

# GUÍA DE DISEÑO PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA VIVIENDA SOCIAL



**Colección:** Monografías y Ensayos

**Serie:** II Tecnología de la Construcción

**Título:** Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social

> **AUTOR:**

AUTOR PRINCIPAL Y EDITOR:

Waldo Bustamante G.

*Director del proyecto*

> **AUTORA**

Yoselin Rozas U.

*Coordinadora del proyecto*

> **AUTORES COLABORADORES:**

Rodrigo Cepeda O.

Felipe Encinas P.

Paula Martínez T.

> **COORDINADOR DE DISEÑO:**

Mario Ubilla S.

> **AYUDANTES:**

Rafaela Behrens P.

Manuel Brahm C.

Iván Ibaceta U.

Andrés Sierra M.

Juan José Ugarte A.

> **ILUSTRACIONES:**

Alex Hurtado Z.

> **DISEÑO GRÁFICO:**

Alejandro Orrego O.

Felipe Pimentel R.

> **ASISTENTES:**

Patricia Bravo S.

Teresa Jerez I.

Leonidas Loyola V.

Mónica Silva N.

> **CONTRAPARTE TÉCNICA MINVU:**

María Esperanza Avila V. MINVU

Carla Bardi A. PPEE CNE

Leonardo Dujovne G. MINVU

Rose Marie Planzer PPEE CNE

Andréa Villarzá G. MINVU

> **EDITOR:**

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (MINVU) y Programa País de Eficiencia Energética (CNE).

**Publicación:** N° 333

**CDU:** 697.7(83)

Santiago de Chile, abril 2009.

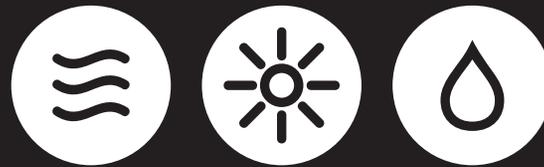
Derechos reservados. La reproducción total o parcial de esta obra, incluidas sus ilustraciones, puede hacerse citando debidamente la fuente.

Registro de Propiedad Intelectual N°188937

**Impresión:** Grafhika Copy Center Ltda.



Pontificia Universidad Católica de Chile  
Facultad de Arquitectura,  
Diseño y Estudios Urbanos



# GUÍA DE DISEÑO PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA VIVIENDA SOCIAL

## VIVIENDA SOCIAL

### EFICIENCIA ENERGÉTICA, OTRO INDICADOR DE CALIDAD.

Diseñar y construir viviendas sociales que entreguen confort a sus habitantes, disminuyan los índices de contaminación intra y extra domiciliarios, junto con ahorrar en el consumo de combustibles, son los criterios de eficiencia energética que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo viene trabajando durante los últimos años.

Desde la crisis del petróleo en 1973, hasta la actual, consecuencia del calentamiento global, el mundo entero ha diversificado estrategias para hacer un uso más eficiente de la energía en construcciones y viviendas. Chile ha participado de este proceso.

Aplicar criterios de eficiencia energética a las viviendas sociales, es para este Ministerio un parámetro más de calidad y sustentabilidad. No solo porque se traduce en una mejor calidad de vida de las personas, sino también porque contribuye a un desarrollo amigable con el medioambiente.

Un estudio realizado a viviendas construidas anterior a la Reglamentación Térmica (2000) nos da cuenta de la mala evaluación que tenemos los chilenos con respecto al confort térmico de nuestras viviendas. Por ello, usar materiales constructivos apropiados, puede significar para una familia vulnerable un ahorro del 20% en energía o permitir que su vivienda mantenga un mayor tiempo las condiciones de confort interior.

De la mano de dos concursos de arquitectura hemos planteado el desafío a jóvenes profesionales para generar diseños modernos y eficientemente energéticos en las viviendas sociales.

Esta experiencia ha demostrado que, pese a las restricciones que imponen el tamaño y los recursos disponibles, es posible obtener un gran nivel de confort mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción de viviendas adecuadas a las condiciones climáticas de su entorno.

Nueve años han transcurrido desde la primera etapa de la reglamentación térmica para complejo de techumbre (2000) y dos desde que toda la envolvente de la vivienda (muros, ventanas y piso ventilado) requiere cumplir con exigencias mínimas (2007). Hoy contamos con herramientas de modelamiento energotérmico y seguimos trabajando para lograr que en un futuro las viviendas en Chile cumplan con una certificación integral en materia energética.

Sin embargo, estas normas son recientes, por eso estamos apoyando, a quienes tienen viviendas con estándares más antiguos y necesitan resolver esta desventaja. Este año (2009) comenzaremos aplicar en las regiones del sur del país un Subsidio para el reacondicionamiento térmico de viviendas, que beneficiará a 10 mil familias.

La Política Habitacional de Calidad e Integración Social, que impulsamos en julio del 2006, ha marcado un antes y un después en materia de vivienda social. Los nuevos estándares de calidad tienen que ver con mayores superficies, viviendas emplazadas en barrios equipados y comunas integradas.

Pero hoy no se trata de construir sólo viviendas más grandes, sino mejores viviendas. Por eso, esta "Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en Vivienda Social" se suma a tantos esfuerzos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y del Programa País de Eficiencia Energética (CNE), por elevar los estándares constructivos de las viviendas sociales, donde el elemento energético dejó de ser un lujo, para convertirse en otro parámetro de calidad exigible.

Este manual es un material de apoyo técnico dirigido a las Entidades de Gestión Inmobiliaria Social (EGIS) y a los Prestadores de Servicios de Asistencia Técnica (PSAT), encargados de la elaboración de los proyectos habitacionales, en asesoría a las familias más vulnerables.

La aplicación de las recomendaciones incluidas en esta guía generará soluciones arquitectónicas y constructivas con mejores condiciones de habitabilidad, menores consumos de energía e impacto al medioambiente, permitiendo menores costos de mantención de la vivienda.

Construir viviendas sociales energéticamente eficientes es una inversión de largo plazo, y un esfuerzo de altísima retribución: permite ahorrar a las familias, al país y reducir la contaminación del planeta.

**Patricia Poblete Bennett**

Ministra de Vivienda y Urbanismo

## **MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA USANDO BIEN LA ENERGÍA**

Chile es uno de los primeros países de Latinoamérica que ha establecido normas y reglamentos obligatorios para fomentar el buen uso de la energía en materia de vivienda. En esta línea, el Gobierno se planteó como desafío elevar los estándares mínimos de las edificaciones y en especial de la vivienda social, con el objetivo de lograr un mayor confort, una mejor habitabilidad, alargar la vida útil y reducir el consumo de energía en las distintas construcciones.

Bajo esta mirada es esencial comprender que el uso eficiente de la energía en una vivienda debe considerarse desde las primeras etapas de diseño. De este modo, es muy importante que el diseño arquitectónico busque acercarse lo más posible al confort de los usuarios, haciendo mínima la necesidad de gastar energía para alcanzar condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana.

Así, la Comisión Nacional de Energía a través de su Programa País de Eficiencia Energética y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), han desarrollado la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social – como parte de la iniciativa “Vive con Buena Energía” – que entrega estrategias de uso adecuado para ser incorporadas en la etapa de diseño de la vivienda y que no implican un costo mayor en términos de construcción.

Además, este material está conformado por diversos capítulos que describen técnicas y dan recomendaciones para poder ahorrar energía, generar mayor confort lumínico y acústico, además de entregar aspectos generales de las viviendas bioclimáticas y sus diferentes diseños de acuerdo a las zonas climáticas de nuestro país.

La Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social viene a sumarse al amplio trabajo que hemos realizado con el MINVU en materia de Eficiencia Energética, impulsando la participación de arquitectos, ingenieros y especialistas del área en el desarrollo de diseños arquitectónicos que puedan ser implementados e incorporados como criterios de políticas públicas de vivienda social y que conduzcan a menores consumos energéticos.

Los invitamos a leer y utilizar esta Guía y por supuesto a incorporar a la eficiencia energética en sus acciones, para que a través de ella mejoremos la calidad de nuestras viviendas, contribuyamos a proteger el medioambiente y aportemos al crecimiento sustentable de Chile.

**Marcelo Tokman Ramos**

Ministro Presidente de la Comisión Nacional de Energía

## > ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>13</b>		
<b>I. ENERGÍA EN LA VIVIENDA</b>	<b>15</b>		
<b>I.1 ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE</b>	<b>17</b>		
I.1.1 El sector energético en Chile	18		
I.1.2 El sector residencial.	18		
I.1.3 El sector construcción y el ciclo de vida.	21		
I.1.4 Vivienda social y desarrollo sustentable.	22		
<b>I.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ARQUITECTURA</b>	<b>25</b>		
<b>I.3 REGLAMENTACIÓN TÉRMICA</b>	<b>27</b>		
I.3.1 Concepto de Grados-día de calefacción y su relación con la Zonificación térmica de la RT.	27		
I.3.2 La Zonificación térmica y su relación con la Zonificación climático habitacional de la Norma NCh1079-2008.	28		
I.3.3 Algunas consideraciones de la Reglamentación Térmica.	28		
<b>I.4 VIVIENDA SOCIAL EN CHILE</b>	<b>31</b>		
I.4.1 Programas habitacionales y subsidios	31		
I.4.1.1 Fondo Solidario de Vivienda (FSV I y II)	32		
I.4.1.2 Subsidio Habitacional Rural (SHR)	33		
I.4.2 Características y estándares de la vivienda	34		
<b>I.5 HABITABILIDAD Y CONFORT</b>	<b>35</b>		
I.5.1 La vivienda, el entorno y sus habitantes	35		
I.5.2 Confort ambiental en viviendas	37		
I.5.2.1 Los parámetros de influencia	37		
I.5.2.2 Confort higrotérmico.	38		
I.5.2.3 Confort lumínico.	40		
I.5.2.4 Calidad del aire.	41		
I.5.2.5 Confort acústico.	42		
<b>I.6 CLIMA Y ENERGÍA EN LA VIVIENDA</b>	<b>45</b>		
I.6.1 El Clima.	45		
I.6.2 Chile y su clima.	45		
I.6.2.1 Zonificación climático habitacional de Chile.	45		
I.6.2.2 Comportamiento de los factores climáticos a lo largo de Chile.	47		
I.6.2.3 Climas incorporados en CCTE_v2.0 y su relación con la zonificación climático habitacional y térmica.	48		
I.6.3 Intercambio energético en la vivienda.	50		
I.6.3.1 Fenómenos de transferencia de calor en la vivienda.	50		
I.6.3.2 Balance energético en la vivienda.	51		
I.6.3.3 Consumo y demanda de energía en viviendas sociales.	52		
<b>II. ESTRATEGIAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO PARA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDAS</b>	<b>55</b>		
<b>II.1 ESTRATEGIAS PARA PERÍODOS DE FRÍO Y CALOR</b>	<b>57</b>		
II.1.1 El sol, su trayectoria y el diseño bioclimático.	58		
II.1.2 Representación de la trayectoria solar.	58		
II.1.3 Orientación de la vivienda.	60		
II.1.4 Captación y protección solar.	62		
II.1.4.1 Ventanas y elementos opacos.	62		
II.1.4.2 Efecto invernadero y acumulación de calor.	67		
II.1.4.3 Muros Trombe.	68		
II.1.5 Transmisión de calor a través de la envolvente en periodos fríos.	69		
II.1.5.1 Comportamiento térmico de elementos opacos.	69		
II.1.5.2 Factor forma de la vivienda	73		
II.1.6 Condensación superficial e intersticial	74		
II.1.6.1 Determinación del riesgo de condensación.	75		
II.1.6.2 Recomendaciones.	77		
II.1.7 Ventilación en la vivienda.	79		
II.1.7.1 Ventilación forzada para mantener la calidad del aire interior.	79		
II.1.7.2 Ventilación natural como mecanismo de enfriamiento.	80		
<b>II.2 ESTRATEGIAS DE ILUMINACIÓN</b>	<b>84</b>		
II.2.1 Iluminación natural	84		
II.2.2 Iluminación artificial	86		

<b>II.3</b>	<b>ESTRATEGIAS PARA AGUA CALIENTE SANITARIA</b>	<b>88</b>	<b>III.3.4 Zona Central Litoral (CL)</b>	<b>146</b>
II.3.1	Configuración de la instalación solar y componentes.	88	III.3.4.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.
II.3.2	Estrategias de diseño arquitectónico.	89	III.3.4.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.
II.3.3	Dimensionado básico de una instalación solar para ACS.	90	<b>III.3.5 Zona Central Interior (CI)</b>	<b>154</b>
II.3.3.1	Datos para el dimensionamiento.	90	III.3.5.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.
II.3.3.2	Método de cálculo.	90	III.3.5.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.
<b>III.</b>	<b>RECOMENDACIONES DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO POR ZONA CLIMÁTICA</b>	<b>93</b>	<b>III.3.6 Zona Sur Litoral (SL)</b>	<b>161</b>
<b>III.1</b>	<b>CLIMA, ENTORNO Y EXIGENCIAS TÉRMICAS</b>	<b>96</b>	III.3.6.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.
<b>III.2</b>	<b>RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO</b>	<b>97</b>	III.3.6.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.
III.2.1	Estrategias de planificación del conjunto	97	<b>III.3.7 Zona Sur Interior (SI)</b>	<b>169</b>
III.2.1.1	Emplazamiento de las agrupaciones.	97	III.3.7.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.
III.2.1.2	Trazado vial.	97	III.3.7.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.
III.2.1.3	Lotes flexibles.	97	<b>III.3.8 Zona Sur Extrema (SE)</b>	<b>177</b>
III.2.1.4	Zona solar y patrones de sombra.	98	III.3.8.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.
III.2.1.5	Viento.	99	III.3.8.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.
III.2.1.6	Vegetación.	101	<b>III.3.9 Zona Andina (An)</b>	<b>185</b>
III.2.1.7	Recomendaciones para el diseño del espacio público.	103	III.3.9.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.
III.2.2	Estrategias para el diseño de la vivienda	105	III.3.9.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda
III.2.2.1	Estrategias para períodos de frío y calor.	105	<b>IV. TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA BASADAS EN RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES Y OTROS SISTEMAS PASIVOS</b>	<b>191</b>
III.2.2.2	Estrategias de iluminación natural.	116	<b>IV.1 ENERGÍA SOLAR.</b>	<b>189</b>
III.2.2.3	Estrategias para agua caliente sanitaria.	120	IV.1.1	Colectores solares térmicos para agua caliente sanitaria.
<b>III.3</b>	<b>RECOMENDACIONES SEGÚN ZONA CLIMÁTICO HABITACIONAL DE LA NCH 1079-2008.</b>	<b>122</b>	IV.1.1.1	Colectores de placas planas.
<b>III.3.1 Zona Norte Litoral (NL)</b>	<b>123</b>	IV.1.1.2	Colectores de tubos al vacío.	
III.3.1.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.	123	IV.1.2	Celdas fotovoltaicas.
III.3.1.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.	124	<b>IV.2 ENERGÍA EÓLICA.</b>	<b>196</b>
<b>III.3.2 Zona Norte Desértica (ND)</b>	<b>130</b>	<b>IV.3 ENERGÍA HIDRÁULICA.</b>	<b>197</b>	
III.3.2.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.	130	<b>IV.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA.</b>	<b>198</b>
III.3.2.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.	131	<b>IV.5 BIOMASA.</b>	<b>199</b>
<b>III.3.3 Zona Norte Valles Transversales (NVT)</b>	<b>138</b>			
III.3.3.1	Antecedentes para el diseño arquitectónico.	138		
III.3.3.2	Recomendaciones de diseño en la vivienda.	139		

<b>IV.6</b>	<b>SISTEMAS COLECTIVOS DE CALEFACCIÓN.</b>	<b>200</b>
<b>IV.7</b>	<b>EL RECURSO HÍDRICO.</b>	<b>201</b>
<b>V.</b>	<b>PROYECTOS PREMIADOS CONCURSO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA SOCIAL 2006 Y 2007.</b>	<b>203</b>
<b>V.1</b>	<b>PRIMER CONCURSO DE IDEAS PARA EL DESARROLLO DE DISEÑOS Y ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA VIVIENDA SOCIAL (2006).</b>	<b>205</b>
	V.1.1 Primer Premio	205
	V.1.2 Segundo Premio.	206
	V.1.3 Tercer Premio.	206
<b>V.2</b>	<b>SEGUNDO CONCURSO DE ARQUITECTURA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA SOCIAL (2007).</b>	<b>207</b>
	V.2.1 Primer Premio.	207
	V.2.2 Segundo Premio.	208
	V.2.3 Tercer Premio.	208
	<b>GLOSARIO TÉCNICO Y BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>209</b>
	<b>GLOSARIO TÉCNICO</b>	<b>211</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>214</b>

## > PRESENTACIÓN

La presente publicación constituye una “Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social”. Se tiene aquí un instrumento de apoyo, que en lo principal resume una serie de recomendaciones de diseño arquitectónico para este tipo de viviendas a lo largo y ancho del país.

La vivienda social está permanentemente enfrentando un conjunto de desafíos, entre los cuales se encuentra hoy el mejorar su comportamiento térmico. El país está en condiciones de resolver este desafío haciendo uso de criterios de confort con uso eficiente de la energía. De este modo se mejorarán los estándares de vida de la población, con un impacto positivo en el medio ambiente y haciendo uso racional de los recursos naturales.

La Guía presenta en primer lugar información básica y resumida respecto de lo que ocurre en el sector energético del país, en particular en el sector residencial. Ello, con el fin de mostrar el contexto en que se inscribe un documento como éste, toda vez que la eficiencia energética en los edificios en general y en particular en viviendas sociales hace parte de las urgencias a resolver para avanzar en el uso más racional de los recursos naturales que utiliza el país, en el marco de una frágil matriz energética, dependiente en gran medida de fuentes no renovables y principalmente importadas. La implementación de proyectos en el marco del desarrollo sustentable pasa por estar familiarizado con esta realidad.

El documento a continuación describe los fundamentos de confort para el desarrollo normal de las actividades humanas y los aspectos básicos en que se sostienen un conjunto de estrategias para el diseño arquitectónico, con criterios de eficiencia energética. La vivienda social, que se diseña en el contexto de un determinado clima, debe responder a las solicitudes que éste ofrece para mejorar las condiciones ambientales de su espacio interior. Por ello se ha tomado como referencia principal la zonificación climática de la Norma chilena NCh 1079, la que está en proceso final de actualización. Ello sin dejar de lado las exigencias de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Artículo 4.1.10) que constituyen la llamada Reglamentación Térmica y que está orientada a períodos fríos del año. No debe olvidarse que la vivienda debe conseguir su confort con eficiencia energética en todo período del año.

La Guía finalmente presenta una serie de recomendaciones para diferentes zonas climáticas del país, las que pueden ser consideradas como referencia para el diseño arquitectónico. Cabe señalar que todo proyecto arquitectónico es distinto y por tanto es éste, en su particularidad, el que debe considerar las estrategias más atinentes al contexto específico en que se desarrolla.

Esperamos que este instrumento sea un aporte real para el diseño de las viviendas sociales y de todo tipo de edificios residenciales en el país, en la perspectiva de conseguir confort con eficiencia energética y en el entendido que las decisiones finales del diseño obedecen a condicionantes particulares propias de cada proyecto y sus restricciones. En el marco de estas restricciones, la vivienda social en Chile puede ser mejorada significativamente.

Waldo Bustamante G.

# **CAPÍTULO I**

Energía en la vivienda

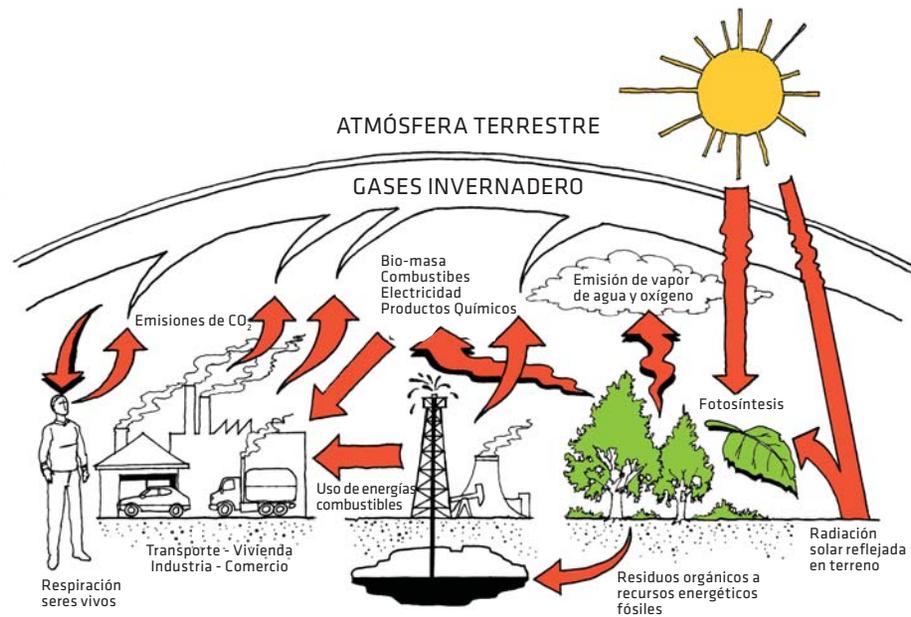


Figura I.1.1: Flujo de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## I.1 ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE

Actualmente existen claras evidencias científicas sobre la existencia del cambio climático, debido al efecto invernadero generado por las emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas emisiones se asocian directamente con el sector de energía, pues se producen por la combustión de energías fósiles, tales como el carbón, el gas, el petróleo y la quema de leña. Este fenómeno está provocando un aumento significativo de la temperatura media del globo, generando deshielo de glaciares, incremento en el nivel de los océanos, aumento de precipitaciones, deterioro de los suelos (sequías) y crecimiento de ciertas infecciones epidémicas.

Por otra parte, en el planeta se observa un conjunto de desigualdades y desequilibrios globales, que se manifiestan en el consumo energético y en sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases tóxicos, cuya mayor responsabilidad se encuentra en los países desarrollados.

Al respecto el Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008 del PNUD expone: “En el mundo de hoy, son los pobres los que llevan el peso del cambio climático. Mañana, será toda la humanidad la que deberá enfrentar los riesgos asociados al calentamiento global. La veloz acumulación de gases efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra, está cambiando de manera fundamental el pronóstico climático de las próximas generaciones. Estamos acercándonos al borde de los llamados “puntos de inflexión”, sucesos impredecibles y no lineales que pueden desencadenar catástrofes ecológicas, entre ellas, la pérdida acelerada de los hielos polares de la Tierra, que transformarán los sistemas de asentamientos humanos y minarán la viabilidad de economías nacionales completas. Es posible que nuestra generación no se vea afectada por sus consecuencias. Pero nuestros hijos y sus nietos no tendrán alternativa y tendrán que vivir con ellas. La aversión a la pobreza y a la desigualdad de hoy y al riesgo catastrófico de mañana provee un sólido fundamento para actuar ahora con máxima premura.”<sup>1</sup>

En este contexto, las energías renovables y la eficiencia energética constituyen un recurso inevitable a considerar dentro de toda planificación en el sector energético, contribuyendo a reducir los efectos que provocan las emisiones, debido al uso de combustibles fósiles y madera en el medio ambiente del planeta.

<sup>1</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2007). "Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008".

### I.1.1 El sector energético en Chile

En los últimos años, cerca del 35% de la energía primaria<sup>2</sup> que consume el país proviene del petróleo y 19% corresponde a hidroelectricidad. La restante energía proviene del gas natural (22%), la leña y otros (14%) y el carbón (16%) (ver gráfico I.1.1.1). El consumo de algunas de estas fuentes presentan fluctuaciones en el tiempo tal como ocurre con el gas natural (decrece de un 24,2% a un 14,4 % en el período), la leña y otros (se incrementa de un 13,2 a un 16,8%) y el carbón (crece de un 7,9 a un 13,8%). Estas fluctuaciones se deben probablemente a los precios y a la disponibilidad del recurso.

Los gráficos I.1.1.2 y I.1.1.3 muestran estas variaciones porcentuales y absolutas en tercalorías  $\times 10^3$  anuales.

Por otra parte, el país muestra una alta dependencia energética. Cerca del 70% de energía consumida en el país es importada. (figura I.1.1.1)

### I.1.2 El Sector Residencial

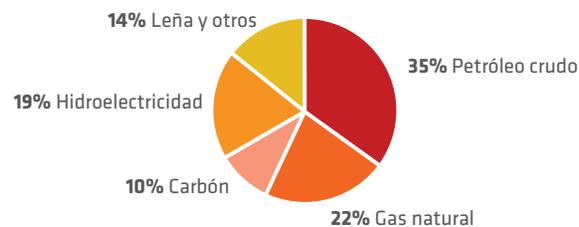
Respecto de la participación por sectores en el consumo de energía secundaria, sin contar los Centros de Conversión, se obtiene que el sector Comercial, Público y Residencial presenta un consumo de 27% en el país, mostrando así su importancia en relación al consumo total, tal como también ocurre con el Transporte y el sector Industrial y Minero (ver gráfico I.1.2.1).

Observando exclusivamente el sector residencial (excluyendo el sector público y comercial), el consumo de energía secundaria (que alcanzó aproximadamente a 51,6 mil tercalorías en el año 2007) está altamente concentrado en la leña, con un 60% de participación. Le siguen el gas licuado, la electricidad y el gas natural (Ver gráfico I.1.2.2).

Cada uno de los recursos energéticos usados en las viviendas, provoca impactos ambientales con diferentes efectos (sobre el suelo, aire y agua) a nivel local, regional, nacional o global (Ver tabla I.1.2.1).

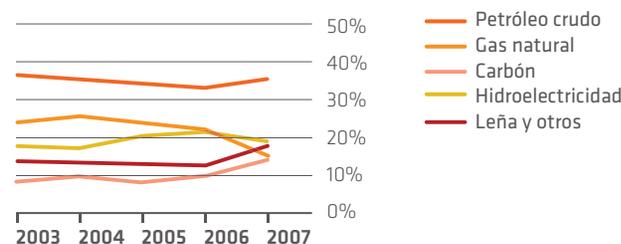
<sup>2</sup> Se denomina energía primaria a los recursos naturales disponibles en forma directa (como la energía hidráulica, eólica y solar) o indirecta (después de atravesar por un proceso minero, como por ejemplo el petróleo, el gas natural, el carbón mineral, etc.) para su uso energético sin necesidad de someterlos a un proceso de transformación. ([www.cne.cl](http://www.cne.cl)).

La energía secundaria es la que se obtiene del proceso de transformación y es utilizada por el usuario final.



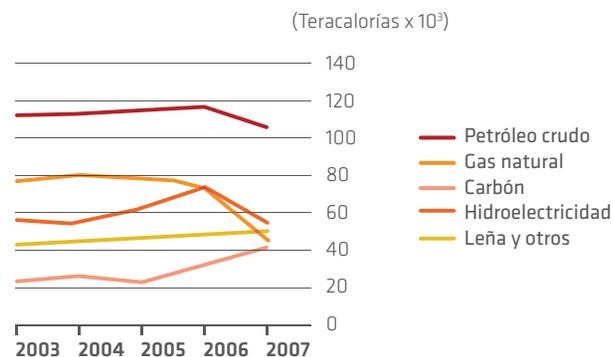
**Gráfico I.1.1.1:** Energía primaria en Chile, promedio 2003 al 2007. Factor de conversión de 2504 kcal/kWh según parque generador nacional.

**Fuente:** Elaboración propia según cifras CNE.



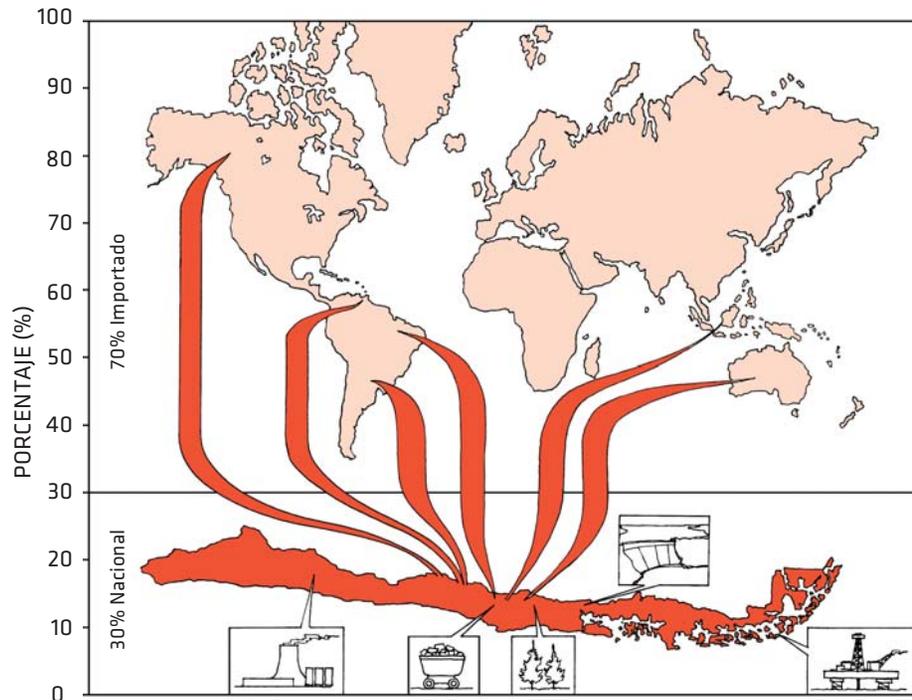
**Gráfico I.1.1.2:** Variación porcentual consumo de energía primaria en Chile. Años 2003 al 2007.

**Fuente:** Elaboración propia según cifras CNE.

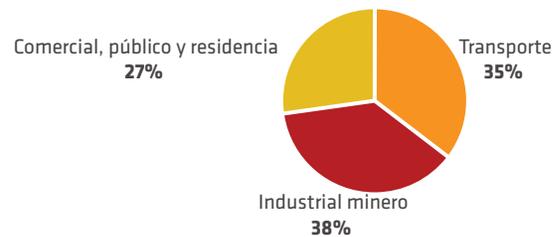


**Gráfico I.1.1.3:** Variación consumo de energía primaria en Chile. Años 2003 al 2007.

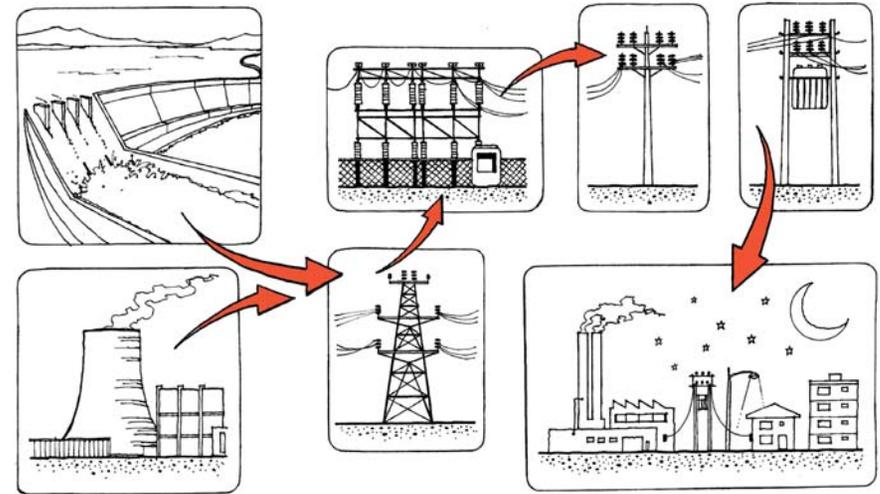
**Fuente:** Elaboración propia según cifras CNE.



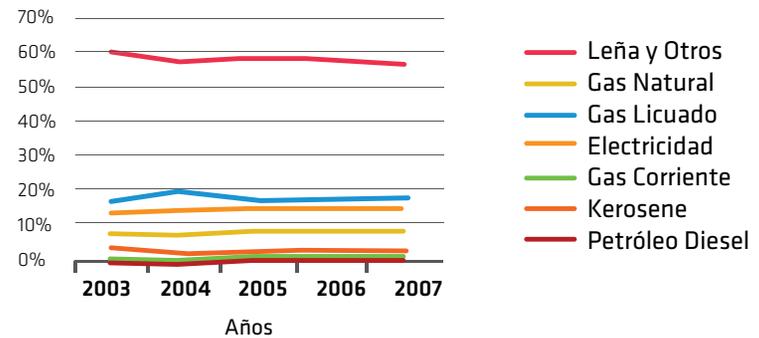
**Figura I.1.1.1:** Dependencia energética: Chile. Valores promedio últimos 5 años  
Fuente: Elaboración propia según cifras CNE.



**Gráfico I.1.2.1:** Consumo porcentual por sectores de energía secundaria en Chile. Años 1998 al 2007  
Fuente: Elaboración propia según cifras CNE.



**Figura I.1.2.1:** Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica  
Fuente: INE, 2008 (modificado).



**Gráfico I.1.2.2:** Participación porcentual de energía secundaria en sector residencial. Años 2003 al 2007.  
Fuente: Elaboración propia según cifras CNE.

La generación de electricidad consumida en el país proviene tanto de la hidroelectricidad como de centrales térmicas a gas natural, carbón y petróleo diesel y tras un largo proceso de transmisión y distribución llega a nuestros hogares (Ver figura I.1.2.1).

Las centrales hidroeléctricas (que han generado entre un 40 y 50% de la electricidad consumida en los últimos años) impactan a nivel local y regional, con la destrucción del paisaje y toda la flora y fauna asociada, más los restantes efectos mencionados en la tabla indicada. En el proceso de construcción de las grandes centrales hidroeléctricas también se produce un alto impacto ambiental, entre otras cosas por el hormigón armado utilizado, que a su vez requiere alto consumo de energía en su extracción, fabricación y transporte hasta las obras.

Las centrales térmicas producen un alto impacto por sus emisiones. La generación eléctrica en centrales térmicas (a gas natural, diesel y carbón) fluctúa entre un 50 y 60% según el año. Por otra parte, en el país, la generación con gas natural ha disminuido significativamente en el último tiempo, aumentando el uso del carbón y el petróleo diesel para su sustitución (Ver gráfico I.1.2.3).

Tal como se observa en la tabla I.1.2.1, las emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) es uno de los efectos ambientales que provoca la quema de combustibles fósiles y de leña. Esta tabla muestra los efectos ambientales que se generan a nivel local (L), regional (R); nacional (N) y global (G) debido al uso de diferentes fuentes de energía.

Actualmente la emisión per cápita es en general mayor en los países industrializados que en los países en vías de desarrollo como Chile. En el futuro ello podrá cambiar en la medida que los países industrializados vayan cumpliendo las metas del "Acuerdo de Kyoto" u otros similares que se espera surjan una vez concluido éste.

En efecto, si la participación del carbón en la generación eléctrica llegase a aumentar en los próximos años con la incorporación de nuevas centrales térmicas, se producirá un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, en Chile, proyectándose hacia 2030 las emisiones por unidad de producto serán superiores a las de Europa y otros países desarrollados<sup>3</sup>. Cabe mencionar que las emisiones provocadas por el carbón casi duplican las provocadas por el gas natural<sup>4</sup>. A nivel global, la Agencia Internacional de la Energía proyecta un aumento de

<sup>3</sup> Comisión Nacional de Energía (2008). "Política Energética: Nuevos Lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad".

**Tabla I.1.2.1 EFECTOS DIRECTOS POTENCIALES A LA ENERGÍA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE**

	PETRÓLEO	GAS NATURAL	CARBÓN	HIDRO ELECTRICIDAD	BIOMASA (LEÑA)	ESCALA
<b>SOBRE LA TIERRA</b>						
Disponibilidad			×	×	×	R; N
Remoción de Suelo			×			L
Inundación				×		R
Deforestación					×	R
Erosión					×	R; N
Desertificación					×	R; N; G
Hundimientos			×			L
Mvtos. Sísmicos				×		R
Contaminación Química	×		×		×	L
Destrucción Paisaje			×	×	×	L; R
<b>SOBRE EL AGUA</b>						
Disponibilidad Agua			×	×	×	R; N
Cambio Hidrológico				×	×	R; N
Sedimentación				×	×	R
Contaminación Química			×		×	R
Lluvia Ácida	×		×		×	R
Derrame	×					L; R
<b>SOBRE LA ATMÓSFERA (EMISIONES)</b>						
Óxidos de Azufre	×		×			L; R
Óxidos de Nitrógeno	×		×			L; R
Monóxido de Carbono	×		×			L; R
Partículas	×		×			L; R
Compuestos Orgánicos	×		×			L; R
Trazas Metálicas	×		×			L; R
Sulfuro de Hidrógeno			×		×	L
Dióxido de Carbono	×	×	×		×	G
<b>OTROS EFECTOS POTENCIALES</b>						
Ruido	×	×	×			L
Explosiones	×	×	×			L; R

Fuente: Del Valle, Alfredo (1985).

G=GLOBAL, N=NACIONAL, R=REGIONAL, L=LOCAL

un 60% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> desde aquí al 2030. Tal como se ha indicado, el CO<sub>2</sub> favorece altamente el efecto invernadero y el cambio climático en el planeta.

### 1.1.3 El sector construcción y el ciclo de vida

El sector de construcción que incluye a la edificación es clave en lo referente al consumo de energía en todos los países. Chile no es una excepción.

Uno de los métodos que existen actualmente para evaluar el consumo de energía de un edificio es considerando el ciclo de vida de éste, el cual puede separarse en 5 fases: (i) extracción y fabricación de materiales y componentes (energía incorporada o “embodied energy”); (ii) transporte de materiales y componentes al sitio de construcción; (iii) el proceso de construcción propiamente tal; (iv) la fase de operación; y (v) la demolición y reciclaje al fin del ciclo de vida del edificio. Todas estas fases tienen importancia en el consumo de energía, siendo una de las más intensas la de operación del edificio, lo que no invalida la necesidad de incluir en el análisis todas las restantes fases del ciclo de vida del edificio, en especial para la toma de decisiones respecto del diseño y construcción.

La figura 1.1.3.1 muestra diferentes etapas involucradas en todo proceso de construcción de edificios, en los cuales cada uno impacta sobre el medio ambiente y en particular en las demandas y consumo de energía, desde la extracción de materiales hasta la demolición del edificio, luego de lo cual idealmente el medio ambiente debe conservarse.

En cada una de estas etapas existe un consumo de energía, siendo el primero de ellos la extracción y fabricación de los materiales de construcción, asociados al concepto de energía incorporada. La tabla 1.1.3.1 muestra algunos valores de energía incorporada en diferentes materiales de construcción.

La información de la tabla 1.1.3.1 corresponde a la realidad de Nueva Zelanda. Para Chile se desconoce información, la que podrá diferir de ésta y de otros datos disponibles en la bibliografía internacional, dado que la energía incorporada en los materiales depende de la matriz energética de cada país, de las tecnologías utilizadas en los procesos productivos y de los sistemas de transporte utilizados.

