forma, requieren estudios complementarios a lo que se establece en el presente manual; las perfilerías a disponer en edificios singulares, bien por la altura (superior a 50 m), por su situación geográfica (alta montaña) o sumamente expuesta (construcciones aisladas al borde del mar o lagos), en emplazamientos de alta sismicidad o sometidos a fuerte viento o tempestades (como por ejemplo en faros), o bien aquellas cuya menor dimensión exceda de tres metros.

## Zonificación en base a presiones de viento e intensidad pluviométrica

El método considera zonificaciones o agrupaciones de acuerdo a los siguientes parámetros climáticos:

**Presión básica de viento:** definida como la presión determinada por la velocidad máxima en intervalos de 10 min a 10 m de altura, en terreno abierto y llano, y cuyo valor no es superado en a lo menos 20 años. Se distinguen cuatro zonas según este criterio: A, B, C y D.

**Intensidad pluviométrica:** definida como la precipitación máxima de agua en una hora de una localidad y cuyo valor no es superado en a lo menos 20 años. Se distinguen tres zonas según este criterio: I, II y III.

**Presión media de viento:** definida como la presión determinada por la velocidad media en intervalos de 10 min a 10 m de altura, en terreno abierto y llano, y cuyo valor no es superado en a lo menos 20 años. Se distinguen tres zonas según este criterio: X, Y y Z.

**Tabla 2.18** Ciudades de Chile y zonas climáticas a las que pertenecen, para los efectos de identificar clases recomendadas.

Ciudad	Estación de referencia	Intensidad pluviométrica l/m <sup>2</sup> h	Velocidad viento máxima Km/h	Velocidad viento media Km/h	Zona de presión viento máxima	Zona intensidad pluviométrica ventanas	Zona de presión viento media
Arica	Arica-Chacalluta DMC	-	48	11.7	A	I	Y
Iquique	Iquique-Cavancha	-	33	6.5	A	I	X
Calama	Calama DMC <sup>1</sup>	-	83	25.1	B	I	Z
Antofagasta	Antofagasta-UNorte	-	67	14.3	B	I	Y
Copiapó	Copiapó DMC <sup>1</sup> -DGA	3.8	48	10.6	A	I	Y
Vallenar	Vallenar DMC <sup>1</sup>	4.9	65	4.4	B	I	X
Ovalle	Ovalle Aeródromo	10.6	89	6.8	C	II	X
La Serena	La Serena DMC <sup>1</sup>	9.1	65	5.8	B	II	X
Valparaíso (PA)	Valparaíso - Pta. Ángeles	11.7	83	10.8	B	II	Y
Valparaíso (BE)	Valparaíso – Belloto	S.I.	65	10.8	B	-	Y
Santiago (AMB)	Santiago – A. Merino	S.I.	83	3.2	B	-	X
Santiago (QN)	Santiago – Q. Normal	11.4	46	3.2	A	II	X
Santiago (CER)	Santiago – Cerrillos	S.I.	33	3.2	A	-	X
Rancagua	Rancagua DMC <sup>1</sup>	8.2	46	S.I.	A	II	-
Curicó	Curicó General Freire	13.6	82	8.9	B	II	X
Linares	Linares DOS	14.8	67	S.I.	B	II	-
Constitución	Constitución	22.7	83	7.0	B	III	X
Chillán	Chillán	18.2	78	9.1	B	III	X
Concepción	Concepción-Carriel Sur	20.0	110	18.2	C	III	Z
Temuco	Temuco – Manquehue	15.6	102	12.4	C	III	Y
Valdivia	Valdivia-Pichoy	16.5	83	S.I.	B	III	-
Osorno	Osorno	S.I.	74	10.3	B	-	Y
Puerto Montt	Puerto Montt	13.1	120	16.2	D	II	Y
Ancud	Ancud	22.4	115	19.5	D	III	Z
Puerto Aysén	Puerto Aysén DGA <sup>2</sup>	33.0	74	4.8	B	III	X
Coyhaique	Coyhaique - Tte. Vidal	12.9	93	S.I.	C	II	-
Punta Arenas	G.C.Ibáñez del Campo	10.3	120	19.3	D	II	Z

(Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección Meteorológica de Chile)

Los rangos por zona se establecen observando la dispersión de las distintas variables en las distintas localidades y de la experiencia internacional revisada. En la Tabla 2.18 se presentan las distintas localidades consideradas en la zonificación con sus parámetros climáticos característicos, estación meteorológica de referencia y tipo de zona. Cada localidad tiene asociada tres tipos de zona.

### Establecimiento de clases recomendadas

Las Tablas 2.19, 2.20 y 2.21 siguientes indican las clases de resistencia al viento, permeabilidad al agua y permeabilidad al aire recomendadas para ventanas, según la zona de presión básica de vientos, zona de intensidad pluviométrica y zona de presión media de vientos que corresponda a la localidad donde se emplaza el edificio.

El proyectista debiera primero Identificada las zonas que corresponde a la localidad donde se emplaza el edificio, lo que se hace utilizando la Tabla 2.18, luego, mediante el uso de las tablas de Clase, definir las clases recomendada para su proyecto.



**Figura 2.70.** Edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt (Zona SL)

#### Ejemplo de cálculo

Establecimiento de las características de resistencia al viento, estanquidad al agua y permeabilidad al aire de ventanas para el Edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt.

1. Tipificación de la construcción  
Corresponde a construcción de 5 pisos, ubicada en terreno expuesto.
2. Establecimiento de zonas  
Considerando como ciudad de referencia Puerto Montt, le corresponden los siguientes parámetros climáticos y zonas:

Intensidad pluviométrica	13.1 l/hm <sup>2</sup>
Velocidad máxima de vientos	120 km/h
Velocidad media de vientos	16,2 km/h
Zona de intensidad pluviométrica	II
Zona de presión básica de viento:	D
Zona de presión media de viento:	Y

### 3. Establecimiento de la clase de resistencia al viento de la ventana

De la Tabla 2.19, con zonas de presión de viento D y edificio de 5 pisos, corresponde: clase resistencia al viento: 15 v (reforzada) según NCh888.Of2000.

### 4. Establecimiento de la clase de estanquidad al agua de la ventana.

De la Tabla 2.20, con la clase estructural de la ventana, clase 15v, y la zona de intensidad pluviométrica II, corresponde: Clase estanquidad al agua: 20e.

### 5. Establecimiento de la clase de permeabilidad al aire de la ventana.

De la Tabla 2.21 con zona de intensidad media de viento Y en terreno expuesto y edificio de 5 pisos, corresponde: Clase de permeabilidad al aire: 60a (mínimo) según NCh888.Of2000.

Las clases establecidas corresponden a las prestaciones deseadas para las ventanas destinadas a la obra en cuestión. De esta forma, la autoridad revisora debería exigir los **certificados de ensayos correspondientes**, que den cuenta de ese cumplimiento mínimo. Así también, y en base a la experiencia recogida junto al SERVIU VIII Región, durante el desarrollo de este estudio, se deberían certificar lotes de ventanas en base a evaluaciones de muestras seleccionadas de dichos lotes.

**Tabla 2.19** Clase de resistencia al viento de ventanas por zonas de presión básica de vientos y ubicación de la construcción para edificios de distinta altura.

Zonas de presión básica de vientos	Emplazamiento construcción							
	Terreno Expuesto				Terreno Protegido			
	1-2 PISOS	3-5 PISOS	6-10 PISOS	11-20 PISOS	1-2 PISOS	3-5 PISOS	6-10 PISOS	11-20 PISOS
A	5v	7v	7v	7v	5v	5v	7v	7v
B	7v	10v	12v	15v	7v	7v	10v	12v
C	12v	15v	20v	20v	12v	12v	15v	20v
D	15v	20v	20v	20v	15v	15v	20v	20v

(Fuente: Instituto de la Construcción, 2005)

**Tabla 2.20** Clase de permeabilidad al agua de ventanas por zonas de intensidad pluviométrica y clase estructural de ventanas

Zona de Intensidad Pluviométrica	Clase de la ventana necesaria por viento									
	5v		7v		10v		12v		15v	
I	0		4e		10e		10e		10e	10e
II	4e		10e		15e		15e		20e	20e
III	10e		15e		20e		25e		30e	35e

(Fuente: Instituto de la Construcción, 2005)

**Tabla 2.21** Clase de permeabilidad al aire de ventanas por zonas de presión media de vientos y ubicación de la construcción para edificios de distinta altura<sup>2</sup>.

Zonas de presión media de vientos	Ubicación de la Construcción							
	Terreno Expuesto				Terreno Protegido			
	1-2 pisos	3-5 pisos	6-10 pisos	11-20 pisos	1-2 pisos	3-5 pisos	6-10 pisos	11-20 pisos
X	(-)	(-)	(-)	60a	(-)	(-)	(-)	(-)
Y	60a	60a	30a	30a	(-)	(-)	60a	60a
Z	60a	30a	30a	30a	60a	60a	30a	30a

(Fuente: Instituto de la Construcción, 2005)

El proyectista debe por lo tanto poner en relación el clima de la localidad con las características de las ventanas. Evaluar los tipos de vidrios -simple, doble, de baja emisividad, etc.- y tipos de ventanas a utilizar -de proyección, de abatir, oscilo batientes, correderas, etc.- y poner especial atención a las propiedades de transmitancia térmica y permeabilidad al aire de la ventanas. Deberá definir dimensiones y ubicaciones que optimicen el comportamiento energético de la edificación, asegurando en forma conjunta una adecuada iluminación de los espacios. Finalmente la elección de ventanas deberá tener en consideración y compatibilizar además los otros desempeños exigibles a las ventanas tales como los acústicos, de resistencia al viento y de estanquidad al agua.

<sup>2</sup> (-) significa que el parámetro permeabilidad al aire no es relevante para la elección de la ventana.

## 2.6. Infiltraciones de aire

Las infiltraciones de aire, denominación que recibe el paso de aire sin control a través de grietas ocultas y aberturas no previstas en la envolvente, inciden de manera importante en el comportamiento de los edificios. Generan cargas térmicas, de frío o calor según la temporada, que inciden en el desempeño energético del edificio y, además, sirven de transporte de ruidos y contaminantes atmosféricos que afectan el confort ambiental.

Es importante por lo mismo, dotar también a la envolvente de capacidad para limitar las infiltraciones de aire. Esta característica, conocida como hermeticidad, se consigue utilizando diseños, materiales y elementos que aporten al sellado de la edificación. Las preocupaciones críticas son básicamente dos: la calidad del sellado de juntas de unión y la calidad permeable al aire de ventanas, puertas y demás elementos de cierre presentes en la envolvente. Conceptualizaciones y decisiones correctas en ese sentido, ayudan a lograr edificios eficientes energéticamente, ahorrar energía, consecuentemente dinero y condiciones de confort ambiental mejoradas.

### Problemática clave

Todos los edificios necesitan la provisión de cierta cantidad de aire para asegurar el confort y seguridad de los usuarios, que se determina en función de las demandas de funcionamiento de sus distintos espacios. El flujo de aire nuevo sirve para remover olores, humedad, contaminantes propios de la ocupación humana y requerimientos de artefactos de combustión. Cuando este flujo sucede en forma controlada a través de medios y aperturas diseñadas para tal fin hablamos de ventilación.

Las infiltraciones de aire aportan también a las necesidades de ventilación, sin embargo, no deben confundirse. Las infiltraciones son intercambios de aire no controlados a través de grietas ocultas y juntas de unión no selladas, que ocurren por diferencias de presiones que inducen el flujo a través de las grietas. Estas diferencias de presiones pueden ser producidas por la acción de los siguientes mecanismos: por el viento, por la diferencia de temperatura interior-exterior o por la operación de aparatos de ventilación mecánica.

- **Infiltración producida por el viento:** resultado de la presión de viento sobre la fachada del edificio. Depende de la velocidad del viento incidente, la geometría del edificio y de su grado de exposición al viento (localización respecto de los edificios cercanos y la topografía y rugosidad del terreno).
- **Infiltraciones por efecto de diferencia de temperatura:** infiltración por efecto convectivo, también conocida como efecto chimenea o Stack, que se explica por la relación



Figura 2.71. Figura 2. 1: Imagen de ensayo de presurización en Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Atacama, Copiapó

#### Propósito

Eficiencia energética

#### Efecto

Reducción del gasto energético, mejora la satisfacción del usuario.

#### Opciones

Tipo de ventanas, sellos en la envolvente.

#### Coordinación

Diseño acústico, ventilación natural.

## Mecanismos inductores de flujos de aire en edificaciones

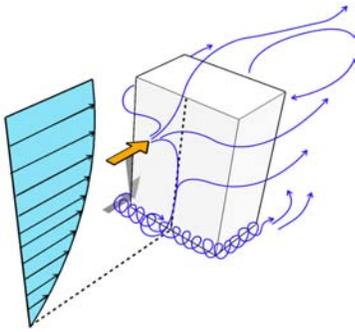


Figura 2.72. Figura 2. 2: Diferencias de presión producidas por el viento

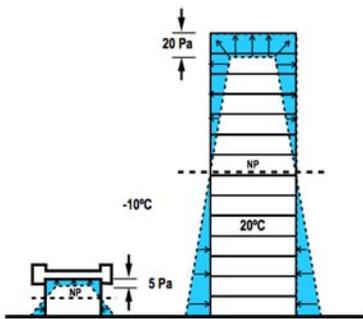


Figura 2.73. Figura 2. 3: Diferencias de presión producidas por diferencias de temperaturas.

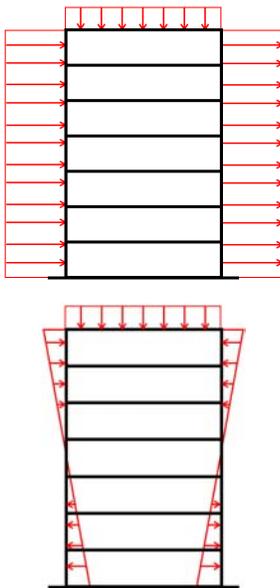


Figura 2.74. Ejemplos de diagramas de diferencias de presión producidas por sistemas mecánicos de ventilación.

entre la temperatura y la densidad del aire: a mayor temperatura menor es la densidad del aire, por lo que menor será el peso que ejerce la columna de fluido que queda sobre la altura considerada de la grieta.

En localidades en que la velocidad media del aire está sobre los 3 m/s prevalece el efecto de las presiones de viento sobre efecto de diferencia de temperatura.

- **Infiltración o exfiltración por sistemas mecánicos de ventilación:** producida por la sobrepresión en el caso de un sistema de impulsión de aire o por la depresión producida por un sistema de extracción.

Las infiltraciones son siempre el resultado de la acción combinada de más de un mecanismo inductor. En la práctica, además, el aire nuevo presente en un edificio es siempre parte de infiltraciones y parte de ventilaciones.

Las recomendaciones de diseño internacionales respecto a la hermeticidad al aire de los edificios apuntan hoy a construir edificios con el mayor grado de hermeticidad posible y atender las necesidades de aire nuevo controladamente. De forma ideal: aire nuevo en cantidad justa y en el momento y lugar necesario.

Una infiltración excesiva conlleva pérdidas de frío o calor innecesarias y discomfort producto de corrientes de aire. Hoy las exigencias de eficiencia energética y de calidad ambiental obligan, necesariamente, a preocuparse de la hermeticidad. El objetivo debiera ser “construir herméticamente y ventilar apropiadamente”. No existen edificios excesivamente herméticos, sin embargo, es esencial asegurar que exista siempre una ventilación suficiente.

## Consideraciones generales

La preocupación por la hermeticidad debe partir en la etapa de diseño. En esta etapa, se deben definir las exigencias o criterios de desempeños para la hermeticidad de la construcción. A partir de esa definición se conceptualiza una barrera de aire en la envolvente y se identifican sus puntos críticos: juntas de unión entre elementos constructivos, rasgos de vanos y pasadas o perforaciones de instalaciones diversas que cruzan la barrera. Es muy importante identificar tempranamente los puntos de atención y objetivos del trabajo de detalle posterior, para asegurar la continuidad de la barrera al aire.

Desarrollado el proyecto y resueltas las especificaciones técnicas para el sellado y hermeticidad de la construcción, el paso siguiente e igualmente importante es asegurar que estos detalles se ejecuten apropiadamente en la fase de construcción y, finalmente, verificar mediante ensayos el cumplimiento de las exigencias de hermeticidad. Es mucho más simple diseñar y construir una edificación hermética que intentar mejorar una construcción excesivamente permeable.

## Recomendaciones de diseño

### Establecer exigencias

Los documentos ordenadores de la edificación de la mayoría de los países desarrollados establecen exigencias para la hermeticidad de los edificios. En la práctica, se pide que la envolvente tenga la hermeticidad suficiente para limitar adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico, y proteja además el ambiente interior de la contaminación acústica y atmosférica. Estas exigencias se establecen en función del clima del territorio en que rigen y guardan estrecha relación además con las expectativas de calidad esperadas y las posibilidades tecnológicas y económicas. En Chile se encuentra en desarrollo un proyecto Fondef que busca establecer estas exigencias para todo el territorio nacional<sup>3</sup>.

Los indicadores internacionales a través de los cuales se miden estas exigencias son los siguientes:

Permeabilidad al aire, Pa (m/h/m<sup>2</sup>): aire filtrado por unidad de área de envolvente del edificio o recinto, sometido éste a una presión diferencial de 50 Pa.

$$Pa = Q50 / AE$$

Permeabilidad al aire, Pa (Vol./h) o (1/h): aire infiltrado por volumen del edificio o recinto, sometido éste a una presión diferencial de 50 Pa.

$$Pa = Q50 / V$$

Donde:

Q50: Flujo de aire filtrado a través de la envolvente referido a 50 Pa de presión diferencial, m/h

AE: Área de la envolvente o de parte de ella en la que se ha medido la permeabilidad. Incluye suelos, paredes y techos que bordean el volumen interno del edificio, o parte del mismo, m<sup>2</sup>.

V: Volumen interno del edificio o parte de él en que se ha medido la permeabilidad, m

Estos indicadores pueden ser medidos experimentalmente, como se explica más adelante, lo que ayuda a una mejor comprensión del fenómeno de las infiltraciones y, decididamente, a mejorar los diseños y los procesos de sellado y hermeticidad de edificio.

<sup>3</sup> Proyecto Fondef D10 I 1025: Establecimiento de clases de infiltración aceptable para Chile. 2012-2013. Proyecto ejecutado por CITEC UBB y DECON UC con el mandato de los Ministerio de Obras Públicas y de la Vivienda.

### Desventajas de edificaciones con baja hermeticidad

#### Calefacción

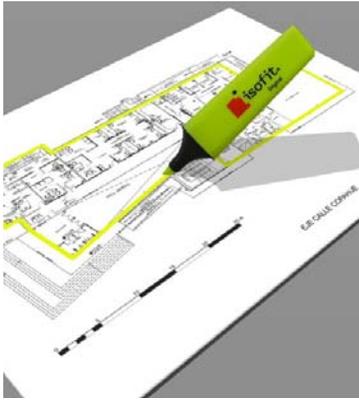
Las pérdidas térmicas adicionales repercutirán en que un sistema de calefacción correctamente dimensionado pueda no ser capaz de alcanzar la temperatura requerida.

#### Confort

Las corrientes de aire y zonas frías localizadas pueden causar disconfort. En casos extremos, una infiltración excesiva puede generar espacios fríos e incomfortables durante las épocas de bajas temperaturas. Los edificios con baja hermeticidad pueden también aumentar la insatisfacción de sus usuarios.

#### Riesgo de deterioro

Las infiltraciones excesivas de aire pueden permitir que aire húmedo ingrese en la estructura, degradándola y reduciendo la efectividad del material aislante.



**Figura 2.75.** Identificar en plantas y cortes la línea de la barrera de aire

### Vías de ocurrencia de infiltraciones

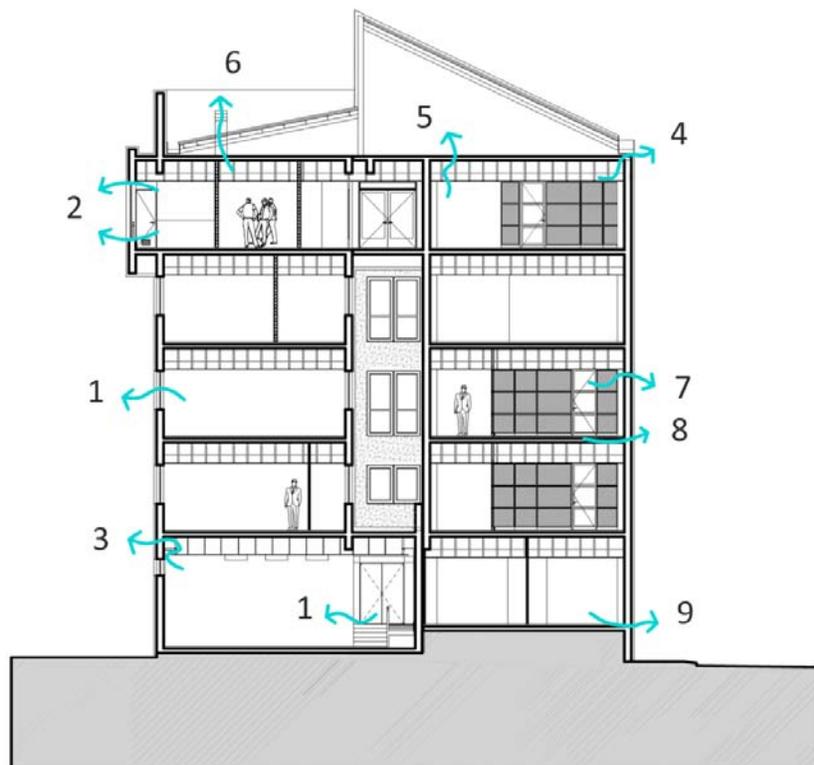
- 1 Ventanas o puertas poco estancas
- 2 Rendijas alrededor de las ventanas
- 3 Vías a través de espacios en el pavimento/cielo hacia e interior del muro y luego hacia el exterior
- 4 Rendijas en la unión cielo-muro a la altura del alero
- 5 Perforaciones a través del cielo para el paso de instalaciones
- 6 Ductos de ventilación que atraviesan el cielo/techumbre
- 7 Aireador inserto en el muro o extractor en baños
- 8 Rendijas alrededor de las instalaciones de alcantarillado en baños
- 9 Rendijas alrededor de la unión muro-pavimento
- 10 Espacios en y alrededor de instalaciones eléctricas.

### Establecer la ubicación de la barrera de aire

La línea de la barrera de aire debe establecerse en la fase temprana del diseño. La forma de hacerlo, es marcar en plantas y cortes una línea roja continua alrededor del edificio, pasando a través de todos los elementos constructivos e instalaciones que separan los espacios calefaccionados de los que no lo son. El paso posterior es identificar aquellos puntos y lugares donde la línea pierde su continuidad y marcarlos como puntos sujetos de preocupación.

### Identificar las vías de ocurrencia de infiltraciones

Para evitar la ocurrencia de infiltraciones es necesario conocer dónde pueden ocurrir las fugas de aire. La siguiente figura muestra las vías más comunes a través de las cuales se producen infiltraciones de aire.



**Figura 2.76** Vías donde comúnmente se producen infiltraciones de aire en edificios (ver barra lateral).

Además, es necesario identificar las áreas donde se requieren detalles adicionales para asegurar un buen diseño y posterior construcción de la barrera de aire, indicando en los detalles constructivos la ubicación de los ítems críticos respecto a la hermeticidad. Siempre que se preste atención y se detallen adecuadamente las uniones, la fase principal de la construcción de un edificio proporcionará una adecuada hermeticidad.

A continuación se entregan recomendaciones generales a considerar para disminuir la ocurrencia de infiltraciones en diferentes elementos constructivos:

### Pisos en contacto con el terreno

La existencia de rendijas y grietas en el piso pueden provocar que el aire se filtre al interior de la edificación. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en radieres, ya que al curar el hormigón se contrae, separándose de los muros. Si bien estas pequeñas grietas no conllevan necesariamente un riesgo estructural, sí generan vías para el paso del aire. Es importante entonces asegurar la continuidad de la barrera de humedad (y simultáneamente de aire) bajo el radier y su retorno hacia los muros. Es necesario además sellar posteriormente la unión entre el radier y el muro.

### Pisos ventilados

Los pisos suspendidos de madera poseen muchos intersticios en las uniones entre piezas, todas las uniones con los muros (internos y externos) y alrededor de los ductos de instalaciones. El aire puede filtrarse a través de estos intersticios y descender hacia el espacio no calefaccionado bajo el pavimento. Placas y tablas de mayores áreas y uniones machihembradas pueden reducir el paso del aire, pero es esencial sellar todos los espacios y rendijas antes de colocar el revestimiento de piso.

### Ventanas y puertas

Es común encontrar intersticios entre el marco de la ventana o puerta y el muro. Por lo tanto, es importante especificar sellos entre estos dos elementos, el cual debe generar continuidad con la barra de aire del muro, particularmente en alféizares.

Las infiltraciones pueden ocurrir también a través de intersticios entre el marco y la hoja, y alrededor de la unión entre el vidrio y la hoja. El tipo de apertura de una ventana influye también en el grado de permeabilidad al aire de la misma. Por lo tanto, debe especificarse ventanas y puertas certificadas, eligiendo el grado de permeabilidad correspondiente a la ubicación geográfica y situación de exposición del edificio.

Otra vía de infiltración común ocurre cuando existen espacios, en algunos casos considerables, entre la parte inferior de una puerta exterior y el pavimento, especialmente en puertas correderas.

### Muros y revestimientos

Los muros exteriores de albañilería, y especialmente los de bloques de hormigón liviano, poseen grados de porosidad variados, permitiendo el paso del aire a través de ellos. La utilización de estucos mejora

Vías de ocurrencia de infiltraciones y recomendaciones de diseño

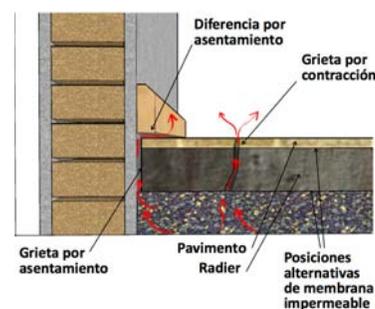


Figura 2.77. Vías de ocurrencia de infiltraciones en pisos en contacto con el terreno

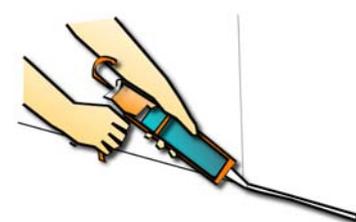


Figura 2.78. Sello de unión entre muro y radier.

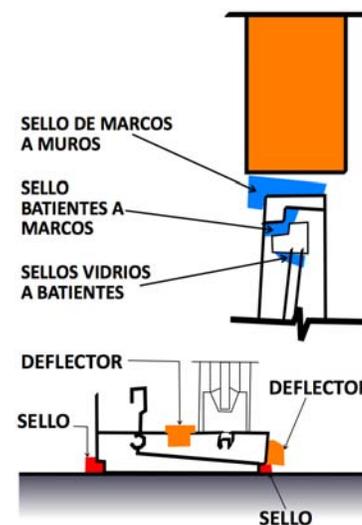


Figura 2.79. Sellos en ventanas y en encuentro con el muro

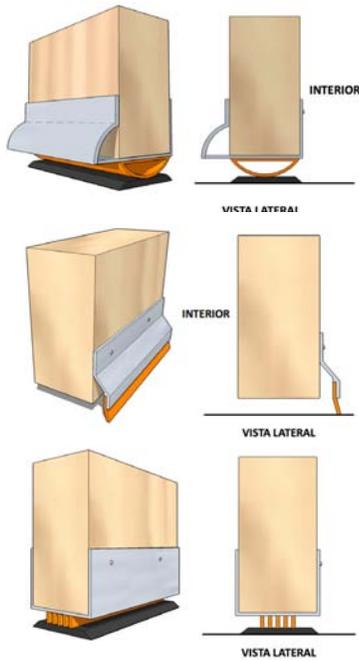


Figura 2.80. Limitación del flujo de aire bajo puertas.



Figura 2.81. Sello alrededor de ductos de instalaciones

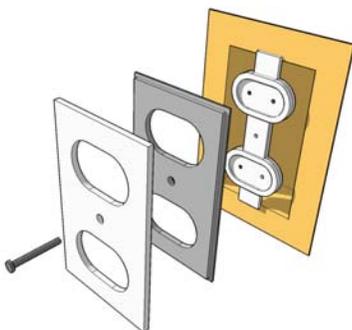


Figura 2.82. En accesorios de instalación eléctrica, colocar burletes entre la salida de la instalación y la tapa que los cubre.

la hermeticidad de este tipo de muros. Las uniones con mortero mal ejecutadas también generan vías al paso del aire, por lo que deben ser supervisadas en obra, cuidando su correcta ejecución.

Si los revestimientos del tipo placas no se han sellado en las uniones con el cielo o el piso, al igual que entre placa y placa, el aire puede filtrarse a través de estos espacios, por lo que debe especificarse el uso de cubrejuntas, como por ejemplo huinchas adhesivas, para sellar estas uniones.

### Ductos e instalaciones que penetran la barrera de aire

Los orificios en la barrera de aire son comunes alrededor de los ductos de agua, gas, ductos de ventilación de calderas y tuberías de instalaciones eléctricas que pasan a través de los muros, pisos y cielos. Por lo tanto, deben especificarse sellos alrededor y en los puntos de entrada de las instalaciones siempre que se atraviese la envolvente, y se debe cuidar su ejecución en obra.

Las instalaciones de iluminación –y los espacios alrededor de ellas– pueden ofrecer una vía hacia el interior de la techumbre e incluso hacia el espacio entre el cielo y el piso siguiente. El aire puede fugarse al exterior indirectamente desde este espacio a través de intersticios en los muros externos (como aquellos alrededor de las vigas que penetran la barrera de aire) y a través de uniones mal ejecutadas en estucos o morteros.

### Evaluación de exigencias de hermeticidad

Una vez esté terminada la obra, se debe verificar el cumplimiento de las exigencias de hermeticidad y calidad del sellado del edificio. Se comprueba en este caso, mediante ensayos, que la hermeticidad al aire de la envolvente del edificio se comprenda dentro de las clases aceptadas de hermeticidad al aire en la localidad en que se ubica el edificio. Estas exigencias podrán estar plasmadas en reglamentos o contratos de ejecución de diseños y obras.

Para la ejecución del ensayo existen varias técnicas, la más utilizada es la de presurización según UNE-EN 13829. El método consiste en generar una diferencia de presión constante entre el interior y el exterior del edificio, mediante un aparato de medición normalizado denominado “Blower Door”. Éste consta de un ventilador mecánico con un diafragma de reducción de flujo, medidores de caudal, presión diferencial y temperatura del aire, dispositivos de control y un software de procesamiento de datos. El ventilador está dispuesto en un bastidor puerta, el cual reemplaza una de las puertas del recinto al momento de hacer las pruebas.

### Hermeticidad al aire de edificios en Chile

Uno de los objetivos del proyecto Innova Chile N°09 CN14-5706 fue analizar, monitorizar y evaluar el desempeño energético de distintos edificios públicos diseñados con y sin criterios de eficiencia

energética. En este contexto, se realizaron ensayos de hermeticidad al aire en 10 edificios públicos<sup>4</sup> en distintas localidades de Chile, cuyos resultados se muestran en la siguiente Tabla:

**Tabla 2.23** Cambios de aire hora a 50 Pascales (n50) medidos en los edificios sujetos a evaluación en proyecto Innova Chile N°09 CN14-5706.

Edificio	n 50 (vol/h)
Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Antofagasta, Antofagasta	8,2
Edificio Escuela Rucamanque de Reigolil, Curarrehue	17,4
Colegio e Internado Monseñor Francisco Valdés Subercaseaux, Curarrehue	6,6
Edificio de Oficinas Policía de Investigaciones, Puerto Montt	5,7
Edificio Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Los Lagos, Puerto Montt	32,0
Edificio Escuela Teniente Merino, Cochrane	4,2
Edificio Escuela Gabriela Mistral, Aysén	7,8

La permeabilidad al aire medida en las construcciones que se citan está entre 1,5 y 10 veces más alta que la máxima permitida en países europeos, que se sitúa en torno a los 3 Vol./h. En dos de los casos además los valores límites se superan notoriamente.

La hermeticidad al aire de las edificaciones es un tema regulado en la mayoría de los países desarrollados, cuyas ordenanzas de construcción establecen valores límites progresivamente más estrictos. En Chile se espera contar en el corto plazo con disposiciones que regulen dicha materia. Avances considerables y seguros en los objetivos país de mejorar la eficiencia energética de sus edificios, se conseguirán sólo si se consigue mejorar también la hermeticidad de la construcción.

## Glosario

**Aislación térmica:** Capacidad de oposición al paso de calor de un material o un conjunto de materiales y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior.

**Cámara térmica:** Banco de ensayo utilizado para determinar el valor de transmitancia térmica de un elemento constructivo bajo régimen estacionario la que reproducen condiciones de contorno convencionales de una probeta entre dos ambientes con temperaturas de aire conocidas.

<sup>4</sup> Por razones técnicas y/o debido a características de la edificación, 3 de estos edificios no pudieron ser evaluados.

**Tabla 2.24.** Valores límite de hermeticidad al aire para envolventes de edificios normalizados a 50 Pa.

Pais	Criterio de diferenciación	Hermeticidad al aire mínima a 50 Pa
Alemania Austria Letonia	Con ventilación natural Con ventilación mecánica	3 vol/h 1.5 vol/h
Bulgaria	Estanqueidad alta	< 2 vol/h
	Estanqueidad media	2 – 5 vol/h
	Estanqueidad baja	> 5 vol/h
Noruega	Todos los edificios	3 vol/h
Eslovenia	Con ventilación natural	3 vol/h
	Con ventilación mecánica	2 vol/h
Lituania	Edificios públicos	4m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Inglaterra	Todos los edificios	10m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Estonia	Inmuebles pequeños	6 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
	Inmuebles de gran tamaño	3 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Bélgica	Todos los edificios	12m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>

Fuente: BPIE, 2011

**Condensación intersticial:** cambio de fase de vapor acuoso a líquido que se produce en el interior de un elemento constructivo, cuando éste se encuentra bajo la temperatura de punto de rocío.

**Condensación superficial:** cambio de fase de vapor acuoso a líquido que se produce en la superficie de un elemento constructivo, cuando éste se encuentra bajo la temperatura de punto de rocío.

**Conducción:** proceso de transferencia de energía calórica que se presenta en cuerpos solidos de manera continua de una zona de mayor temperatura a una de menor temperatura. En una escala atómica como el intercambio de energía cinética entre moléculas, donde la partículas de menos energía ganan energía al chocar con partículas más energéticas.

**Conductividad térmica ( $\lambda$ ):** propiedad que describe la cantidad de energía que fluye durante 1 segundo a través de 1m<sup>2</sup> de material, que tiene 1m de espesor, cuando existe una diferencia de temperatura de 1°K entre las dos caras.

**Confort térmico:** Manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente.

**Convección:** proceso de transferencia de energía calórica que se produce entre un fluido y una superficie, cuando una capa de fluido se pone en contacto con una superficie que posee una mayor temperatura.