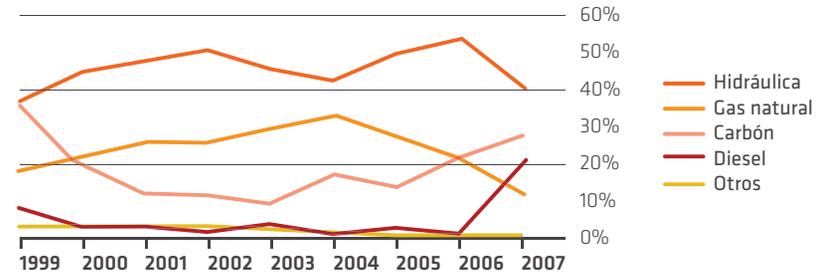


Gráfico 1.1.2.3: Evolución porcentual de fuentes de generación eléctrica en Chile. Años 1999 al 2007. Fuente: Elaboración propia según cifras CNE.

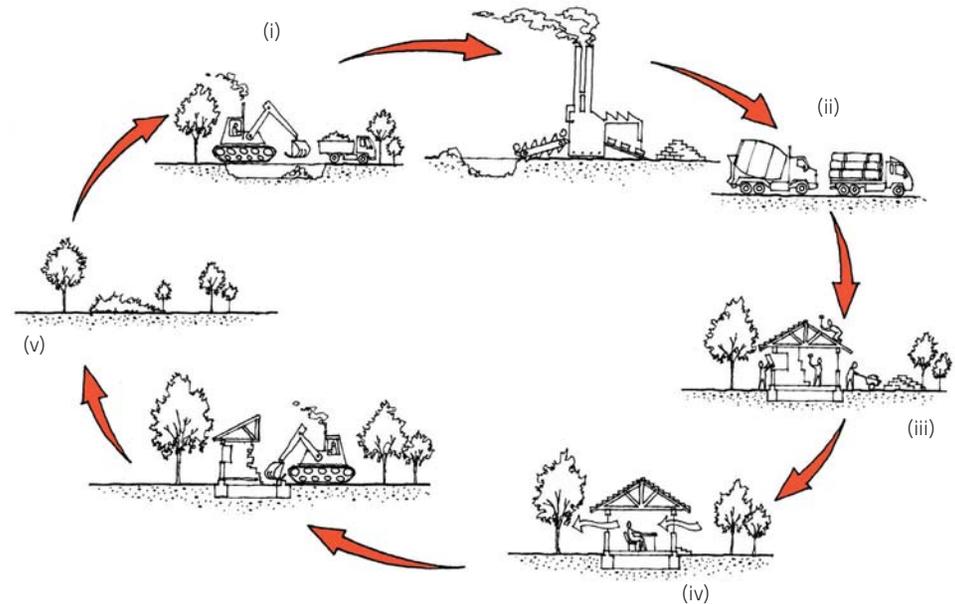


Figura 1.1.3.1: Procesos involucrados en el ciclo de vida de un edificio. Fuente: AIJ (modificado) (2005)

4 [www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html)

Cabe indicar que actualmente, algunos países como Alemania estudian la aplicación de regulaciones en los edificios respecto del consumo de energía considerando el análisis de ciclo de vida de éstos.

En el país, el criterio más utilizado para elegir uno u otro sistema constructivo a considerar en la envolvente de la vivienda (o edificio en general), se basa en la demanda global de energía de calefacción y/o en el comportamiento higratérmico del sistema constructivo específico de acuerdo al clima. Basándose en el criterio anterior, se podrá concluir que un cierto sistema constructivo para la envolvente presenta mejor comportamiento térmico (de invierno) que otro. En el futuro, el resultado de estas decisiones podrá variar respecto de lo que ocurre actualmente. Ello porque se analizará el efecto en el consumo de energía, que se asocia al sistema constructivo a lo largo de todo el ciclo de vida de la vivienda y desde la extracción de los materiales que en ella se han utilizado.

Es probable entonces, que un cierto sistema constructivo, al cual se asocia una demanda de energía en la operación de la vivienda (supuesta en un clima) y que actualmente es más aconsejable que otro considerando idéntico criterio, mañana ya no lo sea al tomar en cuenta su energía incorporada desde la extracción de materiales hasta el fin de su vida útil.

#### 1.1.4 Vivienda social y desarrollo sustentable

Tal vez el impacto más importante a obtener con una vivienda social que presente un mayor estándar en cuanto a la calidad ambiental interior, estará directamente asociado a la disminución de problemas de salud de las personas. Ello debido a mejores condiciones térmicas, acústicas, de iluminación, de contenido de humedad y calidad del aire en este ambiente (menos contaminación intra-domiciliaria).

De este modo nos acercamos a los equilibrios necesarios al que toda sociedad debe aspirar, aportando al desarrollo sustentable, el que en una visión holística depende de un conjunto de factores en permanente interacción y en el que el ser humano juega un rol fundamental para lograr el equilibrio entre lo social, lo económico y el medio ambiente.

La figura 1.1.4.1 muestra un esquema clásico, en que los factores indicados: social, económico y medio ambiente, representado por 3 esferas, interactúan en el objetivo de conseguir el desarrollo sustentable

El objetivo es conservar la integridad presente y futura del medio ambiente, con toda su di-

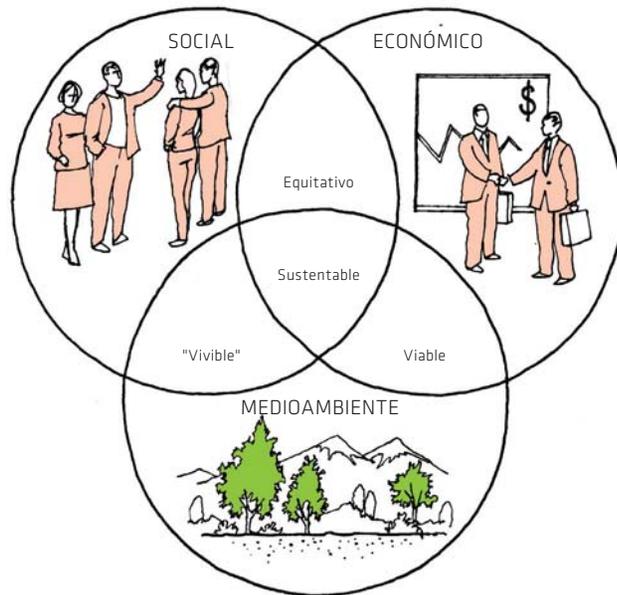
**Tabla 1.1.3.1 ENERGÍA INCORPORADA EN ÁLGUNOS MATERIALES DE COSTRUCCIÓN**

	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
Poliestireno Expandido	58,4	1401
Lana de Vidrio	32,1	1026
Lana de Celulosa	4,3	146
PVC	60,9	80944
Acero Estructural (Virgen)	31,3	245757
Acero Reciclado	8,6	67144
Aluminio Anodizado Extruído	23,8	64340
Aluminio Reciclado	9,0	24397
Ladrillo Cerámico (Promedio)	6,7	13188
Bloque de Concreto	0,9	-
Concreto (17,5MPa)	0,9	2019
Concreto (30Mpa)	1,2	2762
Concreto (40MPa)	1,4	3282
Cemento (Promedio)	6,2	12005
Vidrio (Float)	15,9	40039
Yeso Cartón	7,4	7080
Pino; seco; bruto; tratado	3	1252
Pino; secado con gas	9,7	4060
Madera laminada	13,6	5727

**Fuente:** *Alcorn, A (2003)*

versidad. La economía debe conseguir la gestión óptima de los recursos humanos, naturales y financieros para permitir la satisfacción de las necesidades de las comunidades humanas, con sentido de equidad entre las naciones, entre los individuos e intergeneracional.

En el contexto de la edificación y la ciudad, el desarrollo sustentable se consigue al considerar una serie de factores que interactúan entre ellos, los que al ser tomados en cuenta permiten conseguir una ciudad sustentable. En este sentido, la vivienda social no es considerada como un elemento aislado. No basta con incrementar el estándar de calidad de la vivienda desde el punto de vista ambiental, sino que también todo el contexto territorial en que se inserta. La gente vivirá en un ambiente habitable (espacio en que las personas perciben y manifiestan satisfacción en su interacción con él) solo si se reúnen condiciones en cuanto a la arquitectura, el urbanismo y la construcción. En otras palabras, la interrelación entre estos tres aspectos y en equilibrio con el medio ambien-



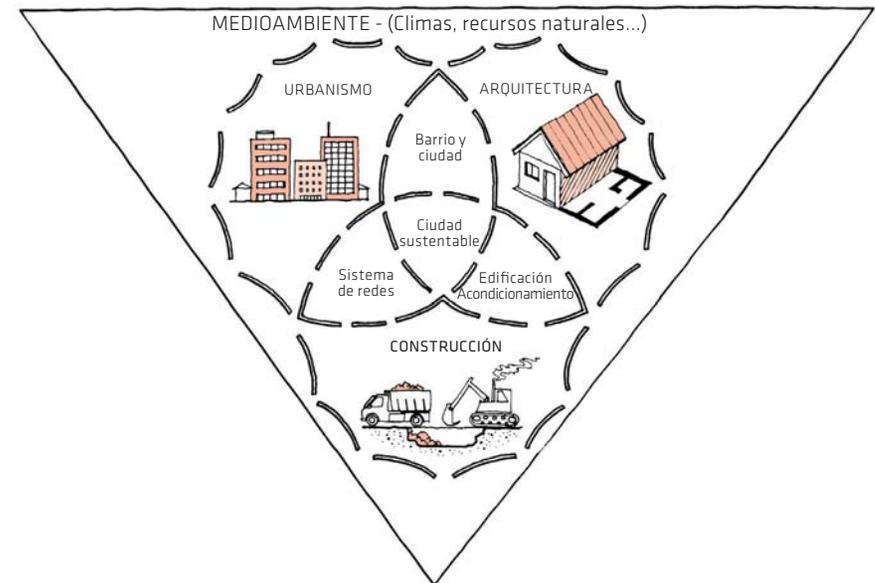
**Figura I.1.4.1:** El concepto de desarrollo sustentable como interacción permanente entre lo Económico, lo Social y el Medio Ambiente.

**Fuente:** Elaboración propia en base a Courgey, S et al (2006).

te depende si se tendrá una vivienda, barrio o ciudad sustentable, con el consiguiente beneficio para sus habitantes.

La figura I.1.4.2 muestra la interrelación que podrá conseguir una ciudad sustentable en la medida que cada una de sus partes y las interacciones entre ellas se desarrollen en un marco de respeto por el medio ambiente general.

En este cuadro (figura I.1.4.2), los sistemas de redes se refieren a los servicios de electricidad, agua potable, alcantarillado, tratamiento y evacuación de desechos, sistemas de transporte, comunicaciones, etc. La edificación contempla la materialidad, las propiedades físicas de los materiales, los sistemas de acondicionamiento ambiental con eficiencia y uso de recursos renovables. La arquitectura considera estrategias climáticas, las condiciones de confort, las tipologías de edificios.



**Figura I.1.4.2:** Arquitectura, construcción urbanismo. Interacciones para una ciudad sustentable.

En el contexto de lo anterior, el mejoramiento del comportamiento ambiental de la vivienda social debe estar complementado por el diseño del espacio público en que ella se circunscribe, generando un barrio y por consiguiente una ciudad que ofrezca bienestar a las personas. Ello también implica el cuidado permanente de este espacio y el aprovisionamiento de las redes necesarias para este bienestar. Una vivienda social de alto estándar de calidad físico ambiental, lo es tal en la medida que el barrio ofrezca condiciones en concordancia con ello. (Ver figura I.1.4.3).



Figura I.1.4.3: La vivienda social y el barrio en el marco de la sustentabilidad.

## I.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ARQUITECTURA

Desde la crisis del petróleo de 1973 hasta la actual crisis del calentamiento global del planeta, en el mundo se han generado una serie de tecnologías, estrategias y sistemas que permiten hacer uso más eficiente de la energía en los edificios. Chile, a pesar de estar lejos de lo alcanzado en el mundo desarrollado, no ha estado ausente de este proceso.

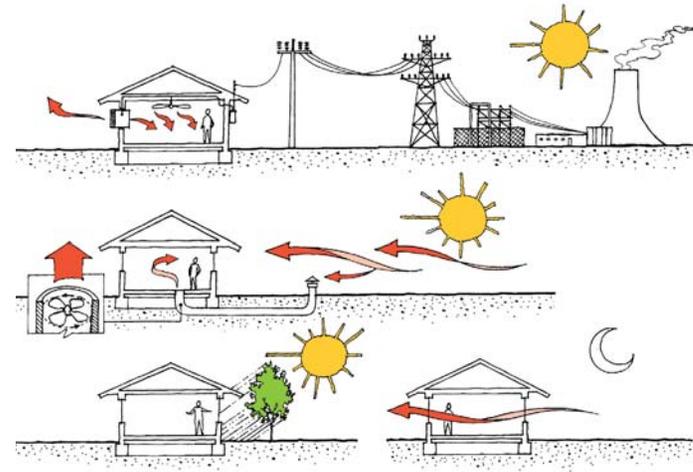
Eficiencia energética existe en la medida que un fin determinado (por ejemplo calefaccionar un recinto) se consigue con el menor consumo de energía posible. La eficiencia no implica renunciar al logro del objetivo del confort en los edificios, sino que persigue conseguirlo con menor uso de energía.

En este contexto, el edificio debe ser considerado como un sistema que muestra efectividad en conseguir confort térmico (concepto que se define más adelante), haciendo uso de estrategias que necesiten el menor consumo de energía posible. Con esto se quiere indicar que aplicando un conjunto de estrategias, con efectos superpuestos, se pretende conseguir la eficiencia energética del edificio, el que en este caso se trata de la vivienda social en el país.

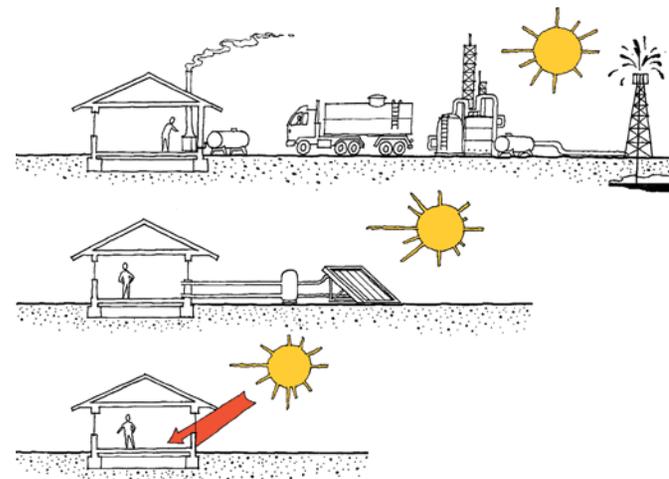
En otras palabras, por ejemplo, si se aplica determinada estrategia para conseguir confort en cierto período, ésta debe complementarse con otras para conseguir eficiencia en idéntico período y a lo largo de todo el año. Puede, en un cierto caso, usarse la estrategia de alta inercia de absorción (o alta efusividad para ser más precisos) en un edificio para conseguir confort térmico en verano, aminorando en el interior las temperaturas máximas. Si ella no se complementa con la protección solar en ventanas, para evitar la ganancia solar en la indicada estación, prácticamente se anula el efecto de la alta efusividad del edificio y por tanto el confort no se consigue.

Este aspecto, fundamental para conseguir confort con eficiencia energética, debe también considerar que la vivienda tiene que presentar un buen comportamiento térmico en todo período del año, por lo que las estrategias a considerar deben ser compatibles con este objetivo. Una buena estrategia para períodos fríos de año, debe al menos no afectar el confort en períodos calurosos.

La eficiencia energética en los edificios y en particular en las viviendas, puede ser conseguida con la aplicación de una serie de estrategias de diseño arquitectónico y de técnicas constructivas, las que se han desarrollado fuertemente a partir de la mencionada crisis del petróleo de 1973. Junto a ello, también se ha evolucionado significativamente en la búsqueda de sistemas (instalaciones) de alta eficiencia para acondicionamiento térmico,



a) Períodos calurosos del año



b) Períodos fríos del año

**Figura 1.2.1:** Viviendas que utilizan recursos energéticos no renovables (arriba), sistemas activos en base a recursos renovables (centro), y sistemas pasivos basados en energías renovables (abajo), según estación del año.

iluminación artificial y ventilación. Parte de estos sistemas son consumidores de recursos energéticos fósiles (petróleo, gas natural, carbón) por lo que también se ha invertido gran cantidad de recursos en la generación de sistemas de acondicionamiento con uso de recursos renovables (sol, viento, intercambio de calor con el subsuelo y otros).

La figura I.2.1 muestra esta evolución, a partir de un uso intensivo de recursos energéticos fósiles, pasando por la aplicación de sistemas basados en recursos energéticos renovables con pequeño uso de energías tradicionales (sistemas activos), hasta el uso de tecnologías y estrategias efectivas de diseño que funcionan de manera natural (sistemas pasivos). La figura muestra tecnologías aplicadas separadamente a una vivienda para facilitar la representación gráfica, pero se insiste en que cada tecnología o estrategia, especialmente las de energías renovables activas y pasivas, debe cumplir su rol correspondiente todo el año o en un período de éste sin afectar el período restante.

Al acercarnos en el tiempo a la crisis del calentamiento global del planeta, hemos visto en el último tiempo cómo se han desarrollado edificios que no requieren uso de energías fósiles y que incluso pueden generar energía y entregarla a red. Es muy probable que en las décadas venideras la “vivienda cero energía” comience a tener una presencia importante en los mercados de países desarrollados como Estados Unidos, Australia, Japón y continente europeo (países con climas mucho más severos que los de Chile).

Cabe indicar, que todo este desarrollo tecnológico alcanzado en países como los indicados, se ha acompañado con fuertes regulaciones y con políticas de subsidio aplicadas a todo tipo de edificios, con el fin de conseguir eficiencia energética y un impacto ambiental cada vez menor (aunque todavía insuficiente), debido a la disminución de emisiones de gases invernadero.

Volviendo al caso de la vivienda social en Chile, es posible sostener hoy, que haciendo uso del estado de arte en cuanto a estrategias arquitectónicas, sistemas y técnicas constructivas y con el uso de recursos energéticos renovables, ésta puede ser significativamente mejorada, logrando confort con uso eficiente de la energía.

Tabla I.3.1 EXIGENCIAS TÉRMICAS A ELEMENTOS ENVOLVENTES DE LA VIVIENDA CONTENIDAS EN LA RT.							VENTANAS % Máximo de ventanas respecto a parametros verticales de la envolvente		
ZONA TÉRMICA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS		VIDRIO MONOLÍTICO	DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO	
	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W		3,6 W/m <sup>2</sup> K >=U> 2,4 W/m <sup>2</sup> K	U <=2,4 W/m <sup>2</sup> K
	1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60		0,28	50%
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15	40%	60%	80%
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43	25%	60%	80%
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67	21%	60%	75%
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00	18%	51%	70%
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56	14%	37%	55%
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13	12%	26%	37%

Fuente: Elaboración propia en base a Artículo 4.1.10 de la OGUC.

### I.3 REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

La Reglamentación Térmica (RT) de vivienda está vigente en nuestro país desde el año 2000 luego de su incorporación a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC Artículo 4.1.10). En una primera etapa que entró en aplicación en marzo de ese año, se definieron exigencias de transmitancia térmica máxima (o resistencia térmica total mínima) para el complejo de techumbre de viviendas, haciendo disminuir en forma significativa las pérdidas de calor a través de este elemento de la envolvente. Con ello se mejoró notoriamente el comportamiento térmico de las viviendas, en especial en períodos de invierno, con alto impacto en la vivienda social y sus ocupantes.

En una segunda etapa de esta RT (Reglamentación Térmica), complementaria con la anterior y vigente desde inicios de 2007, se establecen exigencias para limitar las pérdidas de calor a través de muros, pisos ventilados<sup>5</sup> y a través de ventanas. En el caso de éstas, se restringe su tamaño en función de su transmitancia térmica (Ver tabla I.3.1).

Se observa en la tabla que las exigencias se establecen para 7 Zonas Térmicas.

Las 7 Zonas Térmicas se definieron en base al criterio de los Grados Día de Calefacción anuales, los que se estimaron para las diferentes regiones del país, haciendo uso de información meteorológica de larga data.

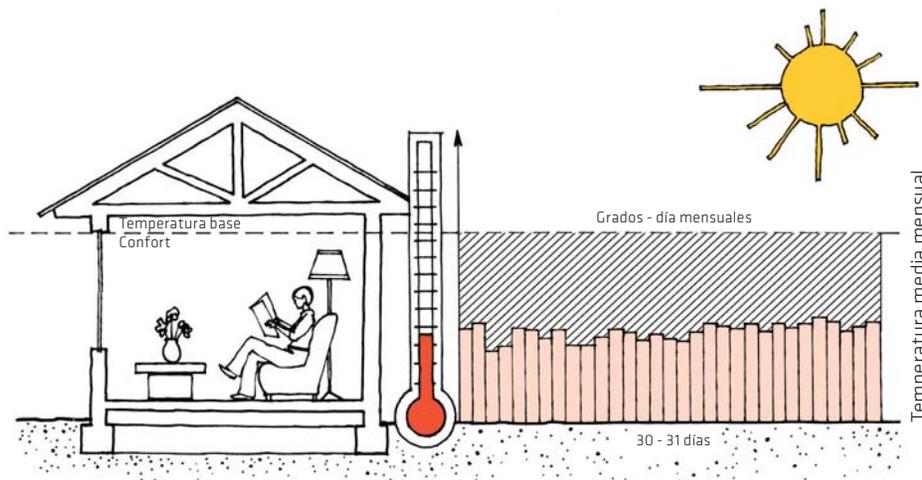


Figura I.3.1.1: Concepto de grados-día

#### I.3.1 Concepto de Grados-día de calefacción y su relación con la Zonificación térmica de la RT

En concepto de Grados-Día (GD) de calefacción se representa en la figura I.3.1.1, en la que la zona achurada corresponde a los GD de calefacción del lugar, en que se tienen las temperaturas medias diarias graficadas en la figura.

Ello indica que los GD de calefacción están directamente relacionados con las demandas de energía que la vivienda requiere en el período considerado (en la figura se refiere al mes), para lograr la temperatura interior base.

<sup>5</sup> Piso ventilado: Piso bajo el cual existe aire en movimiento con condiciones similares a la temperatura exterior. Ejemplos: Piso sobre pilotes, piso en voladizo o losa de hormigón sobre estacionamiento no acondicionado térmicamente.

En el caso de la zonificación térmica de la RT, para la estimación de los GD se tomó como base de temperatura interior 15°C, bajo el supuesto de que lo que resta para alcanzar confort de 18 a 20°C es aportado por las ganancias internas (personas, electrodomésticos, iluminación artificial y otros) y las ganancias solares. Para esta zonificación se determinaron grados-día anuales. La tabla I.3.1.1 muestra las zonas térmicas con su respectivo rango de GD de calefacción en base a 15°C.

### I.3.2 La Zonificación Térmica y su relación con la zonificación climático habitacional de la Norma NCh1079-2008.

Cada región (de la división político administrativa del país) puede contar con diferentes zonas térmicas de la RT. En el territorio de la Región de Antofagasta -por ejemplo- existen 4 de las 7 Zonas. Cada una de ellas con exigencias en la envolvente diferentes. Algo similar ocurre en Valparaíso (Ver figuras I.3.2.1 y I.3.2.2).

Estos ejemplos muestran que no existe una correspondencia entre las Zonas Térmicas y la Zonificación Climático Habitacional de la Norma NCh1079 - 2008 que se describe en el punto I.6.2.1. Obsérvese, por ejemplo, que en la Comuna de Valparaíso se tendrán idénticas exigencias térmicas que Calama (II Región) y que Comunas del interior de la V Región, tales como San Felipe y Putaendo, con temperaturas muy bajas en invierno y una oscilación térmica mayor que todo clima costero de latitud similar.

La razón fundamental que explica la diferencia entre estas dos zonificaciones está en el hecho de las Zonas Térmicas prácticamente se definen en base a una sola variable meteorológica (GD de calefacción), asociado a condiciones climáticas de invierno y en que, por sólo mencionar la variable de temperatura en periodos fríos del año, no se considera la oscilación térmica entre día y noche de la localidad.

La Zonificación Climático Habitacional de la Norma Oficial indicada se basa en el conjunto de variables meteorológicas que definen un clima, entre las cuales se cuenta la oscilación térmica diaria que se da en diferentes periodos del año en una localidad. Otras variables que definen un clima son la nubosidad, la radiación solar, horas de sol diarias, intensidad y dirección de viento, precipitaciones, vegetación y humedad.

Se recomienda analizar esta Norma, en que aparece información climática valiosa para la toma de decisiones en el diseño arquitectónico.

Las figuras I.3.2.3 y I.3.2.4 muestran la zonificación climática (NCh 1079) y la zonificación térmica (RT) respectivamente. La figura I.3.2.5 muestra la superposición de ambas.

### I.3.3 Algunas consideraciones de la Reglamentación Térmica

Dado el objetivo de la presente Guía de Diseño de Vivienda Social, se hacen ciertos comentarios a tener en cuenta respecto del contenido de la RT y su respectiva Zonificación Térmica.

1. La RT es un instrumento de importancia y que ha implicado una primera definición de estándares de calidad térmica de viviendas. Es un hito importante para futuros incrementos en el comportamiento térmico de éstos y otro tipo de edificios. Ella es una referencia en que se establecen exigencias mínimas para los elementos de la envolvente de edificios residenciales.
2. No necesariamente estas exigencias son las recomendadas para la eficiencia energética de la vivienda. Esta eficiencia requiere elevar los estándares de comportamiento térmico de algunos de los elementos de la envolvente. Una excepción a ello (salvo en ciertas localidades) es lo que ocurre en el complejo de techumbre, donde se exigen estándares que ofrecen un comportamiento de acuerdo al clima. A ello se agrega que en muros de Zona 7 se exige una transmitancia térmica máxima de mejor estándar que el resto del país, en concordancia con sus bajas temperaturas durante gran parte del año. Sin embargo esta transmitancia térmica debiera disminuir muy significativamente en el futuro.
3. La RT está asociada a comportamiento de invierno. El confort para las restantes estaciones del año se consigue con estrategias complementarias a las de invierno.
4. No se considera la limitación de infiltraciones de aire a través de la envolvente, las que si no son controladas pueden anular o aminorar significativamente el esfuerzo que se haga al mejorar la transmitancia térmica exigida por la propia RT.
5. No se establecen estándares de ventilación ligada a mejoramiento de la calidad de aire interior y a la limitación de vapor de agua.
6. No considera protección térmica de puentes térmicos.
7. No considera estándares de protección térmica en pisos no ventilados.
8. Para el diseño con criterios basados en la arquitectura climática se recomienda consultar la Zonificación climático habitacional de la Norma Oficial NCh 1079-2008.

Tabla I.3.1.1 GRADOS DIAS ANUA ES POR ZONA TÉRMICA

ZONA TÉRMICA	GRADO DÍA (ANUA BASE 15°)
1	≤ 500
2	> 500 - ≤ 750
3	>750 - ≤ 1000
4	>1000 - ≤1250
5	> 1250 - ≤ 1500
6	>1500 - ≤ 2000
7	> 2000

Fuente: [www.mart.cl](http://www.mart.cl)

Figura I.3.2.1: Mapa de zonificación térmica de la región de Antofagasta.  
Fuente: [www.mart.cl](http://www.mart.cl)

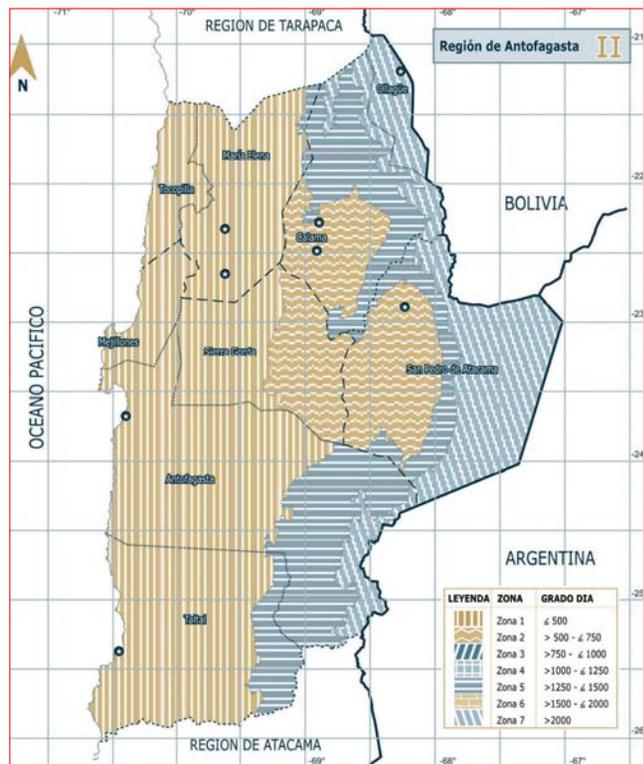
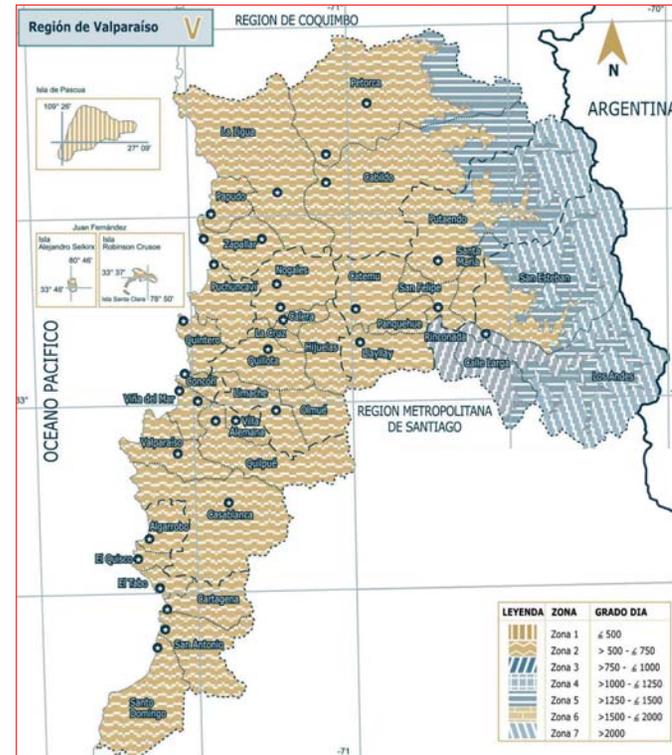


Figura I.3.2.2: Mapa de zonificación térmica de la región de Valparaíso.  
Fuente: [www.mart.cl](http://www.mart.cl)





**Figura 1.3.2.3:** Mapa de la zonificación climático habitacional de la NCh1079-2008.  
**Fuente:** Elaboración propia según: NCh1079-2008.



**Figura 1.3.2.4:** Mapa de zonificación térmica  
**Fuente:** Elaboración propia según [www.mart.cl](http://www.mart.cl)



**Figura 1.3.2.5:** Mapa de zonificación térmica (colores) y límites (líneas oscuras) de la zonificación climático habitacional de la NCh 1079.  
**Fuente:** Elaboración propia según: [www.mart.cl](http://www.mart.cl) y NCh1079-2008

## I.4 VIVIENDA SOCIAL EN CHILE

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo tiene por misión mejorar la calidad de vida de chilenos y chilenas, posibilitando el acceso a viviendas dignas, barrios equipados y ciudades integradas.

En este marco, se implementa la Nueva Política Habitacional, el Programa de Recuperación de Barrios y una Agenda de Ciudades para construir viviendas con mejores estándares de calidad, emplazadas en barrios y ciudades armónicas, amables y equitativas <sup>6</sup>.

La política habitacional se basa en tres ejes fundamentales; aumentar la cantidad de soluciones habitacionales para atender especialmente al 40% más pobre de la población, garantizar la calidad de las viviendas, mejorando su estándar, los procesos de diseño y construcción y promover la integración social, procurando soluciones habitacionales insertas en barrios y ciudades.

Los proyectos de vivienda social se someten a una rigurosa evaluación y disponen de asistencia técnica y la fiscalización adecuada, para asegurar su calidad.

Adicionalmente, se han creado iniciativas para mejorar el comportamiento energético de las viviendas, como el Concurso de "Arquitectura y Eficiencia Energética en Vivienda Social" en su versión 2006-2007, que busca enfrentar el diseño de la vivienda social con estrategias de diseño eficientes energéticamente, que permitan mejorar los estándares actuales de habitabilidad, integración e impacto ambiental.

### I.4.1 Programas habitacionales y subsidios

Actualmente el Ministerio de Vivienda y Urbanismo cuenta con dos programas para la construcción de viviendas para las familias de los quintiles de mayor vulnerabilidad de nuestro país: Fondo Solidario de Vivienda (FSV) y Subsidio Habitacional Rural (SHR), los cuales tienen como objetivo, financiar la solución habitacional para estas familias complementándolas con proyectos de equipamiento, que mejoren las condiciones del barrio, además de apoyar y acompañar a las familias en el proceso de instalación en sus viviendas y entorno comunitario, a través de un plan de habilitación social.



**Figura I.4.1:** Proyecto Casa\_Patio de Valdivia, Región de los Ríos. Ganador del 1º Premio del Segundo Concurso de Arquitectura y Eficiencia Energética en Vivienda Social- MINVU. Arquitectos A. Horn M.; R. Flores R.y M. Scheihing F.2008.

<sup>6</sup> Ver [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)

Para postular al FSV las familias forman un grupo y eligen una Entidad de Gestión Inmobiliaria Social (EGIS) que los apoyará en todo el proceso para la obtención de la vivienda. En el caso del SHR las familias postulan individualmente apoyados por un Prestador de Asistencia Técnica (PSAT) que también deben elegir.

El MINVU financia los servicios que las EGIS y PSAT deben realizar como parte del acompañamiento del comité o la familia y estos servicios comprenden todo el proceso para la postulación, construcción y entrega de las viviendas a las familias, desde la organización del comité con la obtención de la personalidad jurídica necesaria para postular (sólo FSV), la preparación y diseño del proyecto habitacional, la obtención de los permisos necesarios para la construcción, la presentación del proyecto al concurso para la obtención de los subsidios, la contratación de la construcción de las obras, hasta la entrega de la vivienda y la realización durante todo el proceso del plan de habilitación social.

Para la evaluación de los proyectos, el SERVIU conforma una Comisión Técnica Evaluadora que analiza los antecedentes técnicos, económicos y sociales de los proyectos presentados y determina cuáles de ellos son aprobados para su presentación a concurso. Posterior a esto el MINVU selecciona los proyectos que obtienen subsidio de acuerdo a los puntajes obtenidos en los factores de evaluación que establece el reglamento. En el caso del FSV estos factores consideran la vulnerabilidad del grupo, los aportes adicionales que considere el proyecto, el plan de habilitación social, la calidad técnica del proyecto y el puntaje otorgado por el Jurado Regional. En el caso del SHR los factores que otorgan puntaje, son principalmente la vulnerabilidad de la familia y la antigüedad de la postulación.

**1.4.1.1 Fondo Solidario de Vivienda (FSV I y II):** Este programa está regulado por el D.S. 174 (V. y U.), de 2005 y está destinado a dar una solución habitacional preferentemente a familias del primer y segundo quintil de vulnerabilidad de la población. Para el financiamiento de la construcción de las viviendas, las familias deben contar con un ahorro previo de 10 o 30 UF, dependiendo de si postula al Capítulo I o al Capítulo II del FSV. Para el Capítulo I el subsidio varía entre las 330 a 470 UF y para el Capítulo II, varía entre 280 y las 420 UF, dependiendo en ambos casos de la comuna donde se va a emplazar el proyecto. Dentro de los proyectos de construcción el reglamento establece las siguientes modalidades<sup>7</sup>:

- Construcción en Nuevos Terrenos (CNT): Corresponde a la construcción de un nuevo conjunto de viviendas incluyendo la urbanización.
- Construcción Colectiva en Zonas Rurales (CCZR): Corresponde a la construcción de un conjunto de viviendas en un terreno emplazado en el sector rural, incluyendo la urbanización.
- Densificación Predial (DP): Corresponde a la construcción de una nueva vivienda en un sitio donde ya existe otra, mediante cesión de terreno o formación de copropiedad.
- Construcción en Sitio Propio (CSP): Corresponde a la construcción de una vivienda en terreno de propiedad del postulante, que se encuentra eriazado, o con una vivienda en estado de inhabilitación por causa de siniestro o deterioro graves y que es necesario demoler.
- Adquisición y Reparación de Inmuebles (ARI). Corresponde a la adquisición de un edificio para transformar en unidades de vivienda, remodelando y reparando según sea necesario, donde como resultado se deben generar a lo menos dos viviendas.

Para complementar el financiamiento de los proyectos de vivienda, existen los siguientes subsidios<sup>8</sup>:

#### *Subsidio diferenciado a la localización*

Entrega financiamiento adicional para la adquisición y/o rehabilitación de terrenos para los proyectos del FSV, buscando asegurar el acceso a suelos bien ubicados dentro de las ciudades y dotados de servicios. Los requisitos para este subsidio son los siguientes:

- Los proyectos de construcción deben tener como máximo 150 viviendas. Además, a lo menos el 60% de los postulantes debe provenir de la comuna o de la agrupación de comunas donde está ubicado el terreno.
- Las viviendas deben estar en ciudades con un mínimo de 5 mil habitantes, dentro del área urbana y dentro del territorio operacional de una empresa sanitaria.
- Debe haber acceso directo a una vía pública, de rango local, transporte público, colegio (enseñanza prebásica y básica) y consultorio de salud.

El monto de este subsidio se fija en relación al avalúo fiscal de la propiedad con un tope de 200 UF por vivienda de las que se pueden destinar hasta 100 UF para obras de habilitación del terreno, en el caso del FSV I. Para el FSV II el monto del subsidio diferenciado a la localización tiene un tope de 100 UF.

<sup>7</sup> [www.fsv.cl](http://www.fsv.cl)

<sup>8</sup> [http://www.minvu.cl/opensite\\_20070806165249.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070806165249.aspx)



*Subsidio Habitacional Rural. Vivienda en Camiña. Antofagasta.*

**Fuente:** [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl).



*Fondo Solidario de Vivienda. Conjunto Newen Ruka. Viña del Mar.*

**Fuente:** [www.fsv.cl](http://www.fsv.cl).



*Fondo Solidario de Vivienda. Villa Fresia. Punta Arenas.*

**Fuente:** [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl).

#### *Subsidio para equipamiento*

Entrega 5 UF adicionales para financiar obras de equipamiento y mejoramiento del entorno urbano. Completando un ahorro adicional de 0,5 UF, se puede postular también al Fondo de Iniciativas, que otorga hasta 7 UF por familia.

#### *Otros subsidios adicionales*

En el caso de construcción en altura correspondiente a Condominio Tipo A, acogido a la Ley de Copropiedad Inmobiliaria en áreas que cumplan los requisitos para obtener el Subsidio Diferenciado a la Localización, se puede obtener hasta el 30% adicional del monto de subsidio que le corresponde a la comuna, siempre que las viviendas tengan una superficie inicial construida no inferior a 55 m<sup>2</sup>, incluyendo un tercer dormitorio.