**DVH (Doble Vidriado Hermético):** solución constructiva compuesta por dos hojas de vidrio, separadas por una cámara de aire deshidratado o gas inerte, que mejora sustancialmente la transmitancia térmica de la ventana o muro cortina.

**Efecto convectivo, chimenea o stack:** Es el movimiento de aire entre el interior y el exterior de edificios o componentes de los mismos, que ocurre debido a diferencias de densidad entre el aire interior y exterior, que a su vez son producidas por diferencias de temperatura y humedad. Estas diferencias producen que el aire ingrese a través de algunos componentes del edificio, y salga a través de otros, generando un flujo de aire continuo. Mientras mayor sea la diferencia térmica y la altura de la estructura, mayor será dicho efecto.

**Emisividad:** capacidad relativa de una superficie para radiar calor. Los factores de emisividad van de 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%).

**Envolvente térmica:** Se compone de los elementos constructivos configurantes del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior, y los elementos que subdividen el espacio interior separando los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el exterior.

**Exfiltración:** intercambio de aire no controlado desde el interior hacia el exterior de una edificación a través de grietas, porosidad y otras aperturas no intencionales en la envolvente del edificio.

**Hermeticidad al aire:** término genérico para describir la resistencia de la envolvente del edificio a las infiltraciones. Mientras mayor sea

la hermeticidad a un determinado diferencial de presión a través de la envolvente, menor será la infiltración.

**Imágen termográfica:** Imagen producida por un sistema un sistema sensible a la radiación infrarroja y que representa la distribución de temperatura radiante aparente sobre una superficie

**Infiltración:** intercambio de aire no controlado desde el exterior hacia el interior de una edificación a través de grietas, porosidad y otras aperturas no intencionales en la envolvente del edificio.

**Isoterma:** Representación gráfica por medio de curvas que unen puntos en una superficie que presentan los mismos valores de temperatura.

**Permeabilidad al aire:** propiedad física utilizada para medir la hermeticidad al aire de la envolvente de un edificio. Se define como el índice de traspaso de aire por hora por m<sup>2</sup> de área de envolvente a un diferencial de presión de referencia, por lo general 50 Pascales, expresado en m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> o en cambios de aire por hora expresado en Vol/h o 1/h.

**Puente Térmico:** Aquella parte de un elemento constructivo en que su resistencia térmica, normalmente uniforme, se ve significativamente disminuida.

**Punto de Rocío:** Temperatura en la que el vapor de agua contenido en el aire inicia el proceso de condensación debido a que alcanza la saturación.

**Resistencia térmica (R):** Es la propiedad inversa a la conductividad, es decir,  $1/\lambda$ .

**Temperatura radiante:** cuantificación del calor que emiten por radiación los elementos del entorno.

**Transmitancia térmica (U):** También conocido como valor U, se refiere al flujo de calor que pasa por unidad de área de un elemento constructivo y por el grado de diferencia de temperatura entre dos ambientes que se encuentran separados por dicho elemento.

**Valor U:** Ver transmitancia térmica.

## Bibliografía

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1994). Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo. UNE 92051:1994. Madrid, España .

Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2011). Europe's Buildings under the Microscope. Bruselas, Bélgica: BPIE.

Cámara Chilena de la Construcción. (2012). Recomendaciones técnicas para la especificación de ventanas. Santiago, Chile: Achival.

Centro de Energía de Iowa. Hermeticidad, aislamiento y ventilación de la casa. Serie hogar 1. [en línea]. Ames, USA: Keep warm Illinois. Disponible en: <[http://www2.illinois.gov/KeepWarm/es/Documents/Illinois\\_keepwarm-s.pdf](http://www2.illinois.gov/KeepWarm/es/Documents/Illinois_keepwarm-s.pdf)> [consulta: 25 marzo 2012]

Comité técnico AEN/CTN 100. (1999). Prestaciones térmicas de edificios Transmisión de calor por el terreno Método de Cálculo UNE-EN ISO 13370. Madrid, España: AEONOR

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) Cámara Chilena de la Construcción. (2008). Aislación térmica exterior: Manual de diseño para soluciones en edificaciones, Santiago: CDT.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) Cámara Chilena de La Construcción, (2008). Aislación térmica exterior: Manual de diseño para soluciones en edificaciones, Santiago: CDT.

Energy saving trust. (1997). Improving air tightness in dwellings. London, UK.

Indalum. (2006). Consideraciones técnicas para la selección de una ventana térmica. Santiago, Chile: Indalum.

Instituto de la Construcción. (2005). Guía técnica para la prevención de patologías en las viviendas sociales. Santiago, Chile: Instituto de la Construcción.

Instituto Español de Normalización IRANOR (España). (1986). Criterios de elección de las características de las ventanas relacionadas con su ubicación y aspectos ambientales UNE 85-220-86. Madrid, España.

Instituto Nacional de Normalización INN (Chile). (2008). Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. NCh1079.Of2008. Santiago, Chile.

Jaggs, M. y Scivyer, C. (2011). Airtightness in commercial and public buildings. 3a ed. Watford, UK: BRE Trust.

Ministerio de Vivienda de España, (2006). Código Técnico de la Edificación, Madrid, España.

Puentes Térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales . Parte 1: Métodos generales de cálculo. ISO 10211-1

Puentes Térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales . Parte 2: Puentes térmicos lineales. ISO 10211-2

Puentes Térmicos en edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto. ISO 14683.

Thermal Bridges in building construction – Linear thermal performance of buildings –Heat Transfer via the ground –Calculation methods (ISO/FDIS 13370:1998). EN 13370:1998.

Thermal performance of buildings –Heat Transfer via the ground – Calculation methods (ISO/FDIS 13370:1998). EN 13370:1998.

Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance –Part 1: Simplified method. EN ISO 10077-1:1999

# 3. Estrategias de Calentamiento Pasivo

*Se recomienda considerar la utilización de estrategias de calentamiento pasivo (en particular de captación solar) en las zonas 6-Sur litoral, 7-Sur Interior, 8-Sur extremo y 9-Andina. Es posible también aplicar estas estrategias en las zonas 2-Norte Desértico, 3-Norte Valles Transversales, 4- Centro Litoral y 5-Centro Interior, siempre que el uso del edificio no genere demasiadas ganancias internas, y considerando estrategias para evitar sobrecalentamiento en verano.*

Las estrategias de calentamiento pasivo corresponden a aquellas que se generan para la época de invierno en climas templados y cuyo objetivo es aprovechar aquellas ventajas del clima de invierno, en particular el asoleamiento, y además protegerse de las desventajas, en particular de las bajas temperaturas.

Para poder establecer estrategias de calentamiento pasivo es necesario conocer bien las distintas formas en que se genera calor en los edificios. Normalmente en la mayoría de las edificaciones públicas, tal como edificios de oficinas y establecimientos educacionales, existen altas cargas de calor internas generadas por equipos, iluminación y ocupantes. Esta es una importante diferencia entre edificios residenciales y edificios no-residenciales, que define que en muchos climas los edificios no-residenciales funcionen en régimen de enfriamiento durante todo el año.

Las estrategias principales de calentamiento pasivo de edificaciones son las siguientes (de Herde, 1997):

**Captar:** La energía solar en forma de radiación puede ser captada por el edificio y transformada en calor. Esta captación puede ser directa o indirecta.

**Conservar:** Es necesario mantener el calor dentro de los recintos, para esto es necesario aislar la edificación del exterior. Las estrategias de conservación del calor se desarrollaron en extenso en el Capítulo 2: Diseño de la envolvente.

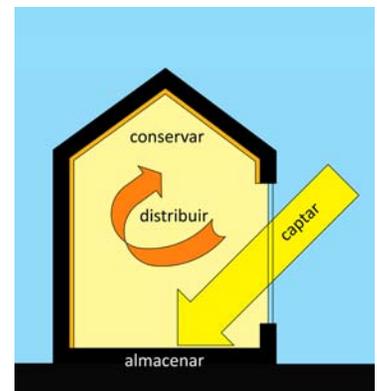
**Almacenar:** La masa térmica de las edificaciones, dada por su materialidad, contribuye a almacenar calor durante el día para emitirlo durante la tarde y noche.

**Distribuir:** El calor captado deberá distribuirse, de manera que llegue a distintos recintos del edificio, lo que puede realizarse en forma natural o forzada.

Las estrategias para captar calor pueden incluir formas tanto directas como indirectas o aisladas.



**Figura 3.1.** Captación de radiación solar en Edificio Escuela Gabriela Mistral, Aysén (Zona 8 SE)



**Figura 3.2.** Estrategias de calentamiento pasivo:

### 3.1. Ganancias Solares Directas

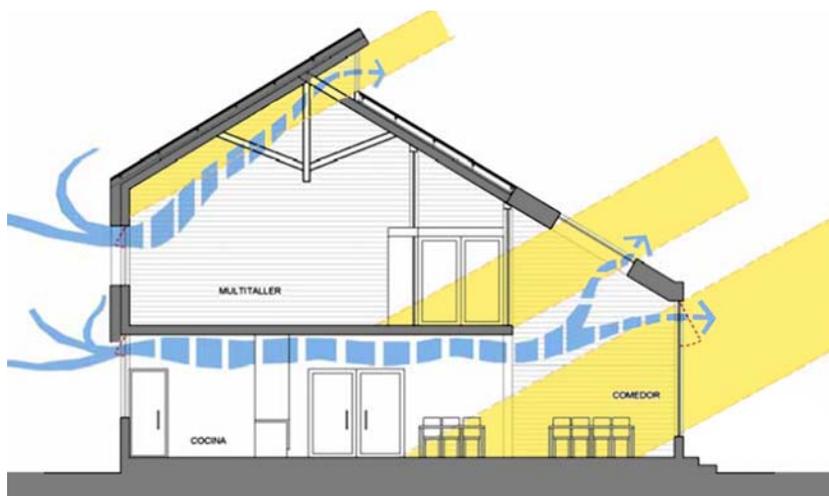
*Las ganancias solares directas pueden ser de utilidad para el calentamiento de recintos durante el invierno, especialmente en la zona 6-Sur Litoral, 7-Sur Interior, 8-Sur Extremo y 9-Andina.*

Es conocida como la forma más simple y de menor costo para aprovechar la energía solar para generar calor. Durante el invierno, el sol atraviesa las superficies vidriadas orientadas al norte y éste es absorbido al interior de los recintos por la masa térmica de los materiales.



**Figura 3.3.** Captación solar directa en Escuela Gabriela Mistral, Aysén (zona 8 SE)

La captación solar directa es muy efectiva en edificios con una buena envolvente; que considere aislación térmica, masa térmica y ventanas de buena calidad. Esta estrategia es aplicable en zonas climáticas que se caracterizan por bajas temperaturas en invierno. No es recomendable en edificios públicos emplazados en climas calurosos, ya que éstos por sus altas ganancias internas tienden fácilmente a sobrecalentarse. En estos casos se recomienda utilizar protecciones solares para controlar la entrada de los rayos solares al edificio, y con ello evitar el sobrecalentamiento en verano.



**Figura 3.4.** Captación directa a través de espacio solar integrado, y almacenamiento en piso con masa térmica. Comedor Escuela Teniente Merino, Cochrane (zona 8 SE)  
(Fuente: Modificado de Roldan Rojas)

---

#### Propósito

Calentamiento, confort térmico

#### Efecto

Eficiencia energética, satisfacción del usuario

#### Opciones

Tamaño de ventanas, tipo de vidrio, protección solar, acumuladores de masa térmica, control

#### Coordinación

Enfriamiento, iluminación, calefacción activa, materialidad, control por parte del usuario, aislación térmica, diseño de interiores

## Problemática clave

Es necesario considerar que estas estrategias funcionan bien siempre que exista radiación solar directa sobre elementos con masa térmica. Por el contrario, esta estrategia no funcionará de la mejor manera si el clima se caracteriza por presentar una cantidad importante de días nublados durante el invierno. De igual manera se debe cuidar que los elementos de masa térmica, normalmente pisos, no tengan revestimientos aislantes que disminuyan su capacidad de acumular calor.

La correcta orientación de los espacios es relevante para la efectividad de la captación directa, ya que se debe considerar la trayectoria solar y priorizar la ubicación de los espacios de mayores requerimientos de habitabilidad, hacia el norte. Los espacios orientados al norte además recibirán mayor cantidad de iluminación natural directa. Se recomienda ubicar los espacios con menor ocupación o que no necesiten iluminación directa, tal como bodegas, baños, áreas de servicio y circulaciones, al sur del edificio. Se debe considerar que el sol de la mañana, debido a su inclinación, no proporciona tanto calor como el sol del mediodía (al norte), y que el sol poniente puede causar problemas de deslumbramiento y sobrecalentamiento.

Es importante considerar que un área de ganancia solar directa será una superficie vidriada en la fachada norte que puede sufrir pérdidas de calor por la noche, por lo que debe estar suficientemente aislada



**Figura 3.6.** Captación solar directa en fachada norte, Escuela Teniente Merino, Cochrane (zona 8 SE)

## Implementación

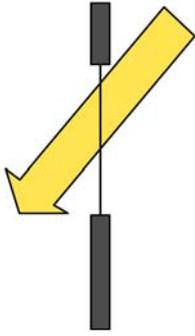
Este tipo de estrategias depende de la cantidad de radiación solar directa que llegue al acumulador de temperatura (normalmente piso y/o muros de un material pétreo). En caso de que existan muchos días soleados, existe el riesgo de sobrecalentamiento, y por el contrario, si hay nubosidad permanente, no se podrá capturar la cantidad de calor necesaria para calentar en forma pasiva los espacios. Es por esto que es necesario combinar esta estrategia con estrategias de ventilación natural, y con algún tipo de sistema de calefacción para ayudar a mantener una temperatura confortable.



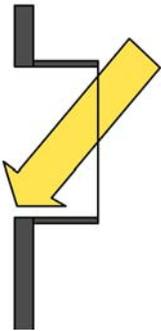
**Figura 3.5.** Captación solar directa a través de ventanas orientadas al norte. Proyecto Escuela de Futaleufú (zona 8 SE) (Cristián Sanhueza, arqts.)



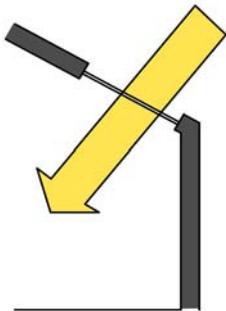
**Figura 3.7.** Captación solar directa en casino Escuela Teniente Merino, Cochrane (zona 8 SE)



**Figura 3.8.** Ventana a plomo de muro.

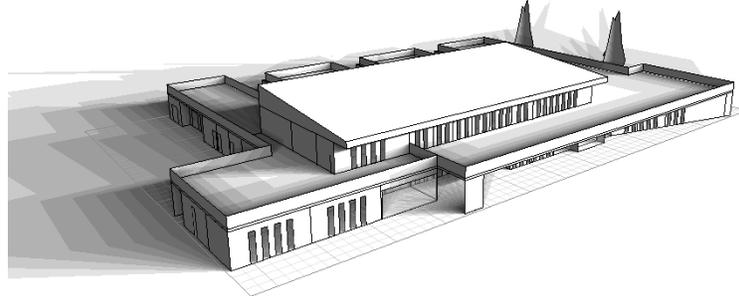


**Figura 3.9.** Ventana saliente o bow-window. Un menor porcentaje de radiación solar es recibida.

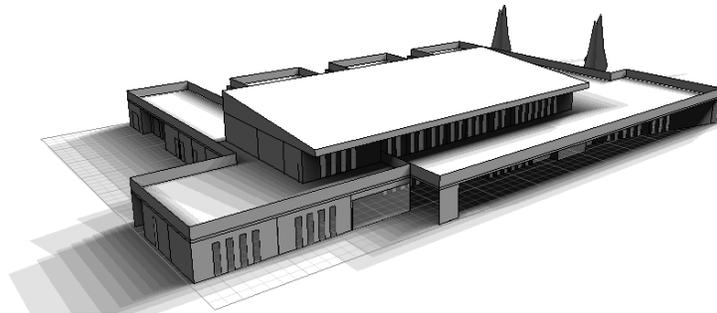


**Figura 3.10.** Ventana cenital. Una mayor cantidad de radiación ingresa al edificio. Considerar que es más difícil controlar el sobrecalentamiento en verano.

El sobrecalentamiento puede ser un problema grave en un edificio público, por lo que se deben considerar protecciones que eviten que los recintos reciban una radiación solar directa y desmedida, especialmente en verano. Estas obstrucciones al ingreso de la radiación solar pueden estar constituidas por aleros, celosías, árboles, etc. En el caso de la fachada norte, la protección solar más eficiente es el alero u algún elemento horizontal, ya que permite el ingreso de radiación solar en invierno y bloqueándola en la estación estival.



21 junio



21 diciembre

**Figura 3.11.** Alero genera sombras en verano sobre fachada norte de proyecto de CESFAM de Padre Las Casas (zona 7 SI) (Massman arqts, elaboración propia)

### Proceso de diseño

Al comenzar el proceso de diseño, se recomienda minimizar las pérdidas de calor que se originarán por superficies vidriadas no orientadas al norte, controlando por ejemplo, el tamaño de las superficies vidriadas en orientación sur. También es importante aislar el edificio y controlar las pérdidas por infiltraciones, ya que no tiene ningún sentido proponer estrategias de captación solar si el edificio perderá calor por toda su envolvente.

Veamos algunas medidas necesarias a tener en cuenta relativas a pérdidas y ganancias:

1. Estimar el tamaño de las superficies vidriadas: utilizar los siguientes rangos: en un clima frío a templado considerar entre 0,02 y 0,04 m<sup>2</sup> de superficie vidriada por cada m<sup>2</sup> de área a calentar; en un clima moderado a templado considerar entre 0,1 y 0,2 m<sup>2</sup> por cada m<sup>2</sup> de área a calentar (Kwok y Grondsik, 2007).
2. Estimar la cantidad de masa térmica necesaria para almacenar el calor captado: como regla general se puede considerar masa térmica de hormigón de 100 a 150 mm de espesor (por ejemplo el radier o losa), tres veces el tamaño del área de captación.

## 3.2. Ganancias Solares Indirectas

Las ganancias solares indirectas pueden ser de utilidad para el calentamiento de recintos durante el invierno en la zona 6-Sur Litoral, 7-Sur Interior, 8-Sur Extremo y 9-Andina.

Se consideran ganancias indirectas los sistemas en que la captación solar se produce en forma aislada de los espacios habitables. Es decir, la radiación solar es absorbida por un sistema que regula el ingreso al interior de los recintos habitados, según las necesidades de este.

### Muro Trombe

Es un muro orientado hacia el norte compuesto por un revestimiento de vidrio y un muro de material con inercia térmica. Entre estas dos capas se encuentra una cámara de aire.



Figura 3.13. Muro Trombe CITEC UBB, Concepción (zona 6SL)

Generalmente el muro es de colores oscuros con el fin de aumentar la absorción del mismo. El grosor del muro provee un retardamiento térmico que permite que el calor absorbido demore una cierta cantidad de tiempo en ser entregado al interior del recinto. Este retardamiento se puede calcular para optimizar el uso del calor. El vidrio permite que la radiación penetre y caliente el muro, pero es semi-opaco a la radiación infrarroja, por lo que no lo deja escapar. El calor, capturado y acumulado, se moviliza a través del aire desde la cámara del muro Trombe hacia el recinto habitado. El aire caliente tiende a subir y sale por las rejillas de ventilación superior del muro hacia el ambiente y es remplazado por aire a menor temperatura proveniente del espacio interior.

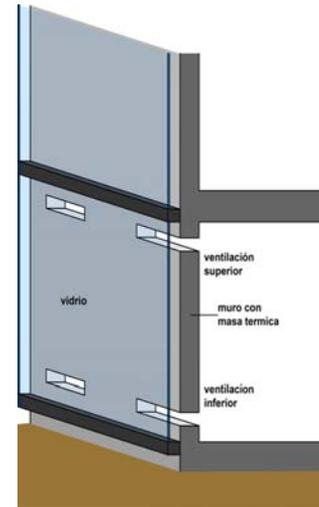


Figura 3.12. Muro Trombe con ventilación superior e inferior

#### Propósito

Calentamiento pasivo, confort térmico

#### Efecto

Eficiencia energética, uso de energías renovables

#### Opciones

Muros con inercia térmica: petreos o de agua.

#### Coordinación

Enfriamiento, calefacción activa, iluminación, aislación térmica, materialidad, control por parte del usuario.

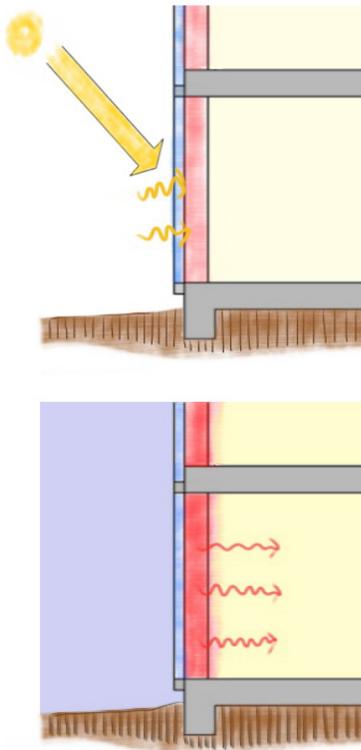


Figura 3.14. Diagrama básico muro Trombe

### Muro Trombe en CITEC-UBB, Concepción (Zona 6 SL)

El muro Trombe de 36m<sup>2</sup> se utiliza como estrategia de captación solar indirecta que apoya el acondicionamiento del auditorio y la sala multiuso. Tiene divisiones internas que generan una chimenea solar en su sección intermedia. Posee un sistema de regulación automático que según la temperatura en la cámara de aire y al interior de los recintos, comanda la posición de los dumpers motorizados para decidir respecto del sentido de la circulación del aire.

## Implementación

En el caso de los muros Trombe, se recomienda orientarlos directamente al norte, o bien con un ángulo aproximado de 5°, ya que una desviación mayor disminuye la efectividad del sistema (Kwok y Grondsik, 2007).

- Sobrecalentamiento: Si la capacidad de almacenamiento de calor de la masa térmica no es adecuada, éste se puede sobrecalentar. Se debe considerar que la cantidad de masa térmica sea adecuada y congruente con el área del colector.
- Inercia térmica: Si la masa térmica es excesiva el calor captado se entregará al ambiente cuando ya no es necesario, lo que hará ineficiente el sistema. Es necesario un estudio acucioso para conjugar el volumen de masa térmica con las necesidades del espacio a calentar. Este factor está relacionado con la materialidad de la construcción, el clima y lo que se quiere lograr con el sistema.
- Mantenición: Se debe considerar que el sistema pueda ser aseado en forma periódica. Los vidrios y superficies de absorción deben ser accesibles.
- Tipo de activación: El muro Trombe incluye mecanismos que se activan de forma mecánica. Se recomienda que la activación sea automática, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del mismo.

## Proceso de diseño

Al comenzar el proceso de diseño, se recomienda considerar las pérdidas de calor que se tendrán por vanos no orientados al norte, y por infiltraciones. En general, se recomienda tener las mismas consideraciones establecidas en la captación de ganancias solares directas.

1. Para muros Trombe en zonas de clima frío [8 SE, 9 AN] se recomienda, para un cálculo preliminar, considerar entre 0,04 y 0,09 m<sup>2</sup> de superficie vidriada al norte por cada m<sup>2</sup> de área a acondicionar. En climas más templados [6 SL, 7 SL], se puede considerar entre 0,02 y 0,056m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> a acondicionar.
2. Estimar la cantidad de masa térmica necesaria para almacenar el calor captado. Como regla general y considerando que el área captadora es igual al área de masa térmica, se puede considerar un muro de 300 a 460 mm de espesor. Estas medidas son estimativas y requieren un estudio más acucioso a medida que el proceso de diseño se va desarrollando (Kwok y Grondsik, 2007).

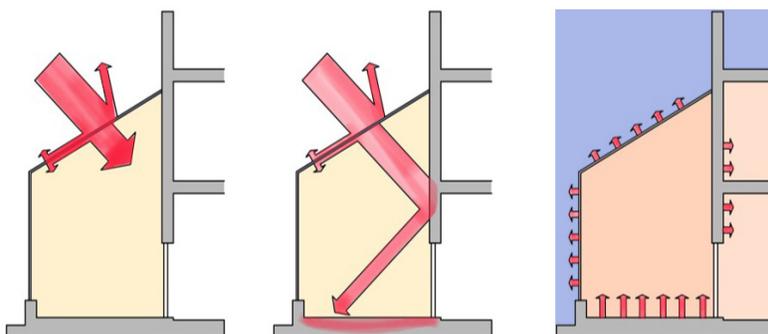
### 3.3. Ganancias Solares Aisladas

*Las ganancias solares aisladas pueden ser de utilidad para el calentamiento de recintos durante el invierno en la zona 6-Sur Litoral, 7-Sur Interior, 8-Sur Extremo y 9-Andina.*

La captación de ganancias aisladas es una estrategia solar pasiva que capta, acumula y distribuye el calor a través de un espacio que está térmicamente separado de los espacios habitados del edificio. El ejemplo más común de esto es el espacio solar o invernadero adyacente al edificio.

#### Espacio solar

Se trata de un espacio especialmente diseñado para captar y almacenar el calor proveniente del sol. El método utilizado es el efecto invernadero. Se utilizan muros de vidrio, acrílico, policarbonato alveolar u otro material translúcido para captar la radiación solar que es recibida por muros y pisos, los que la transforman en energía de onda larga que no puede salir tan fácilmente por los vidrios (aunque se producen pérdidas considerables por conducción a través de éstos).



**Figura 3.15.** Funcionamiento de un espacio solar aislado: captación, acumulación y entrega de calor durante la noche.

#### Implementación

Esta estrategia es difícil de controlar, por lo que no se recomienda que los invernaderos sean espacios habitables del edificio, sino más bien espacios intermedios, que puedan habitarse en aquellas ocasiones en que el clima lo permita. Una buena orientación es indispensable para el buen funcionamiento de esta estrategia.

Es necesario considerar estrategias de ventilación para extraer el calor excesivo antes de que ingrese a los recintos habitables, así como una adecuada protección solar del espacio que permita prevenir el sobrecalentamiento del edificio.

#### Propósito

Calentamiento pasivo, confort térmico

#### Efecto

Eficiencia energética, uso de energías renovables

#### Opciones

Invernaderos, espacios solares, sistema de apertura, acumuladores, conservación, distribución, control solar.

#### Coordinación

Enfriamiento, iluminación, calefacción activa, materialidad, control por parte del usuario, aislación térmica.

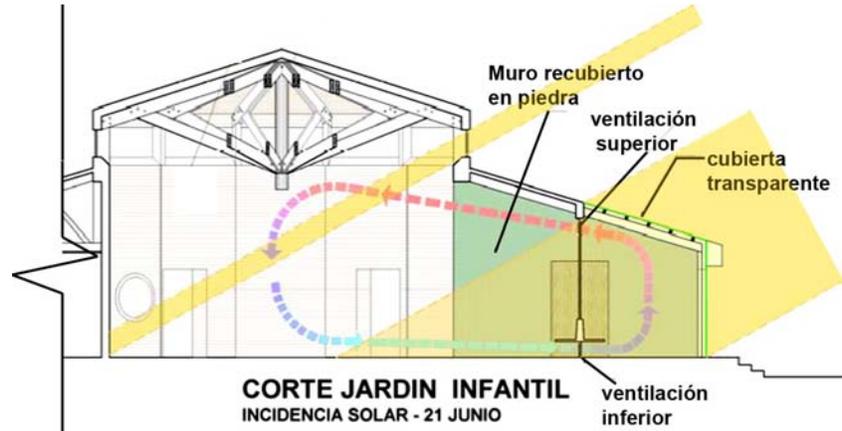


**Figura 3.16.** Espacio solar aislado en escuela Teniente Merino de Cochrane, zona 8 SE

No se recomienda que los espacios solares tengan vegetación y tierra en su interior, ya que aumenta la humedad del aire

La distribución del calor hacia los recintos que lo requieren debe ser considerada desde el inicio del proceso de diseño. Ésta puede ser directa o indirecta, activa o pasiva.

Se debe cuidar especialmente la aislación de los espacios solares, ya que se puede perder gran parte del calor generado a través de las superficies vidriadas poco aisladas y a través de las infiltraciones.



**Figura 3.17.** Funcionamiento de espacio solar aislado en invierno, Escuela Teniente Merino de Cochrane (zona 8 SE).

### Proceso de diseño

Al comenzar el proceso de diseño, se recomienda tener las mismas consideraciones establecidas en la captación de ganancias directas.

1. Estimar el tamaño de superficie vidriada requerida considerando para climas frío (8 SE y 9 AN) una superficie de entre 0,06 y 0,14 m<sup>2</sup> de superficie vidriada al norte por cada m<sup>2</sup> de área a acondicionar. En climas más templados [SI, SL], se puede considerar entre 0,03 y 0,085 m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> a acondicionar.
2. Estimar la cantidad de masa térmica requerida para complementar a la superficie vidriada propuesta, considerando que estos espesores aplican a elementos acumuladores de la misma superficie que el área vidriada. Se recomienda utilizar 250 a 350 mm de ladrillos, o bien, 300 a 460 mm de hormigón (Kwok y Grondsik, 2007).

### 3.4. Masa Térmica

La masa térmica es una estrategia tanto de calentamiento como de enfriamiento pasivo, recomendable para edificaciones públicas localizadas en todas las zonas climáticas de Chile.

La utilización de masa térmica es una estrategia de calentamiento pasivo en invierno que complementa la estrategia de captación solar, pero también es una estrategia para evitar sobrecalentamiento en verano, por lo que es siempre recomendable considerar elementos constructivos con masa térmica en edificaciones públicas.

Como estrategia de calentamiento; una vez que hemos captado la radiación solar en nuestro edificio, es necesario mantener el calor generado en el interior de éste. Este calor se almacena en el seno de los materiales, para luego aportarlo al ambiente cuando sea necesario.



**Figura 3.18.** Muro con masa térmica, edificio MOP Antofagasta (zona 1 SL)

Los materiales con mayor masa e inercia térmica son los materiales pétreos, ya sea hormigón, mampostería de ladrillo, adobe y piedra. Esta es una propiedad de los materiales que depende del calor específico y de la conductividad térmica y dice relación con la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe del entorno. Esta propiedad se utiliza para hacer más estable la temperatura dentro de los edificios, y en particular cuando existe una oscilación térmica considerable en el exterior.

La capacidad de acumulación de calor de los materiales permite la atenuación de las fluctuaciones de temperatura en el interior y el desfase térmico entre la temperatura exterior y la interior.

**Tabla 3.1.** Materiales con Masa Térmica

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (kJ/kg.K)	Capacidad térmica volumétrica Masa térmica (kJ/m <sup>3</sup> .K)
Agua	1000	4.186	4186
Concreto	2240	0.920	2060
Ladrillo	1700	0.920	1360
Piedra	2000	0.900	1800
Adobe	1550	0.837	1300
Tierra apisonada	2000	0.837	1673



**Figura 3.19.** Muros con masa térmica en edificio MOP de Copiapó (zona 3 NVT)



**Figura 3.20.** Ventanas proyectantes pequeñas para ventilación nocturna, edificio NORD/LB Hannover (Behnisch Architekten)

## Glosario

**Calefacción activa:** Método de calefacción que necesita de combustibles para funcionar y que contempla un sistema diseñado para ese fin.

**Desfase térmico:** Diferencia horaria entre los valores máximos de las ondas de temperatura en ambas caras de un muro, o entre la temperatura exterior e interior de una edificación. Junto con el amortiguamiento, traduce el efecto de la inercia térmica de la envolvente de la edificación.

**Efecto invernadero:** Producido cuando la radiación solar (onda corta) atraviesa un vidrio u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay adentro. Estos, a su vez, emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar, por lo que no pueden atravesar los vidrios a su regreso, quedando atrapados y produciendo el calentamiento.

**Ganancias internas:** Se generan por la energía que se produce dentro de un edificio. Pueden ser generadas por equipos cuya función no es calefaccionar, tal como computadores o fotocopiadoras, como también por las personas y las luminarias.

**Ganancias solares:** Energía del sol que es aprovechada para el calentamiento del edificio. Pueden ser directas o indirectas, dependiendo si llegan directamente al ambiente que se requiere calentar.

**Masa térmica:** Sistema material con un potencial de acumulación de calor, caracterizado generalmente por un espesor considerable, un elevado calor específico volumétrico y una conductividad térmica moderada. Ello permite la distribución gradual de la energía a través del material. Dado que requiere de una importante cantidad de energía para elevar su temperatura, permite también el control de las oscilaciones térmicas extremas mediante el fenómeno de inercia térmica.

## Bibliografía

Bustamante, W. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago de Chile: MINVU.

De Herde, A. y González, J.A. (1997). Arquitectura y Clima, Vigo, Colegio de Arquitectos de Galicia.

Gonzalo, G.E. (2004). Manual de arquitectura bioclimática. Buenos Aires, Nobuko.

Instituto Nacional de Normalización. (2008). NCH 1079.Of2008 Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

Kwok, A., y Grondzik, W. (2007). The Green Studio Handbook (Primera edición ed.). Oxford , Inglaterra: Architectural Press, Elsevier Inc.

MINVU. (2011). Sistema de Calificación Energética de Viviendas. Santiago.

Olgay, V. (1998). Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona, Ed. G. Gili.

Sassi, P. (2006). Strategies for sustainable architecture. London, Taylos & Francis.

Thomas, R. (ed) (2005). Environmental design: an introduction for architects and engineers. London, Taylos & Francis.



# 4. Estrategias de Enfriamiento Pasivo

*En general, las estrategias de enfriamiento pasivo se recomiendan principalmente en edificaciones públicas localizadas en las zonas climáticas 1-Norte Litoral, 2-Norte Desértico, 3-Norte Valles Transversales, 4- Centro Litoral y 5-Centro Interior, que corresponde a las zonas climáticas caracterizadas por sus altas temperaturas en verano. Sin embargo, las estrategias de ventilación natural también son recomendadas en las zonas 6-Sur Litoral, 7-Sur Interior, 8-Sur Extremo y 9-Andina, donde no sólo cumplen objetivos de enfriamiento sino también de renovación de aire por higiene.*

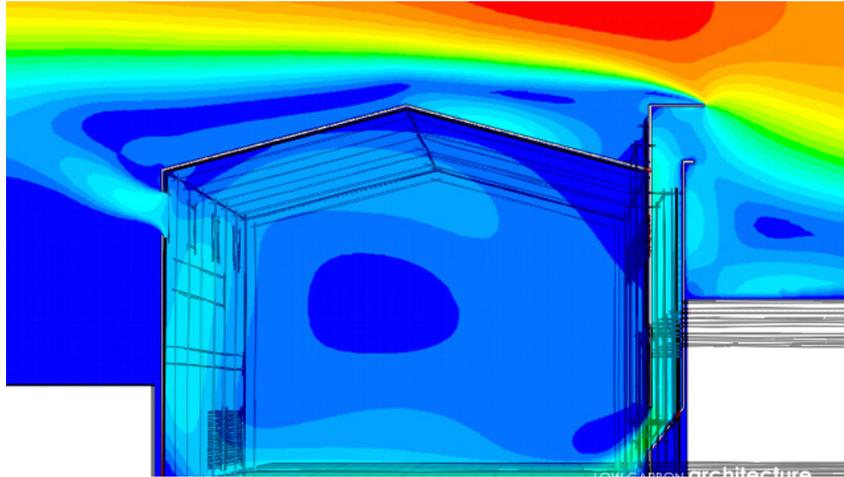
La mejor manera de limitar los consumos de energía por enfriamiento es a través de un buen diseño arquitectónico que considere las condicionantes climáticas del lugar en que se emplaza el proyecto. Para utilizar de forma correcta las estrategias de enfriamiento es necesario considerar tres aspectos clave: clima, materialidad y uso del edificio.