En caso que el beneficiario o uno o más integrantes del grupo familiar estuviere afectado por discapacidad, se adicionan 20 UF al monto del subsidio para financiar la implementación de obras en la vivienda, que contribuyan a superar las limitaciones que afectan a quienes presentan la condición de discapacidad en la familia del postulante.

Para los Proyectos de Construcción Colectiva en Zonas Rurales, se podrá otorgar adicionalmente un subsidio de hasta 20 UF por familia en el caso que el proyecto incluya la ejecución de planta de tratamiento de aguas.

**1.4.1.2 Subsidio Habitacional Rural (SHR):** Este programa reglamentado por el Decreto Supremo N°145 (V. y U.), de 2007, está destinado a dar una solución habitacional definitiva, preferentemente a familias del segundo quintil de mayor vulnerabilidad, que vivan en zonas rurales del país. Estas familias deben ser propietarias del sitio donde se construirá la vivienda y contar con un ahorro mínimo de 10 UF. Postulan de manera individual para obtener un subsidio entre 280 y 420 UF, que al igual que en el Fsv, varía dependiendo de la comuna en que se emplace el proyecto.

Cuando las condiciones sanitarias del sitio exijan la ejecución de sistemas particulares de tratamiento de agua potable y/o aguas servidas, el postulante podrá solicitar un monto de subsidio adicional de hasta 70 UF para saneamiento sanitario con el objeto de complementar el costo de las obras necesarias.

En el SHR también pueden adicionarse 20 UF al subsidio en el caso que algún miembro del grupo familiar estuviere afectado por discapacidad, para financiar obras de adecuación en la vivienda.

### 1.4.2 Características y estándares de la vivienda

Los proyectos de construcción de viviendas postulados a través del Fondo Solidario de Vivienda y del Subsidio Habitacional Rural deben cumplir con las características base o mínimas, establecidas en el D.S. N° 174 (V. y U.) del año 2005 y sus modificaciones posteriores y vigentes en el caso del FSV y con los requisitos establecidos en el D.S. N° 145 (V. y U.), de 2007 y sus modificaciones posteriores y vigentes, en el caso del SHR.

Las viviendas deben cumplir con las siguientes condiciones:

1. Contar con al menos dos dormitorios, un estar-comedor-cocina, un baño y áreas de circulaciones. Todos los recintos deben cumplir con la superficie mínima contenida en el Cuadro Normativo del D.S. N° 174.
2. Las viviendas deben poder ser ampliadas con un tercer dormitorio, hasta alcanzar un mínimo de 55m<sup>2</sup>.
3. Las viviendas deben tener un valor de tasación no superior a 650 UF, determinado según la metodología que establece el Artículo 6.1.4 de la OGUC.
4. Los proyectos de ampliación de viviendas deben contar con permiso de edificación y pagar los derechos municipales por este concepto, con el fin de que la ampliación que se ejecute posteriormente, se ajuste al proyecto aprobado.
5. Las especificaciones técnicas de construcción deben efectuarse considerando como mínimo las exigencias establecidas en el Itemizado Técnico de Construcción del MINVU y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Los proyectos de construcción de viviendas generados por las EGIS y PSAT y evaluados por el SERVIU, consideran como mínimo los estándares señalados referidos principalmente a la calidad de los materiales de construcción, la habitabilidad (desde el punto de vista físico espacial), iluminación y soleamiento.

Es pertinente complementar estos estándares con recomendaciones adicionales, como las que contiene la presente guía, que tiendan a la eficiencia energética en la vivienda social, considerando los diferentes climas del país. Estas pueden generar un impacto importante en lo que significa la calidad de vida de sus habitantes.

## I.5 HABITABILIDAD Y CONFORT

### I.5.1 La vivienda, el entorno y sus habitantes.

La vivienda debe generar espacios que ofrezcan al usuario las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de sus actividades en situación de confort. Tanto la envolvente de la vivienda como los sistemas constructivos del interior que la conforman, juegan un rol fundamental en conseguir estas condiciones. Para ello se debe tener en consideración, entre otros elementos, el efecto del entorno, el comportamiento de los usuarios y el modo de operación de la vivienda.

El efecto del entorno sobre la vivienda está representado por diversas solicitaciones, frente a las cuales ésta responde según su arquitectura, los materiales utilizados en su construcción y el uso que le dan sus ocupantes. La respuesta de la vivienda frente a estas demandas es variable en el tiempo, según las épocas del año, las horas del día, el régimen de uso e incluso según cómo se disponen los materiales en un cierto sistema constructivo. De este modo se observa entonces una permanente interacción entre el entorno, la vivienda y sus ocupantes.

Entre las solicitaciones del entorno están las que se relacionan con el clima o microclima del lugar, con la geografía del sitio, con las actividades de las cercanías y con el efecto de las construcciones vecinas.

El clima está dado por las variables que lo definen. El entorno en este caso corresponde a los edificios aledaños, la geografía, la presencia de napas subterráneas, ríos o canales, la vegetación y los espacios públicos.

A lo anterior se agrega el ruido existente. La figura I.5.1.1 muestra diversas variables ambientales que afectan a la envolvente de la vivienda. Ésta debe responder a cada una de estas solicitaciones considerando criterios de durabilidad, confort, eficiencia en el uso de los recursos naturales, resistencia mecánica y otros.

Para conseguir confort en el interior de la vivienda, el clima del lugar ofrece tanto aspectos positivos como negativos, de acuerdo a las diferentes épocas del año e incluso considerando horas diferentes del día.

A modo de ejemplo, el sol podrá aportar calor en invierno a un cierto recinto de la vivienda, lo que es positivo en el contexto de un clima templado con inviernos fríos, pero también el sol podría sobrecalentar este mismo espacio, llevándolo a una temperatura por

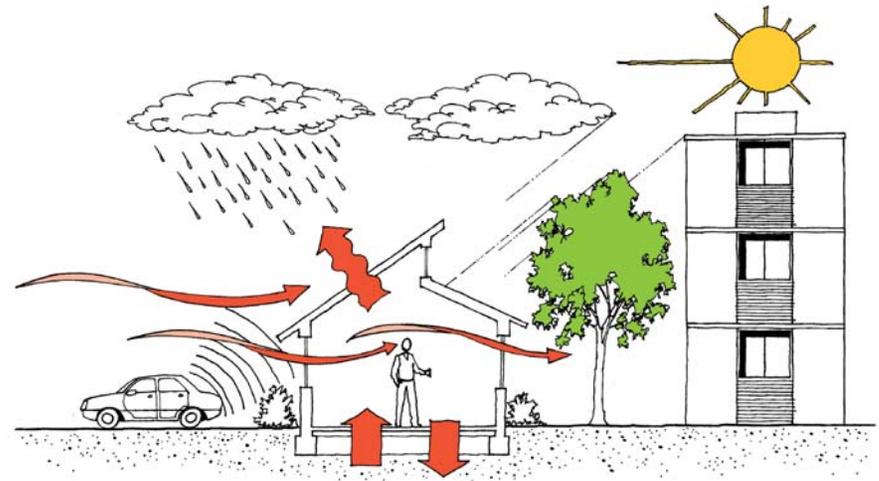


Figura I.5.1.1: Solicitaciones ambientales de la envolvente de una vivienda.

sobre la del confort humano en el período de verano. Para evitar esto último la vivienda debe tener algún sistema de protección (Ver figura I.5.1.2).

Toda vivienda debe responder a las condiciones del entorno de modo que en el interior se consigan condiciones de confort durante todo período del año.

El diseño de la vivienda con los respectivos sistemas constructivos es el que debe tender a satisfacer por sí solo los requerimientos de confort en el espacio interior. Los sistemas (calefacción y aire acondicionado) sólo deben ser un complemento para ello, cuando la vivienda no lo consigue por sí sola. En todo caso, es preciso señalar que si una vivienda necesita de aire acondicionado en Chile, es que entonces la arquitectura presenta problemas en su diseño.

El uso eficiente de la energía en una vivienda se consigue al tomar en cuenta el clima y el entorno desde las primeras etapas de diseño. Si se quiere lograr confort con uso eficiente de energía, el clima y el entorno son elementos orientadores para la toma de decisiones de diseño arquitectónico, incluido la selección de los sistemas constructivos (de la envolvente e interiores) y las instalaciones de calefacción, de aire acondicionado, agua caliente sanitaria, iluminación artificial y ventilación.

La vivienda podrá requerir de ciertos equipos, sistemas o dispositivos que permitan alcanzar las condiciones de confort en el ambiente interior. En general se trata, por ejemplo, de instalaciones de calefacción, de enfriamiento, de iluminación artificial y ventilación forzada, los cuales se integran al proyecto arquitectónico, con los consiguientes gastos de inversión, de mantenimiento y consumo de energía en la operación de la vivienda (Ver figura I.5.1.3).

En nuestro país, en general los usuarios de las viviendas, aun cuando dispongan de algún sistema de calefacción (necesarios en la mayor parte de los climas), por necesidad de ahorro, su uso no es continuo. Se tiene entonces que las condiciones de temperatura ambiental interior son inferiores al confort térmico en ciertas horas del día.

De este modo, especialmente en viviendas de carácter social, es muy importante que el diseño arquitectónico tenga presente el objetivo de lograr o acercarse lo más posible al confort de los usuarios en períodos fríos del año, haciendo mínima la necesidad de gastar energía para alcanzar condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana.

Por otro lado, en la diversidad de climas que presenta el país de norte a sur y de este a oeste, tal como se ha indicado, el problema de enfriamiento ambiental no debiera

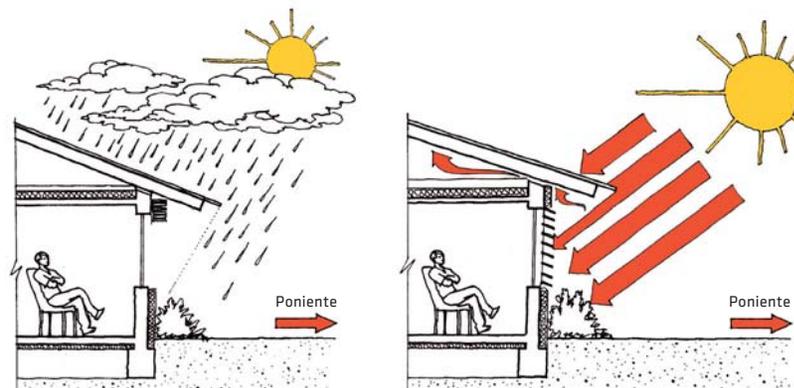


Figura I.5.1.2: Idéntica vivienda en invierno y verano.

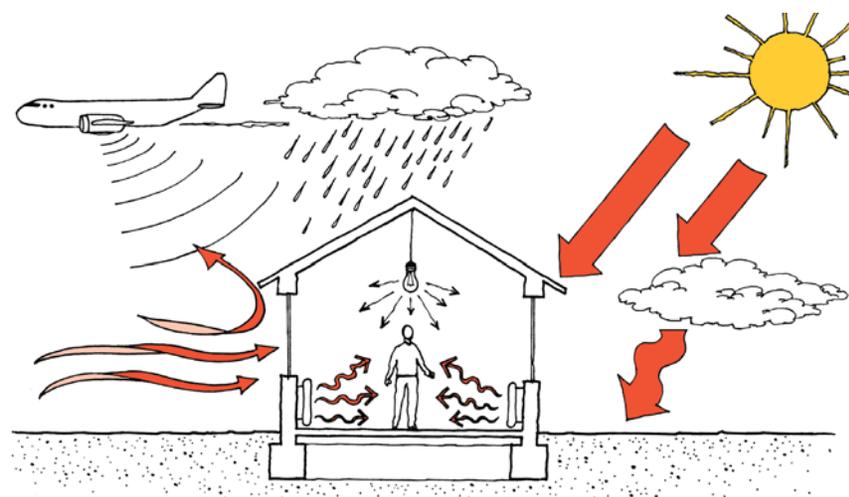


Figura I.5.1.3: Relación entre clima, la vivienda, los sistemas y usuarios y sus variables más relevantes.

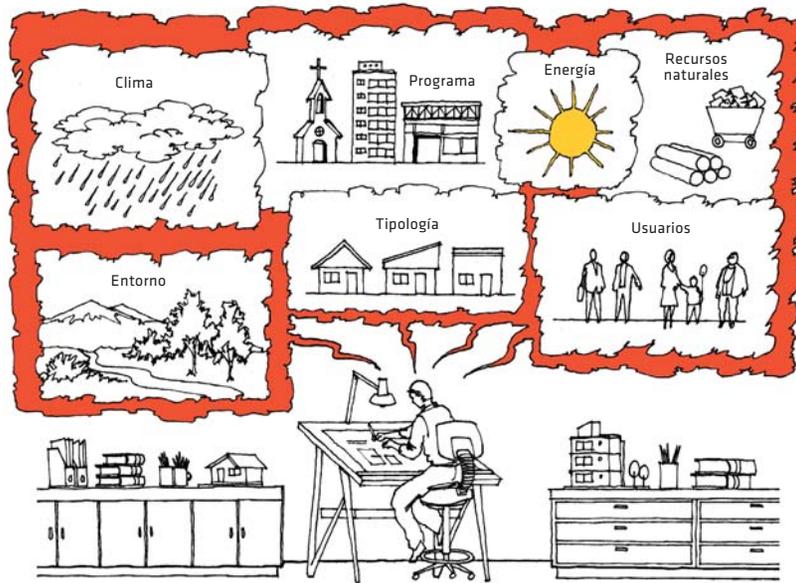


Figura I.5.1.4: El proceso de diseño y las diferentes variables a considerar para conseguir habitabilidad y confort.

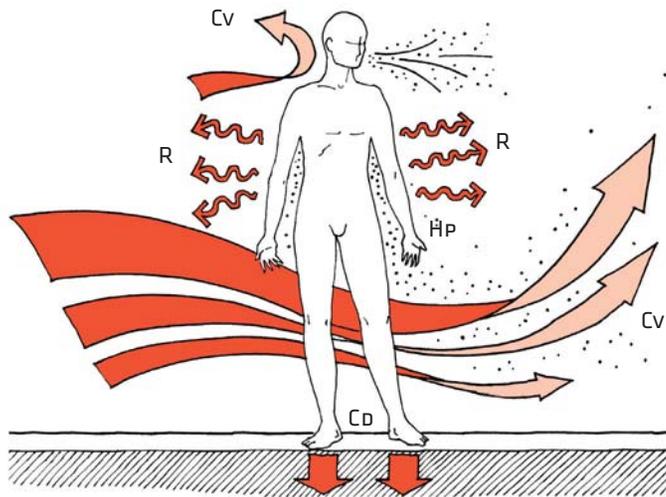


Figura I.5.2.2.1: Intercambio de calor entre un ser humano y su entorno.

existir. Su uso puede ser eliminado con una arquitectura que resuelva los problemas de confort de verano, impidiendo sobrecalentamiento. Más aun, en vivienda social es fundamental que el confort de verano se consiga a través de métodos y estrategias pasivas (sin uso de energía adicional).

La figura I.5.1.4 muestra los diferentes elementos que el diseñador debe tener en consideración en el proceso de diseño. A los aspectos de confort se agregan los de habitabilidad en la vivienda. Aun considerando las restricciones de costo de las viviendas de carácter social, el desafío es generar espacios cómodos y bien resueltos, que aminoren los efectos de contar con recintos pequeños. En ello también juega un rol importante la generación de espacios públicos aledaños y espacios intermedios que permitan el desarrollo de actividades de esparcimiento de las personas.

## I.5.2 Confort ambiental en viviendas.

El confort ambiental puede definirse operacionalmente como el rango de las condiciones del entorno consideradas aceptables dentro de un espacio habitable, en el que el ser humano desarrolla sus actividades. La ausencia de confort implica una sensación de incomodidad o molestia, ya sea por frío, calor, deslumbramiento, por exceso de ruido, por olores desagradables y por falta de iluminación, entre otros.

El confort ambiental constituye un concepto complejo en el sentido que depende de variados parámetros, cuya combinación e interacción permiten que éste finalmente se alcance o no. En el propósito de alcanzar confort, se ha hecho crecientemente importante el considerar criterios de uso eficiente de energía.

**I.5.2.1 Los parámetros de influencia.** Los parámetros que influyen el confort ambiental como un todo, pueden dividirse en tres categorías:

*Parámetros físicos*, tales como la temperatura del aire del ambiente, la temperatura media radiante de las superficies del ambiente interior, la humedad relativa del aire, la presión atmosférica, el color de las superficies del ambiente, olor, intensidad y calidad de la luz, y niveles de ruido.

*Parámetros humanos*, tales como la edad, sexo y características particulares de cada persona. Factores culturales, relacionados, por ejemplo, con el lugar en que una persona ha nacido y vivido gran parte de su vida, pueden afectar significativamente las condiciones en que ella se siente confortable.

*Parámetros externos*, que incluyen el tipo de actividad física en relación a la actividad metabólica, el tipo de vestimenta y las condiciones o hábitos sociales y culturales.

Dada la diversidad de variables que inciden en el confort ambiental, usualmente se consideran en forma separada el confort térmico (o más precisamente higrotérmico), el confort lumínico, el confort respecto de la calidad del aire y el confort acústico.

**1.5.2.2 Confort higrotérmico.** El confort higrotérmico está relacionado con una serie de variables ambientales con las que el cuerpo humano interactúa. En esta interacción, el cuerpo humano puede recibir calor pero en general transfiere calor a su entorno, dado que su cuerpo se encuentra normalmente a mayor temperatura que el aire ambiente y que la de la superficie de las paredes del recinto en que se encuentra. El equilibrio térmico del cuerpo humano es un balance dinámico entre el calor producido por éste (como resultado del nivel metabólico) y el intercambio de calor con el ambiente a través de convección (Cv) conducción (Cd), radiación (R), evaporación sin sudor a nivel de la piel (Hp) y por vías respiratorias (Hv)). Si este intercambio no basta para el confort aparece la evaporación de sudor en la piel.

El confort higrotérmico se define como aquel estado en que las personas expresan satisfacción con el ambiente que lo rodea, sin preferir condiciones de mayor o menor temperatura (no se sufre de frío cuando aparece “piel de gallina” o de calor tal que aparezca el sudor). La sensación de confort térmico depende de una serie de parámetros, de los cuales los principales se relacionan con las personas mismas y los restantes cuatro conciernen al ambiente donde se encuentran estas personas. Los relacionados con las personas son:

- *Vestimenta:* Esta reduce el intercambio de calor. Un ambiente de temperatura bajo en confort, obliga a aumentar la vestimenta. Una unidad de la aislación térmica de la vestimenta es el CLO. (Figura 1.5.2.2.2).
- *Metabolismo:* es decir la actividad física de las personas. Mayor actividad física permite que la temperatura de confort ambiental pueda disminuirse pues el cuerpo humano está generando más calor (Figura 1.5.2.2.3).

En lo referente al ambiente, se tienen las siguientes variables como las más importantes:

- *Temperatura del aire del recinto.* Actúa muy directamente en la potencia (cantidad

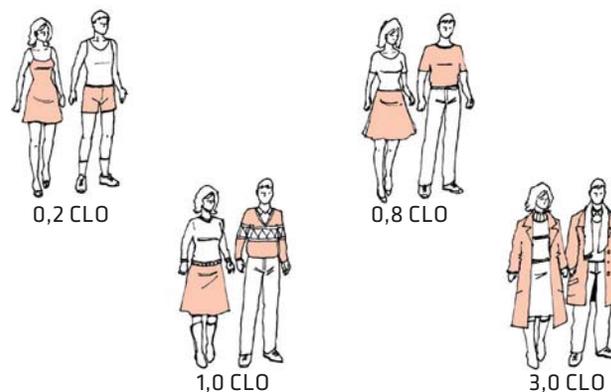


Figura 1.5.2.2.2: Variación en la vestimenta de las personas afecta el intercambio de calor.

ACTIVIDAD	WATTS
 DORMIR	≈ 100
 TRABAJO LIVIANO	≈ 140
 CAMINAR	≈ 200
 ESFUERZO FÍSICO LIGERO	≈ 200
 ESFUERZO FÍSICO INTENSO (JUGAR)	Máx. 1000

Figura 1.5.2.2.3: Variación en la actividad física de las personas afecta el intercambio de calor.

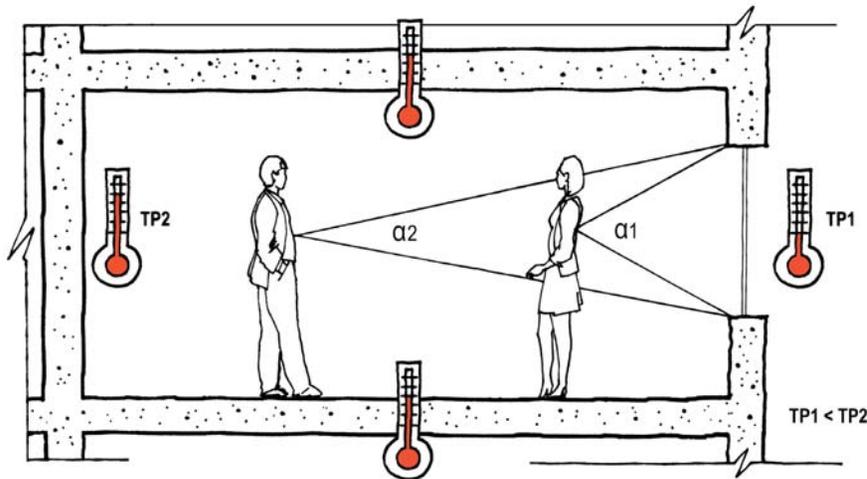


Figura I.5.2.2.4: Efecto de la temperatura superficial interior de envolvente del recinto.  
Fuente: Lavigne (2003)

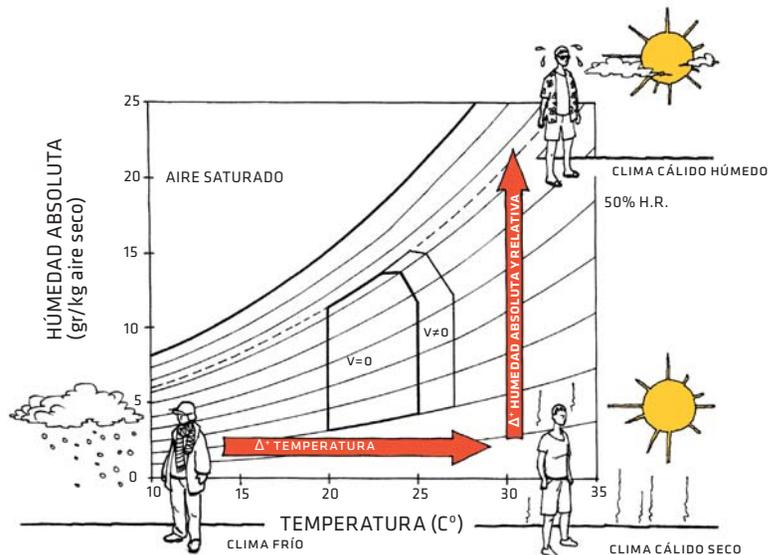


Figura I.5.2.2.5: Diagrama de confort según B. Givoni (modificado)  
Fuente: Givoni (1998)

de calor por unidad de tiempo) de intercambio de calor por convección. Rangos de confort entre 20°C y 27°C (para invierno y verano respectivamente).

- *Temperatura superficial interior de la envolvente.* A partir de la temperatura de la superficie de paredes, cielo, ventanas, piso, se define la temperatura radiante  $T_r$ , la que es el promedio de las temperaturas de las distintas superficies del recinto, ponderada por el ángulo sólido generado entre el punto que representa el cuerpo humano y la respectiva superficie. Esta temperatura  $T_r$  es la que representa la potencia de intercambio (por radiación) entre el cuerpo humano y las superficies del recinto. En la figura I.5.2.2.4, la persona que forma el ángulo sólido  $\alpha_1$  con la ventana, intercambia más calor con ésta que la persona que forma un ángulo sólido  $\alpha_2$  con la misma ventana, pues este ángulo es más pequeño que el anterior. Si la ventana se ubica en la parte inferior (fría) o superior (caliente), la persona de la derecha sufrirá con mayor intensidad el efecto de la pared, de acuerdo a su temperatura.
- *Humedad Relativa (HR) del aire.* Actúa sobre la posibilidad de intercambiar calor por evaporación de sudor. Mientras menor es la humedad relativa, más fácil es la evaporación y entonces no se forma una capa líquida de sudor molesto. Rangos de confort entre 20% y 75%
- *Velocidad del aire.* También actúa sobre la evaporación de sudor. Una mayor velocidad del aire permite aumentar la evaporación y por tanto en verano permite evitar líquido sobre la piel. En invierno, es recomendable evitar una alta velocidad de aire. Valores máximos de volcidad entre 0 y 1 m/s.

#### Diagrama de confort.

La definición de los límites representados en este diagrama, además de considerar los fenómenos de intercambio de calor, considera un límite inferior de humedad, para evitar la desecación bucal y de la faringe, y un límite superior (75%) con el que se evita condensación sobre elementos más fríos del ambiente.

La figura I.5.2.2.5 muestra en la carta psicrométrica lo que se define como zonas de confort, a partir exclusivamente de la temperatura y humedad relativa del aire. Este diagrama de confort, propuesto por B. Givoni, supone una actividad física ligera (persona sentada), en una vivienda en que la temperatura de aire no difiere significativamente de la temperatura de las paredes (menos de 1.0°C). Es fundamental observar que hay una zona de confort para velocidad del aire entre cero y un máximo de 0,2m/s (zona  $V=0$ ). Se puede prolongar el confort hasta una zona con velocidad de aire mayor (hasta por lo menos 1m/s

en períodos calurosos). Este autor afirma que es imposible establecer un estándar de confort común para todos los países y/o para todas las culturas y/o personas.

La temperatura inferior de confort se establece en 20°C. Sin embargo podría suponerse una temperatura inferior (hasta 18°C) de confort en el período nocturno, por ejemplo, cuando las personas están bastante más abrigadas que en el día. En verano la temperatura máxima de confort es de 27°C.

**1.5.2.3 Confort lumínico.** El confort lumínico se alcanza cuando es posible ver los objetos dentro de un recinto sin provocar cansancio o molestia y en un ambiente de colores agradables para las personas. Para obtener un buen nivel de confort lumínico es recomendable la iluminación natural, tanto por la calidad de la luz propiamente tal, como por la necesidad de lograr eficiencia energética. En general, la iluminación natural es apropiada tanto psicológica como fisiológicamente, pero en ausencia de ésta a partir de ciertas horas del día, se hace necesario un aporte complementario o permanente de luz artificial. Esta luz artificial también debe ofrecer este confort lumínico con uso eficiente de energía (Ver figura 1.5.2.3.1).

Estándares internacionales<sup>9</sup> establecen niveles de iluminación requeridos en diversos espacios de la vivienda, donde se desarrollan actividades que requieren de niveles mínimos de iluminación, de tal modo que no afecten la salud de las personas (Ver tabla 1.5.2.3.1).

En el marco de una investigación sobre “Bienestar Habitacional”<sup>10</sup> en viviendas sociales chilenas de la Zona Central de país, se midieron niveles de iluminación natural en distintos recintos a diversas horas del día. Los resultados para un día nublado en Santiago, se presentan en la tabla 1.5.2.3.2:

El estudio indica que con un 10% de superficie de ventanas respecto del área del recinto se alcanzaron niveles adecuados de iluminación en los recintos de viviendas de Valparaíso, San Felipe y Santiago.

En vivienda social, las ampliaciones proyectadas o espontáneas pueden llegar a provocar problemas serios en recintos que pueden quedar con insuficiente acceso a la luz natural.

9 Alain Liébard et André de Herde (2003). “Guide de l’architecture bioclimatique”.

10 Universidad de Chile et al (2004). “Bienestar Habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable”.

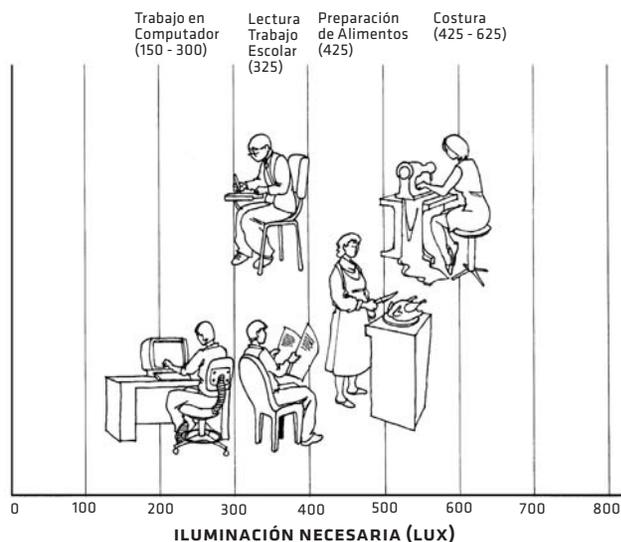


Figura 1.5.2.3.1: Confort lumínico de acuerdo a la actividad. Fuente: De Herde, A (2005).

Tabla 1.5.2.3.1 ILUMINACIÓN NECESARIA PARA DIVERSAS ACTIVIDADES EN LA VIVIENDA

ACTIVIDAD	ILUMINACIÓN NECESARIA (lux)
Lectura	325
Trabajo Escolar	325
Costura	425 a 625
Preparación	425

Fuente: Liébard A. et al (2003)

Tabla 1.5.2.3.2 NIVELES DE ILUMINACIÓN NATURAL MEDIDOS EN RECINTOS DE LA VIVIENDA SOCIAL

RECINTO	% SUPERFICIE VIDRIADA (VENTANAS)	ORIENTACIÓN VENTANAS	PERIODO ILUMINACIÓN NATURAL	ILUMINACIÓN OBTENIDA (lux)
Living	27%	Norte y Este	11 a 17 hrs	500-100
Dormitorio	10%	Sur	11 a 17 hrs	300-100

Fuente: Universidad de Chile et al (2004)

El importante incremento que se ha tenido últimamente en el país en el uso de luminarias fluorescentes compactas en reemplazo de las lámparas incandescentes es un aporte importante al uso eficiente de la energía en viviendas en general y en vivienda social en particular.

Actualmente existe en el país un programa estatal de recambio de luminarias e instalación de éstas en vivienda de carácter social nueva, lo que tendrá un efecto relevante en el uso eficiente de energía de iluminación artificial.

**I.5.2.4 Calidad del aire.** Para tener calidad de aire en la vivienda, éste debe ser renovado en forma permanente de modo de evitar olores desagradables y riesgos de con-

taminación por la presencia de partículas, gérmenes, gas carbónico e incluso humo de tabaco. La calidad del aire y el confort están también directamente relacionados con la humedad relativa del aire, cuyos límites recomendados se indican en el Diagrama de Confort (Ver figura I.5.2.2.5).

El confort relacionado con la calidad del aire interior es uno de los factores directamente relacionados con el uso racional de energía pues la renovación del aire implica consumo de energía para elevar la temperatura del aire exterior en invierno y el uso de algún sistema de ventilación mecánica o natural. En este último caso es fundamental el comportamiento de los usuarios, quienes deben asegurar la ventilación necesaria, especialmente en periodos fríos del año.

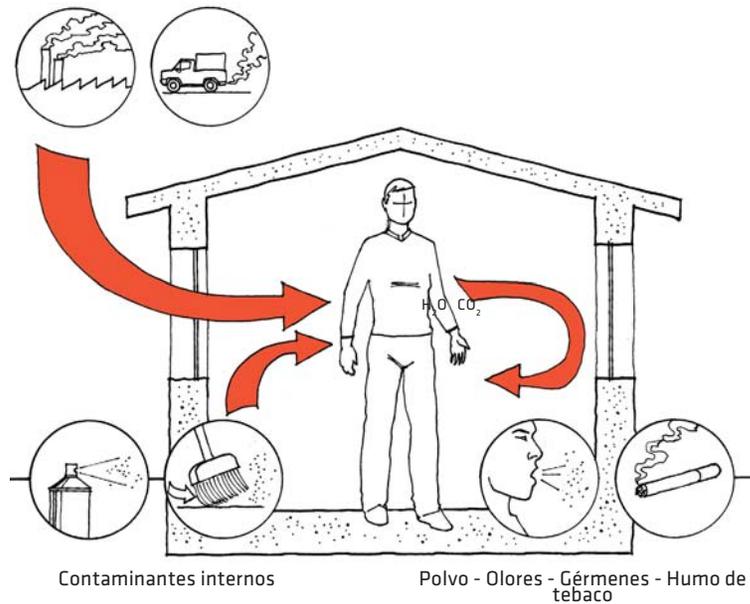


Figura I.5.2.4.1: Impurezas en el aire ambiente

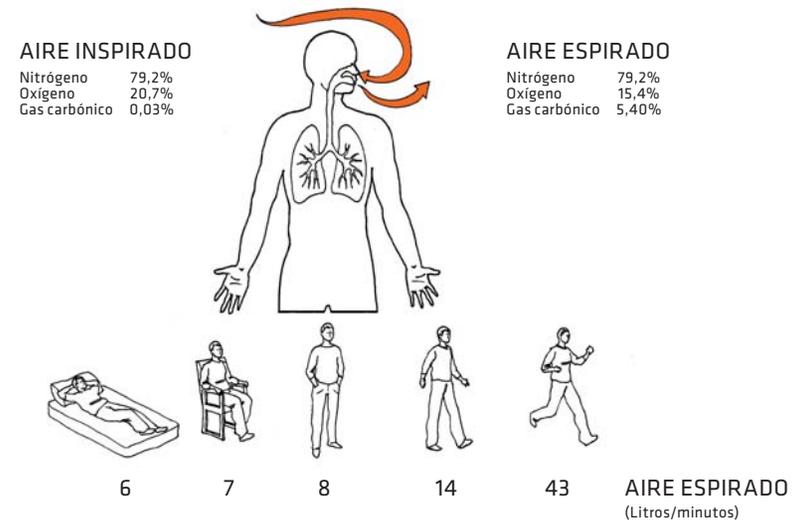


Figura I.5.2.4.2: Aire inspirado versus aire espirado. Comparación de componentes.

Fuente: De Herde, A (2005).

La calidad del aire interior en viviendas de carácter social del país está afectada por la presencia de una alta concentración de personas en espacios pequeños, por el uso de sistemas de calefacción de llama abierta, los que al estar defectuosos provocan problemas de contaminación intradomiciliaria graves, con contenido de gases mortales en niveles peligrosos de concentración, tales como el  $\text{CO}$  (Ver figura 1.5.2.4.1).

Para asegurar la calidad del aire al interior de una vivienda durante todo el año, debe asegurarse una ventilación mínima de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  por persona. Para obtenerla, esta ventilación debe ser controlada y autorregulable. Debe proveerse con protección acústica y anti-insectos. La figura 1.5.2.4.2 muestra la cantidad de aire inspirado y espirado por una persona a distintos niveles de actividad.

En países de mayor desarrollo, en todas las viviendas, incluidas las sociales, se utilizan sistemas de ventilación mecánica controlada, combinados con aberturas autorregulables que aseguran una ventilación mínima en el ambiente interior. Se recomienda este tipo de sistemas, particularmente en vivienda social, con el fin de asegurar calidad de aire adecuada para la actividad de las personas, evitando problemas de salud, eliminando y/o disminuyendo patologías tales como la condensación superficial interior en la envolvente, que provocan deterioro en los sistemas constructivos.

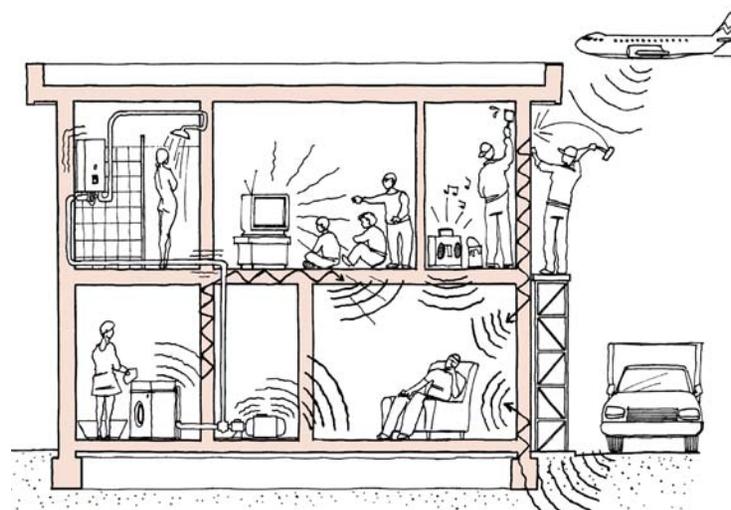


Figura 1.5.2.5.1: Problemas acústicos en una vivienda

**1.5.2.5 Confort acústico.** El confort acústico se alcanza cuando en un cierto recinto el nivel de ruido existente no afecta el desarrollo normal de las actividades de las personas, no provoca alteraciones al descanso, la comunicación y a la salud de ellas.

El oído humano puede escuchar con claridad un sonido que tenga  $10\text{dB(A)}$  o más. Se obtendrá el confort acústico cuando el nivel de ruido ambiental no supere el máximo permitido, el que según lo señalado en la NCh 352 Of.2000 y por la Organización Mundial de la Salud, para los recintos de una vivienda como dormitorios y sala de estar, no debe superar los  $40\text{dB(A)}$  durante el día (7:00 a 21:00hrs) y a  $30\text{dB(A)}$  en horario nocturno (21:00 a 7:00hrs).

Los problemas acústicos en recintos de viviendas provienen de (Ver figura 1.5.2.5.1):

- Ruido aéreo exterior
- Ruido aéreo interior
- Ruido de impacto en muros y pisos.
- Ruido por vibraciones en equipos.

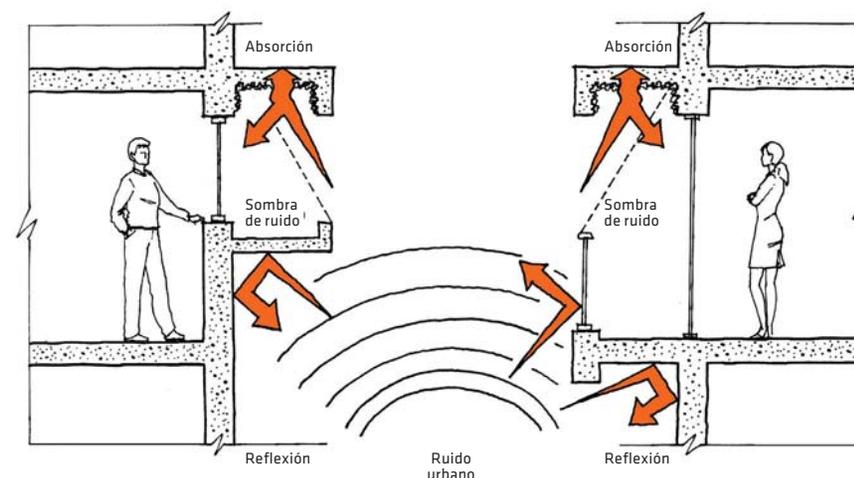


Figura 1.5.2.5.2: Aislación acústica de ruido aéreo exterior.  
Fuente: Ramos (2006).