Los edificios se pueden clasificar como edificios de baja o alta carga térmica interior. La edificación pública es normalmente de alta carga interna por la importante cantidad de equipos presentes en los recintos, tal como computadores, fotocopiadoras, equipos de iluminación, etc. y por la cantidad de personas que los ocupan. En este tipo de edificios es necesario considerar las cargas internas como un factor determinante a la hora de seleccionar y calcular una estrategia de enfriamiento.

Otro aspecto importante al momento de definir las estrategias de enfriamiento pasivo de la edificación pública es conocer los patrones de uso del edificio. Por ejemplo:

- Los edificios educacionales se ocupan en periodos de marzo a diciembre con una alta densidad de ocupación, lo que implica que tienen importantes requerimientos de ventilación, pero no necesariamente de enfriamiento (dependiendo del clima y de las estrategias de diseño).

Los edificios de oficinas se ocupan todo el año, incluyendo el verano, por lo que es más probable que tengan necesidades de enfriamiento, principalmente en climas más cálidos.



**Figura 4.2.** Ventilación natural, imagen de simulación CFD (Fuente: Low Carbon Architecture)

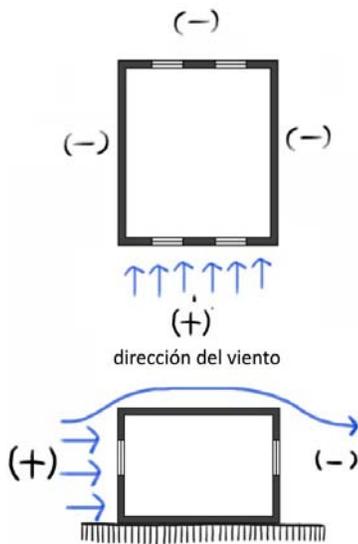
En este capítulo se abordarán las estrategias de enfriamiento basados por un lado en la ventilación natural, y por otro lado, en estrategias de enfriamiento pasivo. Las estrategias de ventilación natural, además de propender al confort térmico en verano, proporcionan una renovación de aire imprescindible para controlar los niveles de dióxido de carbono, humedad y contaminantes en suspensión presentes en los espacios interiores.

Estrategias de ventilación natural:

- Ventilación cruzada
- Ventilación convectiva
- Ventilación nocturna de masa térmica

Estrategias de enfriamiento pasivo:

- Enfriamiento evaporativo PDEC
- Intercambiadores de calor geotérmicos



**Figura 4.1.** Dirección del viento y presiones de aire.

## 4.1. Ventilación cruzada

La estrategia de ventilación cruzada es aplicable en todas las zonas climáticas de Chile, pero se debe considerar que se genera por efecto de las presiones de viento, por lo que no será una estrategia efectiva en localidades donde la velocidad del viento sea menor a 2,5 m/s.

La ventilación cruzada es la forma más simple de ventilar, ya que esta estrategia utiliza dos ventanas en fachadas opuestas, las que al abrirse simultáneamente generan movimientos de aire. El flujo arrastra el aire a mayor temperatura y lo reemplaza por uno a menor temperatura procedente del exterior. El enfriamiento se produce tanto por la diferencia de temperatura, como por la sensación de refrescamiento que produce el aire en movimiento. Para que se produzca la sensación de disminución de la temperatura, la temperatura exterior debe ser menor a la interior (al menos 2°C).

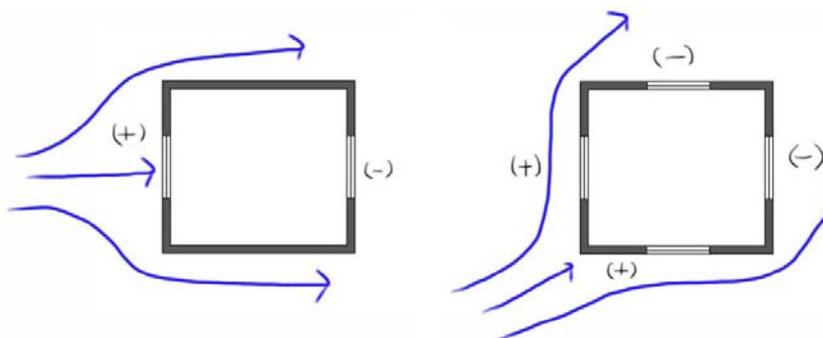


Figura 4.3. Presiones de aire en ventilación cruzada por aperturas en muros opuestos

Esta estrategia de ventilación funciona por la diferencia de presión que se produce entre una ventana y otra por efecto del viento. Dependiendo de la procedencia de los vientos predominantes, una fachada tendrá presión positiva y la otra negativa.

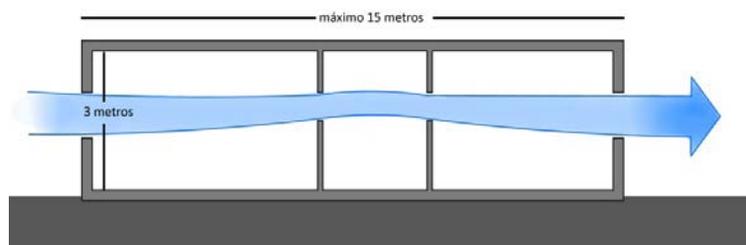


Figura 4.4. Distancia máxima para ventilación natural cruzada

Para que este tipo de ventilación funcione la distancia de una ventana a otra debe ser como máximo 5 veces la altura de piso a cielo, sin exceder los 15 metros.

Cuando se quiere ventilar un edificio a través de la ventilación cruzada, hay que tener especial cuidado en la resolución de las

### Propósito

Enfriamiento, confort térmico

### Efecto

Eficiencia energética, satisfacción del usuario

### Opciones

Confort térmico, enfriamiento nocturno de elementos constructivos

### Coordinación

Calentamiento pasivo y calefacción activa, seguridad, acústica, calidad del aire, control por parte del usuario

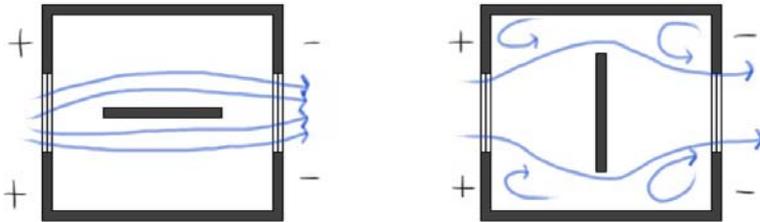
### Prerrequisitos

Dirección y velocidad de los vientos predominantes, temperatura del aire, estimación de la carga de ventilación.



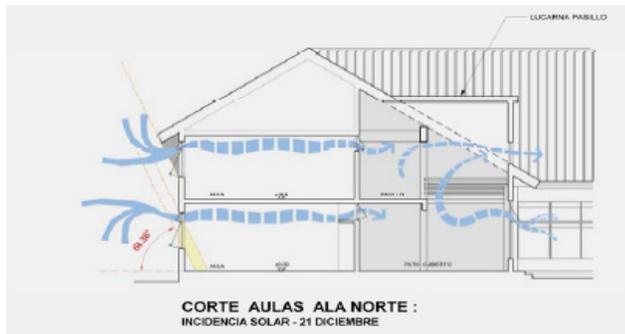
**Figura 4.5.** El edificio Escuela Teniente Merino, Cochran Region de Aysén incluye estrategias de ventilación natural cruzada considerando ventanas proyectantes entre las aulas y los pasillos.

divisiones de los espacios interiores, ya que las divisiones de piso a techo pueden modificar o estancar el aire en algunas partes del edificio.



**Figura 4.6.** Ventilación afectada por muros interiores

En caso de ser posible, se recomienda utilizar muros divisorios bajos para configurar los espacios interiores, o bien, se pueden generar troneras de ventilación, ventanas o celosías en los muros interiores que permitan que el aire se movilice.



**Figura 4.7.** Estrategia de ventilación cruzada en la Escuela Teniente Merino de Cochran (zona 8 SE), donde se puede observar que ventanas proyectantes entre las aulas y el pasillo facilitan el flujo de aire.

### Implementación

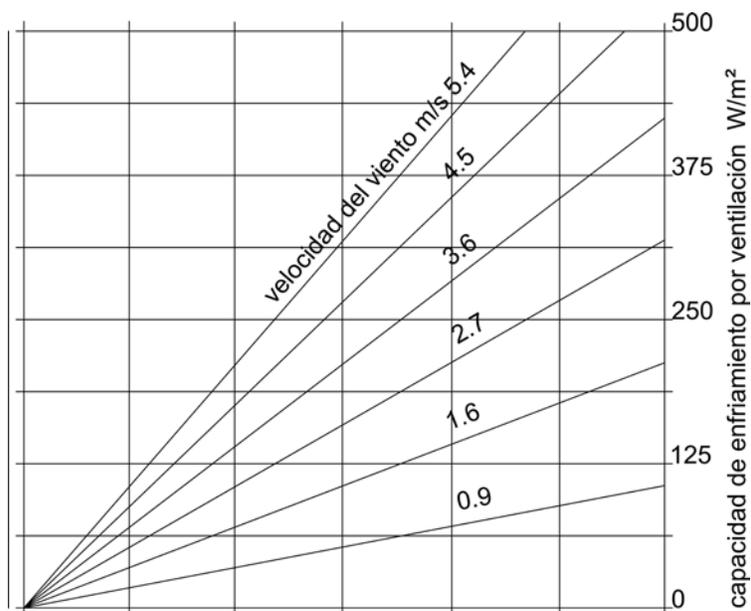
Si se quiere refrescar al ocupante (usuarios del recinto), se recomienda asegurar una diferencia de temperatura entre el aire exterior (a menor temperatura) y el interior. En el caso que la diferencia de temperatura no sea favorable, es posible crear la sensación de una menor temperatura al aumentar la velocidad del aire dentro de los espacios. Estas estrategias ayudarán al ocupante, siempre y cuando el movimiento de aire se produzca al nivel en que permanezca el usuario, es decir a un nivel no superior a los dos metros medidos desde el piso del recinto.

Si el propósito de la ventilación cruzada es enfriar la masa térmica de los elementos constructivos por la noche (ventilación nocturna de masa térmica), se recomienda maximizar el contacto del aire con los elementos constructivos para que éstos le transfieran calor.

Se debe considerar que al abrir ventanas pueden ingresar al edificio ruidos y elementos en suspensión, tal como smog y olores.

## Proceso de diseño

1. Medir la distancia entre ventanas en muros opuestos para comprobar si es posible la aplicación de esta estrategia. Considerar que la distancia no debe superar los 15 m.
2. Constatar que la velocidad media mensual del viento es suficiente para los meses en que se quiere aplicar la estrategia, es decir, sobre 2,5 m/s. Se debe considerar que las velocidades de viento que proporcionan las bases meteorológicas son tomadas normalmente en aeropuertos alejados de la zona urbana, por lo que es necesario corregir las velocidades. Se puede considerar para zonas urbanas un tercio y para áreas sub-urbanas dos tercios de la velocidad del viento medida en el aeropuerto.
3. Estimar la necesidad de enfriamiento para el edificio en  $W/m^2$ .
4. Establecer el área de ingreso de aire: considerar sólo ventanas practicables y ajustar la capacidad de ventilación según el tipo de apertura.
5. Determinar el porcentaje de área de ingreso de aire en función de los metros cuadrados de planta.
6. Utilizando la figura 4.8 encontrar la intersección entre el porcentaje de área de ingreso y la velocidad del viento de diseño (para la época del año en que se utilizará la estrategia y considerando correcciones propuestas en el punto 2). Esto nos dará como resultado la capacidad de ventilación.
7. Comparar el resultado del punto 6 y el punto 3 y balancearlos, según sea necesario. (Kwok & Grondzik, 2007)



**Figura 4.8.** Capacidad de enfriamiento para ventilación cruzada. Calor removido por  $m^2$  en base a una diferencia de temperatura de  $1.7^{\circ}C$  en función del tamaño de las aperturas de ingreso y la velocidad del viento (Fuente: Kwok & Grondzik, 2007)

### VELOCIDADES DE VIENTO

Algunas ciudades con velocidades de viento mayores a 2,5 m/s en verano, donde es efectivo aplicar estrategias de ventilación cruzada para enfriamiento son: Antofagasta, Valparaíso, Concepción, Coyhaique.

## 4.2. Ventilación por efecto convectivo

La estrategia de ventilación por efecto convectivo es aplicable en todas las zonas climáticas de Chile, pero se debe considerar que en aquellas localidades donde la velocidad del viento es mayor a 2,5 m/s, las presiones del viento serán siempre superiores a las presiones que se pueden lograr a través de este fenómeno, por lo que resulta más efectivo utilizar estrategias de ventilación cruzada.

La ventilación por efecto convectivo o efecto “stack” utiliza la estratificación que se produce por la temperatura del aire. A medida que el aire se calienta es menos denso y sube; el aire que sube es eliminado y remplazado por aire que ingresa a menor temperatura del exterior. Sólo funcionará como estrategia de enfriamiento si el aire exterior está a menor temperatura que el aire interior del edificio (mínima diferencia de temperatura de 1,7°C).

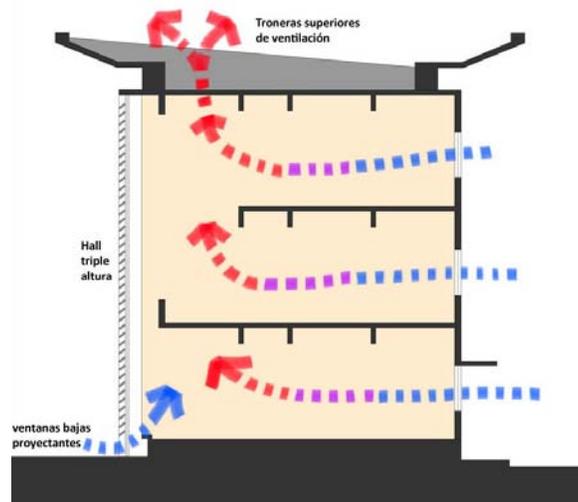


Figura 4.9. Estrategia de ventilación convectiva en Contraloría de la Araucanía, Temuco (zona 7 SI) (BGL arqts., responsable Juan Claudio López Rubke).

Esta estrategia requiere considerar aberturas en la parte inferior y superior del edificio, de manera que la altura del “stack”, establecida por la distancia entre estas dos aberturas, además de la superficie libre de las aberturas, defina la efectividad del sistema.

Usualmente se utilizan chimeneas de ventilación para la salida del aire, las que pueden ser integradas o sobrepuestas a la geometría del edificio.

### Implementación

Esta estrategia no depende de la velocidad del viento, por lo que se puede implementar en lugares donde la velocidad del viento sea inferior a los 2,5 m/s, como por ejemplo, en la Región Metropolitana.

Para aumentar la efectividad de este sistema se pueden usar dos estrategias:

#### Propósito

Enfriamiento, confort térmico, calidad del aire interior

#### Efecto

Eficiencia energética, mejor calidad de aire interior

#### Opciones

Atrio central, chimenea de ventilación, chimenea solar, ductos de ventilación pasiva.

#### Coordinación

Calentamiento pasivo y calefacción activa, seguridad, acústica, calidad del aire, orientación, control por parte del usuario, diseño de divisiones interiores, control del fuego y humo.

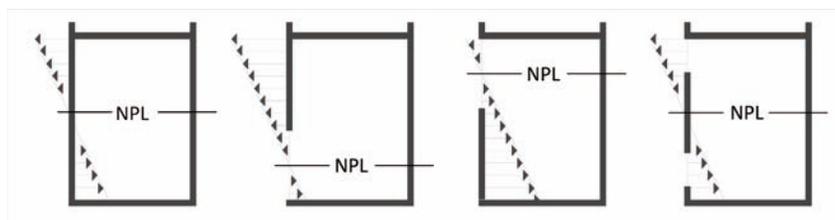
#### Prerrequisitos

Dirección y velocidad de los vientos predominantes, temperatura del aire, estimación de la carga de ventilación

1. Aumentar diferencia de temperatura entre el aire que ingresa y el que sale, utilizando la energía solar para calentar el aire en la chimenea. Esta estrategia se denomina “chimenea solar”.
2. Aumentar la altura de la chimenea. A mayor altura, mayor estratificación de temperaturas.

Normalmente el efecto convectivo típico logrará remover el aire de la mitad inferior de la altura total.

Cuando la temperatura exterior es menor que la interior, el aire fluye hacia el interior a través de las aberturas bajo el nivel neutro de presión (NPL) y hacia afuera sobre él. El tamaño y ubicación de las ventanas modifica la ubicación del NPL. Es muy importante considerar que los espacios deben estar conectados en forma directa. Se recomienda utilizar tabiques bajos y otras estrategias de diseño que no interrumpan el flujo de aire.

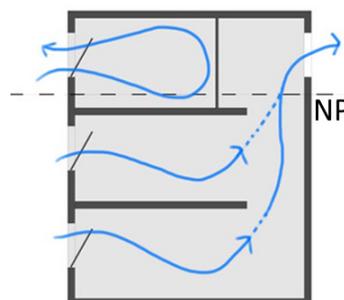
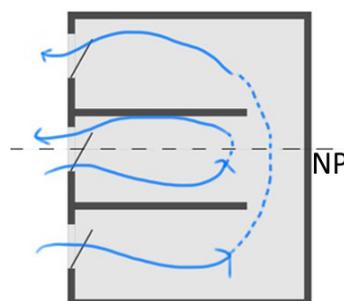
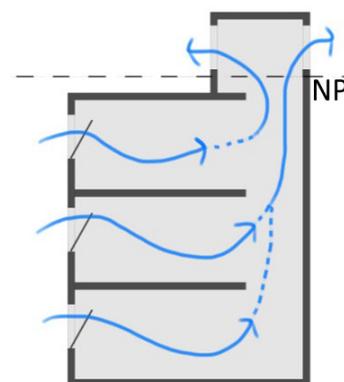
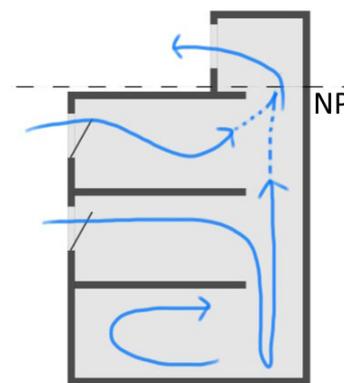


**Figura 4.10.** Diagramas en corte que ilustran los niveles de presión neutra (NPL) para distintas ubicaciones de vanos.

Cuando se quiere lograr un efecto convectivo eficiente, se debe diseñar pensando que el “stack” debe ser suficientemente alto para que el NPL quede sobre el edificio, y de esta manera lograr evacuar todo el aire caliente.

Inclusive considerando el nivel neutro de presión, el aire en los pisos más bajos tendrá mayor velocidad que en los pisos más altos. En el caso de que esto sea un problema, se recomienda zonificar generando distintos niveles de “stacks”.

El aire que ingresa al edificio puede contener contaminantes por lo que es necesario evaluar la ubicación de las tomas de aire. También pueden ingresar ruidos molestos.



**Figura 4.11.** Nivel NPL para distintas configuraciones.

## MÉTODOS DE CÁLCULO

Para el cálculo de la ventilación convectiva se pueden utilizar desde métodos simples basados en planillas Excel (ejemplo: Optivent), hasta complejos software de CFD (ejemplo: Fluent)



**Figura 4.12.** Aberturas superiores e inferiores del espacio atrio, edificio Contraloría de la Araucanía, Temuco (zona 7 SI)



**Figura 4.13.** Espacio atrio de triple altura para ventilación convectiva, Contraloría Regional de la Araucanía, Temuco (zona 7 SI) (BGL arqtos., responsable Juan Claudio López Rubke). Ventanas practicables en la parte inferior y troneras de ventilación en el techo generan el efecto convectivo.

## Tipos de “stacks”

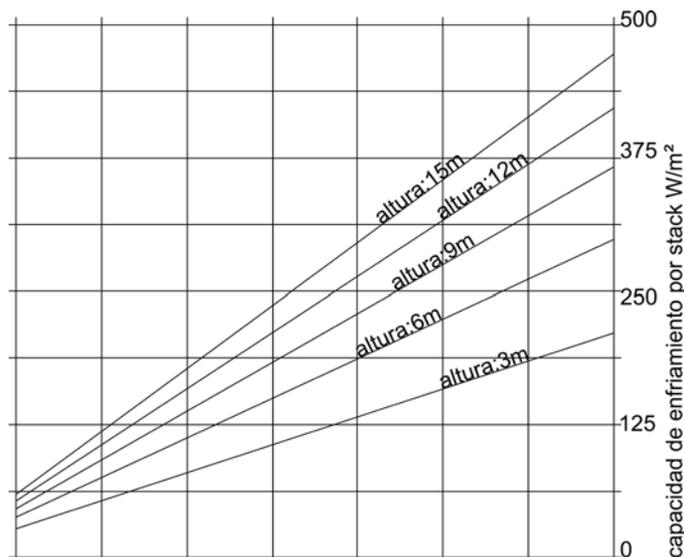
Los “stacks” pueden ser expuestos o integrados, lo que depende fundamentalmente de la expresión que se quiera dar al edificio.

- **Atrio:** El atrio de los edificios es un espacio de múltiples alturas que une los distintos niveles del edificio y que permite una mejor ventilación del edificio que si se hiciera por pisos.
- **Chimenea:** Las chimeneas de ventilación pueden ser objetos arquitectónicos, o una serie de shaft de ventilación natural. En ambos casos es necesario considerar que los caudales de ventilación natural son distintos a los de ventilación mecánica ya que no existe una impulsión del aire.
- **Chimenea solar:** Las chimeneas solares son sistemas compuestos por tres partes fundamentales; un área de recolección de energía solar en la parte superior de la chimenea, un eje principal de ventilación, y ductos de entrada y salida de aire. Calentar el aire con energía solar en la parte superior de la chimenea aumenta la diferencia de temperatura entre el aire que entra y el aire que sale, lo que a su vez aumenta la velocidad con que se mueve dentro de la chimenea.

## Proceso de diseño

El proceso de diseño de esta estrategia de ventilación se basa principalmente en un desarrollo de prueba y error, donde las dimensiones propuestas se contrastan con sus potencialidades de ventilación (Kwok y Grondzik, 2007).

- 1.- Establecer la altura del “stack”; un stack efectivo debería tener el doble de altura que el espacio que se quiere ventilar. Según esto, es más efectivo considerar stacks para los recintos ubicados en los pisos inferiores del edificio.
- 2.- Proponer dimensiones para las aberturas de entrada, salida y sección del stack. La menor dimensión de área efectiva de apertura entre estas tres será la que defina el comportamiento del sistema.
- 3.- Utilizando la siguiente figura, estimar la capacidad de enfriamiento del sistema de ventilación, sobre la base de la altura del stack y la relación entre la sección del stack y el área del recinto que se quiere ventilar.
- 4.- Proceso iterativo de ajuste de las dimensiones de las aberturas y/o de la altura del stack hasta lograr la capacidad de enfriamiento requerida.



**Figura 4.14.** Gráfico para determinar la capacidad de enfriamiento del sistema convectivo o “stack” (Kwok y Grondzik, 2007)

Los edificios públicos normalmente incluyen un espacio atrio en el hall de acceso que presenta importantes oportunidades para generar estrategias de ventilación convectiva.



**Figura 4.15.** Espacio atrio de 5 pisos de altura en edificio PDI de Puerto Montt (zona 7 SL)



**Figura 4.16.** Espacio atrio en edificio Labocar de Antofagasta (zona 1 NL)

### 4.3. Ventilación nocturna de masa térmica

*La estrategia de ventilación nocturna de masa térmica es recomendable en aquellas localidades donde existe una amplia oscilación térmica diaria (oscilación mínima de 11°C entre el día y la noche). Según esto, puede aplicarse en casi todo Chile, pero con mayor efectividad en las zonas 2-Norte Desértico, 3-Norte Valles Transversales y 5-Centro Interior.*

Esta estrategia busca enfriar el interior de los edificios a través de la ventilación natural durante la noche, y de esta manera evitar el sobrecalentamiento en el día. Esto se logra adicionando masa térmica al edificio a través de materiales macizos (pétreos) que generan el efecto moderador de la temperatura del aire, reduciendo los extremos.



**Figura 4.17.** Muros con alta masa térmica en edificio MOP de Copiapó (zona 3 NVT). Se puede observar el predominio del lleno sobre el vano y las materialidades de hormigón y enchape de ladrillo, que logran una alta masa térmica.

La masa térmica puede darse a través de losas o muros de materiales pétreos. Sin embargo, es importante considerar que la masa debe estar expuesta al paso del aire, por lo que no debe recubrirse con materiales aislantes como alfombras (en el caso de los pisos), cielos falsos (en el caso de las losas), o revestimientos de madera (en el caso de los muros); ya que generan que la masa no esté disponible para este efecto.

#### Problemática clave

La organización de los espacios es crítica, especialmente si la ventilación natural va a generar el movimiento de aire. Es recomendable que la ventilación sea por efecto convectivo para no depender del viento, que normalmente tiene menor velocidad durante la noche.

---

#### Propósito

Enfriamiento, confort térmico, calidad del aire interior

#### Efecto

Eficiencia energética, enfriamiento pasivo, ventilación natural

#### Opciones

Tipo y localización de masa térmica, ventilación cruzada o efecto stack, ventilación mecánica o híbrida.

#### Coordinación

Orientación, seguridad, acústica, estructuras.

#### Prerequisitos

Oscilación térmica día-noche, humedad relativa del aire nocturna aceptable, factibilidad de ventilar en la noche.

Usualmente se utiliza hormigón para proveer de masa térmica en los elementos estructurales expuestos, pero cualquier material con masa puede actuar como acumulador térmico.

Con el objetivo de que ésta funcione como estrategia de enfriamiento, es necesario minimizar la exposición de los elementos con masa térmica a las ganancias solares, por lo que resulta clave proponer un adecuado diseño de las protecciones solares.



**Figura 4.18.** Edificio Labocar de Antofagasta (zona 1 NL). Protecciones solares controlan la radiación solar sobre muros de hormigón armado

## Implementación

Dado que generalmente las horas de ganancia térmica durante el día exceden las de ventilación nocturna, se deben considerar grandes aperturas que aseguren el efectivo enfriamiento de la masa térmica. La cantidad de masa expuesta debe ser 1 a 3 veces el área a acondicionar. Esta estrategia supone que el edificio se podrá aislar del exterior (cerrando las ventanas) durante el día y abrir durante la noche. Es necesario considerar las estrategias que se adoptarán para garantizar la seguridad durante la noche, ya que la apertura de ventanas puede ser un problema. Una opción es implementar pequeñas ventanas que se puedan abrir durante la noche, o bien, apoyarse con ventilación forzada.

## INVESTIGACIÓN

Estudios recientes han demostrado que el uso de ventilación nocturna de masa térmica en edificios de oficina en Santiago resulta efectivo para disminuir la demanda de refrigeración. (Bustamante y Gratia, 2009).

## 4.4. Enfriamiento pasivo evaporativo de flujo descendente PDEC

La estrategia de enfriamiento pasivo evaporativo de flujo descendente es recomendable en las zonas 2-Norte Desértico, 3-Norte Valles Transversales y 5-Centro Interior, que se caracterizan por altas temperaturas y baja humedad relativa en verano. Este sistema no es aplicable con temperatura exterior de bulbo húmedo sobre 24°C.

La estrategia de aprovechar el potencial de enfriamiento que tiene el agua evaporada ha sido utilizada en países de climas cálidos y secos durante siglos. A nivel general, se puede lograr una reducción de la temperatura de entre 10°C a 12°C cuando el aire es relativamente seco, con una menor efectividad cuando el aire es más húmedo (Ford, Schiano-Phan y Francis, 2010).

Existen varias estrategias para el enfriamiento evaporativo, donde una de ellas es el enfriamiento evaporativo de flujo descendente (conocido por su sigla en inglés PDEC), que aprovecha el efecto de la gravedad sobre el cuerpo de aire (relativamente) frío, para crear un flujo descendente.

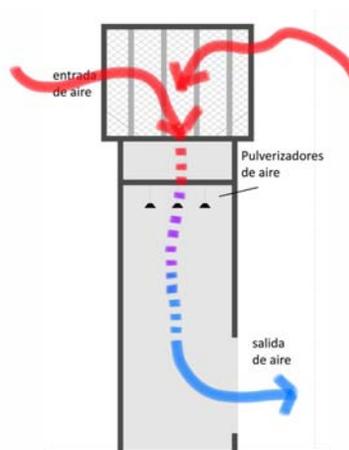


Figura 4.19. Corte de torre de enfriamiento

La fuente de aire frío puede ser tanto “pasiva” (a través de la evaporación de agua), como “activa”. El sistema PDEC genera una corriente de aire frío a través de la evaporación de agua dentro de un flujo de aire. Esto se puede generar de varias maneras:

- Aspersión de lluvia de agua en el flujo de aire
- Aspersión de bruma de agua en el flujo de aire
- Superficies porosas húmedas en el flujo de aire (ej. cerámicos porosos)

---

### Propósito

Enfriamiento, confort térmico, calidad del aire interior

### Efecto

Eficiencia energética, enfriamiento pasivo, humidificación

### Opciones

Número y localización de las torres

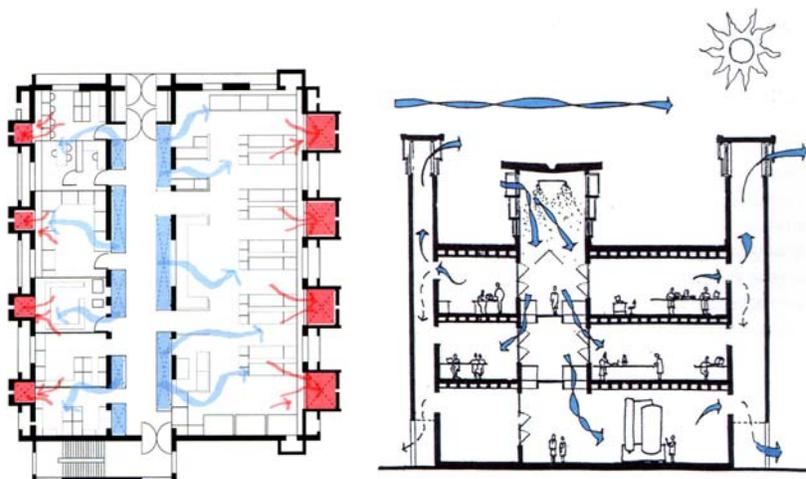
### Coordinación

Control de ganancias solares, fluidez en el movimiento de aire.

### Prerequisitos

Clima cálido y seco, espacio para localizar las torres, fuente de agua

El aire caliente del exterior ingresa a una torre donde es expuesta al agua, y a medida que el agua se evapora en el interior de la torre, la temperatura del aire desciende y su contenido de humedad aumenta. El aire húmedo y denso baja por la torre y sale por aberturas en la base de ésta. Este movimiento descendente genera una presión negativa (succión) en la parte superior de la torre y una presión positiva en la base. El aire más frío ingresa a los recintos que requieren enfriamiento.



**Figura 4.20.** Centro de investigación Torrent, India. Utiliza torres para PDEC a través de la aspersión de bruma de agua (Fuente: Ford, Schiano-Phan y Francis, 2010)

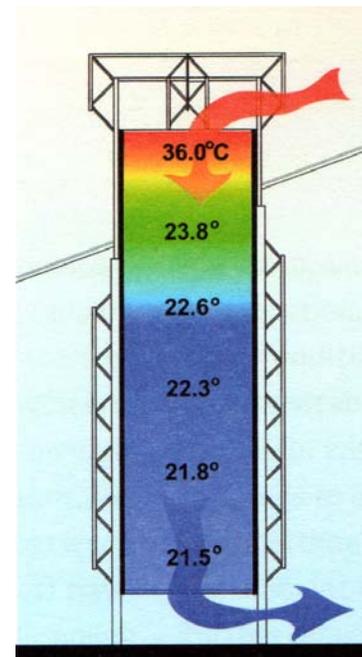
### Problemática clave

Esta estrategia funciona mejor con plantas libres, ya que se requiere movilizar importantes volúmenes de aire a través del interior del edificio, sin obstaculizar el movimiento con muros interiores. No se requiere de la presión del viento para que el aire se movilice y sólo demanda un mínimo de energía, usualmente para que funcione una bomba de agua.

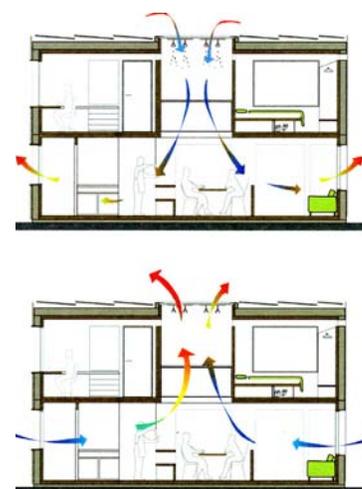
La generación de humedad requiere de bastante control frente a los riesgos de aparición de hongos, por lo que se debe considerar una adecuada mantención y facilidad para inspeccionar la torre.

Se puede combinar esta estrategia de manera de usar las torres para ventilación PDEC durante el día y para ventilación convectiva durante la noche.

No hay registros de que esta estrategia haya sido implementada en Chile a la fecha de esta publicación, pero existen exitosos ejemplos en climas similares a las regiones del norte y centro del país, como Arizona, Madrid, Malta.



**Figura 4.21.** Esquema de PDEC (Fuente: Ford, Schiano-Phan y Francis, 2010)



**Figura 4.22.** Nottingham House en Solar Decathlon, Madrid (Fuente: Ford, Schiano-Phan y Francis, 2010)

## 4.5. Intercambiadores de calor geotérmicos

*Los intercambiadores de calor geotérmicos representan una estrategia tanto de calentamiento en invierno como de enfriamiento en verano. Es recomendable en aquellos climas que se caracterizan por una amplia oscilación térmica estacional, es decir, con importantes variaciones de temperatura entre el invierno y el verano. Según esto, esta estrategia es aconsejable en las zonas climáticas 2-Norte Desértico, 3-Norte Valles Transversales y 5-Centro Interior.*

Esta estrategia consiste básicamente en tubos enterrados que logran enfriar o precalentar el aire utilizando la diferencia de temperatura existente entre la tierra y el ambiente. El sistema se basa en la estabilidad térmica de la tierra a cierta profundidad, donde a sólo 2 m. la temperatura será más alta que el ambiente en temporada de invierno y más baja en verano. El enfriamiento o calentamiento depende de esta diferencia, ya que los tubos intercambiadores capturan o disipan el calor hacia la tierra, utilizando la masa térmica de la tierra como un almacenador de calor.