La figura I.5.2.5.2 muestra esquemáticamente estrategias para aislación acústica del ruido aéreo exterior. Se absorbe el ruido en las paredes, se usa reflexión y alta masa para evitar transmisión del ruido hacia el interior. El ruido exterior puede también ser absorbido en las cercanías de la fuente (barreras acústicas).

Para evitar la transmisión de un ruido aéreo de un espacio a otro se deben utilizar muros de gran masa (concreto, ladrillos macizos, etc) con espesor suficiente (15cm por lo menos) y con buenas propiedades de absorción al ruido (superficie rugosa). Para eliminar los puentes acústicos en paneles divisorios livianos o estructurales se debe agregar masa (por ejemplo a través de láminas elastómeras de alta densidad), usar absorbentes acústicos en la cavidad y sellos absorbentes en las zonas de contacto del panel con muros, cielo y pisos, los que también actúan para aislar ruido de impacto (Ver figura I.5.2.5.3).

La transmisión de ruido aéreo es alta a través de rendijas de puertas y ventanas o por defectos en la construcción, por lo que se debe asegurar la hermeticidad de estos elementos con el uso de sellos acústicos en estas imperfecciones (Ver Figura I.5.2.5.4).

Otra forma de reducir la transmisión de ruido aéreo entre recintos de la vivienda es instalando closet adosados a muros entre recintos críticos (por ejemplo entre dormitorios y entre dormitorios y otros recintos de la vivienda).

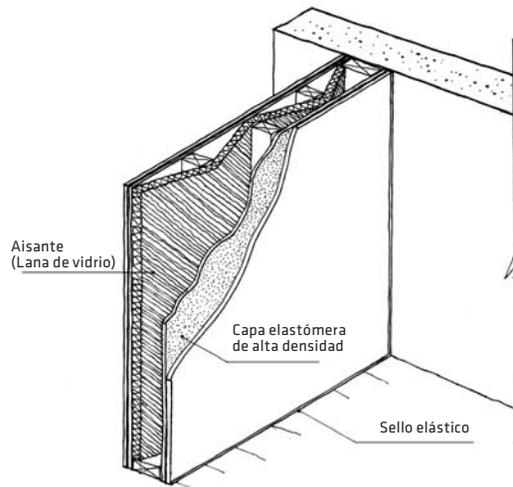


Figura I.5.2.5.3: Panel divisorio con aislamiento acústico mejorado.

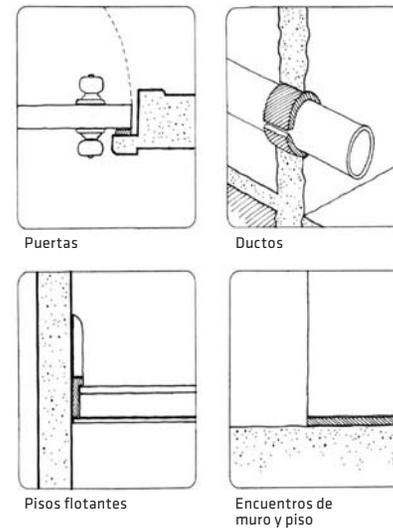


Figura I.5.2.5.4: Sellos acústicos.

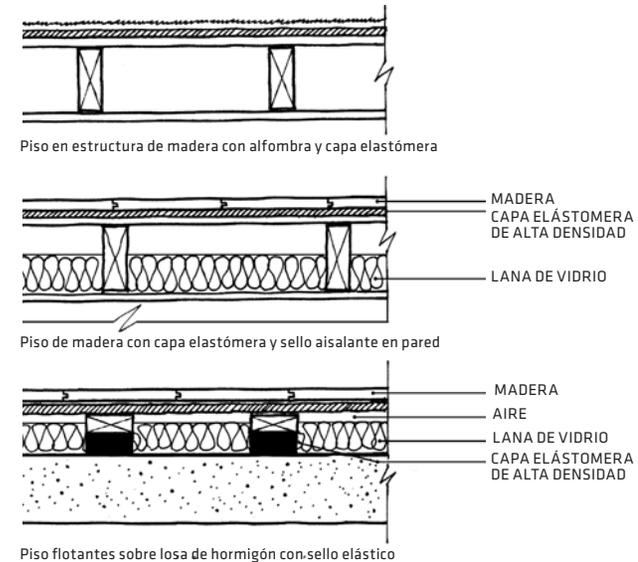


Figura I.5.2.5.5: Disminución ruido aéreo de impacto en pisos.

Para ruidos de impacto en pisos se recomienda el uso de elementos absorbentes (capa bituminosa o elastómera) en apoyos y cuando sea pertinente, alfombras en piso. Entre piso y muros también debe instalarse un elemento absorbente para evitar transmisión de este tipo de ruido (Ver figura I.5.2.5.5).

Para evitar las vibraciones (que es sobretodo un problema estructural) y/ de instalaciones de maquinarias dentro del edificio, debe dotarse de su propio sistema de amortiguamiento (Ver figura I.5.2.5.6).

El confort acústico en un recinto también puede ser afectado por el fenómeno de reverberación. Este fenómeno depende de la absorción acústica de la superficie interior de cada una de las soluciones constructivas y del mobiliario utilizado. Con la presencia de tipos de superficies corrientes de una vivienda y con una ocupación normal de ésta, el fenómeno de reverberación no alcanza a ser crítico.

Para conocer con mayor detalle soluciones para incrementar el comportamiento acústico de viviendas sociales se recomienda ver: “Bienestar habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable”<sup>11</sup>, el texto “Características Acústicas de Viviendas Sociales Urbanas”<sup>12</sup> y el “Manual de Aplicación Reglamentación Acústica”<sup>13</sup>.

#### Normas y Reglamentación Acústica.

En relación al nivel de ruido interior y el ruido de impacto, la OGUC establece en su artículo 4.1.6, la aislación acústica mínima que deben presentar los elementos que separen unidades de vivienda, para asegurar una buena aislación acústica entre estas unidades.

También existe el “Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo” ([www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)), que muestra sistemas constructivos con su respectivo comportamiento.

Por otra parte la Norma NCh 352/1 Of 2000 “Parte 1: Construcciones de Uso Habitacional – Requisitos Mínimos y Ensayos”, establece los requisitos mínimos de aislación acústica para edificios de uso residencial, con el fin de permitir el descanso de las personas sin ser afectados por ruidos del exterior, ruidos provenientes de otras viviendas y ruidos por efecto de las instalaciones externas a la vivienda.

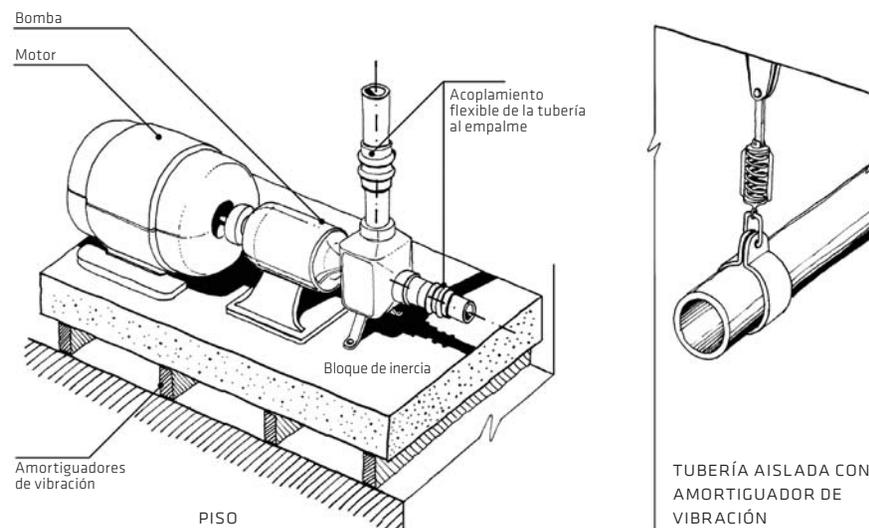


Figura I.5.2.5.6: Amortiguadores y placa elastómera en instalaciones.

11 Universidad de Chile et al (2004). “Bienestar Habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable”.

12 Fundación Chile et al. “Características Acústicas de Viviendas Sociales Urbanas. Definición de Estándares y Recomendaciones de Diseño”.

13 Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2006). “Manual de Aplicación Reglamentación Acústica”.

## I.6 CLIMA Y ENERGÍA EN LA VIVIENDA

### I.6.1 El Clima

El clima está definido por el conjunto de condiciones atmosféricas que caracteriza a un cierto territorio. Estas condiciones meteorológicas están representadas por variables atmosféricas como temperatura, velocidad de viento, precipitaciones, nubosidad, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica y otras.

El clima de una región o localidad está relacionado con el comportamiento superpuesto de estas variables atmosféricas en un período prolongado de años. Por otra parte, no sólo los valores promedio de estas variables definen un clima, sino que también sus fluctuaciones diarias (día-noche) y estacionales.

El clima tiene directa relación con el sol (su trayectoria y variación del ángulo respecto de la horizontal entre un máximo y un mínimo para estaciones extremas del año) y se ve influenciado por las condiciones físicas de la topografía del lugar, tales como la presencia de montañas, la cercanía del océano, la vegetación, la presencia de valles. Otras variables que lo caracterizan son los vientos predominantes y la nubosidad del cielo.

El clima de una cierta región afecta directamente la forma en que desarrolla toda actividad humana. Particularmente, los factores que lo determinan debieran condicionar el diseño arquitectónico y la selección de las soluciones de construcción de un cierto proyecto. De hecho, un determinado clima incide directamente en las solicitudes climáticas de la envolvente de la vivienda y debiera implicar un cuidadoso estudio del ordenamiento de los diferentes espacios de su interior de acuerdo al uso que se dará a éstos.

Al momento de iniciar el proceso de diseño de la vivienda es imprescindible conocer las condiciones ambientales del entorno en que ésta se emplazará, tomando en cuenta tanto los aspectos positivos como negativos que el clima ofrece, con el objeto de alcanzar condiciones de confort en su ambiente interior, con uso eficiente de los recursos energéticos disponibles.

### I.6.2 Chile y su Clima

La accidentada geografía del país (que incluye la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa) junto al Océano Pacífico son determinantes en las variaciones que presenta el clima en su extenso territorio, comenzando por una extremadamente árida y calurosa zona al norte, hasta la zona de los glaciares y de campos de hielo en el sur. Además, los mencionados accidentes geográficos a lo largo del país provocan también una variación climática de tipo transversal. No pueden olvidarse las condiciones climáticas de Chile insular, las que presentan condiciones muy diferentes a las de Chile continental.

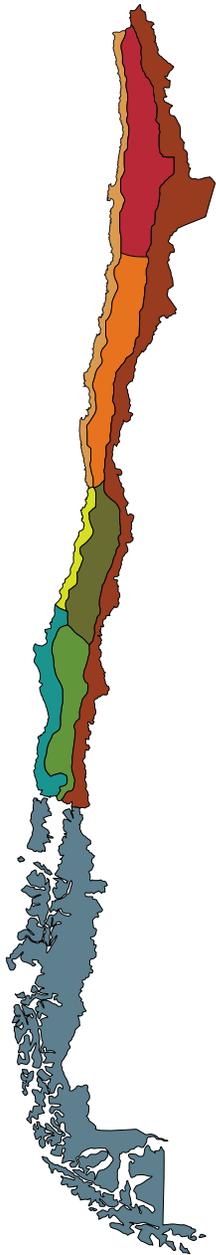
Expuesto lo anterior, es posible afirmar que no es lo mismo diseñar una vivienda ubicada al norte de nuestro país que otra ubicada al sur. Más aun, de acuerdo a las diferencias climáticas transversales que se dan en el país, no debe ser lo mismo diseñar una vivienda en una localidad de la zona costera que otra en el interior del país, aun cuando éstas se ubiquen en idéntica latitud.

**I.6.2.1 Zonificación climático habitacional de Chile.** Según lo expuesto ya en el punto I.3.1, en el país existe la norma NCh 1079 – 2008<sup>14</sup> de zonificación climático-habitacional, en cuya elaboración se han considerado las indicadas variaciones tanto latitudinales como transversales que se dan en nuestro territorio.

De acuerdo con la norma, Chile continental posee 9 zonas climáticas (ver figura I.6.2.1.1), cada una de las cuales está formada por una parte del territorio con características similares en cuanto sus variables meteorológicas (no se incluye la presencia de microclimas que al interior de cada una de estas zonas existen y que inciden también en las recomendaciones de diseño arquitectónico). Los límites de cada zona y sus características climáticas se detallan en la norma aludida.

A continuación se detallan las características más representativas de cada zona, junto con las principales ciudades que pertenecen a cada una de ellas. Un análisis climático más detallado y centrado en el diseño de la vivienda social será desarrollado en el capítulo III, dedicado a las estrategias de diseño por zona climático-habitacional.

<sup>14</sup> Norma actualmente en estudio, aún no oficializada.



**Figura I.6.2.1.1:** “Mapa de zonificación climática habitacional de la NCh 1079 - 2008.

- NORTE LITORAL
- NORTE DESÉRTICO
- VALLES TRANSVERSALES
- CENTRO LITORAL
- CENTRO INTERIOR
- SUR LITORAL
- SUR INTERIOR
- SUR EXTREMO
- ZONA ANDINA



**Zona Norte Litoral:** se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de la Ligua, ocupando la franja costera al lado occidental de la Cordillera de la Costa. Algunas ciudades de esta zona son: Arica, Iquique, Antofagasta, Tal Tal, La Serena, Coquimbo y Los Vilos.

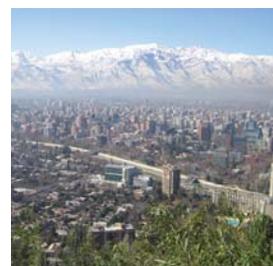
Esta zona es desértica con influencia costera por lo que su ambiente y terreno es húmedo y salino. Posee alta nubosidad matinal, que se disipa en la tarde. Además, las fluctuaciones diarias de temperatura son bajas.

**Zona Norte Desértica:** Ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes). Desde el límite con el Perú hasta el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro. A esta zona pertenece la ciudad de Calama.

Es una zona extremadamente árida y prácticamente sin precipitaciones. Su atmósfera es seca y limpia, presenta alta radiación solar. Existen altas fluctuaciones de temperatura en el día a lo largo de todo el año. El río Loa forma un microlima en la zona.

**Zona Norte Valles Transversales:** Ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona Norte Litoral excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400m, desde el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro hasta el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca. A esta zona pertenecen las ciudades de Copiapó, Vallenar, Vicuña, Ovalle, Combarbalá e Illapel.

Esta zona es semidesértica con veranos largos y calurosos y atmósfera seca. A lo largo del año se presentan fluctuaciones importantes de temperatura entre día y noche. Las precipitaciones aumentan de norte a sur, siendo ocasionales y débiles en la zona norte.



**Zona Central Litoral:** se ubica en la faja costera a continuación de la zona Norte Litoral desde el límite norte de la comuna de La Ligua hasta el límite norte de la comuna de Cobquecura. Ciudades de esta zona son Valparaíso, Viña del Mar, San Antonio y Constitución.

El clima de esta zona es templado marítimo. Se observa nubosidad matinal en período de verano, la que se disipa a mediodía. Ambiente y suelo relativamente húmedo y salino.

**Zona Central Interior:** se ubica en el valle central comprendido entre la zona Norte Litoral y la precordillera de los Andes por bajo los 1000m. Desde el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca hasta el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen. Ciudades de esta zona son: Santiago, Curicó, Talca y Chillán.

Zona de clima mediterráneo de temperaturas templadas. Las lluvias y heladas aumentan hacia el sur. La fluctuación de temperatura diaria es moderada aumentando hacia el este. Con intensa insolación en verano, especialmente hacia el noreste.

**Zona Sur Litoral:** se ubica a continuación de la zona Central Litoral desde el límite norte de la comuna de Cobquecura hasta el límite sur de las comunas de Maullín, Calbuco y Puerto Montt. Ciudades de esta zona son Concepción, Valdivia y Puerto Montt.

Zona de clima marítimo con precipitaciones intensas, suelo y ambiente salinos y húmedos. La temperatura es templada a fría, la humedad es alta y los vientos son irregulares de dirección suroeste y norte.

**Zona Sur Interior:** se ubica a continuación de la zona Central Interior desde el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen, hasta el límite norte de las comunas de Maullín y Puerto Montt. Ciudades de esta zona son: Temuco, Villarrica y Osorno.

Zona lluviosa y de bajas temperaturas. El período caluroso del año es corto con moderada radiación solar. Abundantes ríos y lagos que generan microclimas. Viento predominante sur. Ambiente y suelo húmedo.

**Zona Sur Extremo:** La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el Este. Ciudades de esta zona son: Ancud, Castro, Aysén, Coyhaique, Puerto Natales y Punta Arenas.

Clima marítimo. Zona lluviosa, de suelo y ambiente frío y húmedo. Heladas, nieve y altos vientos en zonas altas. Las diferencias entre estaciones son marcadas, con veranos cortos y radiación moderada. Nubosidad casi permanente. Disminuyen las precipitaciones hacia el sur. Nieve abundante en ciertas zonas. Existen variaciones climáticas importantes dentro de la misma zona.

**Zona Andina:** Comprende la faja cordillerana y precordillerana mayor que 3000m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al sur de Puerto Montt. Ciudades de esta zona son: Potrerillos y El Teniente, entre otras.

El clima es de atmósfera seca, con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche. Presencia de tormentas de verano en el altiplano (norte). Ventiscas y nieve en invierno. Vegetación de altura y radiación solar intensa. Debido a las diferencias de altura y latitud a lo largo ella, el clima cambiará de norte a sur, siendo en todos los casos muy severos. Existen variaciones climáticas importantes dentro de la misma zona.

**1.6.2.2 Comportamiento de los factores climáticos a lo largo de Chile.** A lo largo y ancho de nuestro país es posible apreciar una tendencia respecto de los factores climáticos que se presentan en las distintas zonas del país (Ver tabla 1.6.2.2.1).

Tabla I.6.2.2.1 TENDENCIA DE LOS FACTORES CLIMATOLÓGICOS A LO LARGO Y ANCHO DE CHILE	FACTORES CLIMATOLÓGICOS	
	INCREMENTAN	DISMINUYEN
DE NORTE A SUR	Precipitaciones	Temperatura del Aire
	Humedad del Aire	Radiación Solar
	Nº de meses de invierno	Altura Solar
	Nubosidad	
	Vegetación	
DE OESTE A ESTE	Oscilación diaria de T°	Humedad del Aire
	Nº de horas de sol	Nubosidad
	Radiación solar	Presión Atmosférica

**I.6.2.3 Climas incorporados en CCTE\_v2.0 y su relación con la zonificación climático habitacional y térmica.** La Herramienta Oficial de Certificación de Comportamiento Térmico CCTE\_v2.0 es un instrumento actualizado y completo que permite junto con acreditar el cumplimiento de la Reglamentación Térmica vigente (art. 4.1.10. OGUC), estimar el nivel de demanda y consumo energético en calefacción y refrigeración para las viviendas en Chile.

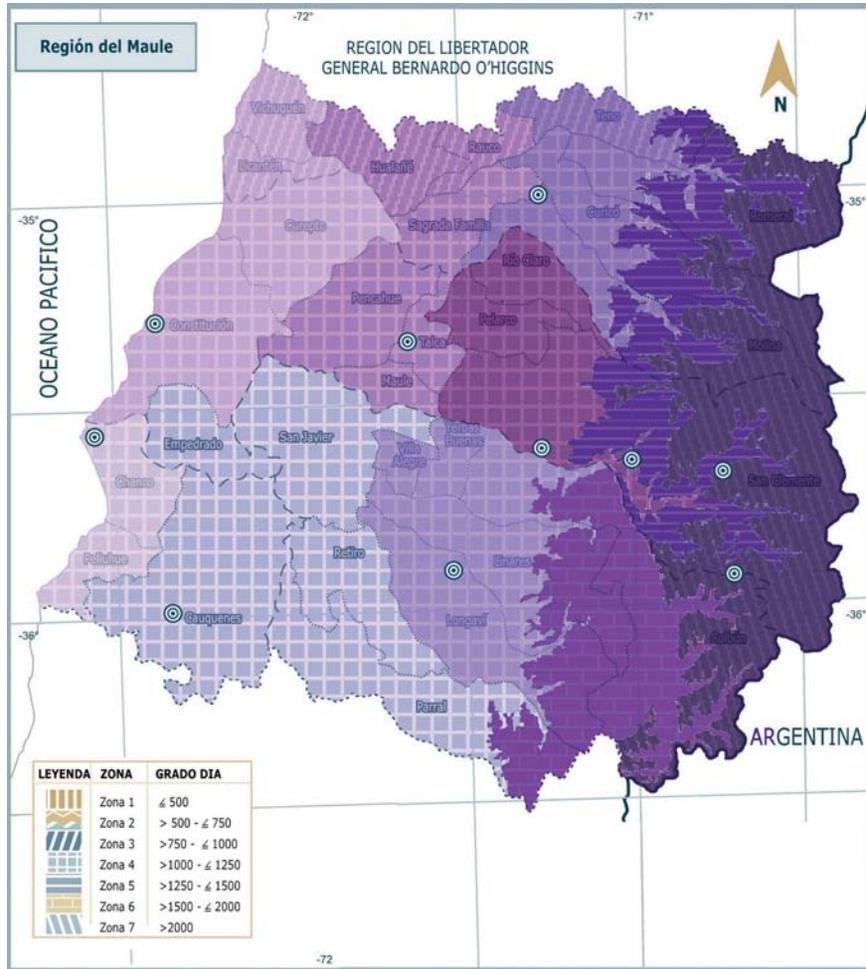
Mediante la evaluación de estos componentes, los profesionales de la construcción podrán obtener información objetiva respecto del comportamiento térmico de las viviendas. A partir de esta información se podrán establecer acciones de mejoramiento en relación al diseño, orientación y sistemas constructivos.

En la elaboración de esta herramienta se incorporaron 107 archivos de clima que contienen valores horarios de temperatura, humedad relativa, radiación solar, viento y nubosidad. Cada archivo de clima fue asignado a una o más comunas, basándose en:

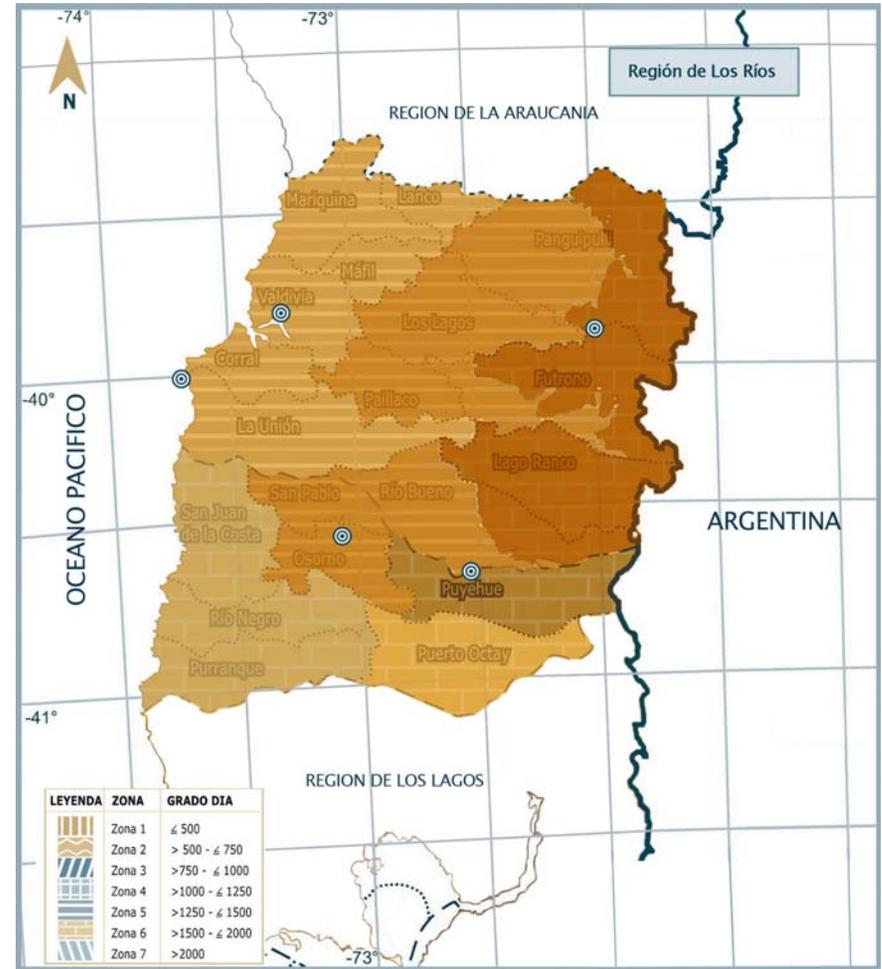
1. Los criterios de zonificación climático habitacional de la NCh 1079-2008: referidos a la diversificación de los climas en sentido longitudinal y transversal en el país.
2. Los criterios de zonificación térmica: referidos a la diversificación del país por grados día de calefacción (ver I.3.1)

Así, cada clima representa las variaciones climáticas existentes en el país de norte a sur y este a oeste, además incorpora la variación por zona térmica. De esta manera, cada clima representa las condiciones climáticas del lugar con un alto grado de precisión, permitiendo una mejor estimación de la demanda de energía de calefacción y enfriamiento del proyecto en estudio.

Las figuras I.6.2.3.1 y I.6.2.3.2 muestran la zonificación climática del CCTE\_v2.0 para las regiones del Maule y Los Ríos. En la figura I.6.2.3.1 se aprecia la división climática en la región del Maule, en que comunas con más de una zona térmica poseerán más de un clima, ejemplo de ello es la comuna de Colbún, que posee tres zonas térmicas, cada una de ellas con un clima distinto en CCTE\_v2.0; en el caso de comunas con una zona térmica el clima asignado corresponderá a uno. La figura I.6.2.3.2 muestra la zonificación climática para la región de Los Ríos, en que comunas como La Unión tienen un clima asignado en CCTE\_v2.0, teniendo claramente más de un tipo de clima en toda su extensión, sin embargo fijar los límites de un clima u otro resulta complicado si no corresponde a un límite geográfico o los fijados por la zonificación térmica.



**Figura 1.6.2.3.1:** Mapa de zonificación climática del CCTE\_v2.0 para la región de del Maule.  
**Fuente:** Elaboración propia en base a mapa de zonificación térmica (www.mart.cl).



**Figura 1.6.2.3.2:** Mapa de zonificación climática del CCTE\_v2.0 para la región de Los Ríos.  
**Fuente:** Elaboración propia en base a mapa de zonificación térmica (www.mart.cl).

## 1.6.3 Intercambio energético en la vivienda

**1.6.3.1 Fenómenos de transferencia de calor en la vivienda.** La vivienda y sus elementos constructivos, en su interacción con el medio ambiente, se someten a una serie de fenómenos de transferencia, captación y almacenamiento de calor. El calor, como forma de energía puede ser cuantificado. Por ejemplo, para un período determinado, es posible determinar el calor que se transfiere a través de la envolvente de la vivienda en la medida que exista una diferencia de temperatura entre el ambiente interior y el exterior. Igualmente puede estimarse la cantidad de calor que por unidad de tiempo es necesario para lograr confort térmico en un determinado recinto.

El calor en un espacio, puede estar presente como calor sensible y calor latente: el calor sensible se asocia directamente al aumento o a la disminución de temperatura producida en un cuerpo, la que tiene que ver con la vibración existente en las partículas de un cuerpo y representa el potencial de este cuerpo para transmitir calor a otro de menor temperatura. El calor latente se asocia a la energía necesaria para producir el cambio de estado de la materia. Por ejemplo, es el calor que se requiere para transformar agua líquida en vapor de agua.

Por otra parte, en la medida que exista diferencia de temperatura entre dos cuerpos se podrá transmitir calor entre ellos. Ello ocurre a través de diferentes formas: conducción, convección y radiación.

Otros fenómenos de transferencia de calor se deben al intercambio de aire entre el interior y exterior. El aire en el exterior a menor temperatura que en el interior, genera una pérdida de calor para el ambiente interior y constituye una ganancia si estas temperaturas se invierten.

En cuanto a ganancias de calor, se tienen las obtenidas por la incidencia del sol en la envolvente opaca y vidriada de la vivienda y las ganancias internas debido al aporte de los usuarios (personas, electrodomésticos, cocina, iluminación y otros). La ganancia de calor de las personas y de algunos electrodomésticos o de otras actividades del interior de la vivienda, se expresan en calor sensible y/o calor latente aportado.

En suma, en una vivienda están ocurriendo permanentemente fenómenos de transferencia de calor, lo que se resumen en lo siguiente:

- 1.- Transmisión de calor a través de elementos opacos y vidriados de la vivienda (Q)
- 2.- Ganancia o pérdidas de calor por intercambio de aire entre el interior y exterior (V)

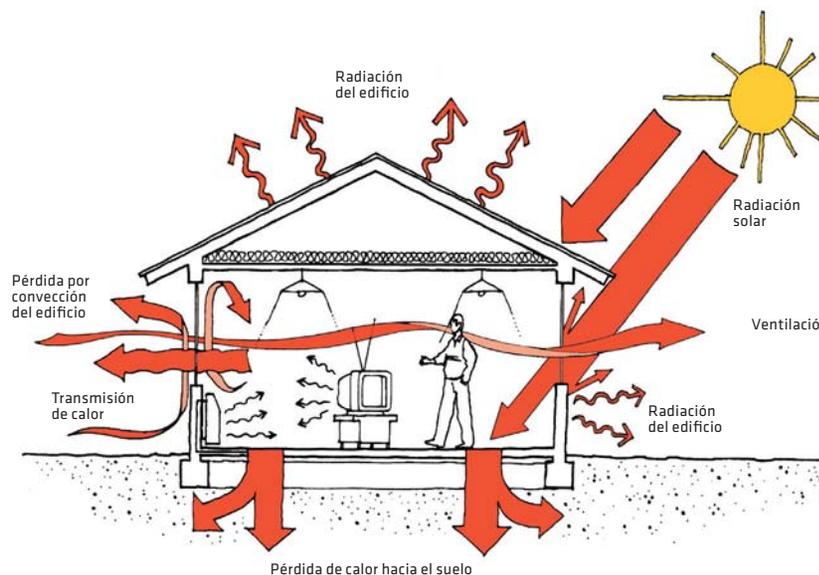


Figura 1.6.3.1.1: Mecanismos de transferencia de calor en un recinto.

3.- Ganancia solar tanto por elementos opacos como vidriados (G)

4.- Ganancias internas (I)

Estos mecanismos de transferencia de calor varían instante a instante en un período de tiempo. Ello porque las condiciones meteorológicas del exterior y lo que ocurre en el interior (temperatura, ganancias internas) también en general están cambiando permanentemente. Como ello es así, otro de los fenómenos que interactúan con el ambiente interior es la absorción y emisión de calor desde y hacia cada uno de los elementos del edificio que almacenan y/o entregan calor al ambiente interior.

En estimaciones de requerimientos de energía para calefacción o enfriamiento o en la variación de la temperatura interior, se puede suponer un régimen estacionario (la temperatura interior y exterior y las ganancias y pérdidas de calor permanecen inalterables en un período de tiempo) o en régimen dinámico en el que todos los fenómenos de transferencia y las variables del clima están variando permanentemente en el período de análisis.

La figura 1.6.3.1.1 muestra esquemáticamente todos los fenómenos de transferencia de calor que se están dando en una vivienda.

Como se puede observar, lo que ocurre en una vivienda en lo referente a su comportamiento térmico y a los requerimientos de los usuarios, es muchas veces altamente complejo. El desafío es que dentro de esta complejidad se puedan encontrar soluciones simples para lograr una vivienda eficiente en su objetivo de alcanzar confort para las personas.

**I.6.3.2 Balance energético en la vivienda (BE).** Para determinar las demandas de calefacción y/o enfriamiento en una vivienda se debe hacer un balance entre las pérdidas y ganancias de calor para un determinado período.

El balance entre pérdidas y ganancias de calor generadas en la vivienda (en régimen estacionario), se explica esquemáticamente a través de la figura I.6.3.2.1, suponiendo mayor temperatura interior que exterior (invierno). En verano, las pérdidas de calor por transmisión en la envolvente (Q) se transforman en ganancias de calor, al igual que la ventilación, si el aire exterior está a mayor temperatura que el interior.

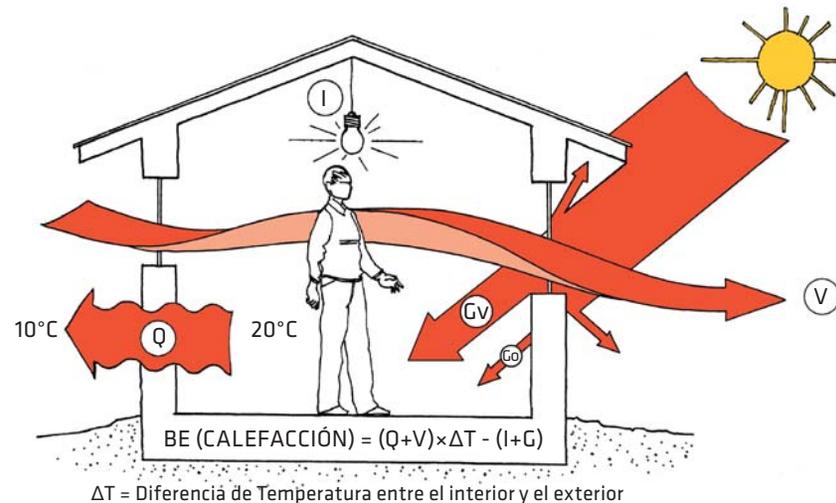


Figura I.6.3.2.1 Equilibrio térmico en la vivienda.

## EXPLICACIÓN CIENTÍFICA

Para el invierno y bajo el supuesto que en el ambiente interior se pretende mantener el ambiente a 20°C, "BE" está directamente relacionado con la demanda de energía de calefacción (energía requerida para mantener el ambiente interior a cierta temperatura en invierno). Se observa que esta demanda se incrementa si aumenta la pérdida de calor por transmisión en la envolvente (Q) o si aumenta la pérdida por ventilación.

Del mismo modo, si aumentan las ganancias solares, se disminuye la demanda de energía de calefacción.

Para una estimación de las ganancias y pérdidas de calor generadas en una vivienda, se explican algunas ecuaciones válidas para régimen permanente\*.

1. Pérdidas o ganancias de calor por transmisión a través de los elementos de la envolvente (Q).

$$Q = \sum U_i \times A + \sum K_l \times L \quad (\text{W}/^\circ\text{C})$$

En esta ecuación, "U" (W/m<sup>2</sup>°C) representa la transmitancia térmica de cada uno de los elementos de la envolvente, cuyo método de cálculo se realiza en base a la NCh 853 Of.2007 (también puede medirse en laboratorios). "A" (m<sup>2</sup>) representa el área del elemento de transmitancia térmica U. "Kl" (W/m°C), representa la transmitancia térmica lineal de un puente térmico, cuyo valor se obtiene de la NCh 853 Of.2007 dependiendo de la resistencia térmica de éste. "L" (m) corresponde al perímetro de este puente térmico en contacto con el exterior.

2. Pérdidas de calor por ventilación (V)

$$V = 0,34 \times q \quad (\text{W}/^\circ\text{C})$$

En esta ecuación "q" corresponde al volumen de aire renovado por hora (m<sup>3</sup>/h) en la vivienda.

\* Ver Lavigne, Pierre (2003). "Arquitectura Climática. Una contribución al desarrollo sustentable".

### 3. Ganancias de calor producto de sol (G)

Estas ganancias se estiman de manera distinta si el elemento en que incide la radiación solar será opaco o vidriado.

$$G = G_o + G_v$$

*Ganancias de calor por elementos opacos (G<sub>o</sub>)*

$$G_o = f_o * S_o * \alpha * \frac{U}{h_e} * \frac{E}{24} \text{ [W]}$$

$f_o$  = Factor de reducción solar o de sombra. Adimensional, mide el nivel de sombra del elemento que está recibiendo la radiación solar.

$S_o$  = Superficie del elemento que recibe la radiación solar. Medida en m<sup>2</sup>.

$U$  = Transmitancia térmica del elemento. Medida en W/m<sup>2</sup>°C.

$\alpha$  = Coeficiente de absorción del elemento. Adimensional, mide la cantidad de radiación que absorbe el elemento. (Ver valores de algunos materiales en II.1.4.1).

$h_e$  = Coeficiente de convección en superficie exterior, medido en W/m<sup>2</sup>°C.

$E$  = Energía solar incidente en el elemento. Medida en Wh/m<sup>2</sup>día.

**I.6.3.3 Consumo y demanda de energía en viviendas sociales.** Para mantener confort al interior de la vivienda, normalmente se generan consumos energéticos. En este capítulo presentaremos algunos valores de demandas y consumo energético referenciales en viviendas sociales chilenas referidos a calefacción, consumos eléctricos, haciendo especial alcance a la iluminación y consumos de agua caliente sanitaria.

Se señala a continuación la diferencia entre los conceptos de demanda de energía y consumo de energía. La demanda de energía está referida a la cantidad de energía que se necesita para satisfacer una necesidad, y el consumo energético va a ser la cantidad de energía utilizada para satisfacer esa demanda, dependiendo del rendimiento del sistema de calefacción. Como el rendimiento de los sistemas utilizados tiene siempre un valor inferior al 100%, el consumo será siempre mayor a la demanda de energía.

Los valores de demanda de energía de calefacción son estimativos y suponen una temperatura interior de 20°C en el día (entre 7:00 y 23:00 horas) y 17°C en la noche (de 23:00 a las 7:00 horas). Esta estimación se hace para contar con una referencia que indique el comportamiento térmico de estas viviendas.

#### *Demandas de energía en calefacción en viviendas sociales*

La demanda de calefacción considera los fenómenos térmicos que se dan en una vivienda (explicados anteriormente) y corresponde a la energía estimada para suplir la diferencia entre pérdidas y ganancias de calor en períodos fríos del año.

Las demandas de calefacción en las viviendas sociales, han evolucionado en directa relación con las exigencias térmicas de proyectos habitacionales que se han ido estableciendo en los últimos años a través de la RT. Actualmente, estas exigencias permiten niveles de demanda de calefacción como los presentados a continuación:

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos para una vivienda de 1 piso pareada (ver tabla I.6.3.3.1) y posteriormente los resultados de una vivienda de 2 pisos pareada (ver tabla I.6.3.3.2). Ambas con la mayor superficie de ventanas de fachadas orientadas al norte.