Estos intercambiadores de calor geotérmicos son conocidos también como tubos subterráneos, intercambiadores aire-suelo, o pozos canadienses.



**Figura 4.23.** Tubos intercambiadores geotérmicos en Centro de Distribución y Logística FASA (zona 5C) (Guillermo Hevia arqto.)

Es un sistema mucho más simple que la bomba de calor geotérmica descrita en el capítulo 7, ya que no requiere de bomba de calor ni de sistemas sofisticados, más allá del apoyo de ventiladores para impulsar el aire a través de los tubos hacia el interior del edificio.

La capacidad de enfriamiento o calentamiento de este sistema es reducida, por lo que normalmente se utiliza como una estrategia de apoyo a sistemas tradicionales de climatización o calefacción.

## Problemática Clave

Los tubos deben ser construidos con materiales durables y resistentes, ya que se encuentran bajo la tierra. Usualmente, los tubos son de materiales plásticos y de diámetros que varían entre 15 y 30 cm dependiendo del largo de los mismos. Sin embargo, también es posible utilizar tubos de concreto de mayor diámetro, que incluso permitan el acceso de una persona para su limpieza y mantención. Es aconsejable que se instalen a una profundidad aproximada de 2m.

El dimensionamiento de los tubos depende de los siguientes factores:

- Características del suelo
- Humedad del suelo
- Profundidad a la que se colocarán los tubos

## Implementación

El sistema no proporcionará un enfriamiento del aire a menos que la diferencia entre la temperatura ambiente y el suelo sea considerable.

Otro factor importante es el riesgo de condensación al interior de los tubos, que podría generar hongos y moho. Este riesgo es relevante en verano, cuando el aire se enfría y aumenta su humedad relativa, por lo que es preferible que se aplique en climas con baja humedad relativa. También es posible inclinar los tubos para favorecer la aspiración de la condensación. Se presentan además riesgos de infiltración de agua del subsuelo, por lo que es importante que los tubos sean accesibles para su revisión y limpieza. En caso de ser necesario, se podría incluir un sistema de deshumidificación previa.

Es necesario considerar el uso de pantallas que protejan los tubos del ingreso hasta su interior de roedores y pequeños animales e insectos.

## Glosario

**Abertura de admisión:** Abertura de ventilación que sirve para la admisión, comunicando el recinto con el exterior, ya sea directamente o a través de un conducto de admisión.

**Abertura de extracción:** Abertura de ventilación que sirve para la extracción, comunicando el recinto con el exterior, ya sea directamente o a través de un conducto de extracción.

**Área de apertura de ventana:** Corresponde a la superficie de ventana operable que sirve efectivamente como abertura de admisión o extracción, comunicando el recinto directamente con el exterior.

### Propósito

Enfriamiento, calentamiento, calidad del aire interior

### Efecto

Acondicionamiento pasivo del aire exterior

### Opciones

Sistema abierto, sistema cerrado

### Coordinación

Tipo de suelo, carga térmica, calidad del aire interior

### Prerequisitos

Cargas térmicas, datos climáticos (temperatura, RH), características del suelo

Esta estrategia ha sido implementada en Chile en diversos edificios diseñados por el arquitecto Guillermo Hevia, como por ejemplo el Centro de Distribución y Logística FASA, Cristalerías Chile y Almazara Olisur. Todos estos edificios están localizados en la zona climática 5 Centro Interior, que se caracteriza por su amplia oscilación térmica estacional, por lo que se aprovecha la importante diferencia de temperatura entre el ambiente y la tierra.

**Calidad del aire interior:** Concepto referido a la calidad del aire en el interior y alrededor de las edificaciones, que se relaciona específicamente con la salud y confort de los ocupantes. Se le conoce por su sigla en inglés IAQ.

**Enfriamiento evaporativo:** Estrategia pasiva que enfría el aire a través de la evaporación de agua, lo que requiere de mucho menos energía que la refrigeración.

**Intercambiador de calor:** Elemento diseñado para transferir calor entre dos medios separados por una barrera.

**Tronera:** Apertura estrecha y de pequeño tamaño, que permite la circulación del aire de un recinto a otro.

**Ventilación Natural:** Ventilación en la que la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre el punto de entrada y el de salida.

## Bibliografía

Allard, F. y Ghiaus, C. (2005). Natural ventilation in the urban environment: assessment and design, London: Earthscan.

Bustamante, W. y Gratia, E. (2009). Nocturnal ventilation for low and zero energy office buildings in central Chile, En: SET 2009, International Conference on Sustainable Energy Technologies, Aachen, Alemania, 31 de Agosto al 3 de Septiembre 2009, pp. s/p.

D'Alençon, R. (2008). Acondicionamientos: Arquitectura y técnica. Santiago de Chile, Chile: Ediciones ARQ.

Ford, B., Schiano-Phan R. y Francis, E. (ed) (2010). The Architecture & Engineering of Draught cooling: a design sourcebook, PHDC Press.

Liddament, M.W. (1996). A Guide to Energy Efficient Ventilation. Warwick: Air Infiltration and Ventilation Centre

Kwok, A., & Grondzik, W. (2007). The Green Studio Handbook (Primera edición ed.). Oxford , Inglaterra: Architectural Press, Elsevier Inc.

Vivienda, D. G. (1997). Arquitectura y Clima en Andalucía: Manual de diseño. Sevilla.

Yanke, E. (2005). Ventilación natural en edificios, Buenos Aires: Nobuko.

# 5. Estrategias de Iluminación Natural

## 5.1. Introducción

Este capítulo tiene como objetivo entregar una serie de consideraciones y métodos sencillos que permitan reducir el consumo de energía eléctrica en necesidades de iluminación. Éste comprende temas de la iluminación natural y su integración con la luz artificial para lograr un buen proyecto de iluminación para conseguir las condiciones de confort de los ocupantes de un recinto.

Existe una serie de factores que son determinantes para el mejor aprovechamiento de la luz natural; aquellos que dependen de la geografía y el clima, y aquellos que dependen directamente del diseño arquitectónico y de las decisiones por parte del arquitecto, como por ejemplo la geometría del edificio, las formas y dimensión de los vanos o aberturas.

A su vez existen factores que influyen directamente en el ahorro energético en materia de iluminación. Estos son los dispositivos de control del sistema de iluminación artificial que permiten la omisión parcial o total de la luz eléctrica.

La luz del día no sólo permite iluminar un espacio interior, sino que, a través de la abertura permite la conexión con el exterior a través de las vistas y a su vez permite la ventilación pasiva. Entonces, la cuestión es cómo manejarla y utilizarla para aumentar el confort de los ocupantes, el bienestar, y en última instancia, la productividad dentro de un espacio.

Para un buen proyecto de iluminación aconsejamos al lector basarse en cinco estrategias básicas que se explican en el presente capítulo (Figura 5.1).

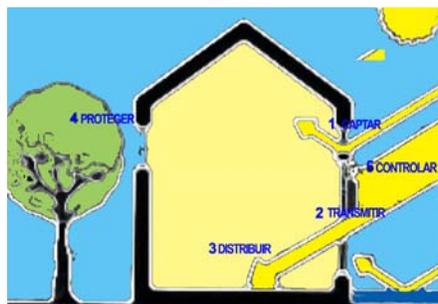


Tabla 5.1. Diagrama de las cinco estrategias de iluminación natural.

**EVITE:** Los locales sin luz del día. La luz natural contribuye al bienestar.

**CONSEJO:** Reflexionar sobre la organización general de la planta de modo de aprovechar lo mejor posible la luz natural, de acuerdo a cada actividad.

**CLAVE:** Maximizar la cantidad de luz día, limitar el deslumbramiento, y evitar los contrastes demasiado importantes.

### Estrategias de iluminación natural:

1. CAPTAR
2. TRANSMITIR
3. DISTRIBUIR
4. PROTEGER
5. CONTROLAR

El desafío es diseñar el edificio con múltiples aperturas. Se trata de encontrar el mejor equilibrio entre el suministro de luz, las pérdidas de calor, las ventanas con vistas al exterior, el riesgo de sobrecalentamiento debido a un exceso de las ganancias solares, la necesidad de privacidad, el potencial de ventilación, así como la composición de la fachada y de los espacios. El diseño de las estrategias de iluminación conlleva a un trabajo interdisciplinario de los profesionales.

## 5.2. Estrategias de captación de la luz natural

Para utilizar de manera efectiva los diferentes elementos de captación de la luz natural (como por ejemplo ventanas, claraboyas y otros) es preciso conocer cuáles son los factores que influyen en los elementos de captación, y además, conocer cómo se comportan estos factores. La mayoría de las veces los elementos producen efectos positivos en términos de iluminación pero producen consecuencias negativas en aspectos térmicos, por lo tanto es importante conocer los efectos relevantes en cada uno de ellos.

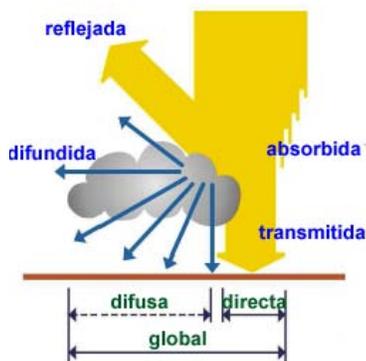


Figura 5.2. Esquema luz global recibida de la radiación directa y difusa.

Principio: Captar la luz natural consiste en hacer llegar la luz al interior del edificio en forma natural haciendo un uso correcto de la arquitectura, de su geometría y de los principios de diseño.

Para un edificio en una ubicación determinada, la cantidad de luz natural disponible está en función de los siguientes factores:

- Tipos de cielos
- Latitud y época del año
- Momentos del día
- El entorno físico del edificio
- Orientación de las aberturas
- Disposición de los elementos de captación

### Tipos de cielos

La intensidad luminosa del cielo depende de factores climáticos, que se traducen en el caso de la iluminación en las variaciones del cielo, si un día está despejado, nublado o parcial. Estas variaciones son determinante en la distribución de luminancia y en la iluminancia al exterior.

Para comprender los distintos tipos de cielo es importante entender que la iluminación global recibida de la bóveda celeste está conformada por dos componentes: la luz solar directa propia de un día despejado y la luz solar difusa propia de un día cubierto. (Figura 5.2)

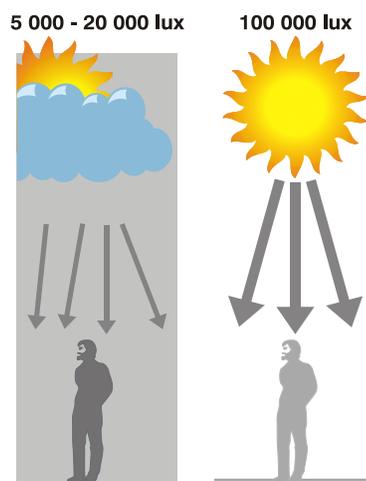


Figura 5.3. Iluminancia en un día cubierto y un día despejado con sol.

La luz directa proveniente del sol proporciona un flujo luminoso que es fácil de capturar y dirigir en el espacio que deseamos iluminar. Es una luz dinámica, sin embargo, a menudo es una fuente de deslumbramiento y puede ocasionar sobrecalentamiento en el interior del edificio durante el periodo estival. Por el contrario en invierno, el sol es una fuente de calor que puede traer beneficios. Su disponibilidad es esporádica y depende de la orientación de las aberturas. Por lo general un día despejado con sol se tiene una iluminancia al exterior de 100.000 lux.

La luz solar difusa transmitida a través de la capa de nubes está disponible en todas las direcciones y provoca un bajo riesgo de deslumbramiento y de sobrecalentamiento. Su intensidad, en ocasiones, puede considerarse insuficiente ya que crea pocas sombras y contrastes muy bajos. Los niveles de iluminación resultantes son menos elevados de aquellos procedentes del sol, de 5.000 a 20.000 lux en promedio al exterior. (Figura 5.3)

Para estimar la cantidad de luz natural para cierta localidad, y así elegir las estrategias de iluminación natural, conocer los tipos de cielos es un factor determinante. Dada la multitud de condiciones meteorológicas existentes y la variabilidad de los cielos la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) define cuatro modelos de cielo estándar: el cielo cubierto, el cielo intermedio, el cielo claro o despejado, y el cielo claro o despejado para atmósfera contaminada con factor de turbidez alto. (CIE-Commission Internationale de l'Eclairage, 1994. Estos cielos varían en la distribución de luminancia en la bóveda celeste como se muestra de manera esquemática en la Figura 5-4. La distribución de luminancia está representada por una banda clara para un cielo cubierto y cielo claro con sol: a mayor espesor de la banda mayor es la luminancia de la bóveda celeste. (De Herde & Reiter , 2001)

A partir de métodos avanzados que se basan en datos meteorológicos podemos conocer las probabilidades de tener estos cielos a lo largo del año. Para facilitar la comprensión en la Figura 5-6 se muestran los cielos para la ciudad de Concepción. Los cielos mencionados presentan variaciones a través de las distintas estaciones, para esta localización el cielo más constante es intermedio.

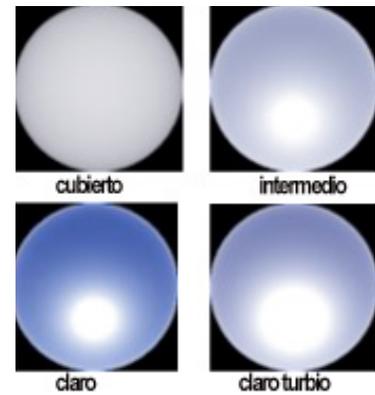


Figura 5.4. Imágenes de los diferentes cielos.

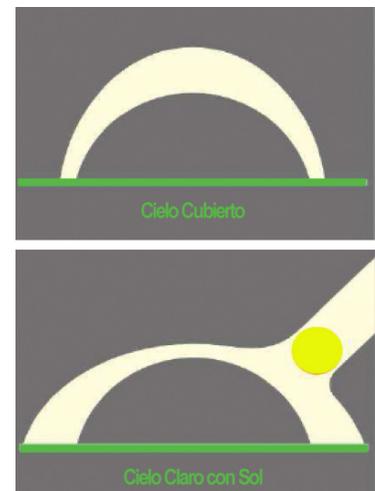


Figura 5.5. Esquema de distribución de luminancias cielo cubierto y cielo claro.

**VENTAJAS LUZ DIFUSA:**

Genera poco o nada de sombras (la luz carece de dirección).

Genera poco o nada de deslumbramiento.

No da lugar al fenómeno de sobrecalentamiento.

**DESVENTAJAS LUZ DIFUSA:**

Difícil de usar, en el espacio interior, disminuye su intensidad al alejarnos de las aberturas.

En invierno, su intensidad a veces es insuficiente.



Figura 5.7. Componentes de la luz natural al interior de un recinto.

Factor de luz día (FLD) es un indicador que permite evaluar la contribución de luz natural en un recinto con cielo cubierto. Se define como la relación entre la iluminación interior recibida en un plano de trabajo (lint) y la iluminación exterior horizontal (Iext) medida simultáneamente, se expresa en porcentaje.

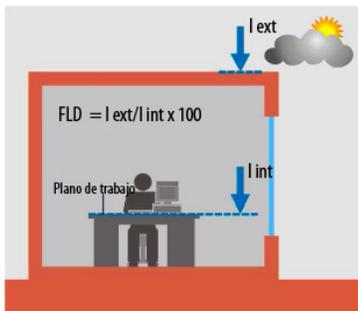


Figura 5.8. Componentes que determinan el FLD.

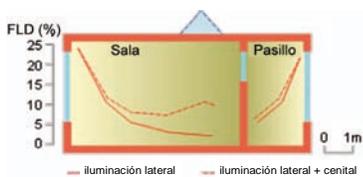


Figura 5.9. Gráfica de FLD al interior de una sala de clases con iluminación lateral más iluminación cenital.

Los valores límites para el factor de luz día (FLD) se definen para todos los edificios como:  
 no aceptado: FLD < 2% y FLD > 10 %  
 adecuado: FLD entre 2% - 5%  
 óptimo : FLD entre 5% - 10%



Figura 5.6. Gráfica de las probabilidades de cielos para la ciudad de Concepción.

Al conocer la distribución de los tipos de cielos a lo largo del año podremos entender qué estrategias son más adecuada para cada localidad y apropiadas para un buen diseño de iluminación natural.

La luz natural recibida en el interior no sólo depende las variaciones del cielo, es importante entender que la luz que recibimos a través de nuestra ventana consta de tres componentes luminosas (De Herde & Reiter , 2001) explicadas a continuación (Figura 5.7) :

- Componente de luz directa: es el haz de luz directo procedente del cielo.
- Componente de luz de las reflexiones exteriores: es la luz procedente de reflexiones en el suelo y/o elementos del entorno exterior al recinto.
- Componente de luz de reflexiones interiores: es la luz procedente de las reflexiones producidas por el tipo de superficies interiores.

Las estrategias para captar de mejor manera la luz natural y aumentar la luminosidad dentro de un edificio deben considerar las diferencias entre estas tres componentes de la luz.

### Latitud y época del año

La ubicación geográfica, la latitud y la época del año influyen en las estrategias de captación de la luz, ya que la tierra varía su posición con respecto al sol durante el año. Para un análisis simplificado se recomienda fundamentar el análisis en tres épocas del año: solsticio de invierno (21 de junio), equinoccio (21 marzo/septiembre) y solsticio de verano (21 de diciembre). En la Figura 5.10 se grafican los ángulos extremos de la inclinación solar en diferentes ciudades de las 9 zonas climáticas de Chile. Estos ángulos nos permiten diseñar los elementos de captación, a su vez, los elementos de protección solar que se desarrollan en este capítulo.