*Vivienda de 1 piso*. Los valores corresponden a una vivienda social de 38m<sup>2</sup> pareada y orientada al norte. La materialidad de muros y cielo va a responder a las exigencias térmicas mínimas de la zona térmica en cada ciudad, vidriado simple en ventanas (U=5,8W/m<sup>2</sup>°C). El % de ventanas se mide de acuerdo a como lo establece la RT. (Ver planos de la

**Tabla I.6.3.3.1 DEMANDAS DE CALEFACCIÓN EN VIVIENDA SOCIAL DE 1 PISO (38m<sup>2</sup>) QUE CUMPLE CON LA RT, EN DISTINAS CIUDADES DE CHILE**

Ventanas con vidrio simple, "U" de cielo según RT

EXIGENCIAS RT						
CIUDAD	ZONA CLIMÁTICA	ZONA TÉRMICA	U MURO (W/m <sup>2</sup> c°)	U CIELO (W/m <sup>2</sup> c°)	SUPERFICIE VIDRIADA (%)	DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> AÑO)
Iquique	Norte Litoral	1	4,0	0,84	9	21
Calama	Norte Desértica	2	3,0	0,60	9	123
Copiapó	Norte Valles Transversales	2	3,0	0,60	9	59
Valparaíso	Centro Litoral	2	3,0	0,60	9	80
Santiago	Centro Interior	3	1,9	0,47	9	100
Concepción	Sur Litoral	4	1,7	0,38	9	115
Temuco	Sur Interior	5	1,6	0,33	9	131
P. Arenas	Sur Extremo	7	0,6	0,25	9	185
El Tte.	Andina	7	0,6	0,25	9	153

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de simulaciones con software TAS.

**Tabla I.6.3.3.2 DEMANDAS DE CALEFACCIÓN EN VIVIENDA SOCIAL DE PISOS ( 1m<sup>2</sup>) QUE CUMPLE CON LA RT, EN DISTINAS CIUDADES DE CHILE**

Ventanas con vidrio simple, "U" de cielo según RT

EXIGENCIAS RT						
CIUDAD	ZONA CLIMÁTICA	ZONA TÉRMICA	U MURO (W/m <sup>2</sup> c°)	U CIELO (W/m <sup>2</sup> c°)	SUPERFICIE VIDRIADA (%)	DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> AÑO)
Iquique	Norte Litoral	1	4,0	0,84	10	25
Calama	Norte Desértica	2	3,0	0,60	10	113
Copiapó	Norte Valles Transversales	2	3,0	0,60	10	58
Valparaíso	Centro Litoral	2	3,0	0,60	10	75
Santiago	Centro Interior	3	1,9	0,60	10	90
Concepción	Sur Litoral	4	1,7	0,47	10	97
Temuco	Sur Interior	5	1,6	0,38	10	108
P. Arenas	Sur Extremo	7	0,6	0,28	10	149
El Tte.	Andina	7	0,6	0,25	10	117

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de simulaciones con software TAS.

Ganancias de calor por elementos vidriados (Gv)

$$G_v = f_v * S_v * F_S * \frac{E}{24} \quad [W]$$

$f_v$  = Factor de reducción solar o de sombra. Adimensional, mide el nivel de sombra del elemento que está recibiendo la radiación solar.

$S_v$  = Superficie del elemento en que incide la radiación solar. Medida en m<sup>2</sup>.

$F_S$  = Factor solar del elemento vidriado. Adimensional, corresponde a una propiedad del vidrio, que expresa la energía solar transferida al interior de la vivienda (Ver valores para distintos tipos de vidrio en II.1.4.1), respecto de la incidente.

$E$  = Energía solar incidente en el elemento. Medida en Wh/m<sup>2</sup>día.

4. Ganancias internas de la vivienda (I)

$$I = \frac{G_i * S_{edif}}{24} \quad [W]$$

$G_i$  = Energía calórica generada al interior de la vivienda en un período determinado. Medida en Wh/m<sup>2</sup>día.

$S_{edif}$  = Superficie edificio en planta. Medido en m<sup>2</sup>.

Finalmente, la potencia (energía por unidad de tiempo) requerida por la vivienda para mantener un determinado nivel de T° interior en período de invierno, estará dada por la siguiente ecuación (régimen estacionario):

$$E_{requerida} = [(Q+V)*\Delta T] - [G_o + G_v + I] \quad [W]$$

$\Delta T$  = Diferencia de Temperatura entre el interior y el exterior

vivienda en punto III.2.2).

*Vivienda de 2 pisos.* Vivienda social de 41m<sup>2</sup> pareada y orientada al norte. La materialidad de muros y cielo responde a las exigencias térmicas mínimas de la zona térmica en cada ciudad, vidriado simple en ventanas ( $U=5,8W/m^2\text{ }^\circ C$ ). El % de ventanas se mide de acuerdo a como lo establece la RT. (Ver planos en punto III.2.2).

#### Consumo energético en la vivienda

En viviendas sociales las mayores fuentes energéticas utilizadas lo constituyen el gas licuado, la electricidad y el kerosén<sup>15</sup>. Un porcentaje menor utiliza leña, asociado a viviendas ubicadas preferentemente en la zona sur de nuestro país.

El gas licuado es utilizado para cocinar en primer lugar, seguido del consumo para ACS (agua caliente sanitaria) y para calefaccionar en último lugar. La parafina es utilizada casi en un 100% para calefaccionar, siendo entonces éste su uso exclusivo. La electricidad en viviendas sociales es utilizada en artefactos de cocina (refrigerador y lavadora), de entretención (TV) e iluminación de la vivienda (ver tabla I.6.3.3.3).

Nota: Los consumos referidos a calefacción y ACS corresponden a los requeridos en base

**Tabla I.6.3.3.3 PRINCIPALES FUENTES ENERGÉTICAS UTILIZADAS EN LA VIVIENDA SOCIAL Y CONSUMO PROMEDIO ESTIMADO**

FUENTE ENERGÉTICA	Principal Uso	Consumo Promedio Estimado
GAS LICUADO	1. COCINA	---
	2. ACS	150 litros/día
	3. CALEFACCIÓN	30-200 kWh/m <sup>2</sup> año
KEROSEN	CALEFACCIÓN	30-200 kWh/m <sup>2</sup> año
ELECTRICIDAD	1. REFRIGERADOR	
	2. LAVADORA	150kWh mes (verano)
	3. TELEVISOR	180kWh mes (invierno) <sup>16</sup>
	4. ILUMINACIÓN	

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de simulaciones con software TAS.

<sup>15</sup> y <sup>16</sup> CNE, Departamento de Economía UCH y SERNAC (2005). "Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos".

# **CAPÍTULO II**

Estrategias de diseño arquitectónico  
para eficiencia energética en viviendas

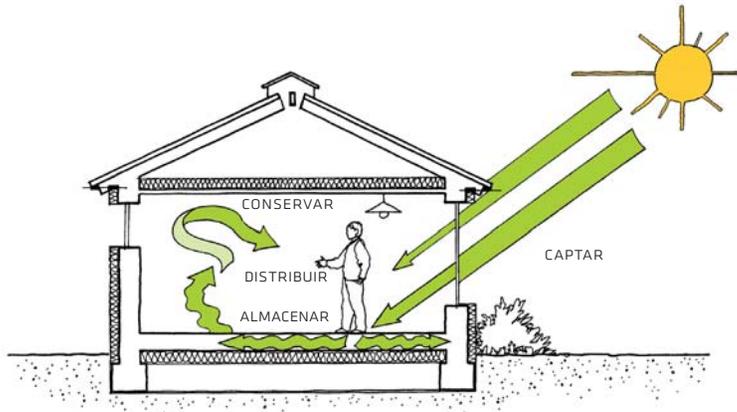


Figura II.1.1: Estrategias generales para períodos de frío.

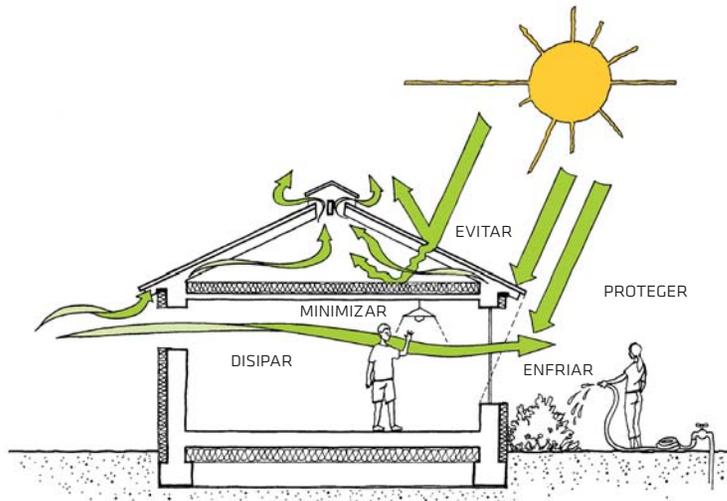


Figura II.1.2: Estrategias generales para períodos de calor.

Se presentan a continuación recomendaciones de tipo general a tener en cuenta al momento de diseñar una vivienda, ya sea individual o colectiva, de modo que se logren las mejores condiciones ambientales en su interior haciendo uso de los recursos que provee el clima. Cuando se indica que son recomendaciones generales, ello se refiere a que cada vivienda, con las restricciones o potencialidades que ofrece el lugar debe ser analizada en particular, intentando –si es posible- realizar un análisis del caso en función del clima o microclima correspondiente.

## II.1 ESTRATEGIAS PARA PERÍODOS DE FRÍO Y CALOR

En su objetivo de presentar un buen comportamiento térmico durante los diferentes períodos del año, e incluso suplir las diferencias presentes en un mismo día<sup>1</sup>, la vivienda debe presentar un diseño usando estrategias que se adapten y sean compatibles entre sí, persiguiendo el confort térmico en todo período del año. Debido a esto, es que la selección de estas estrategias de diseño debe ser hecha cuidadosamente, de modo que se logre con efectividad el objetivo para el cual se utiliza, sin afectar negativamente el comportamiento térmico de la vivienda en períodos en que esta estrategia no aplica.

En general, las reglas básicas de diseño con criterios de eficiencia energética se basan en lo siguiente:

1. Para efecto de lograr confort en una vivienda en períodos fríos del año, se requiere captar (esencialmente a través de la presencia de vidrio en la envolvente) la energía calórica proveniente principalmente del sol, conservar la energía generada en el interior y captada, por medio de materiales aislantes en la envolvente, almacenar esta energía (según las posibilidades que ofrece el clima, con mayores o menores fluctuaciones de temperatura diurna) por medio de materiales con alta inercia térmica y permitir la distribución del calor en el espacio interior de manera que se homogenice la temperatura, evitando diferencias muy altas entre los recintos (Ver figura II.1.1)
2. En períodos calurosos del año, para lograr el confort con mínima demanda de energía, las viviendas deben proteger su envolvente (tanto opaca como transparente) de las ganancias solares, minimizar las ganancias de calor internas, extraer el calor que ha

<sup>1</sup> Como ejemplo se destaca el caso de la ciudad de Calama en donde las diferencias de temperatura entre el día y la noche pueden superar los 30°C.

ingresado a la vivienda o que se ha generado en su interior, por medio de ventilación durante el período con temperatura exterior menor a la interior y –si es necesario– enfriar por alguna otra estrategia natural.

### II.1.1 El sol, su trayectoria y el diseño bioclimático

El concepto de arquitectura bioclimática encierra dos aspectos fundamentales. El ser humano (bio), con las condiciones de confort para el desarrollo de sus actividades y el clima, que bien utilizado entrega –a lo largo del año– recursos que son favorables para alcanzar confort en el interior del edificio y a su vez ofrece solicitaciones de las cuales la vivienda debe protegerse para este mismo objetivo.

En este sentido, el sol, principal fuente de energía en el planeta, es un recurso fundamental a tener en cuenta en el diseño de una vivienda bajo el concepto de la arquitectura bioclimática. En general el acceso al sol es favorable en invierno y desfavorable en verano. Lo que al respecto ocurre en estaciones intermedias depende mucho del clima de que se trate. En Santiago, por ejemplo, el sol es favorable para el otoño y puede ser desfavorable en gran parte de la primavera (para el caso de viviendas).

Las estrategias solares dependen mayoritariamente de la trayectoria del sol. Igualmente de la orientación que presenta el edificio respecto a ésta.

### II.1.2 Representación de la trayectoria solar

La trayectoria solar, respecto de la Tierra se representa en la figura II.1.2.1. Esta trayectoria varía de acuerdo a la época del año. El menor ángulo respecto de la horizontal se da en el solsticio de invierno y el mayor en el solsticio de verano. La trayectoria del sol para todos los días de año está entre estos solsticios. Para un determinado lugar, los ángulos del solsticio de invierno y verano están dados por su latitud. Vistos en corte, estos ángulos, a mediodía solar, se observan en la figura II.1.2.2.

La proyección en el plano horizontal de la tierra de la trayectoria del sol en un lugar (con cierta latitud) se observa en la figura II.1.2.3

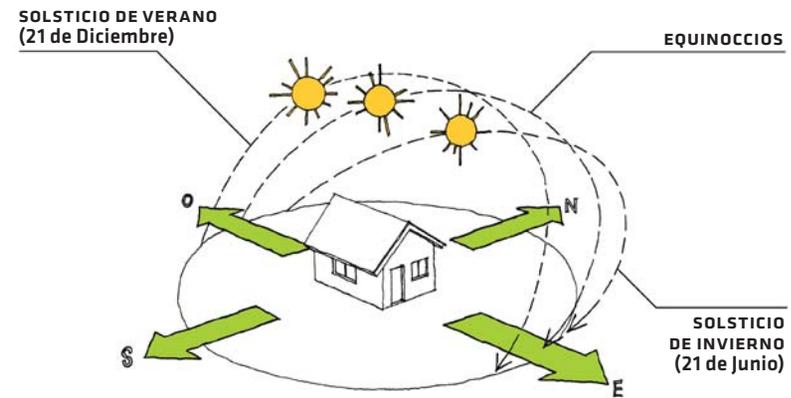


Figura II.1.2.1: Trayectoria del sol respecto de la superficie horizontal terrestre.

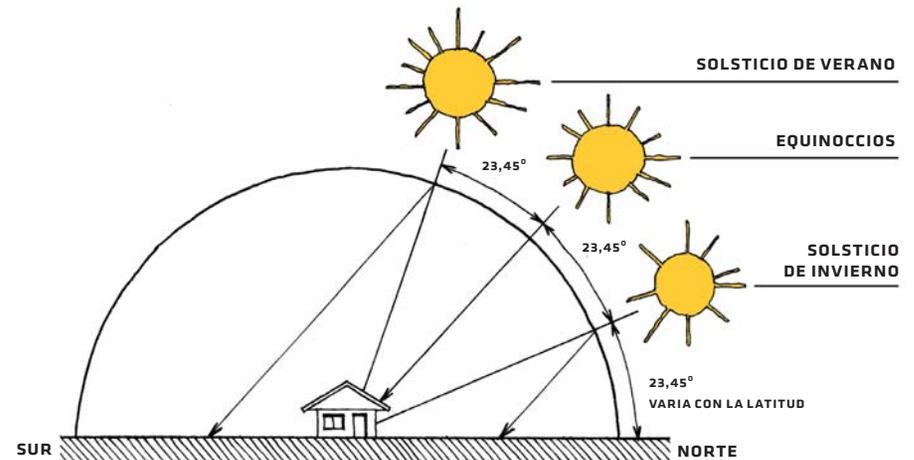


Figura II.1.2.2: Trayectoria del sol (hemisferio sur) respecto de la superficie horizontal terrestre. Vista lateral.

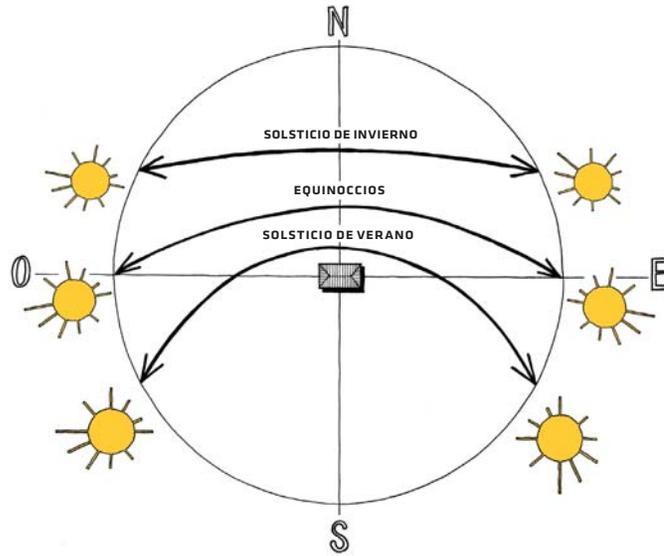


Figura II.1.2.3: Trayectoria del sol respecto de la superficie horizontal terrestre proyectada en planta para equinoccios y solsticios.

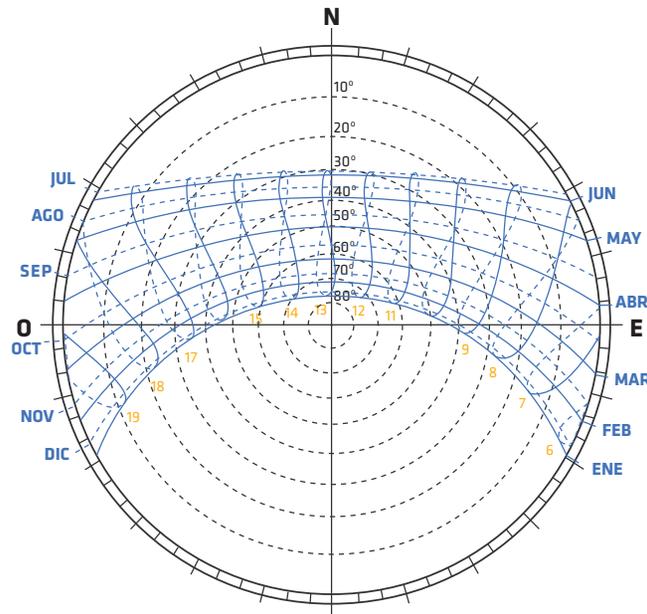


Figura II.1.2.4: Diagrama de trayectoria del sol para latitud determinada (36,5° S; 72,4° W).

La trayectoria del sol representada en planta para diferentes días del año es lo que constituye el diagrama de trayectoria solar para diferentes latitudes. Este diagrama permite conocer la posición del sol en cualquier día y hora para tal latitud (ver ejemplo de una cierta latitud en figura II.1.2.4). En ella los círculos concéntricos representan la altura solar y las líneas concéntricas el azimut. El círculo externo corresponde al horizonte (ángulo del sol a 0° respecto de la horizontal). El punto central representa un ángulo de altura solar de 90°. (Ver figura II.1.2.5).

En el diagrama de trayectoria solar también es posible leer la hora del día en que se localiza el sol desde su salida en el Este hasta la puesta de sol en el Oeste. El diagrama se construye sin considerar la presencia de accidentes geográficos (montañas por ejemplo). Estos accidentes se pueden representar en el diagrama, si se conoce la posición de diferentes puntos de su perfil respecto del observador.

De esta manera, conociendo la trayectoria del sol para un lugar determinado, es posible tomar decisiones referidas a la distribución de los espacios interiores de la vivienda, tamaño y ubicación de ventanas, protecciones solares, ubicación de sistemas de aprovechamiento de la energía solar y otros.

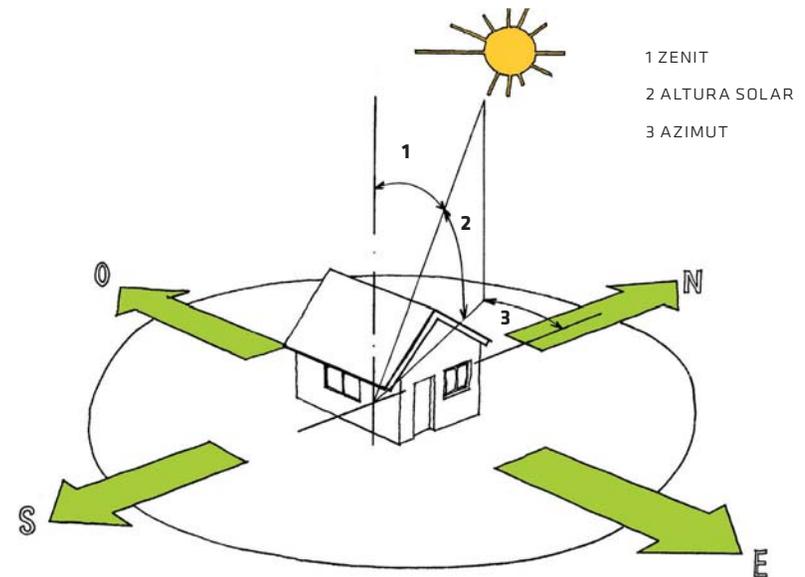


Figura II.1.2.5: Ángulos de posición del sol.

### II.1.3 Orientación de la vivienda

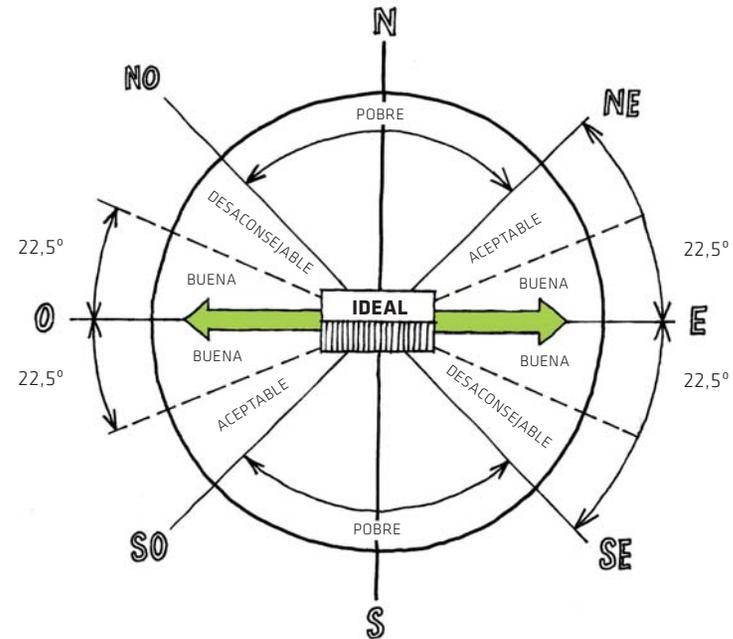
Respecto de la orientación de la vivienda, asumiendo el criterio de tener el máximo acceso al sol para períodos fríos del año, la mejor decisión es hacerlo hacia el norte (eje mayor este-oeste) en cuya fachada se diseñan ventanas de mayor tamaño que al sur. Ello es válido para todo el país, siendo un poco más flexible al respecto hacia el norte de la Zona Norte Litoral y en la región austral (Punta Arenas), donde siempre se tiene una estación fría y se capta mayor energía del sol en orientaciones de ventanas al este y oeste. La figura II.1.3.1 muestra orientaciones recomendadas para la vivienda con diferentes grados de aceptación (el eje mayor de la vivienda, representado por flechas anchas es el que se gira en torno al centro del diagrama).

En general, los recintos que son utilizados por la familia la mayor parte del día (estar-comedor y dormitorios) son los que se ubicarán de preferencia en la fachada norte, distribuyendo los demás recintos hacia el sur (cocina, baños, entradas, circulaciones, escaleras).

Además, las ventanas se ubicarán en mayor medida en la fachada norte (salvo extremo sur). Si es inevitable, localizarán en fachadas oriente y poniente. Se recomienda la menor superficie hacia el sur<sup>2</sup>.

La figura II.1.3.2 muestra una vivienda social rural de 46 m<sup>2</sup> en la Comuna de Villarrica (Icalma) y que ha sido construida en el año 2008. Se observa que prácticamente todos sus espacios y sus respectivas ventanas se orientan al norte. La vivienda genera una sensación de gran espacialidad interior. El sistema constructivo es prefabricado de madera con aislación térmica en la cavidad ( $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ).

En la figura II.1.3.3 se muestra un edificio diseñado en el equipo del Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV) del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Mendoza, Argentina. Se observa que la arquitectura ha hecho el máximo esfuerzo para captar la mayor energía solar posible con las limitantes que impone el terreno (terreno angulado). Hay un departamento en que los lugares sociales miran perfectamente hacia el norte y otro en que las ventanas se orientan en esta misma dirección pero con una obstrucción inevitable al costado poniente, de modo que estas ventanas captan más durante la mañana que a partir de mediodía. El factor de forma (ver punto II.1.5.2) es bastante bueno, con departamentos de una sola crujía que permite una buena



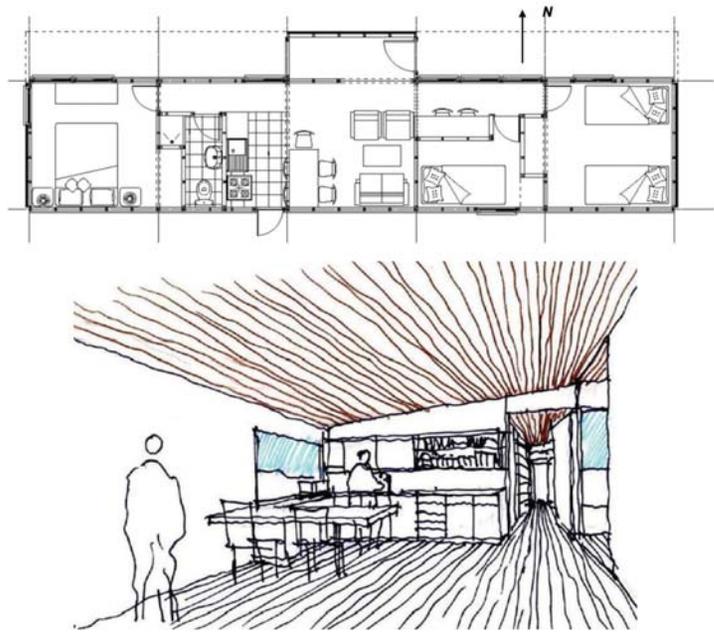
**Figura II.1.3.1:** Diagrama de recomendación de orientación.  
Fuente: Geohábitat. Energía y Medioambiente (2000).

ventilación de verano. Existen dos invernaderos que cumplen el rol de espacio tampón captador principalmente indirecto<sup>3</sup>.

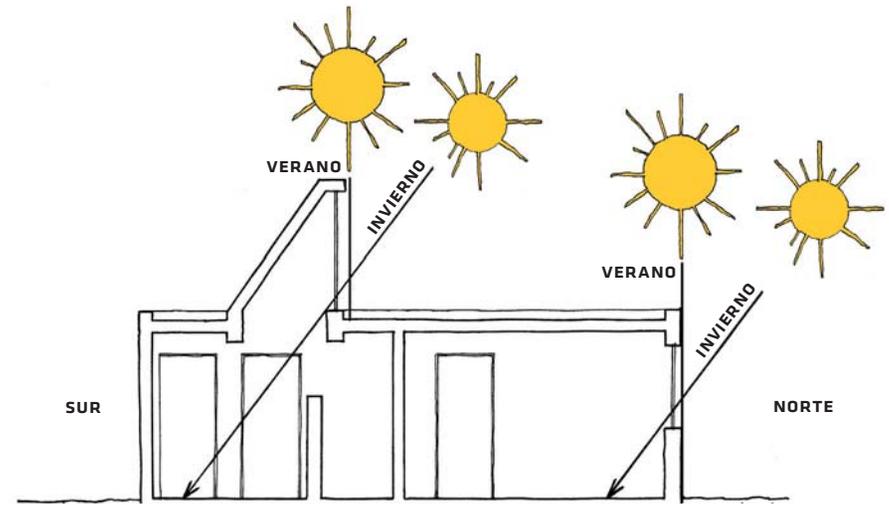
Por otra parte, cabe señalar que si los espacios de mayor uso en una vivienda no son posibles de orientar al norte, es posible instalar aberturas transparentes en la cubierta, lo que permite una mayor penetración de la radiación hacia espacios orientados al sur. Ver proyecto de figura II.1.3.4, el cual ha sido diseñado para San Pedro de Atacama (Lat.-22,5° S) y por tanto el sol en verano es prácticamente vertical el 21 de diciembre. Para proyecto más al sur del país se requiere diseñar protección solar para períodos calurosos del año.

<sup>2</sup> Mayor detalle respecto a la orientación y tamaño de ventanas se analizan en el punto II.1.7

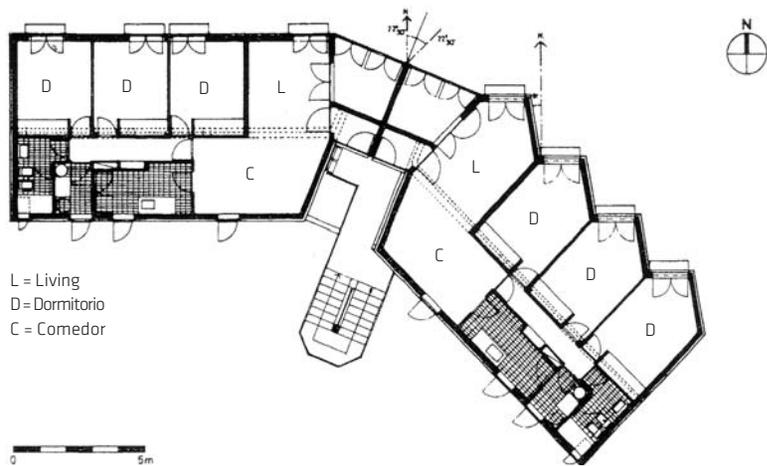
<sup>3</sup> De Rosa, C et al. "Conjunto Solar I-Bioclimatic and Passive Design Applied to Low-Cost Multistorey Housing - First Experience in Argentina".



**Figura II.1.3.2:** Vivienda rural en Comuna de Villarrica (Icalma). Arquitectos Mario Ubilla S. y Juan Ignacio Baixas.



**Figura II.1.3.4:** Vivienda en San Pedro de Atacama (23,5°S), 2300 m de altura. Detalles en Lavigne, Pierre (2003)<sup>4</sup>



**Figura II.1.3.3:** Edificio colectivo de vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina.

<sup>4</sup> Lavigne, Pierre (2003). "Arquitectura Climática. Una Contribución al Desarrollo Sustentable".

## II.1.4 Captación y protección solar.

**II.1.4.1 Ventanas y elementos opacos.** La captación solar en la vivienda se realiza a través de los elementos de la envolvente, principalmente elementos vidriados. La cantidad de calor captado y la forma de transmisión hacia el interior, va a estar determinada por las propiedades de los elementos de la envolvente y el nivel de sombra a que estará expuesta la vivienda. En períodos de frío la captación solar debe ser máxima, mientras que en períodos de calor debe ser mínima.

Las propiedades fundamentales relacionadas con la captación solar (o ganancia solar) de los elementos de la envolvente, se detallan haciendo distinción entre elementos opacos y elementos vidriados:

- En elementos opacos, el flujo medio captado depende principalmente de la absorptividad (para radiación solar) superficial (ver figura II.1.4.1.1) del sistema constructivo y de la transmitancia térmica del mismo. (ver ecuación 3 de balance energético en la vivienda, punto I.6.3.2). Mientras mayor sea la absorción del material, mayor será la captación de calor. A menor transmitancia térmica, menor será la captación solar en el sistema constructivo opaco. La tabla II.1.4.1.1 presenta valores de absorptividad de algunos materiales.
- En elementos vidriados, la ganancia solar se produce dada la transmisividad alta que presenta este material ante la radiación directa del sol (de longitud de ondas cortas). El Factor Solar ( $F_s$ ) expresa la energía transferida hacia el interior del edificio respecto de la energía solar incidente. La figura II.1.4.1.2 presenta valores de  $F_s$  para distintos tipos de elementos vidriados.

La captación solar por ventanas es favorable en períodos fríos y desfavorable en períodos calurosos. En general, en nuestros climas es entonces recomendable orientar ventanas al norte y evitar ventanas al oriente-poniente para evitar sobrecalentamiento en períodos de alta radiación solar.

Dado que se han hecho indicaciones sobre orientación de la vivienda en el punto anterior, se muestran a continuación estrategias de protección solar para ventanas según su orientación. La protección solar puede estar incorporada en el diseño de la vivienda como puede ser proyectada a través de algún elemento exterior a ella (árboles, barreras exteriores).

En primer lugar, para evitar que la radiación solar incidente se transfiera hacia el interior,

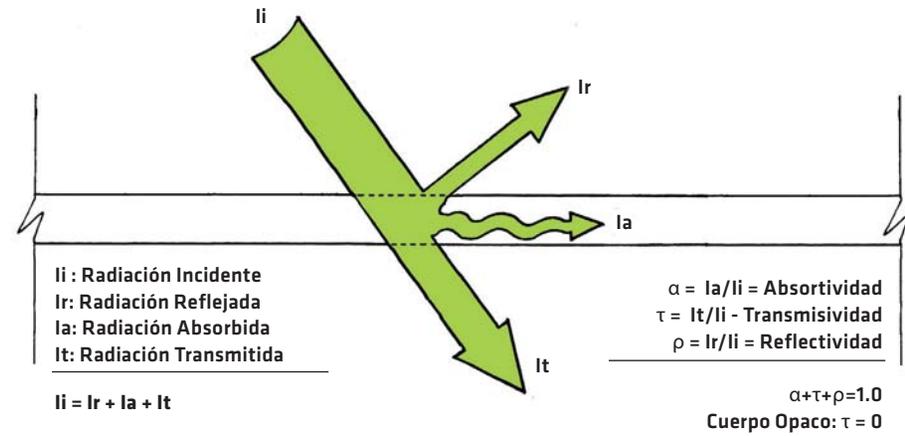


Figura II.1.4.1.1: Conceptos de absorptividad, transmisividad y reflectividad.

Tabla II.1.4.1.1 ABSORTIVIDAD Y EMISIVIDAD DE ALGUNOS MATERIALES

Materiales	Absortividad solar	Absortividad, Emisividad Longitud de onda larga
Aluminio	0,15	0,08
Material Calcáreo	0,57	0,95
Madera	0,60	0,95
Amianto-cemento	0,71	0,95
Tierra cocida roja	0,77	0,94
Acero Galvanizado Oxidado	0,90	0,28
Hormigón Nuevo	0,55	0,90
Hormigón Corriente	0,70	0,90
Hormigón Envejecido	0,80	0,90

Fuente: Lavigne, Pierre (2003).

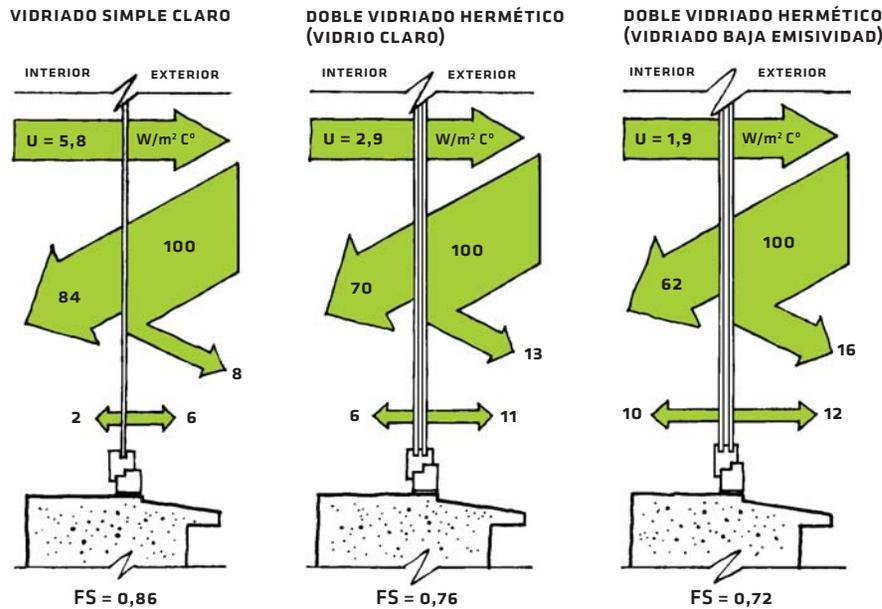


Figura II.1.4.1.2: Factor solar (FS) y transmitancia térmica de diferentes ventanas.

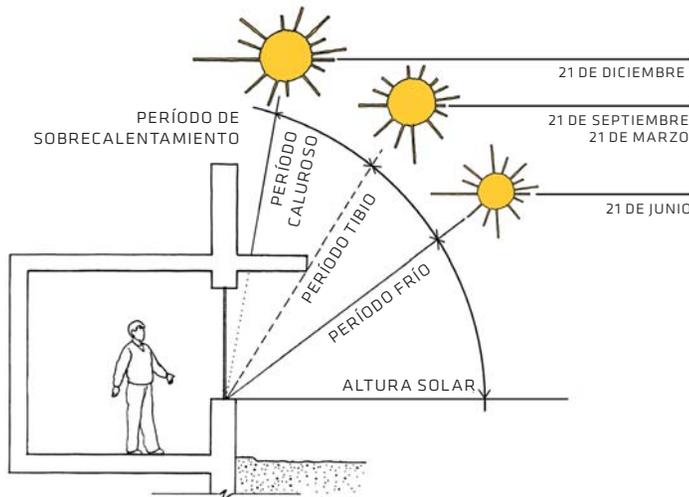


Figura II.1.4.1.3: Dimensionamiento de alero fijo en orientación norte.

debe protegerse la ventana o cualquier otro elemento vidriado por el exterior. De este modo se impide que se provoque el efecto invernadero. La radiación del sol que ingresa a la vivienda, es transformada en calor por absorción en los materiales del interior y luego estos emiten radiación de onda larga. El vidrio es opaco a esta radiación (ver punto II.1.4.2).

En orientación norte, la protección de elementos vidriados es posible a través de aleros o elementos horizontales en ventanas. La figura II.1.4.1.3 muestra el dimensionado de un alero norte, utilizando los conceptos básicos de desplazamiento solar explicados en el punto II.1.2.

Para obtener una mayor efectividad de protección y captación solar a través de la ventana, se pueden diseñar aleros móviles, que permiten 100% de protección y captación. La figura II.1.4.1.4 muestra el dimensionamiento de aleros móviles, el ángulo "A" representa la altura del sol límite en solsticio de verano (21 de diciembre) y el ángulo "B" corresponde a la altura solar en el solsticio de invierno (21 de junio).

En orientación oriente y poniente, la protección solar recomendable es de tipo vertical exterior (ver ejemplo en fig.II.1.4.1.5). Protecciones horizontales para estas orientaciones no son efectivas debido a que no obstruyen la radiación del sol en su totalidad (angulos solares que aumentan hasta 90° en la mañana y disminuyen hasta valores cercanos a 0° en la tarde).

El uso controlado de vegetación puede ser efectivo como sistema de protección solar (ver figura II.1.4.1.6 y II.1.4.1.7). Adicionalmente, la vegetación aporta en la creación de espacios exteriores intermedios térmicamente agradables en verano, que disminuyen la temperatura de recintos interiores.