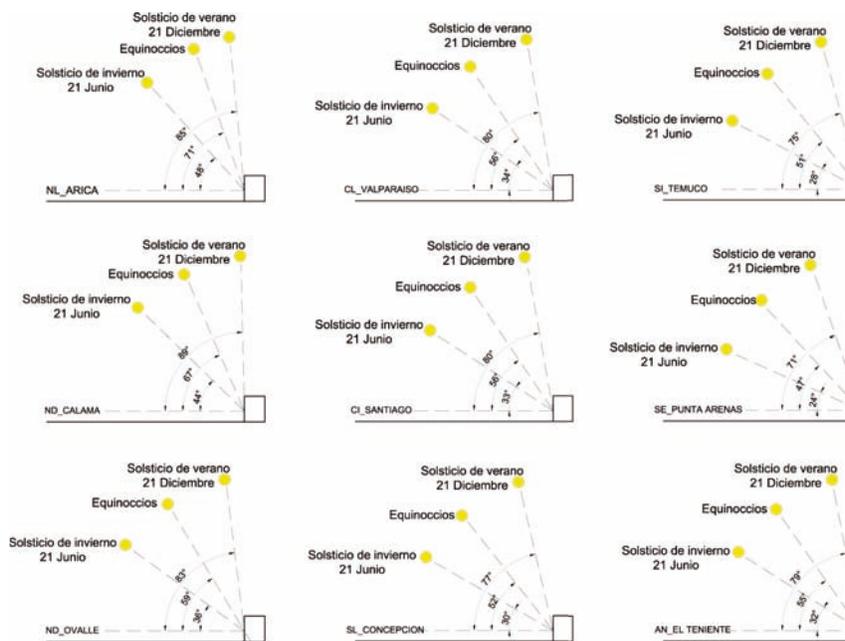


Figura 5.10. Ángulos extremos para ciudades en distintas zonas de NCH1079 2008.

Los ángulos de inclinación del sol son diferentes para cada época del año, en invierno los rayos solares penetran con mayor profundidad en los espacios, sin embargo, el nivel de iluminación disminuye progresivamente hacia el interior del espacio a iluminar. Por otra parte, en verano, el sol se encuentra en su posición más alta proporcionando una iluminación importante, sin embargo, en un área reducida del espacio ya que su penetración no es profunda. En la Figura 5.12 se muestra el estudio de penetración solar realizado para la Escuela de Rucamanke ubicada en la IX región, dada su orientación podemos visualizar las variaciones de intensidad de la luz para cada época del año.

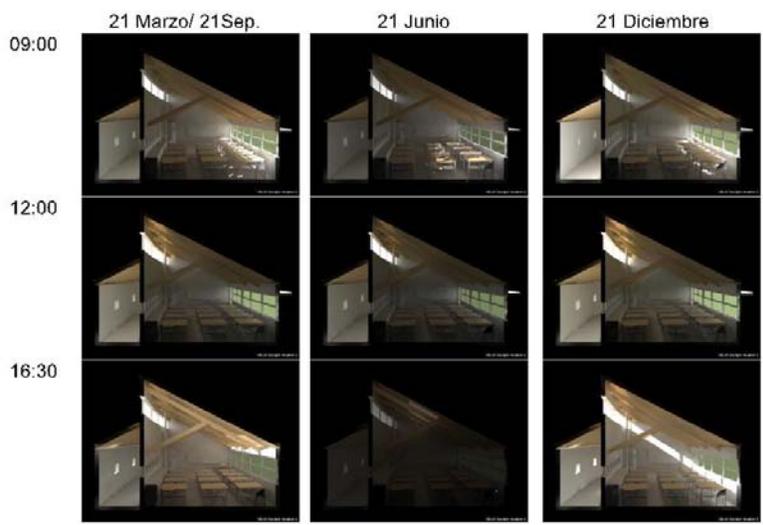


Figura 5.12. Análisis interior de la penetración solar en base a una matriz de 3x3, Escuela de Rucamanke, IX región.

Al enfrentar el proyecto de arquitectura, para el diseño de los elementos de captación, se recomienda apoyar las decisiones de

**CONSEJO:** Definir la orientación solar ideal utilizando la carta solar de la localidad.

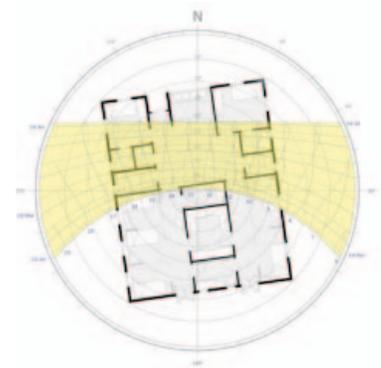


Figura 5.11. Diagrama Sun Path.

**CONSEJO:** Realizar un análisis de proyecciones de sombra con una matriz de 3X3 (tres periodos x tres momentos del día)

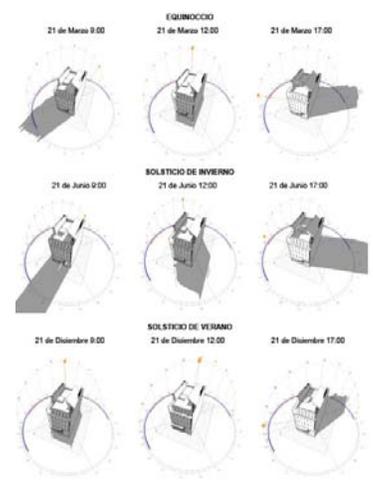


Figura 5.13. Carta solar y estudio de proyecciones de sombras

## Indicadores para evaluar la iluminación natural edificios monitoreados:

Porcentaje del tiempo en la iluminancia (lux) “en rango” adecuado para el desarrollo de las tareas visuales.



Distribución interior de la luz natural referido a la uniformidad, porcentaje del tiempo en que se encuentra en la uniformidad > 0,5.

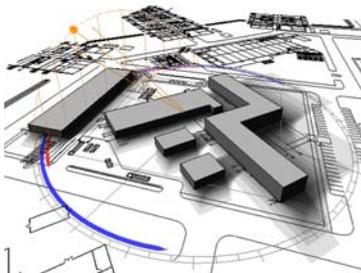
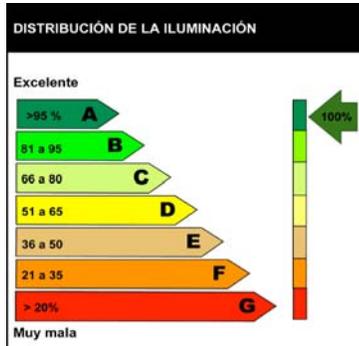


Figura 5.15. Evaluación sombras proyectada por obstrucciones exteriores.

diseño con un estudio de la implantación del edificio con una carta solar y un estudio de proyecciones de sombra (Figura 5.13). Así será posible entender a partir de la trayectoria solar cuales son las fachadas del edificio más expuestas o que recibirán mayor luz solar, así mismo será posible visualizar como nuestro edificio afecta a los espacios circundantes.

## Momentos del día

La distribución de la luz varía en los diferentes momentos del día, entre una hora y otra o de un punto a otro de la habitación. En el caso de un día despejado con sol la luz disponible aumenta hasta el mediodía y luego disminuye progresivamente.

Para un día de invierno con intermedio (parcial nublado), por ejemplo el 21 de septiembre en una sala de clases, la iluminancia a las 8 de la mañana varía entre 1250 y 200 lux; mientras que a partir del medio día la iluminación aumenta en toda el aula, teniendo entre 11000 lux junto a la ventana y entre 1000 - 740 lux en el punto más alejado de la ventana; a partir de las 14 horas comienza a disminuir progresivamente, obteniendo para este caso, a las 16 horas iluminancias entre 6000 (junto a la ventana) y 500 lux (área más alejada). Por lo general la luz solar directa provoca manchas de luz sobre el plano de trabajo que evolucionan durante el transcurso del día y generan incomodidad visual (Figura 5.14).

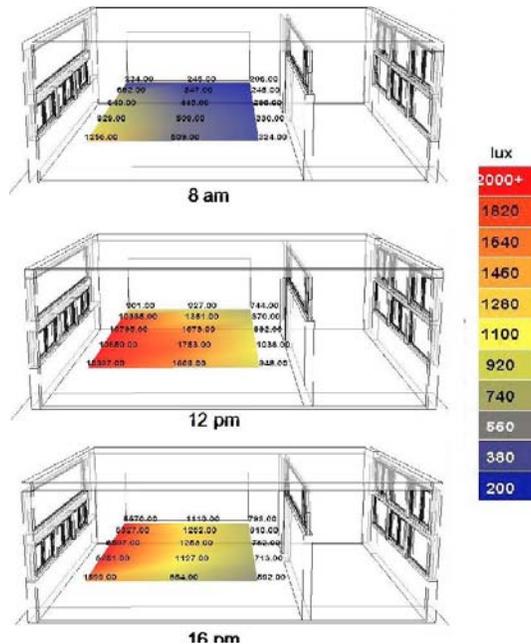


Figura 5.14. Variaciones durante el día de la iluminancia interior sala tipo.

Cuando diseñamos un espacio tendremos diferentes tareas visuales en él y por ello la iluminancia requerida en el plano de trabajo será diferente, por ejemplo, para una oficina podemos requerir 300 lux, en un aula 500 lux o en una sala de dibujo 1000 lux, etc. Si consideramos las variaciones diarias propias de la luz natural, para una iluminancia dada obtendremos que no es posible mantener

ésta durante el transcurso de la jornada. Dado esta variabilidad han nacido nuevas métricas dinámicas que consideran rangos de iluminancias para luz natural. A partir de estos rangos de iluminación es posible conocer como se mantiene en el tiempo y como se distribuyen en el espacio. En la distribución de las iluminancias se debe considerar la uniformidad de la iluminación.

### Entorno físico del edificio.

La luz disponible depende del entorno donde se encuentra localizado el edificio. Un conjunto de factores adquieren importancia: el relieve del terreno, la forma y altura de las construcciones vecinas, el coeficiente de reflexión de los suelos circundantes y la presencia de vegetación en el entorno inmediato. Éstos pueden tener un impacto en la cantidad de luz que llega a las aberturas como también en la distribución de la luz en el interior del espacio. En la etapa de organización espacial debemos evaluar el efecto que pueden tener estos factores en el espacio interior.

En aquellos casos en que el diseño solar pasivo necesite obtener ganancias solares en invierno es importante considerar el grado de obstrucción de las edificaciones vecinas.

La evaluación de las obstrucciones exteriores se ejecuta por un estudio de sombras de las volumetrías utilizando programas informáticos o a través de métodos más sencillos por medio de cortes de la edificación y el espacio circundante. A partir de un punto de referencia se obtiene el ángulo de cielo visible (componente de luz directa) en el espacio interior (Figura 5.16 - Figura 5.17).

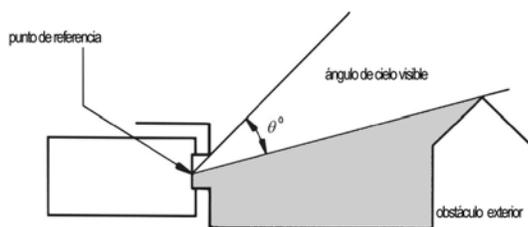


Figura 5.16. Evaluación de obstrucciones exteriores y ángulo de cielo visible.

Un método sencillo es realizar un análisis a través de la línea sin cielo, que se define como aquella línea a partir de la cual no se recibe luz directa del cielo. Si las salas y los obstáculos exteriores existen pueden ser medidos directamente, como muestra la Figura 5.17. En la mayoría de los casos su posición tiene que ser encontrada a partir de dibujos. Al hacer un estudio de la línea sin cielo, para una obstrucción paralela a la ventana, trazo una línea a la parte superior de las esquinas de las ventanas como muestra la Figura 5.18.

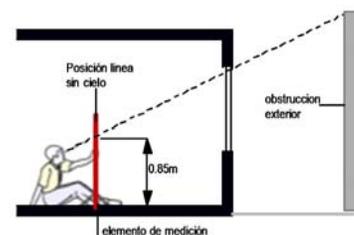
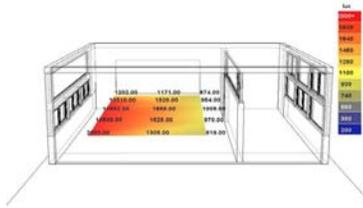
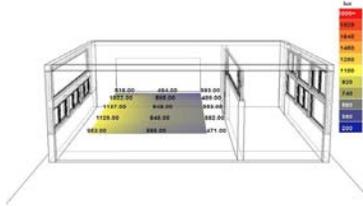


Figura 5.17. Medición línea sin cielo en un recinto.



Orientación Norte



Orientación Sur

12 h	Norte	Sur
E max	6500 lux	1130 lux
E min	630 lux	390 lux

Figura 5.19. Variaciones de la distribución de iluminancia (lux) en una sala de clases, en dos orientación

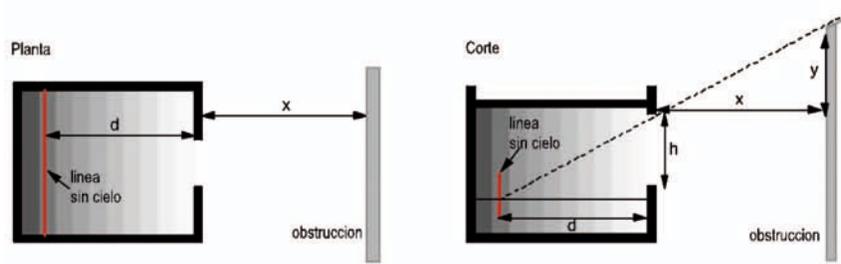


Tabla 5.18. Definición de la línea sin cielo con obstrucción paralela a la ventana.

La posición de la línea sin cielo puede ser alterada aumentando la altura de la parte superior de la ventana o ajustando la parte posterior de la fachada del edificio. Si un área significativa del plano de trabajo se encuentra afectada por la línea, la distribución de la luz natural en la sala parecerá insuficiente y se requerirá iluminación artificial suplementaria.

Para maximizar la luz natural podemos aprovechar el factor de reflexión de las superficies exteriores en el entorno al edificio. En efecto, las superficies claras y reflejantes aumentan la cantidad de luz que penetra en el edificio, por ejemplo el agua en reposo refleja la luz del cielo y el entorno lo que permite intensificar la luminosidad en el lugar.

A modo de referencia se indican en la Tabla 5.1 valores de reflectancias de diferentes superficies que podemos encontrar en torno a una edificación.

Tabla 5.1. Valores de reflectancias de diferentes superficies.

Material	Reflectancias %
Pintura blanca nueva	65 – 75
Ladrillo claro	45 – 50
Ladrillo oscuro	30 – 40
Mármol blanco	45 – 50
Hormigón	25 – 30
Mortero	15 – 20
Vidrio reflectante	20 – 30
Vidrio transparente	7 – 8
Vidrio tintado	5 – 8

### Orientación de las aberturas

La organización espacial de un edificio deberá ser pensada en función de las actividades que tienen lugar allí, de los momentos de ocupación del local y de la trayectoria solar.

En general, si consideramos las orientaciones debemos saber que la luz natural es máxima sobre la fachada Norte especialmente en invierno y las estaciones intermedias. Durante el verano es más fácil protegerse del sol ya que el sol tiene una mayor altura. Los espacios orientados al Este tienen el beneficio del sol de mañana, pero

la radiación solar es difícil de dominar, los rayos son bajos en el horizonte. La orientación Oeste asegura una insolación directa en la tarde, las ventanas con esta orientación generan ganancias solares en los momentos en que el edificio ha sido utilizado durante gran parte de la jornada. Las aberturas orientadas al Sur se benefician durante todo el año de una luz pareja y de una radiación solar difusa. Se justifica orientar un espacio al Sur cuando necesita de luz homogénea, poco variable o difusa.

### Disposición de los elementos de captación

Para captar al máximo la radiación solar directa, los elementos captadores (aberturas) deben estar dispuestos lo más perpendiculares posible a los rayos solares.

En el caso de la captación de la luz solar difusa (cielo cubierto), una abertura horizontal alta (luz cenital) cubren una gran porción del cielo lo que proporcionando una mejor captación de luz difusa en el espacio. Del mismo modo, una ventana inclinada hacia el cielo proporciona un flujo luminoso mayor que la ventana lateral de fachada. (Figura 5-20)

La iluminación cenital es una excelente estrategia para lograr una mejor penetración de la luz en edificios de plantas profundas, mediante la introducción de más luz por medio de claraboyas, lucernarios, cúpulas u otros tipos de elementos. Los estudios demuestran que la iluminación cenital proporciona un excelente rendimiento de la luz del día, ya que, por lo general evita la luz directa del sol y los posibles focos asociados al deslumbramiento de las ventanas laterales, más aún si se combina con algún tipo de protección solar.

Las aberturas de fachada lateral y las aberturas cenitales tienen un comportamiento radicalmente opuesto en cuanto a la penetración de la luz en los distintos momentos del año los que se explican en la Figura 5.23.



Figura 5.23. Penetración de la luz lateral y cenital en invierno y verano.

Una vez que el arquitecto o diseñador tiene una clara descripción de las necesidades de luz en el interior del edificio, se sugiere ajustar los requerimientos espaciales del programa con los patrones específicos de luz directa y luz difusa considerando los criterios de diseño establecidos.

### CONSEJO:

Utilizar estrategias que combinen la luz cenital y luz lateral de manera de lograr una mejor distribución luminosa en el espacio.



Figura 5.20. Combinación de estrategias de iluminación en comedor de la Escuela Gabriela Mistral, Aysén.



Figura 5.21. Iluminación cenital aplicada en pasillos, Escuela Gabriela Mistral, Aysén.



Figura 5.22. Iluminación cenital y lateral aplicada en pasillos Escuela Gabriela Mistral, Aysén.