Los tipos básicos de protección presentados anteriormente, pueden ser combinados y dimensionados para cada necesidad particular, haciendo uso de los diagramas o cartas solares correspondientes a la latitud del lugar donde se emplaza la vivienda. Protecciones verticales, por ejemplo, también son efectivas al aplicarlas en ventanas de orientación norte, idealmente deben ser de tipo opaca y preferentemente instaladas por el costado exterior de las ventanas. La figura II.1.4.1.8 presenta diversos tipos de protección solar, indicando la orientación más efectiva para su utilización.

Elementos protectores móviles podrán ser más efectivos para ser utilizados durante todo el año, siendo adaptables a diversas condicionantes del clima exterior. La figura II.1.4.1.9 muestra diversos mecanismos de protección solar móvil.

Cabe indicar que en zonas de alto viento, la protección solar exterior vertical debe ser

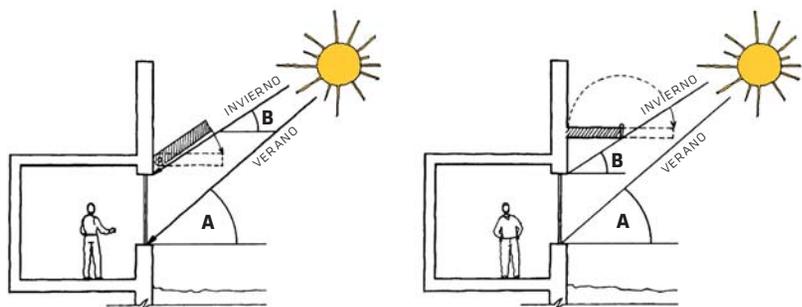


Figura II.1.4.1.4: Dimensionamiento de alero móvil en orientación norte.

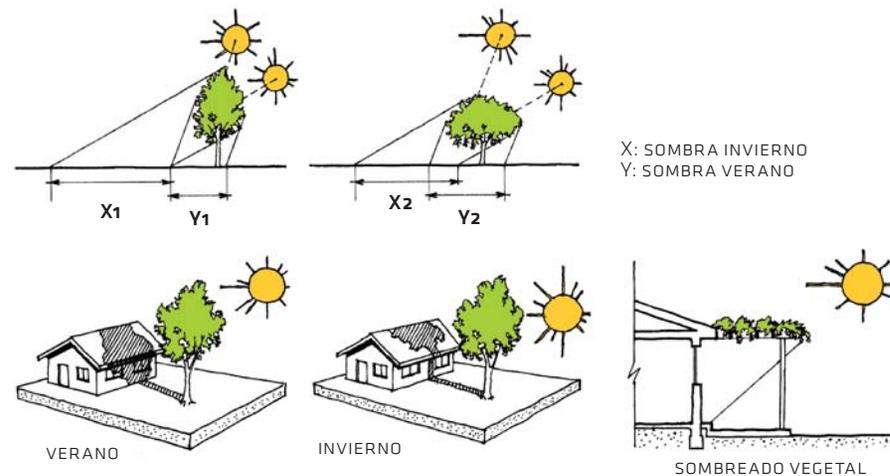


Figura II.1.4.1.6: Uso de vegetación para protección solar en fachadas y ventanas de orientación norte. Dibujos esquemáticos. La efectividad de todo sistema de protección solar depende de la latitud del lugar, junto a otros factores como los obstáculos del entorno, incluyendo la geografía.  
Fuente: Geohábitat. Energía y Medioambiente (modificado) (2000).

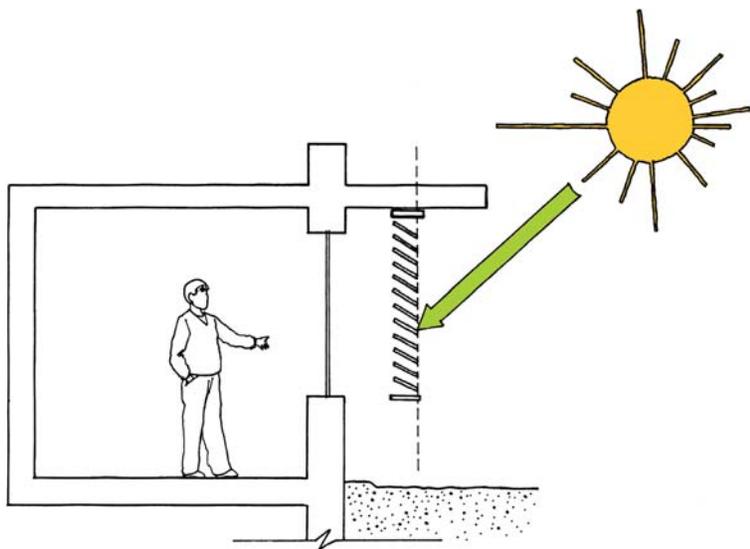


Figura II.1.4.1.5: Protección solar vertical para orientación oriente y poniente de ventanas.

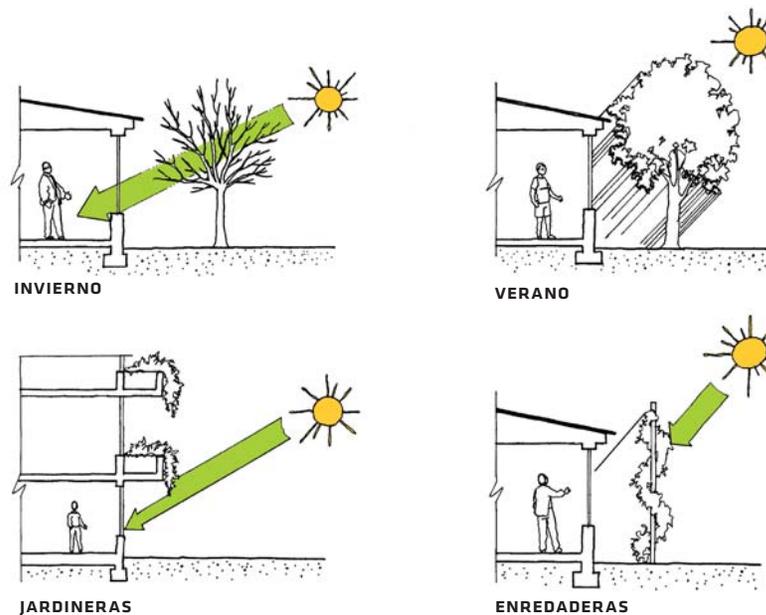


Figura II.1.4.1.7: Protección solar vertical para orientación oriente y poniente de ventanas con uso de vegetación. El árbol es de hoja caduca de modo que es de alta permeabilidad a la radiación solar en invierno.

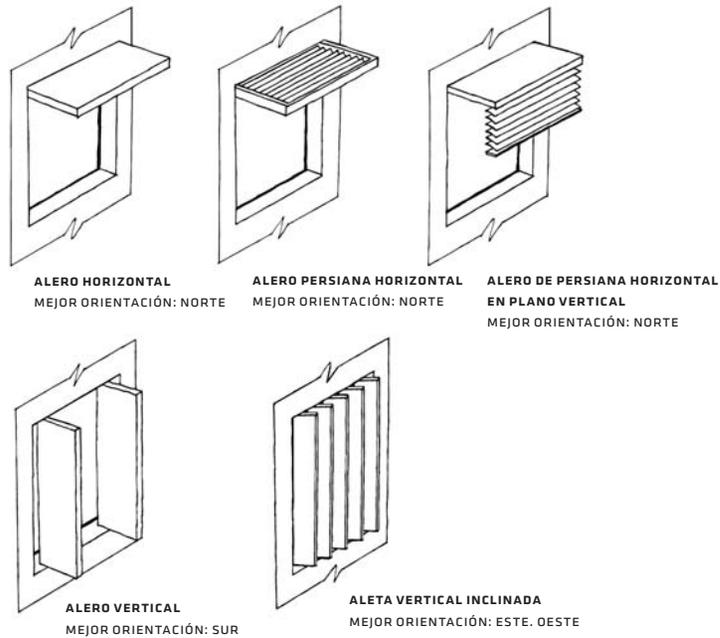


Figura II.1.4.1.8: Ejemplos de protección solar fija en ventanas para diferentes orientaciones.

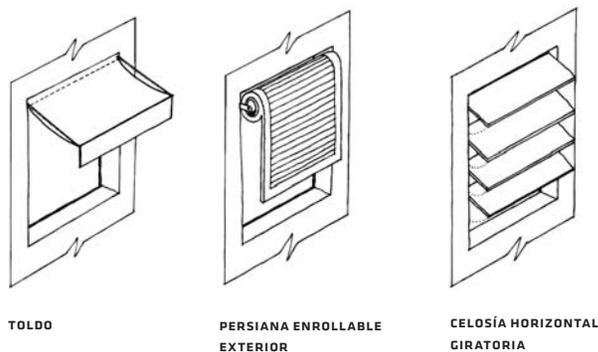
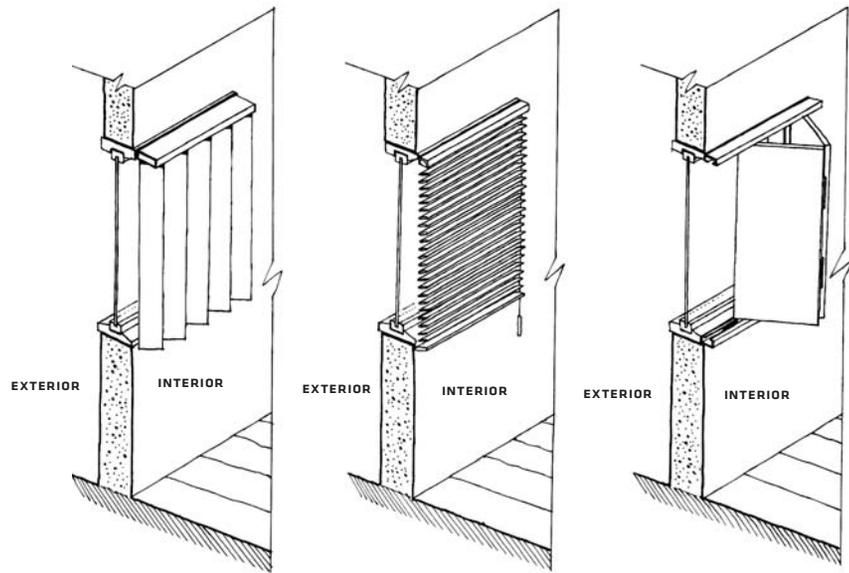


Figura II.1.4.1.9: Ejemplos de protección solar móvil en ventanas para diferentes orientaciones.

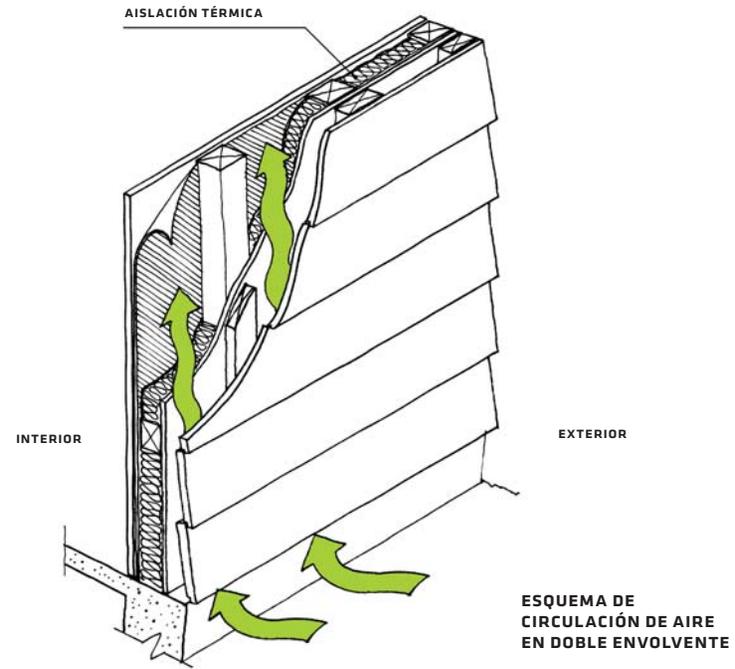
cuidadosamente diseñada. De no poder contar con un diseño seguro al respecto se puede optar por una protección solar interior de menor efectividad. Las protecciones de la izquierda y centro de la figura II.1.4.1.10 también son útiles para evitar radiación directa en el interior, consiguiendo confort lumínico sobre planos de trabajo.

La protección solar en elementos opacos de la vivienda también es recomendable para evitar sobrecalentamiento en el espacio interior. Este sobrecalentamiento ocurre en gran parte del país hasta al menos la X Región interior y en especial en climas mediterráneos o en climas costeros de la zona central y norte. La ganancia solar a través de entretecho o cubiertas planas puede ser disminuida significativamente a través de la ventilación. Para esto es necesario proveer de rendijas en aleros que permitan el ingreso de aire al entretecho, el cual debe ser expulsado por aberturas ubicadas en la cumbrera de la cubierta. Siempre esta ventilación debe desplazarse por sobre la aislación térmica (Ver figura II.1.4.11).

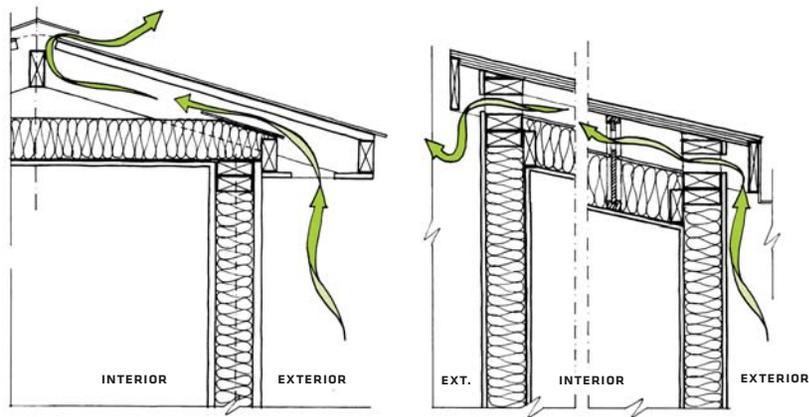
La protección opaca en muros (en especial necesaria en muros de estructura liviana) puede obtenerse con sistema de sombra alrededor de la vivienda y sobretodo para fachadas oriente y poniente (Ver figura II.1.4.1.5). También es posible disminuir la ganancia de calor a través de un muro opaco por medio de una cámara ventilada exterior (tal como se observa en la figura II.1.4.1.12), la que junto con el aislante térmico producen en este muro una buena inercia de transmisión. Ello es altamente recomendable para muros estructurados en madera en climas de alta temperatura y radiación en períodos calurosos. Esta cámara también juega un rol al evacuar humedad que proviene del interior (por difusión) y la que intenta penetrar al panel debido a lluvia combinada con viento.



**Figura II.1.4.1.10:** Ejemplos de protección solar interior móvil en ventanas para diferentes orientaciones.



**Figura II.1.4.1.12:** Muro envolvente de madera (Proyecto FONDEF D0311020 Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera PUC-CORMA).



**Figura II.1.4.1.11:** Ventilación en techumbre para disminuir efecto de la radiación sobre la cubierta.

**II.1.4.2 Efecto invernadero y acumulación de calor.** La ganancia solar por ventanas es una expresión del diseño arquitectónico solar pasivo. Es una forma de utilizar el efecto invernadero provocado por la presencia de elementos vidriados a través del cual la radiación solar (onda corta) se transmite hacia el interior incidiendo sobre elementos del edificio que absorben parte del calor que lleva consigo esta radiación. Estos cuerpos emiten radiación (onda larga), frente a la cual el vidrio es opaco, generando entonces el efecto invernadero en que el calor eleva la temperatura del local correspondiente. (Ver figura II.1.4.2.1)

Parte de la captación almacenada en una parte más o menos superficial de la masa del edificio se restituye al ambiente en el período nocturno (ver figura II.1.4.2.2).

Esta es una forma directa de ganar energía para la vivienda en períodos fríos del año, luego es recomendable para todo clima del país. Con ello se eleva (pero no demasiado) la temperatura diurna y se aumenta también la nocturna y a su vez se amortigua la oscilación térmica en el interior respecto de la exterior.

La ganancia solar acompañada con acumulación de calor puede ser conseguida con un invernadero que no constituye realmente un espacio habitable en la vivienda, lo que lo hace de difícil uso en viviendas con limitación de espacios interiores habitables. El invernadero debe tener un uso cuidadoso en invierno, permitiendo la captación en el día y la posibilidad del paso del aire a mayor temperatura por convección hacia los espacios habitables. Aberturas que posibilitan esta convección deben ser cerradas en la noche pues el invernadero se transforma en un espacio frío al ser completamente vidriado. En verano, el invernadero debe protegerse de la radiación solar incidente y el calor generado en su interior debe evacuarse hacia el exterior (ver figura II.1.4.2.3).

El invernadero debe permitir que la radiación solar llegue dentro de la habitación a través del vidrio entre el espacio habitable y el propio invernadero. Además tiene el papel de un espacio tampón cuya temperatura crece debido al aporte de energía solar que no entra en la habitación.

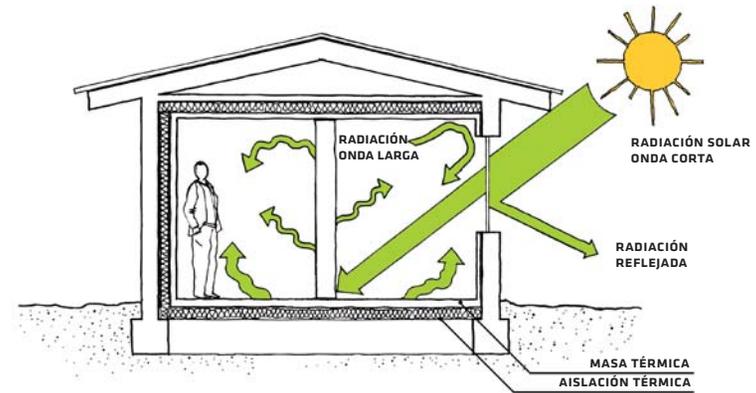


Figura II.1.4.2.1: Efecto invernadero, permite captación y almacenamiento de energía durante el día.

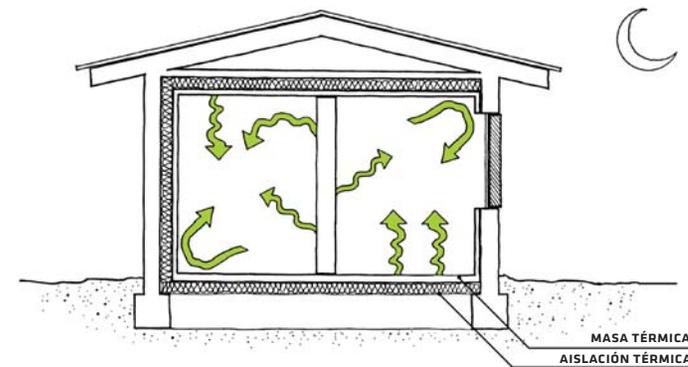


Figura II.1.4.2.2: Almacenamiento de calor con inercia térmica para uso nocturno.

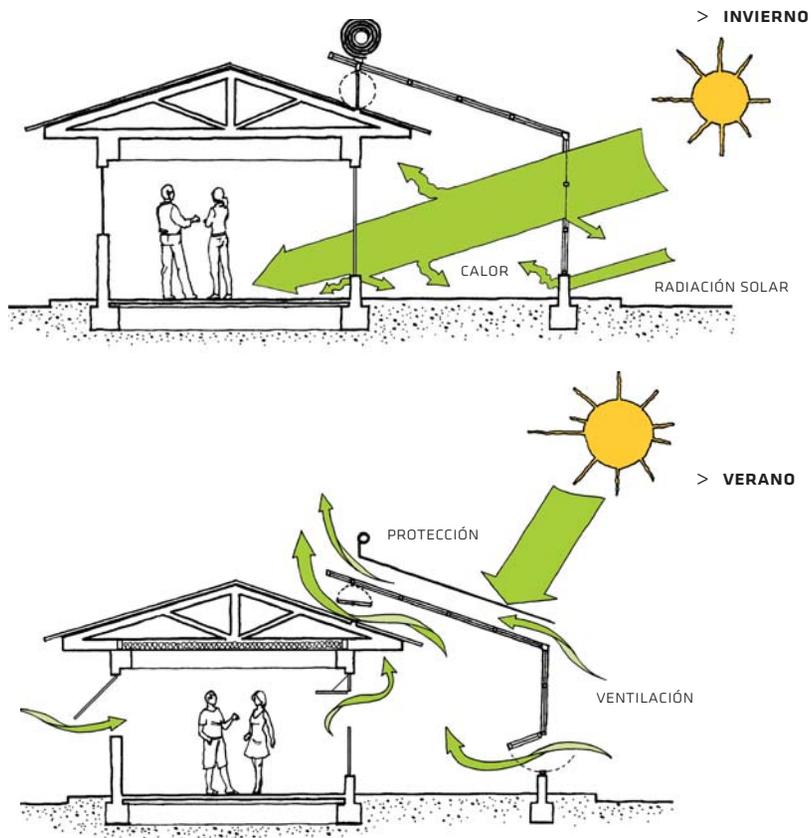


Figura II.1.4.2.3: Invernadero. Uso en invierno y verano.

**II.1.4.3 Muros Trombe.** La denominación de muro Trombe se aplica a un muro de material mineral (material efusivo) sobre el cual se instala un recubrimiento transparente (en general vidrio) que genera una cámara de aire, la cual puede estar desprovista de ventilación (caso 1 de figura II.4.1.3.1) o bien puede tener una ventilación hacia el interior (caso 2 de figura II.4.1.3.1) por efecto termosifón o a través de algún sistema que se acciona cuando la temperatura de la cámara de aire supera a la interior. Este tipo de muro puede provocar un problema de confort en ciertos períodos del año, por lo tanto se puede concebir un muro Trombe con una capa de aislante térmico por el lado interior al costado del muro, ventilando hacia el interior por termosifón (caso 3 de figura II.4.1.3.1)<sup>5</sup>.

El muro Trombe nació en Francia en una época en los muros de envolvente de viviendas no tenían buena aislación térmica y por tanto parecía interesante generar el efecto de invernadero sobre un elemento opaco del perímetro del edificio. En el presente, la aislación térmica en muros es corriente. Estudios demuestran<sup>6</sup> que actualmente, en el caso del muro Trombe (de costo elevado), el balance térmico no es superior al de un muro bien aislado (de costo bajo), ni tampoco lo es con respecto al de una abertura vidriada de idéntica orientación y que además aporta con iluminación natural y que capta muy bien la energía solar cuando el edificio tiene una inercia por absorción corriente. Lo anterior con la excepción de ciertos lugares con alta radiación solar, tales como zonas desérticas de altura. Si llegase a existir un vidrio de alta resistencia térmica en el futuro, las conclusiones indica:

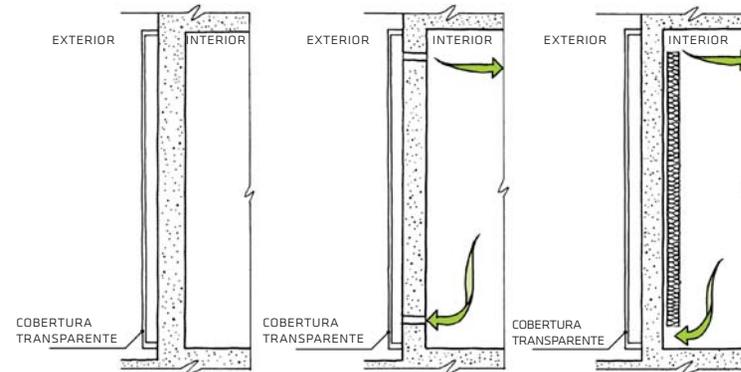


Figura II.1.4.3.1: Esquema de muro de Trombe.

<sup>5</sup> Lavigne Pierre (2003). "Arquitectura Climática. Una Contribución al Desarrollo Sustentable".

<sup>6</sup> Ver Lavigne, Pierre (2003) Op cit.

### II.1.5 Transmisión de calor a través de la envolvente en períodos fríos

La protección en la envolvente de la vivienda, para lograr en ella el mejor ambiente desde el punto de vista térmico implica una serie de medidas simultáneas.

1. Disminución de pérdidas de calor a través de elementos opacos y vidriados.
2. Controlar las infiltraciones de aire. Estas provocan problemas serios en la calidad ambiental interior de la vivienda al permitir la introducción de aire frío, representando pérdidas de calor. Esto se traduce en efectos negativos en el confort de las personas y produce mayor gasto de energía para calefacción.

**II.1.5.1 Comportamiento térmico de elementos opacos.** En relación al punto 1, se considera fundamental el comportamiento térmico de cada uno de los elementos de la envolvente, sean estos opacos o vidriados.

La Reglamentación Térmica (RT) ya descrita limita valores máximos de transmitancia térmica de elementos opacos en la vivienda, cuestión que ha tenido un impacto positivo en el comportamiento térmico de edificios residenciales. También limita el tamaño de ventanas de acuerdo al tipo de vidriado en éstas. La sola aplicación de esta RT no es sinónimo de eficiencia energética en gran parte del país. Para esto se requiere un mayor esfuerzo, en especial en vivienda social.

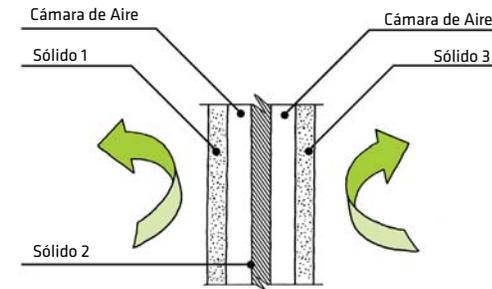
La RT, en general exige una transmitancia térmica en el cielo de las viviendas que constituye una solución adecuada para viviendas sociales a lo largo del país. En cuanto a soluciones de muro y ventanas, para la eficiencia energética es necesario incrementar su comportamiento térmico.

La figura II.1.5.1.1 muestra la ecuación de la transmitancia térmica de un elemento cualquiera de la envolvente, sea éste opaco o vidriado.

El comportamiento térmico de un elemento de la envolvente será mejor (limitará más las pérdidas de calor) en la medida que la transmitancia térmica U sea menor.

Para una menor transmitancia térmica:

- La conductividad térmica  $\lambda$  de los materiales que conforman el sistema constructivo deben ser lo menor posible.
- Si hay cámaras de aire, es ideal que éstas sean de tipo no ventiladas (que mantengan aire estanco y no intercambien aire con el ambiente interior y/o exterior).



ECUACIÓN GENERAL

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum e_i/\lambda_i + \sum R_{gi} + R_{se}} \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Resistencia Térmica Superficial Interior. Norma NCh 853 Of. 2007	Resistencia Térmica Sólidos. Norma NCh 853 Of. 2007	Resistencia Térmica Cámaras de aire. Norma NCh 853 Of. 2007	Resistencia Térmica Superficial Exterior. Norma NCh 853 Of. 2007
AIRE EN MOVIMIENTO	SÓLIDOS	AIRE ESTANCO	AIRE EN MOVIMIENTO

Figura II.1.5.1.1: Ecuación de la transmitancia térmica. NCh 853 Of. 2007

- Los materiales del sistema constructivo deben permanecer secos.

La conductividad térmica de un material, medida en laboratorios a través de procedimientos normados, corresponde al calor que se transmite en el material por unidad de tiempo, cuando entre sus superficies separadas por 1m existe una diferencia de temperatura de 1°C y su área transversal al flujo de calor es de 1 m<sup>2</sup>.

La tabla II.1.5.1.1 muestra valores referenciales de conductividad térmica de materiales, solo para analizar sus diferencias en cuanto a órdenes de magnitud. Valores precisos de conductividad térmica aparecen en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo o en la Norma Chilena Oficial NCh 853 Of. 2007.

La figura indicada, también a modo referencial muestra el aumento en la conductividad térmica de algunos materiales cuando éstos absorben humedad. Ello indica que las soluciones constructivas deben evitar humedecerse en especial por efecto de la lluvia.

La tabla II.1.5.1.2 muestra valores de transmitancia térmica U de diferentes sistemas constructivos de muro, estimados según la Norma NCh 853 Of. 2007. Se observa el efecto del aislante térmico en la disminución de esta transmitancia. A medida que aumenta el espesor de este aislante los valores de U tienden a ser similares (o prácticamente iguales) independientemente del sistema constructivo en que se aplica.

Valores de transmitancia térmica debidamente respaldados se encuentran en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del MINVU ([www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)).

Para asegurar un buen comportamiento térmico de la envolvente es importante que la aislación térmica sea bien instalada, evitando puntos o zonas sin protección. Además es importante evitar la presencia de puentes térmicos por donde existe un mayor flujo de calor que el resto de la envolvente si ella está debidamente aislada.

La figura II.1.5.1.2 muestra una aislación térmica bien instalada, un caso de aislación térmica mal instalada y un ejemplo de aislación térmica continua en el encuentro de muro y cielo. Siempre es recomendable buscar la continuidad de la aislación que permite evitar los puentes térmicos.

La figura II.1.5.1.3 muestra como un puente térmico en muro afecta en mayor o menor grado dependiendo de la ubicación del aislante térmico y el tipo de muro. La figura

**Tabla II.1.5.1.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ÁLGUNOS MATERIALES SECOS Y HÚMEDOS**  
(Valores referenciales. Para valores precisos de conductividad de materiales secos, ver NCh 853 Of. 2007 )

Materiales	Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad Térmica (W/m <sup>2</sup> °C)	
		Seco	Húmedo
<b>Aislantes Térmicos</b>			
Poliuretano Expandido		0,025-0,0274	
Poliestireno Expandido		0,0361-0,043	
Landa de Vidrio		0,033-0,043	
<b>Maderas y Derivados</b>			
Pino Radiata	410	0.104	
Alerce	560	0.134	0,13-0,19
Tableros Aglomerados	600	0.103	
Tableros de Fibra	850	0.23	
<b>Hormigón / Cerámicos y Vidrio</b>	<b>1000</b>	<b>0.23</b>	
Hormigón Celular	575 a 625	0.22	
Ladrillo hecho a mano		0.5	0,6-1,2
Vidrio Plano	2500	1.2	
Hormigón Armado (Normal)	2400	1.63	2.2
<b>Metales</b>			
Acero	7850	58	
Aluminio	2700	210	
Cobre	8930	380	

II.1.5.1.4 muestra una correcta instalación de aislante térmico en un piso sobre terreno para evitar el puente térmico en este elemento.

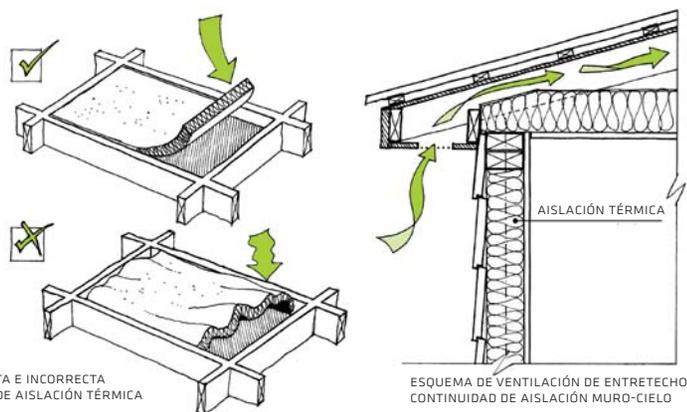
Por otra parte, tal como se ha señalado, es necesario que la ventilación sea controlada. La renovación de aire en un espacio puede controlarse con algún sistema o método de ventilación natural o forzada. Sin embargo, este control no puede existir si hay infiltraciones de aire, por rendijas o imperfecciones en la envolvente (incluyendo rendijas en marcos de ventanas y puertas), las que deben ser evitadas.

En el proceso constructivo de la vivienda, debe eliminarse todo tipo de rendija, que afecte la impermeabilidad al aire que debe presentar la envolvente de una vivienda, sobre todo cuando se pretende un uso eficiente de energía de calefacción. El uso de sello en juntas de construcción, y marcos de puertas y ventanas permite reducir de manera efectiva las infiltraciones de aire.

En construcciones de madera es recomendable la instalación por el lado interior, detrás del revestimiento, una película de polietileno continua que juega el rol de estanqueidad al aire y barrera de vapor.

Tabla II.1.5.1.2 TRANSMITANCIA TÉRMICA ESTIMADA SEGÚN NCh 853 Of. 2007

SISTEMA CONSTRUCTIVO	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm sin estuco	2,11
Ladrillo hecho a maquina de 14 cm, estuco (20mm) ambos lados	1,99
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm, poliestireno exp. de 25 mm ambos lados	0,92
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm, lana mineral 60mm, estuco (20mm) ambos lados	0,57
Ladrillo hecho a mano, estuco (20 mm) ambos lados	2,01
Bloque de mortero de 14 cm, estuco (20mm) ambos lados	3,35
Bloque de mortero de 14 cm, poliestireno expandido 25 mm, estuco (20 mm) ambos lados	1,14
Hormigón armado 100 mm, estuco (20mm) ambos lados	3,85
Hormigón armado 150 mm, estuco (20mm) ambos lados	3,44
Hormigón armado 200 mm, estuco (20mm) ambos lados	3,11
Estuco 20 mm, hormigón armado 200 mm, lana mineral 50 mm, contrachapado, madera interior	0,62
Contrachapado madera 16 mm, lana mineral 50 mm, cámara de aire, yeso cartón 15 mm	0,56
Hormigón Celular 15cm, (conductividad térmica de 0,16 W/mK) Enlucido de Yeso 5mm	0,89



FORMAS CORRECTA E INCORRECTA DE INSTALACIÓN DE AISLACIÓN TÉRMICA

ESQUEMA DE VENTILACIÓN DE ENTRETECHO CONTINUIDAD DE AISLACIÓN MURO-CIELO

Figura II.1.5.1.2: Aislación térmica bien instalada (izquierda arriba) y mal instalada (izquierda abajo). Caso de aislación térmica bien instalada y continua en encuentro de muro y cielo de la vivienda.

La figura II.1.5.1.5 muestra imperfecciones en la envolvente que implican infiltraciones de aire críticas en la vivienda.

La figura II.1.5.1.6 muestra el efecto que provocan las rendijas en la envolvente en función de la diferencia de presión entre el interior y el exterior (que representa una mayor o menor velocidad de viento exterior), observándose una disminución significativa en la impermeabilidad en la medida que se asuman estrategias para mejorar la impermeabilidad de la envolvente.

En cuanto a impermeabilidad de ventanas y puertas, es aconsejable hacer uso de ventanas que hayan sido ensayadas en cuanto a su comportamiento a la permeabilidad al aire. Ensayo que se realiza en laboratorio. Para la selección de ventanas de acuerdo a sus propiedades de impermeabilidad al aire se ha realizado una completa zonificación del país de acuerdo a la velocidad de viento de cada región y en función de la altura respecto del terreno en que se ubica una ventana (a mayor altura se somete a mayor velocidad del aire). En este mismo trabajo se genera un método para la selección de ventanas de acuerdo a su impermeabilidad al agua, debido la precipitación combinada con viento en un lugar específico<sup>7</sup>.

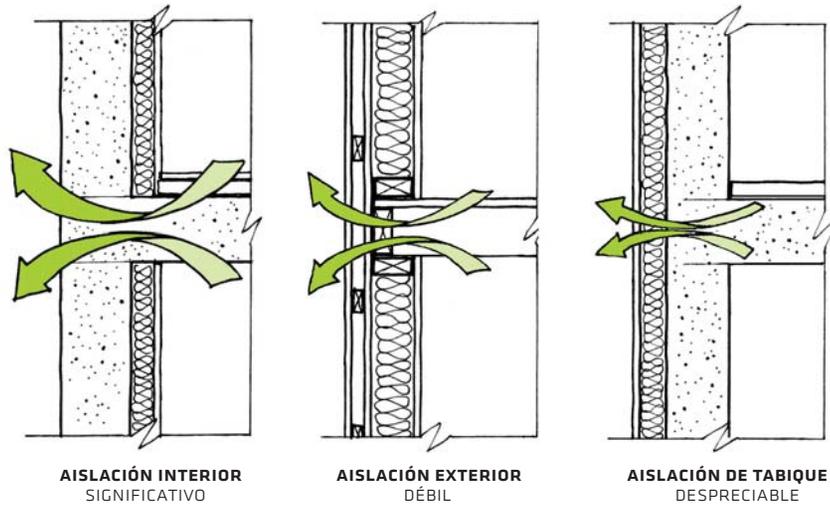
Técnicas y sistemas constructivos para evitar patologías en la vivienda social son ampliamente tratadas en el trabajo señalado. Es recomendable su consulta permanente.

En cuanto a ventanas, en regiones de clima frío y con poco sol, debe limitarse su tamaño para disminuir las pérdidas de calor (debido a la alta transmitancia térmica en especial las de vidrioado simple) guardando la necesaria superficie para iluminación natural y la captación solar que puede existir.

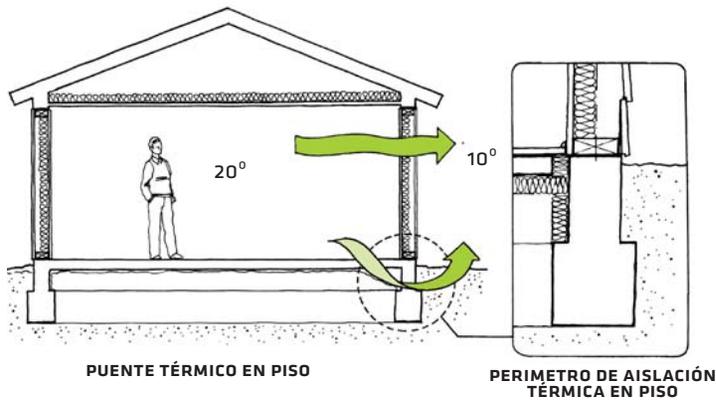
En regiones con clima mediterráneo y hacia el norte del país, las ventanas en fachadas norte pueden tener superficies más importantes que las que exige la iluminación natural.

Para evitar infiltraciones, en ventanas de dos hojas, una de ellas puede mantenerse fija, por cuanto la ventilación del recinto puede lograrse con la apertura de una de ellas. Evitar ventanas de corredera que presenten alta infiltración de aire en el traslape de ambas hojas. En general, utilizar el máximo de ventanas con hojas fijas.

7 Instituto de la Construcción (2005). "Guía Técnica Para la Prevención de Patologías en Viviendas Sociales".



**Figura II.1.5.1.3:** Puentes térmicos en encuentros de piso y muro. Aislación térmica interior: puente térmico significativo. Muro panel de madera: puente térmico débil. Aislación térmica exterior: puente térmico despreciable.



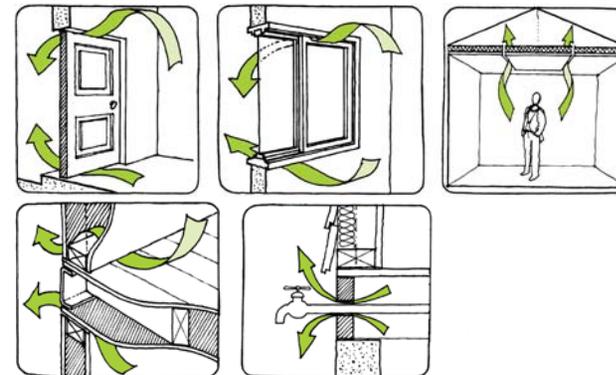
**Figura II.1.5.1.4:** Puente térmico o pérdida perimetral de calor en piso sobre terreno. Se repara con instalación de aislación térmica en el perímetro del piso.

En cuanto al tamaño de ventanas se indica lo siguiente:

- La OCUC establece una superficie vidriada máxima en viviendas dependiendo de la zona térmica en que ésta se ubique<sup>8</sup>.
- Existen además exigencias mínimas contenidas en el Itemizado Técnico de Construcción para Proyectos del Fondo Solidario de Vivienda<sup>9</sup>.

Finalmente, para reducir la transmitancia térmica promedio día-noche, es necesario protegerlas durante la noche, cuando la temperatura exterior disminuye considerablemente. En climas fríos y extremos (con temperaturas nocturnas bajas) es posible agregar una protección exterior que cubra el total de la superficie vidriada, (protección de madera por ejemplo), que permita mejorar su comportamiento térmico (disminuyendo pérdidas de calor). En climas templados bastará con la utilización de cortinas textiles gruesas o persianas interiores, que amortiguarán el efecto de las temperaturas bajas del exterior (Ver figura II.1.5.1.7).

Es importante indicar que para ser eficiente, es necesario que las protecciones nocturnas tengan en su perímetro una buena estanqueidad al aire para evitar el efecto termosifón entre la protección y el vidrio.



**Figura II.1.5.1.5:** Infiltraciones de aire no deseables en la envolvente de la vivienda.

<sup>8</sup> Según el artículo 4.1.10 de la OCUC la superficie vidriada máxima corresponderá a un % respecto de la superficie de paramentos verticales de la envolvente, sean éstos exteriores o que limitan con un espacio interior del edificio.

<sup>9</sup> Resolución exenta N°2070 del MINVU. Abril 2009 (O la que en un futuro la reemplace).

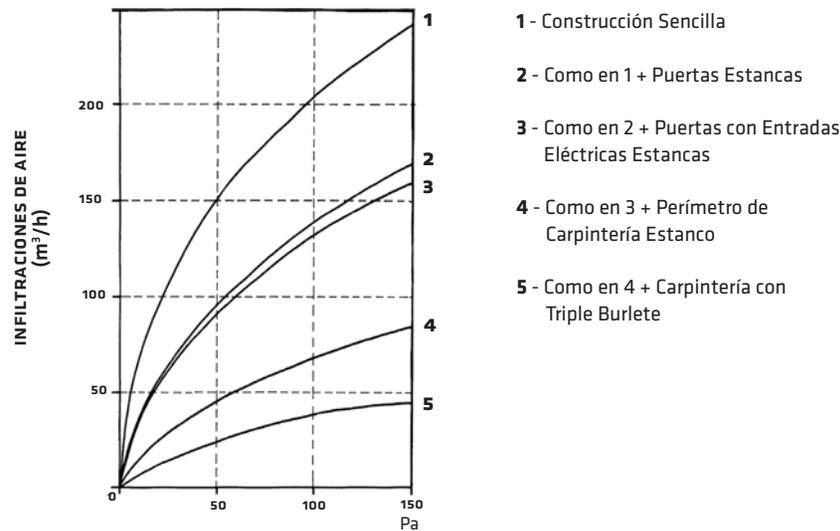


Figura II.1.5.1.6: Efecto en la impermeabilidad de la envolvente con uso de estrategias para evitar infiltraciones de aire. Fuente: Geohábitat. Energía y medioambiente (2000)

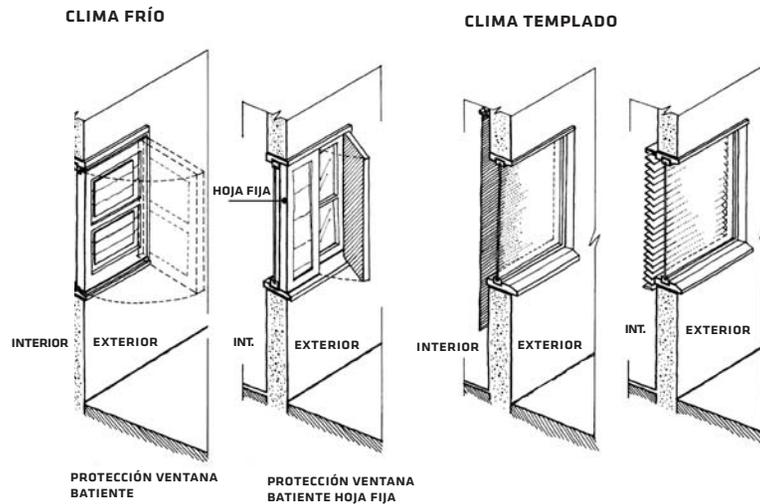


Figura II.1.5.1.7: Protección nocturna de ventanas para exterior e interior.

**II.1.5.2 Factor de forma de una vivienda.** Con el mismo tipo de envolvente, las pérdidas de calor a través de ella disminuyen en la medida que la envolvente expuesta de la vivienda tenga una menor superficie.

Para un idéntico volumen de espacio interior de la vivienda podrá tener diferente superficie de envolvente expuesta. Ello porque puede ocurrir que se tenga un perímetro de vivienda irregular u otro tendiente a ser cuadrado (por ejemplo). Este último constituye una vivienda más compacta.

La superficie expuesta de una vivienda también disminuye en la medida que se tengan viviendas pareadas, continuas o simplemente la vivienda pertenezca a un edificio de varios pisos.

Es interesante observar que la transmisión total de un edificio por m<sup>3</sup> de volumen habitable V es:

$$G = (U_{\text{medio}} \times Se)/V$$

Se define el factor de forma  $C_f = Se/V$  como el cociente entre la superficie de la envolvente expuesta Se y el volumen habitable V.

$C_f$  está directamente relacionado con demandas de energía de calefacción en una vivienda. Mientras mayor es el coeficiente de forma (para idéntico volumen habitable), mayor tiende a ser la demanda de energía de calefacción de la vivienda.

La figura II.1.5.2.1 muestra la variación de  $C_f$  en relación a: la forma (volumen constante); el tamaño (forma constante) y el tipo de contacto (forma y volumen constante).

Evidentemente el menor coeficiente de forma se logra en viviendas que se emplacen entre otras dos (vivienda continua), puesto que ello está indicando que se disminuirán las pérdidas de calor en la envolvente.

Todo este análisis de factor de forma es puramente geométrico y las conclusiones expuestas son válidas en la medida que en las comparaciones se supongan idéntico comportamiento térmico en cada una de las superficies de la envolvente.

Haciendo un razonamiento más general se puede concluir que si  $G = (U_{\text{medio}} \times Se)/V$ , entonces:

$$G = (U_{\text{medio}} \times m^2)/m^3 = (U_{\text{medio}}) \times (1/m)$$

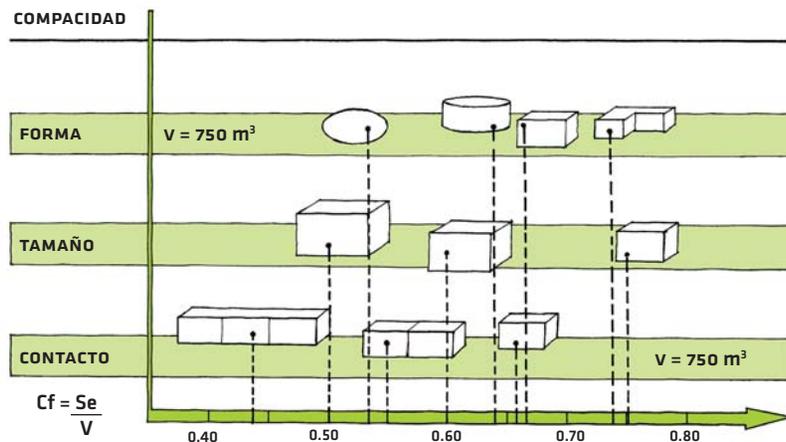


Figura II.1.5.2.1: Variación del coeficiente de forma de un cierto volumen constante.  
Fuente: De Herde (2005)

Si la superficie de la envolvente expuesta está medida en  $m^2$  y el volumen habitable en  $m^3$ , el factor  $G$  de pérdidas de calor volumétricas es proporcional a  $(1/m)$ , siendo  $m$  la altura del edificio.

Aparece entonces el factor de escala de modo que mientras más grande sea un edificio, más débil es  $Se/V$ . Luego, con idéntico  $U_{medio}$  de envolvente, más pequeña es la pérdida de calor a través de ella. De este modo es más conveniente, desde el punto de vista térmico, desarrollar viviendas colectivas. Idealmente también, los edificios debieran ser de una cruz, permitiendo el acceso al sol a todos los departamentos y facilitando la ventilación para períodos calurosos.

## II.1.6 Condensación superficial e intersticial

En períodos fríos del año, la vivienda se ve afectada por la humedad proveniente de precipitaciones, el suelo, aspectos climáticos (temperatura y humedad del aire) y uso de la vivienda.

Es importante indicar que la humedad del suelo puede afectar de manera crítica a la vivienda, dado que la humedad puede traspasar el piso por efecto de la capilaridad. En climas fríos, idealmente, bajo el radier debiera instalarse aislante térmico que no absorba agua (poliestireno extruido). Bajo este aislante es imprescindible la colocación de ripio de canto rodado (jamás arena o tierra) sobre suelo compactado, para cortar el efecto de la capilaridad. Se recomienda que el radier sea con hormigón hidrófugo. En el caso de muros de envolvente estructurados en madera o acero, instalar barrera de capilaridad en el apoyo de sobrecimiento (ver figura II.1.6.1).

Por otro lado, en períodos de invierno, a través de los muros de la vivienda fluye calor desde el ambiente interior hacia el exterior. Al mismo tiempo, en este mismo sentido fluye vapor de agua a través de los poros del material y si en el exterior además llueve, existirá la posibilidad de que agua líquida se introduzca hacia su interior, ayudada además por la presencia de viento. La figura II.1.6.2 muestra la combinación de estos fenómenos.

La temperatura a través del muro u otro elemento de la envolvente desciende hasta la temperatura exterior. El vapor que fluye en idéntica dirección puede (en ciertos casos) alcanzar la temperatura de rocío (temperatura tal que el aire se satura de agua y este pasa del estado de vapor al estado líquido) produciéndose condensación de tipo intersticial, tal como se observa en la figura II.1.6.3.

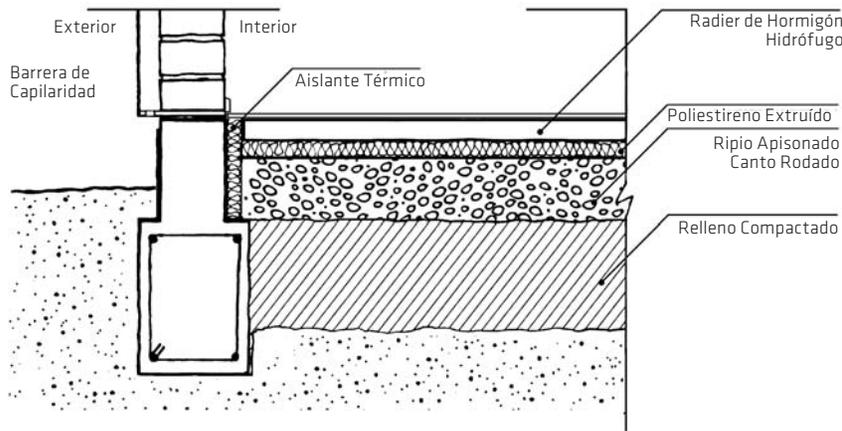


Figura II.1.6.1: Piso aislado de la humedad por capilaridad.

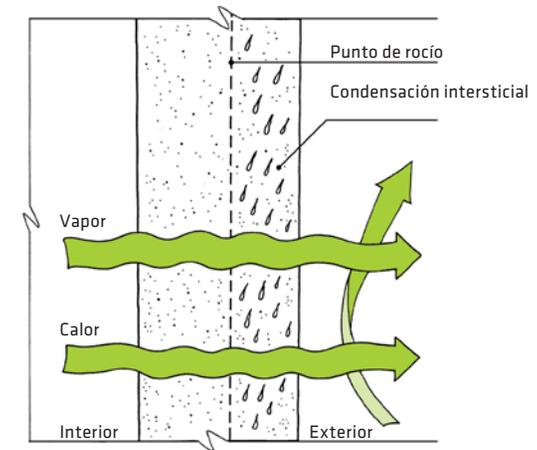


Figura II.1.6.3 Ocurrencia de condensación intersticial en un muro.

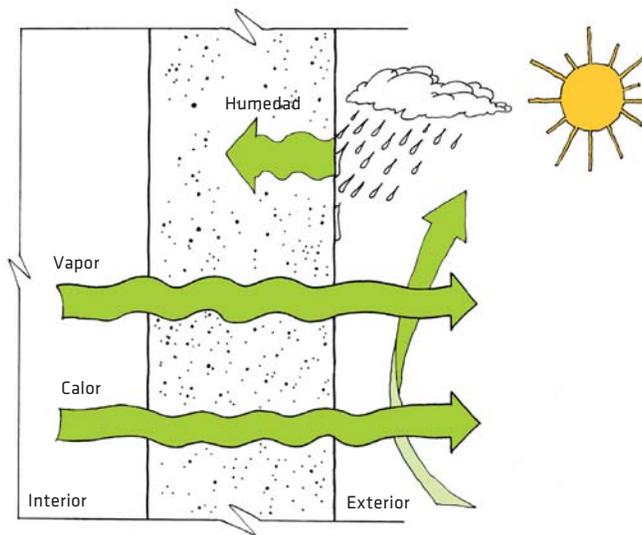


Figura II.1.6.2: Fenómenos de transferencia de calor y masa en un muro.

El agua de lluvia que penetre hacia el interior del muro, incrementará la conductividad térmica de los materiales afectados por ella, aumentando el flujo de calor. Como consecuencia de ello disminuirá aún más la temperatura en el muro u otro elemento de envolvente, acrecentando el riesgo de condensación. La penetración de agua lluvia y la condensación (superficial e intersticial) provoca daños en los sistemas constructivos, lo que reduce su durabilidad y puede facilitar la presencia de moho en la superficie interior.

Por otra parte, en la superficie del recubrimiento interior podrá producirse condensación (llamada condensación superficial interior). Este tipo de condensación se produce cuando la temperatura superficial en el recubrimiento interior es menor que la de rocío, correspondiente a las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) del interior.

**II.1.6.1 Determinación del riesgo de condensación.** Para determinar el riesgo de condensación superficial e intersticial, se deben conocer las características higrotérmicas de los materiales que conforman los elementos de la envolvente de la vivienda (muros, pisos ventilados, cielo, ventanas y otros), además de conocer las condiciones del interior y climáticas a las que se expone la vivienda.

### Condensación superficial

Se producirá condensación superficial, si la temperatura superficial interior del elemento de la envolvente es igual o inferior a la temperatura de rocío.

La densidad de flujo de calor “q” que atraviesa el sistema constructivo (pared por ejemplo), siendo idéntica en toda parte de él, es:

$$q = U (T_i - T_e) = (T_i - T_{si}) / R_{si} \quad (\text{W/m}^2)$$

Entonces, la temperatura superficial (ver figura II.1.6.1.1) interior en un determinado momento, está dada por la siguiente relación:

$$T_{si} = T_i - U \times R_{si} \times (T_i - T_e)$$

$T_{si}$  = T° superficial interior del muro (u otro elemento de la envolvente) (°C).

$T_i$  = T° ambiental interior de la vivienda (°C).

$U$  = Transmitancia térmica del muro (u otro elemento de la envolvente) ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$ ).

$R_{si}$  = Resistencia superficial interior del muro (u otro elemento de la envolvente) ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$ ).

$T_e$  = T° ambiental exterior (°C).

La temperatura de rocío va a depender de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) presentes en el ambiente interior de la vivienda en un determinado momento. Para obtener esta temperatura se utiliza como herramienta el ábaco psicrométrico, que consiste esencialmente en un ábaco con ejes de humedad del aire absoluta y temperatura de bulbo seco, en el que se han graficado curvas de humedad relativa. Conocida la temperatura y humedad relativa interior de la vivienda, estas se pueden representar en el mencionado ábaco, este punto se traslada horizontalmente hasta la curva de humedad relativa 100% (saturación) y se obtiene la temperatura de rocío en el eje correspondiente. Por ejemplo, si se tienen 18°C en el ambiente interior con una humedad relativa del 75%, la temperatura de rocío será de 13,5°C aproximadamente, un muro que posea una temperatura superficial interior inferior a esta temperatura, tendrá riesgos de condensar superficialmente (ver Figura II.1.6.1.2).

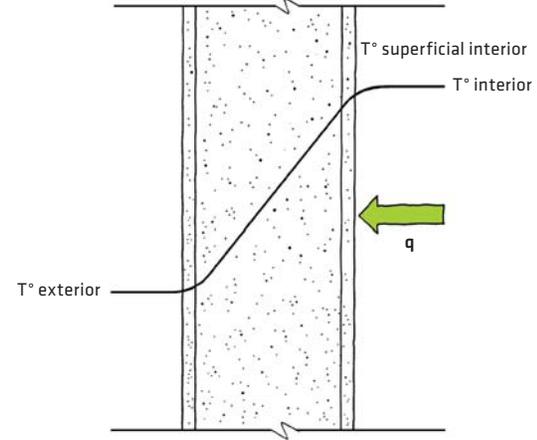


Figura II.1.6.1.1 Perfil de temperatura en muro.

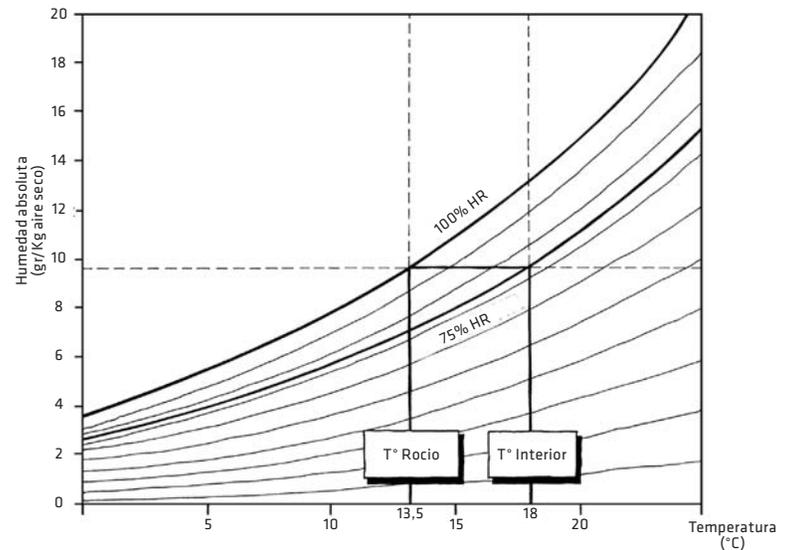


Figura II.1.6.1.2: Obtención de la temperatura de rocío a partir del ábaco psicrométrico.

*Condensación intersticial*

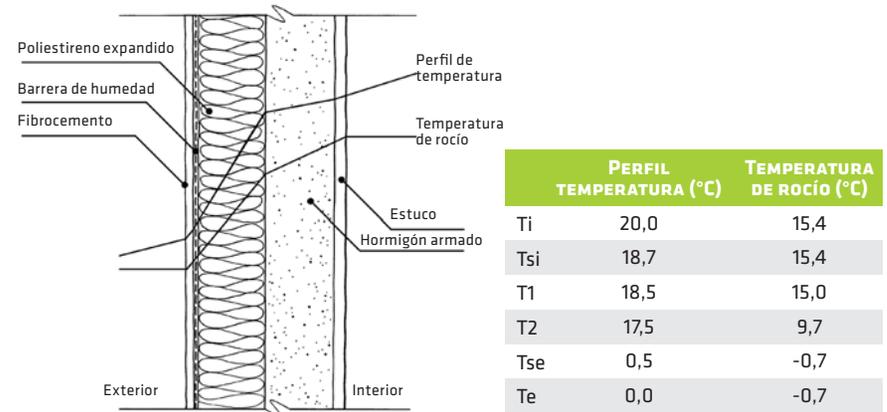
Para determinar el riesgo de condensación intersticial se debe conocer la evolución de la temperatura en las capas interiores del elemento (por ejemplo muro) que se desea analizar. Se sabe que a través del elemento fluye vapor de agua. Si la temperatura del elemento en una capa analizada, es igual o inferior a la temperatura de rocío en esta misma capa, existirá condensación intersticial. El método de cálculo de este tipo de condensación se presenta en la norma chilena NCh 1973 Of.2008 “Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación - Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo”.

En la figura II.1.6.1.3, se presenta un muro de hormigón armado aislado térmicamente por el exterior con 50mm de poliestireno expandido (perfectamente puede ser otro tipo de aislante térmico). El muro se supone en un día crítico de invierno, donde la temperatura exterior es de 0°C con 90% de humedad relativa (HR) y en el interior se encuentra climatizado a 20°C con 75% de HR. Al analizar la temperatura en diferentes capas del muro, se observa que en todos los casos ésta es mayor a la temperatura de rocío, por lo tanto, bajo las condiciones supuestas, en el muro no existe riesgo de condensación superficial ni intersticial. Esto se debe a la presencia de aislante térmico exterior, que genera un aumento en las temperaturas en el muro, disminuyendo el riesgo de condensación. La condensación intersticial puede humedecer el aislante térmico desmejorando sus propiedades.

**II.1.6.2 Recomendaciones.** Para evitar la condensación superficial e intersticial se recomienda lo siguiente:

*Disminuir al máximo la producción de vapor de agua en el interior de la vivienda. (No lo puede prever el diseñador pero si puede participar en la educación de los usuarios).* Las principales fuentes de vapor de agua en el interior de la vivienda, están directamente relacionadas con las actividades de las personas. Entre las más importantes actividades generadoras de vapor se cuentan: cocción de alimentos, lavado y secado de ropa, baño de las personas, riego de plantas y uso de sistemas de calefacción a llama abierta (que no expulsan gases producto de la combustión hacia el exterior de la vivienda), tales como estufas a gas y a kerosén.

*Extraer la humedad producida en el interior por la vía de ventilación natural o forzada (posible de prever por parte del diseñador)* Se ha indicado que para condiciones de confort térmico se debe tener un máximo de 75% de humedad relativa interior. Dada la producción



**Figura II.1.6.1.3:** Riesgo de condensación en muro de hormigón armado aislado térmicamente por el exterior

de vapor de agua en las viviendas la humedad relativa puede crecer permanentemente, es necesario impedir que esta humedad relativa de 75% sea superada en el interior, e idealmente debiera ser aún menor. Para ello, es fundamental ventilar la vivienda de manera controlada (evitando sobre-ventilación en invierno), a través de sistemas de ventilación forzada (mecánica) o natural. Al menos, en baños y cocinas los sistemas de ventilación mecánica (extractores de aire) son imprescindibles, en especial en los momentos de alta producción de vapor. El uso de ventilación natural, con la apertura de ventanas, permite también lograr el intercambio de aire para controlar la cantidad de vapor en los recintos, sin embargo este tipo de ventilación puede implicar exceso de intercambio de aire (disminuyendo la temperatura interior, generando problemas de confort y un incremento en el consumo de energía de calefacción) o que este intercambio no sea suficiente. Por otra parte, es difícil asegurar la magnitud de este intercambio que permita reducir suficientemente el vapor de agua interior (en períodos fríos) dado que éste depende de un conjunto de factores difíciles de estimar (velocidad y dirección de viento, el entorno inmediato de la vivienda, el comportamiento de los usuarios, entre otras).

En la medida que el mercado nacional evolucione, se introducirán sistemas de ventilación mecánicos controlados (VMC), recomendables para evitar la presencia de condensación en viviendas y de otros problemas de calidad de aire interior.

*Aislar térmicamente la envolvente* Como se ha mostrado, la aislación térmica juega un rol fundamental en la eliminación del riesgo de condensación. En efecto, si la temperatura superficial interior es alta (muy cercana a la temperatura del aire interior, que se supone en condiciones de confort), el riesgo de condensación es despreciable, salvo en ciertos puntos particulares, tales como puentes térmicos, donde se pueden alcanzar bajas temperaturas.

Sin embargo, aun cuando la aislación térmica evita la condensación superficial, ello no necesariamente implica que no existan riesgos de condensación intersticial.

En el caso de muros, para evitar la condensación intersticial se recomienda lo siguiente, según el caso:

- Si se usa aislación térmica interior sobre una albañilería u hormigón o en la cavidad de un sistema constructivo estructurado en madera, debe instalarse una barrera de vapor continua inmediatamente detrás del revestimiento interior (entre el aislante y este recubrimiento). Esta barrera puede ser polietileno o papel kraft con película bituminosa. También puede ser una película de pintura de alta resistencia al paso de vapor aplicada sobre el revestimiento. En general se pretende que lo más al interior del muro posible, exista alguna barrera de alta resistencia al paso de vapor (ver figura II.1.4.1.12).
- En el caso de estructuras de madera, el aislante térmico debe tener una protección externa, la que puede estar constituida por una película microporosa (que permite evacuación de vapor de agua que difunde desde el interior y que impide la penetración de agua de lluvia exterior) y en su parte exterior se debe prever una cámara de aire ventilada de 2cm por lo menos (ver figura II.1.4.1.12). Esta cámara ventilada permite evacuación de humedad que pueda existir en el interior del muro.
- En el caso de aislación térmica exterior, es posible determinar el espesor de este aislante térmico de modo que se evite el riesgo de condensación en el sistema constructivo. Este aislante debe estar protegido muy cuidadosamente de la lluvia, con una película microporosa por ejemplo (ver figura II.1.6.1.3): En este caso no se requiere barrera de vapor en ninguna parte del muro. Los elementos que componen el sistema constructivo deben presentar la mayor permeabilidad al vapor de agua posible, incluida las pinturas interiores.
- Las albañilerías y todo sistema constructivo de la envolvente debe ser impermeable a la lluvia. La penetración de agua lluvia –tal como se ha indicado– afecta negativamente el comportamiento térmico de los materiales (aparte de generar deterioro acelerado), lo que hace aumentar el riesgo de condensación en los sistemas constructivos.

*Eliminar los puentes térmicos.* Es muy común tener puentes térmicos en la envolvente exterior de los edificios en general y en viviendas sociales en particular. Estos puentes térmicos

corresponden a una interrupción en el comportamiento térmico de una envolvente y en ellos se genera mayor transferencia de calor hacia el exterior en períodos fríos del año. Se producen en encuentros entre elementos de la envolvente (esquinas) y en discontinuidades en la aislación térmica de un cierto sistema constructivo. Estos elementos constituyen puntos de alto riesgo de condensación superficial, pues provocan zonas frías puntuales en la superficie interior. Debido a su mal comportamiento térmico, generan problemas de pérdidas de calor adicionales en invierno.

En la figura II.1.6.2.1 se muestran ejemplos de puentes térmicos en una vivienda de albañilería, como lo son el mortero de pega y elementos estructurales de hormigón (cadenas y vigas). A través de estos elementos se producen mayores pérdidas de calor (con la consiguiente menor temperatura superficial interior) que lo que ocurre en la zona ocupada por los ladrillos.

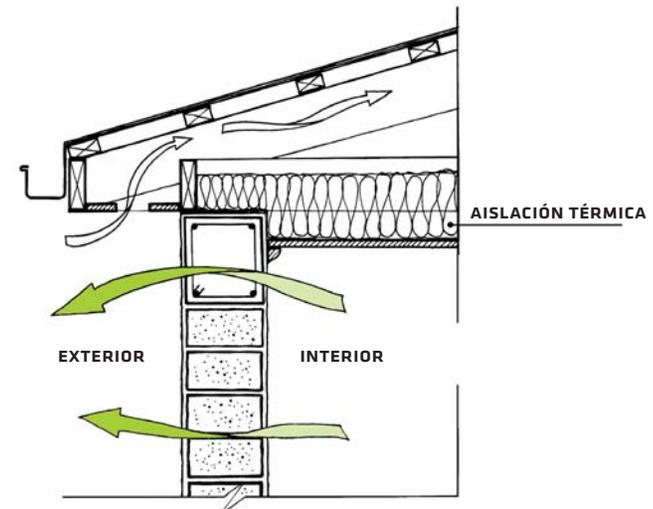


Figura II.1.6.2.1 Ejemplos de puentes térmicos en muro de albañilería.

### II.1.7 Ventilación en la vivienda

La ventilación en la vivienda tiene dos objetivos fundamentales:

1. Ventilación para mantener la calidad del aire interior, que permita lograr aire descontaminado durante todo el año, con control de la humedad interior y sin olores desagradables.
2. Ventilación para el confort térmico o enfriamiento del ambiente interior, que permite reducir las temperaturas al interior de la vivienda en periodos calurosos del año (verano y estaciones intermedias, según el clima).

Para mantener la calidad del aire, y en especial en períodos fríos del año, cuando se tiende a ventilar menos por ventanas, es fundamental que exista un sistema de ventilación mecánica controlada, con un flujo de aire ni menor ni mayor al necesario para mantener el confort respecto de la calidad de aire que requieren las personas para sus actividades. Ello exige que la envolvente de la vivienda sea hermética al paso de aire, por lo que se deben evitar rendijas en sus diferentes componentes (ventanas, puertas y sus respectivos marcos, juntas, encuentros y otros). La figura II.1.7.1 muestra esquemáticamente el sello de rendijas en la instalación de marcos de ventanas. Estos sellos pueden materializarse con silicona, poliuretano o bandas plásticas deformables introducidas en las juntas.

En períodos calurosos del año la ventilación para el confort térmico, se refiere principalmente a la necesidad de lograr temperaturas bajo el máximo permitido. Ello puede lograrse a través de ventilación natural, cuidando que esta ocurra en momentos en que el aire exterior presente una temperatura inferior a la máxima de confort.

**II.1.7.1 Ventilación forzada para mantener la calidad del aire interior.** La vivienda social en el país puede presentar problemas severos de condensación superficial en el interior, tal como se ha explicado. Se han indicado las causas de este problema, siendo una de ellas la falta de ventilación en la vivienda. Para evitar la condensación superficial, junto con construir elementos de la envolvente de baja transmitancia térmica, debe ventilarse la vivienda para no alcanzar humedad relativa alta (mayor a 75% de HR).

La forma eficaz de mantener humedad relativa interior bajo el límite indicado y lograr calidad de aire interior con criterio de eficiencia energética, es a través de ventilación mecánica controlada tanto en viviendas individuales como en edificios colectivos. Con ella el aire se

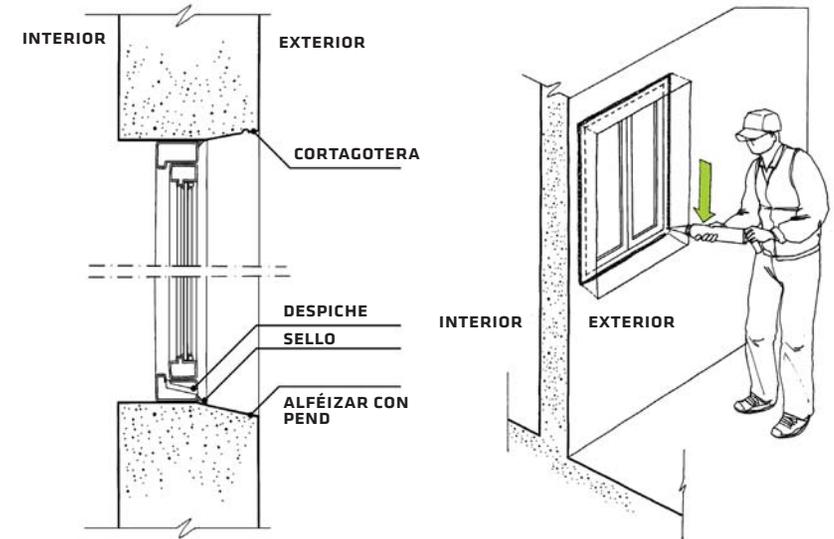


Figura II.1.7.1 Sello en rendijas para evitar infiltraciones de aire y permitir ventilación mecánica controlada.

mantiene en un estándar de confort con un mínimo consumo energético, evitando ventilar más de lo necesario pues de otro modo se aumenta la demanda de energía de calefacción.

El sistema de ventilación forzada, con extractores en baños y cocina puede perfectamente combinarse con ciertas tecnologías que permiten la entrada de aire de forma controlada, las que se instalan en la envolvente de la vivienda, por ejemplo en el marco de ventanas o sobre éstas (ver figuras II.1.7.1.1, II.1.7.1.2 y II.1.7.1.3). Estos sistemas, de bajo costo de instalación, son absolutamente imprescindibles para lograr calidad del aire en períodos fríos, con criterios de eficiencia energética (ventilación mecánica controlada que limita el flujo de aire a lo estrictamente necesario).

### II.1.7.2 Ventilación natural como mecanismo de enfriamiento.

La ventilación natural posee variantes que permitirán obtener el confort térmico, que dependiendo del clima donde se ubica la vivienda, será más efectiva una u otra: ventilación durante algunas horas del día, ventilación nocturna, ventilación evaporativa, etc.

La ventilación de tipo natural en una vivienda, puede ser cruzada (entre la apertura de una fachada y su opuesta), unilateral (en un mismo recinto el aire entra y sale por una misma apertura) y la ventilación por efecto de diferencia de altura (stack effect), en la que el aire entra por una apertura y sale por otra superior (ver figura II.1.7.2.1). En los últimos casos, la mayor temperatura del aire provoca flujos ascendentes, facilitando la ventilación que sale por aperturas a mayor altura o por la parte superior de una ventana.

Para el caso de viviendas la ventilación cruzada es en general más efectiva que la ventilación unilateral. Para obtener ventilación cruzada en edificios de departamentos es recomendable hacerlos de una sola crujía.

La ventilación diurna para el confort térmico es efectiva cuando la temperatura exterior es inferior a la interior, como por ejemplo en las primeras horas de la mañana y en las tardes, como ocurre en diferentes climas de Chile.

La ventilación nocturna o enfriamiento convectivo es diferente al caso anterior. Con esta estrategia el aire frío nocturno se introduce a la vivienda haciendo disminuir la temperatura de aire. Este tipo de ventilación es muy efectiva cuando la vivienda en su interior presenta elementos de alta inercia, los que se enfrían y al día siguiente absorben el calor del aire haciendo disminuir su temperatura. Ello provoca amortiguamiento de la

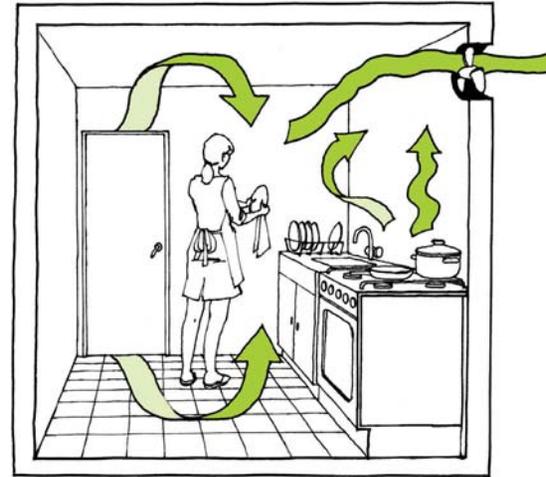


Figura II.1.7.1.1: Ventilación forzada en cocina.

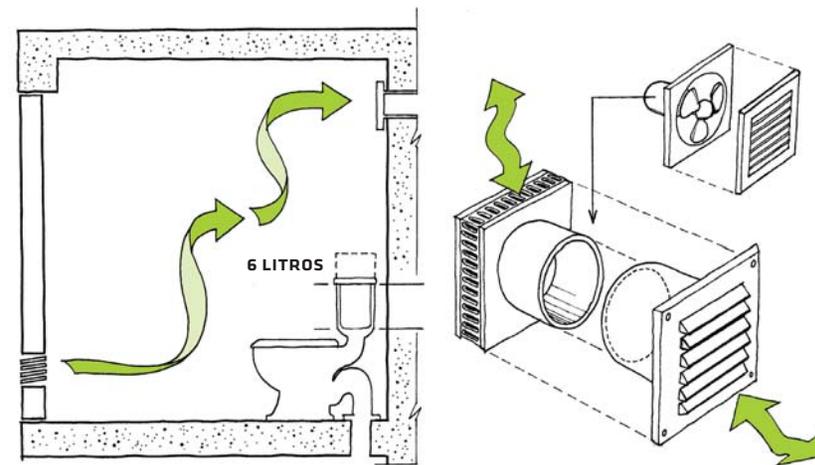


Figura II.1.7.1.2: Ventilación forzada en baño.

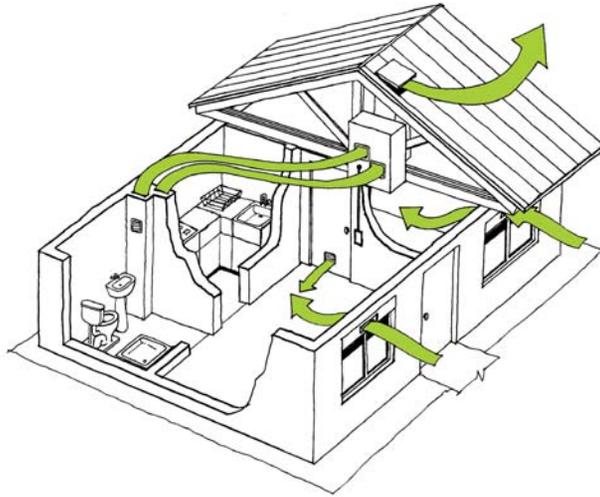


Figura II.1.7.1.3 Combinación de ventilación forzada y natural.

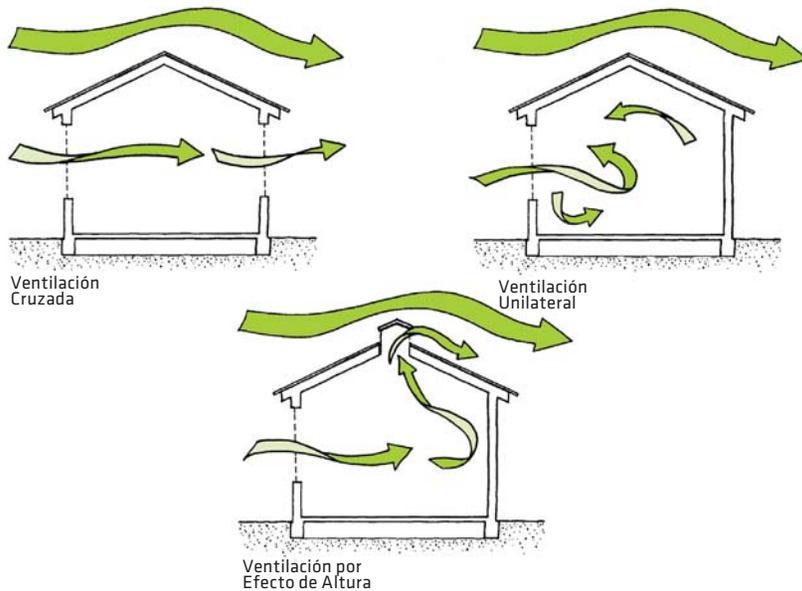


Figura II.1.7.2.1 Tipos de ventilación natural.

oscilación térmica exterior y a su vez retarda dentro del día la hora en que se produce la temperatura máxima interior respecto de la exterior (ver figura II.1.7.2.2).

La ventilación nocturna en viviendas puede verse limitada por el uso de dormitorios en la noche (si ocurre a través de ventanas), donde una sobreventilación puede ser desagradable (además de generar problemas acústicos e incluso de seguridad en ciertos casos). Si es posible puede realizarse en recintos que se mantienen desocupados en la noche.

Este tipo de ventilación es recomendable en climas donde las temperaturas diarias son altas y de noche bajas (alta oscilación térmica), como por ejemplo las ciudades con climas mediterráneos.

Otro tipo de ventilación, que puede ser utilizado en climas con bajo porcentaje de humedad corresponde a la ventilación evaporativa o enfriamiento evaporativo, donde agua en conjunto con el viento es pulverizada. La evaporación de esta agua provoca un descenso en la temperatura del aire, el que al ingresar a la vivienda puede disminuir la temperatura interior (aunque aumentando el contenido de humedad del aire).

Para obtener buenos resultados de ventilación natural, es necesario conocer los factores que influyen en el flujo de aire al interior de la vivienda, como lo son: la distribución de la presión alrededor de ésta, la dirección del viento (que se introduce a través de ventanas u otras aberturas), el tamaño de ventanas, ubicación de éstas y la distribución de los espacios interiores.

La figura II.1.7.2.3 muestra distintos casos de como puede variar la presión alrededor de una vivienda. Se observa que en la fachada en que incide el viento se produce una presión positiva mientras que en la fachada posterior, se produce una presión negativa. Diferencias de presión también se observan en el perfil de una vivienda. En las superficies superiores (techumbres), se producen presiones negativas debido al aumento de la velocidad del aire sobre estas superficies.

La figura II.1.7.2.4 muestra como elementos adosados al exterior de las ventanas, crean zonas de presión positiva y negativas, provocando mayor efectividad en la ventilación natural.

La dirección del aire es otro factor fundamental a considerar. En general es recomendable orientar las aberturas en la dirección del viento predominante, de manera de asegurar el ingreso de aire a la vivienda. La figura II.1.7.2.5 muestra que si el viento incide sobre una esquina de la vivienda se obtiene ventilación más eficiente que si lo hace perpendicularmente a la fachada (considerando las ventanas que se observan en la figura indicada).

El tamaño de ventanas y la ubicación de estas en la vivienda permitirán obtener mayor o menor ventilación en los recintos, distribuyendo el aire de manera eficiente en la medida que se tomen en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Las dimensiones de las ventanas de entrada y salida provocarán variaciones en la velocidad del aire al interior de los recintos. Mayores velocidades se presentarán cuando el flujo de aire pase por las ventanas de menor tamaño. Es recomendable que éstas sean iguales, debido a que la ventilación es normalmente una función de la abertura más pequeña. En todo caso, si una de las aberturas es menor, debiera ser ésta la de entrada de aire pues así se hace mayor la velocidad en el interior, lo que provoca mayor sensación de confort (ver figura II.1.7.2.6).
2. Ventanas opuestas y no paralelas permitirán barrer una mayor área al interior del recinto, pero disminuirán la velocidad del flujo (ver figura II.1.7.2.7).
3. Las protecciones exteriores modificarán el flujo de aire al interior de la vivienda. Es recomendable utilizarlas, para barrer más área del recinto (ver figura II.1.2.8).
4. Ubicar las ventanas a distintos niveles permitirá controlar la temperatura de entrada y salida del aire. Para un mayor confort a través de ventilación, las ventanas de entrada deberán estar en la parte baja, al nivel de las personas en el recinto, ventanas superiores de salida permitirán extraer el aire caliente depositado en las capas superiores del espacio interior (ver figura II.1.2.8).

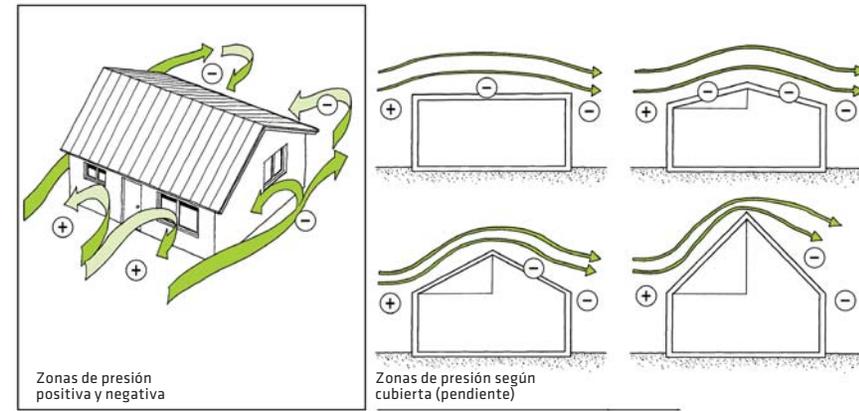
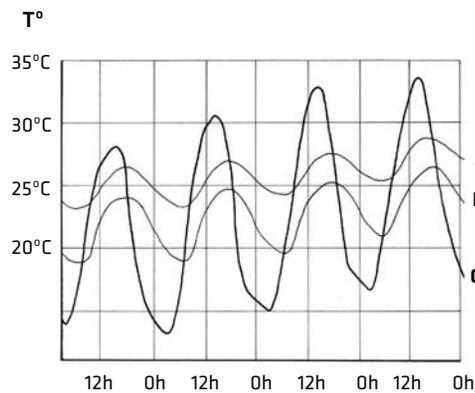


Figura II.1.7.2.3 Flujo de aire alrededor de una vivienda causa presiones negativas y positivas



Curva A: Fuerte inercia sin sobreventilación  
 Curva B: Fuerte inercia con sobreventilación  
 Curva C: Temperatura Exterior

Figura II.1.7.2.2. Curvas de temperatura interior con o sin ventilación nocturna  
 Fuente: Thierry Salomón y Claude Aubert (2007) modificado.

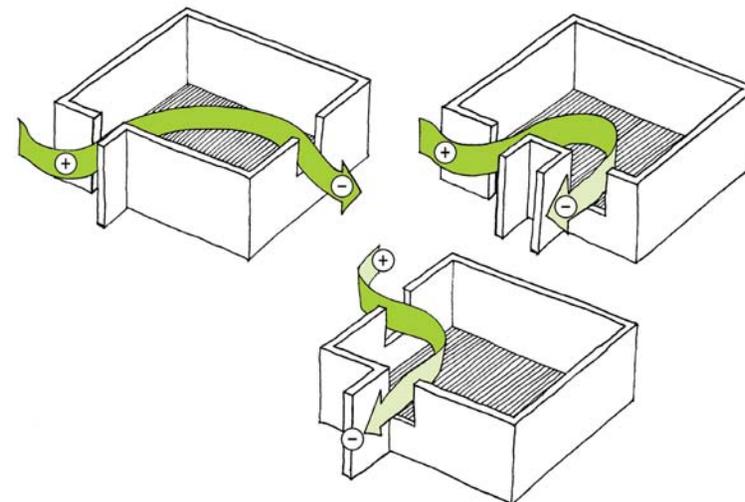
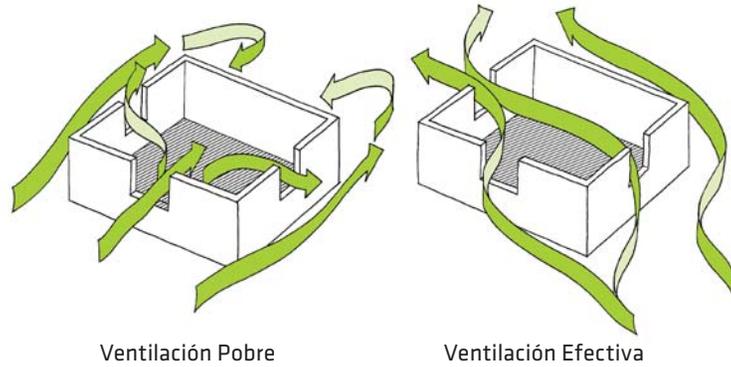
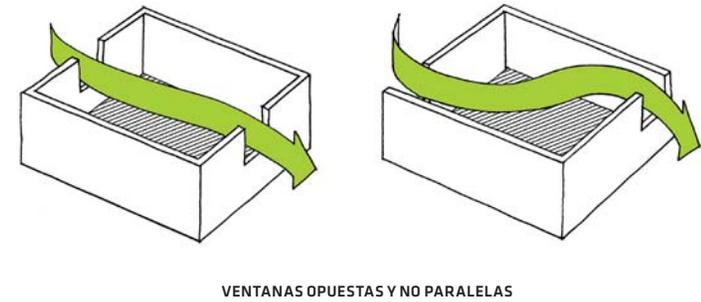


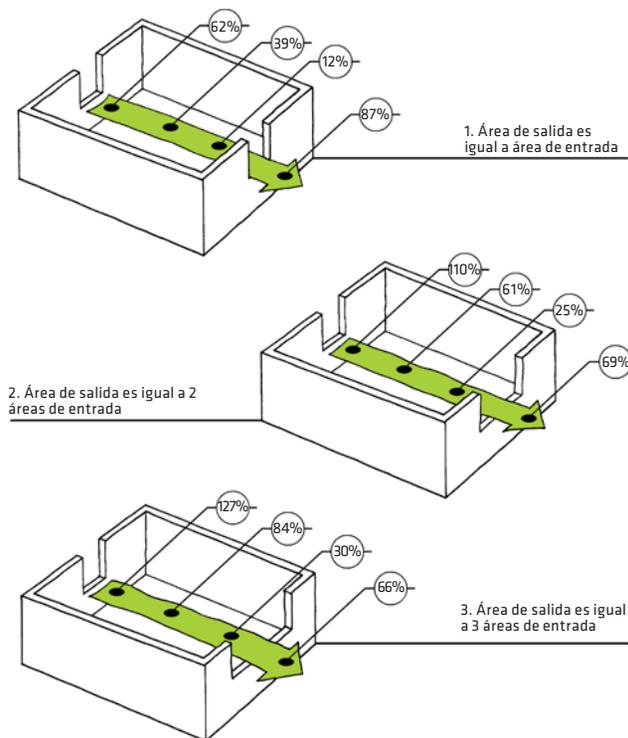
Figura II.1.7.2.4 Elementos adosados al exterior de las ventanas favorecen la creación de zonas de presión positiva y negativa



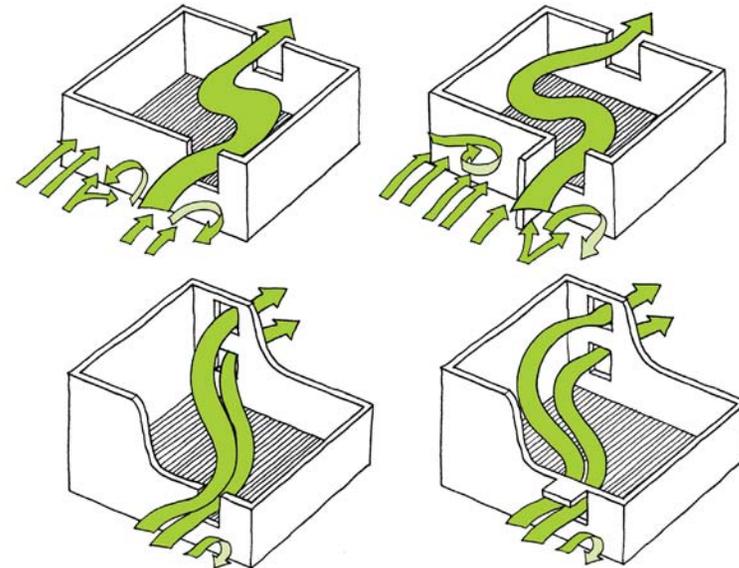
**Figura II.1.7.2.5** Ventanas y esquinas de fachadas orientadas en la dirección del viento permiten una ventilación efectiva en la vivienda.



**Figura II.1.7.2.7:** Ventanas opuestas y no paralelas distribuyen mejor el aire al interior del recinto.



**Figura II.1.7.2.6:** Variaciones en la velocidad del aire dependiendo del tamaño de ventanas de entrada y salida.



**Figura II.1.7.2.8:** Modificación del flujo de aire al interior del recinto a través de protecciones exteriores (arriba) y disposición de ventanas a distintos niveles (abajo).

## II.2 ESTRATEGIAS DE ILUMINACIÓN

En un contexto globalizado, cada vez más preocupado de la reducción de los gases de efecto invernadero y de los impactos medioambientales en general, la iluminación natural ha sido considerada como un elemento de diseño importante para la generación de hábitats humanos más sostenibles. Si bien, esta puede entenderse asociada a recintos con destino de uso comercial o de oficinas, donde el período de ocupación del edificio y la disponibilidad de luz natural se traslapan, también podremos obtener grandes ahorros de energía operacional en las viviendas, mientras mayor sea nuestra autonomía con respecto a la iluminación artificial (siempre y cuando se garanticen los principios del confort visual expuestos en el capítulo I.5.2.3).

### II.2.1 Iluminación Natural

El diseño de una estrategia de iluminación natural es por tanto algo deseable, sino imprescindible, si lo llevamos al ámbito de la arquitectura energéticamente eficiente. Sin embargo, para generar esta, es necesario tener claro una serie de operaciones, que determinaran como una cierta concepción arquitectónica se traduce en un adecuado desempeño de la iluminación natural. Estas operaciones son las siguientes (Figura II.2.1.1):

*Captar* la cantidad adecuada de luz natural (de acuerdo al destino de uso del recinto), considerando la porción de iluminación que efectivamente será transmitida al interior a través de ventanas y/o lucarnas. También hay que tomar en cuenta el efecto que producirán en la captación de luz, las superficies existentes (ya sean reflectivas u opacas) en el entorno de la vivienda.

*Ingresar* al interior del recinto la cantidad de luz natural que se desee de acuerdo al objetivo de diseño. En esto no solo son relevantes las condiciones ambientales exteriores, sino también las superficies vidriadas de la vivienda. La iluminación lateral (por ventanas) corresponde a una de tipo dirigido, donde generalmente se acentúa el relieve, pero limitada en profundidad, contrario a lo que sucede con la iluminación cenital que es más uniforme.

*Distribuir* adecuadamente la luz natural al interior de los recintos de la vivienda, cuidando la reflexión sobre muros, cielo y mobiliario y los obstáculos que estos pudiesen representar. En este aspecto, hay que tener un cuidado especial con los colores de las distintas superficies que incidan sobre la distribución de la luz y el tipo de vidrio utilizado (nivel de transparencia).

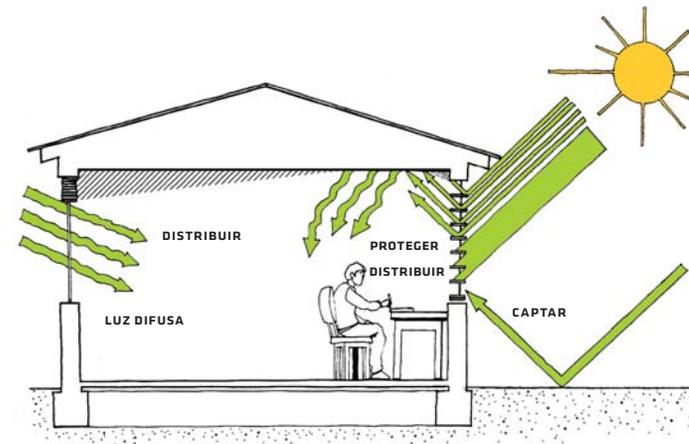


Figura II.2.1.1: Operaciones a considerar para el diseño de una estrategia de iluminación natural.

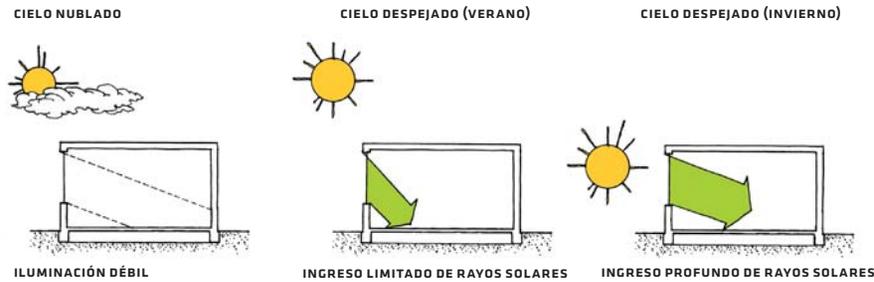


Figura II.2.1.2: Caracterización de la iluminación natural por ventanas y lucarnas bajo condiciones de cielo nublado y despejado.

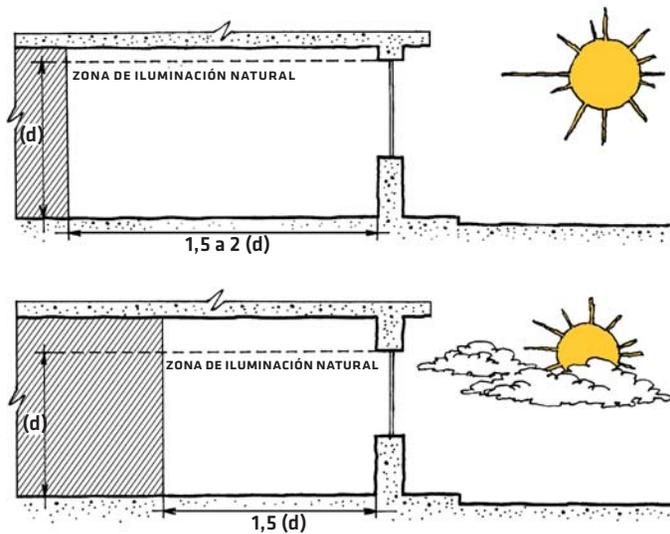


Figura II.2.1.3: Dimensionamiento básico de la altura de una ventana a partir del requerimiento de iluminación natural.

*Proteger* del exceso de iluminación natural, fenómeno que puede reducir significativamente las posibilidades de confort visual interior producto del deslumbramiento. Esto se puede controlar por medio de elementos fijos (aleros, toldos, parrones) o móviles (celosías, persianas).

*Focalizar* una mayor intensidad de iluminación en lugares asociados a un requerimiento específico, como por ejemplo un escritorio.

Para convertir estas estrategias de iluminación en soluciones arquitectónicas concretas, usualmente se utilizan ciertas reglas generales (ver figura II.2.1.2) que entregan pistas al arquitecto y garantizan un cierto cumplimiento mínimo del objetivo de diseño (de ventanas principalmente).

Con respecto a las ventanas, las dificultades en su diseño estarán más determinadas por el objetivo de conseguir una adecuada distribución de la iluminación más que por la captación. Para esto, hay que tomar en cuenta, por ejemplo, la transmisión de la luz a través de la ventana, donde un vidrioado simple transmite aproximadamente 85% de la luz incidente, mientras que en el vidrio doble este valor se reduce a un 70%. El efecto de la suciedad puede también reducir en un 10% la transmisividad.

El problema de distribución de la iluminación natural al interior de una planta de cruzía profunda puede ser reducido mediante el aumento de la altura de la ventana, ya que un espacio estará potencialmente bien iluminado para una profundidad máxima (distancia) correspondiente a 2 veces la altura de la ventana, medida desde el piso. Este valor se podría reducir a 1,5 veces la altura para condiciones de cielo nublado (figura II.2.1.3). Para mayores profundidades se requerirá iluminación artificial suplementaria.

Finalmente, las lucarnas (ventanas horizontales que utilizan la iluminación cenital) aprovechan el ángulo de mayor luminancia del cielo, de manera que son capaces de captar tres veces más luz por unidad de superficie. Sin embargo, generalmente presentan el problema de producir una gran ganancia térmica en verano, incrementando el riesgo de sobrecalentamiento. En la mayoría de los casos entonces, sería recomendable recurrir a iluminación cenital con un diseño arquitectónico que permitiese orientarse hacia el sur, ya que prácticamente no se captaría luz solar directa, pero sería igualmente efectiva en términos de luz natural bajo condiciones de cielo nublado.

## II.2.2 Iluminación artificial

Cualquier vivienda, incluso con el mejor aprovechamiento de la luz natural, va a requerir la incorporación de fuentes luminosas artificiales para poder cumplir sus funciones adecuadamente. En términos generales, el sistema de iluminación debe ser capaz de satisfacer completamente las necesidades de iluminación en las horas nocturnas, además de ser capaz de complementar la iluminación natural cuando ésta no sea suficiente.

La cantidad, distribución, direccionalidad, color, opciones de encendido y control, más otras características particulares de los artefactos luminosos pueden diseñarse y especificarse sin mayores límites que el monto de la inversión inicial. Sin embargo, si se evalúa el costo de la energía consumida durante la vida útil de la instalación, se puede comprobar que para la mayoría de los casos este gasto operacional será varias veces superior a la inversión inicial. Debido a esto, la eficiencia energética debe ser un factor de decisión fundamental a la hora de seleccionar alternativas para conseguir el objetivo de diseño deseado, considerando la opción de integrar componentes de mayor tecnología y costo (inversión inicial mayor).

La eficiencia energética de una lámpara depende, en primer lugar del tipo y calidad de la fuente luminosa. Típicamente la evaluación de la eficiencia de una lámpara se realiza en función de la cantidad del flujo luminoso emitido por la fuente (en unidades de Lumen), y la potencia eléctrica consumida, medida en Watts (W). Esto obliga a necesariamente conocer las características básicas (incluyendo su eficiencia) de las fuentes luminosas disponibles en el mercado, para poder tomar una decisión de diseño informada. Las tablas II.2.2.1 y II.2.2.2 presentan una descripción de las lámparas más comunes para uso doméstico y una síntesis de sus características, respectivamente.

La elección del tipo de fuente está condicionada también a otras limitaciones, tales como el tiempo de encendido, la posibilidad de regulación, etc. Incluso, más allá de la elección adecuada del artefacto lumínico, su disposición, orden y configuración dentro del recinto será un aspecto esencial de trabajo del arquitecto o diseñador de iluminación. Ya sea mediante iluminación directa o iluminación indirecta, el arquitecto deberá discriminarlas en función del objetivo de diseño que haya previsto. En este sentido, se recomienda por ejemplo la utilización de iluminación directa sobre el plano de trabajo (requerimiento específico) y otra directa o indirecta para la iluminación general, cuidando siempre el no generar contrastes excesivos entre ambas situaciones (lo que puede provocar fatiga visual). No conviene tampoco abusar de la iluminación indirecta, puesto que si bien puede ser una buena alternativa para evitar el deslumbramiento, su aspecto es frecuentemente monótono y dificulta la percepción de objetos tridimensionales (ver figura II.2.2.1).

**Tabla II.2.2.1 TIPOS DE LUMINARIAS MÁS FRECUENTES DE USO DOMÉSTICO**



**INCANDESCENTES**

Corresponden a las luminarias más conocidas por el público general, siendo todavía las más utilizadas para iluminación de uso doméstico. La luz es generada mediante el calentamiento de un filamento de tungsteno al paso de una corriente eléctrica. Si bien dentro de sus ventajas está un muy buen rendimiento de color y bajo precio, su propia tecnología las convierte en alternativas muy poco eficientes (perdiéndose una gran cantidad de energía en forma de calor), más aún considerando su limitada vida útil. Prácticamente para todos los casos de viviendas, incluyendo la vivienda social, se recomendará reemplazar estas lámparas por alternativas más eficientes.



**HALÓGENAS**

Al igual que las lámparas incandescentes tradicionales, la luz es producida por el paso de una corriente eléctrica por un filamento de tungsteno, sólo que esta vez el bulbo de la ampolla es reemplazado por un gas halógeno que permite que alcanzar temperaturas muy elevadas (alrededor de 600°C). Si bien su vida útil y eficiencia es mejor que el caso de las lámparas incandescentes, conserva muchas de sus desventajas, además de una importante generación de calor, aumentando con esto las ganancias internas en la vivienda.



**TUBOS  
FLUORESCENTES**

Utilizan el vapor de mercurio a baja presión. Las lámparas fluorescentes poseen una muy buena eficiencia luminosa, por lo que son las preferidas para recintos de oficina. Su composición química de base fluorescente, al interior de la cual se instala un tubo de descarga, otorga que dentro de la oferta de este tipo de luminarias, existan un gran rango de temperaturas de color, que van desde el blanco cálido hasta el blanco frío tipo luz día. Al contrario de los tubos fluorescentes originales, las versiones actuales ofrecen un rendimiento de color muy elevado. Finalmente su vida útil depende básicamente del tipo de balasto asociado (para lo cual se recomienda que sea electrónico), siendo embargo, muy superior a las lámparas incandescentes y halógenas.



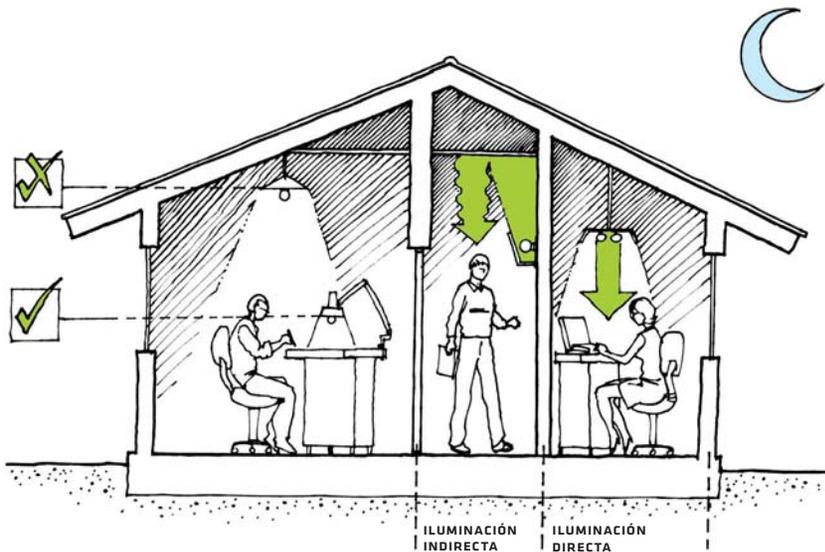
**FLUORESCENTES  
COMPACTAS**

Corresponden a la misma familia de lámparas fluorescentes, pero adaptadas a las dimensiones reducidas de una lámpara incandescente tradicional. Estas fuentes luminosas se benefician por tanto de las características excepcionales de las lámparas fluorescentes (bajo consumo, forma compacta y alta calidad de la iluminación). Representan por tanto, en la mayoría de los casos, la mejor alternativa de reemplazo de las lámparas incandescentes para uso doméstico, ya que poseen un consumo de energía 5 veces menor.

**Tabla II.2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LUMINARIAS DE USO DOMÉSTICO**

Tipo de Lámpara	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficiencia Luminosa (Sin Balasto) (lm/W)	IRC (Rendimiento de Color) (0-100)	T° de Color (K)	Vida Útil (h)
Incandescente	25-500	220 a 8200	9 a 16	100	2700	1000
Halógena	40-2000	500 a 50000	12,5 a 25	100	3000	2000
Tubo Fluorescente	15 a 48	1150 a 5200	64 a 104	60 a 90	27000 a 65000	14000 a 18000
Fluorescente Compacta	5 a 55	200 a 4800	39 a 87	80	2700 a 4000	8000 a 13000

Existen en el mercado numerosos sistemas de control o regulación de la iluminación artificial, los cuales dependiendo de su función pueden representar un importante ahorro de energía operacional. Sin embargo, estos sistemas muchas veces se ven justificados para programas arquitectónicos asociados a un uso intensivo de la iluminación artificial. Para una vivienda la mayoría de las veces podrían no ser necesarios de incorporar. Sin embargo, en este mismo sentido, si resulta absolutamente pertinente pensar en el reforzamiento de los hábitos de eficiencia energética de los usuarios. Si bien probablemente no se requiera instalar detectores de presencia, que apaguen la iluminación cuando no haya nadie en un recinto, si se espera que esta sea una conducta habitual en los moradores de la vivienda. En este sentido, gran parte de la contribución a la eficiencia energética por parte tanto de la iluminación artificial y natural, va a estar determinada por el adecuado uso que los habitantes de la vivienda hagan de ella.



**Figura II.2.2.1:** Estrategias de iluminación natural, directa o indirecta según el uso del recinto o espacio determinado.

## II.3 ESTRATEGIAS PARA AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Uno de los consumos de energía más importantes en la vivienda corresponde al gas licuado (energía convencional) para ACS, el que puede ser disminuido de manera considerable al utilizar el sol (energía renovable). Un sistema solar térmico permite transformar la radiación solar en energía calorífica útil, consiguiendo el máximo de ahorro de energía convencional. Sin embargo, los costos de un sistema solar no pueden ser solventados por los usuarios de la vivienda social, debido a esto se han creado instrumentos estatales para su financiamiento.

### II.3.1 Configuración de la instalación solar y componentes

La instalación solar básica para viviendas corresponde a un sistema solar de baja temperatura (temperaturas de trabajo inferiores a 100°C), que está dividido principalmente en tres circuitos: de captación, de acumulación y de consumo. El circuito de captación recibe la radiación solar a convertir y su componente principal corresponde al captador solar. El circuito de acumulación está formado por uno o más depósitos de almacenamiento de la energía calorífica proveniente de los captadores solares. El circuito de consumo, corresponde a los diversos puntos de uso de ACS en la vivienda. (Ver figura II.3.1.1).

Para que el sistema solar funcione de manera eficiente se requieren además otros componentes básicos, que serán requeridos o no, dependiendo de la configuración que se adopte para la instalación: intercambiadores de calor que ayudan a que el agua de consumo no se vea afectada por las condiciones climáticas, bombas de circulación que permiten el movimiento del fluido a través de los circuitos, vaso de expansión que absorbe las dilataciones del fluido por diferencia de temperatura, termómetros y termostatos que aseguran la temperatura de consumo adecuada y finalmente tuberías asiladas térmicamente que transportan el fluido a través de los circuitos, minimizando pérdidas de calor que disminuyen innecesariamente la eficiencia del sistema.

Existen variadas configuraciones para las instalaciones de energía solar térmica. En viviendas éstas dependen principalmente de la forma de transferir el calor al fluido de consumo: circuito directo o indirecto; y de la forma de hacer circular el líquido en el sistema: por termosifón o forzada.

Para el caso de viviendas unifamiliares la configuración recomendable en la generalidad de los casos corresponde a aquella con circuito indirecto y circulación por termosifón.

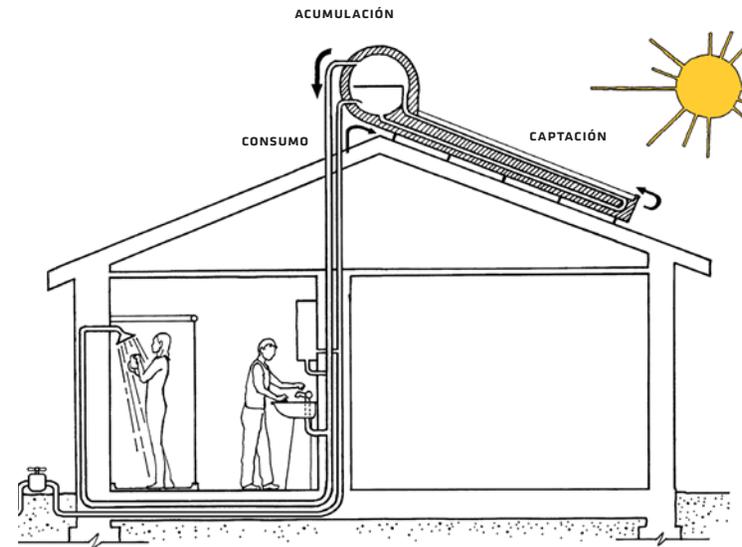


Figura II.3.1.1: Sistemas involucrados en una instalación solar.

El circuito indirecto, es aquel en que el fluido caloportador que circula por el sistema de captación y acumulación es distinto al fluido de consumo, protegiendo las tuberías de posibles expansiones o presiones inadecuadas, impidiendo su mezcla con el agua de consumo. La configuración anterior será exigible en aquellas localidades del país donde se registren temperaturas inferiores a 0°C que puedan afectar a los elementos de la instalación solar. Si se opta por circulación directa, se debe tener especial cuidado con la calidad del agua a utilizar en el sistema. La circulación por termosifón aprovecha la variación de densidad de un fluido al modificar su temperatura. Temperaturas más altas del fluido lo harán desplazarse en los puntos del circuito (ver figura II.3.1.2).

De acuerdo con el tipo de instalación recomendable en el caso de viviendas de carácter social, se tiene que el sistema compacto acompañado de las dos características anteriores será aquel más apropiado. El sistema solar compacto integra uno o varios captadores (dependiendo de la superficie requerida), el acumulador y otros componentes en un espacio reducido.

En general el sistema solar térmico debe ser complementado con un sistema convencional (calefón), que sirva de apoyo al sistema solar. La estrategia será entonces calentar toda el agua posible a través del sistema solar y en caso de no llegar a la temperatura requerida, adicionar energía del sistema convencional para llevar el agua a la temperatura de uso. De esta manera, la instalación se hace más competitiva desde el punto de vista económico.

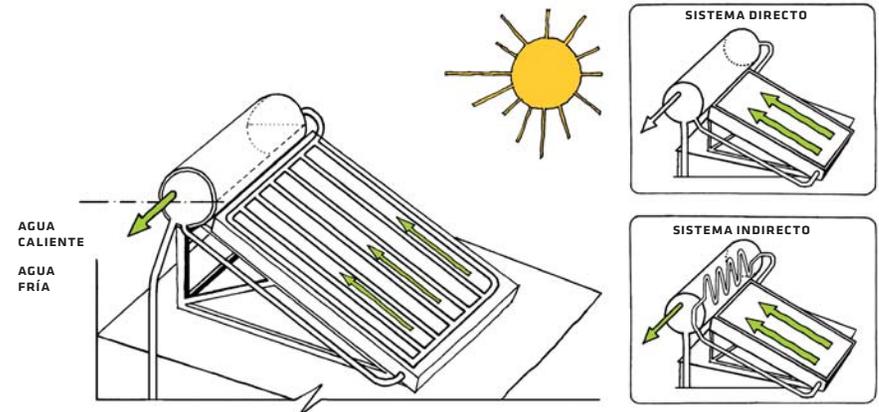
### II.3.2 Estrategias de diseño arquitectónico

Posterior al dimensionamiento de la instalación solar, se debe tener en cuenta una serie de consideraciones de diseño, que permitirán obtener el máximo ahorro de energía convencional, haciendo más eficiente el sistema solar proyectado (ver figura II.3.2.1). Los puntos más importantes a considerar en el diseño eficiente de la instalación solar serán:

**Ubicación:** el punto de consumo (baño y cocina) debe estar lo más cerca posible de los sistemas de acumulación y captación, permitiendo disminuir las pérdidas de calor por transporte del fluido a través de las tuberías.

**Orientación:** la orientación óptima es la norte, para aprovechar la máxima radiación solar en invierno.

**Inclinación:** la inclinación óptima del captador solar depende de lo que se pretenda lograr



**Figura II.3.1.2:** Configuración del circuito de instalación solar recomendable en vivienda social (sistema por termosifón e indirecto)

en cuanto al consumo de agua caliente aportada por el sistema. De acuerdo con lo indicado en la tabla II.3.2.1, la inclinación óptima para ACS será igual a la latitud del lugar.

Variaciones en la orientación y en la inclinación respecto del óptimo producen pérdidas (hacen disminuir su rendimiento). Lo mismo ocurre por la presencia de sombras sobre el colector. Existen límites máximos aceptables para estas pérdidas y métodos de permitir su evaluación<sup>10</sup>.

**Estructura soportante:** Se debe tener en cuenta el anclaje y soporte de la instalación solar, para lo cual se deberá considerar la ubicación (sobre la techumbre o sobre el suelo), el peso propio de la instalación a soportar, las sobrecargas de viento y nieve a las que estará sometido; si la ubicación del colector es en la techumbre el anclaje debe ser estanco.

**Integración en la vivienda:** Se debe tratar de conjugar los factores anteriores en la etapa de diseño de la vivienda, considerando integrar la instalación a la edificación. El grado de integración va a ser mayor o menor si la estructura soportante del sistema solar se encuentra superpuesta o integrada a la estructura de la vivienda. Un aspecto fundamental en esta integración es la orientación y la pendiente que se da a la cubierta, donde es común la instalación de estos sistemas. Esta integración no solo considera a la placa sino que también al estanque acumulador (cuando sea al caso).

Tabla II.3.2.1 **INCLINACIÓN ÓPTIMA DE CAPTADORES SOLARES**

Tipo de Consumo	Ángulo Óptimo
Consumo constante anual	Latitud geográfica del lugar
Consumo preferente en invierno	Latitud geográfica + 10°
Consumo preferente en Verano	Latitud geográfica - 10°

**Fuente:** Corporación de Desarrollo Tecnológico. CCHC (2007).

## II.3.3 Dimensionado básico de una instalación solar para ACS

### II.3.3.1 Datos para el dimensionamiento.

- Consumo de ACS: Para viviendas unifamiliares se estima un consumo promedio de 40 litros por persona. También es posible estimarlo a través de consumos históricos de la familia.
- Clima y geografía del lugar: radiación solar horizontal y la inclinada que incide sobre el captador solar, horas de radiación solar directa, temperatura del ambiente media exterior y temperatura de la red de agua fría. Además, se debe conocer la latitud del lugar donde se ubicará la instalación, ya que de este valor depende la inclinación del captador solar.

### II.3.3.2 Método de cálculo.

- Determinar la demanda de energía requerida mensual para ACS, que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = m * C_e * (T^{\circ} \text{ uso} - T^{\circ} \text{ red}) * n$$

Q = energía calórica necesaria para calentar el agua de la red a la temperatura deseada (kJ/mes).

m = ACS consumida por día (kg/día).

C<sub>e</sub> = calor específico del agua (4,18 kJ/°Ckg).

n = número de días del mes.

- El volumen del sistema de acumulación debe corresponder al consumo promedio de 1 día de ACS como mínimo. El volumen de acumulación en el caso de sistemas solares de ACS se debe adaptar a la demanda de energía y la energía aportada por los captadores. Un indicador del buen diseño en este sentido es que el cociente entre el volumen de acumulación (en litros) y la superficie captadora (en m<sup>2</sup>), que debiera estar comprendido entre 50 y 180 l/m<sup>2</sup>.

- Elegir el tipo de captador solar, el cual posee rendimiento y superficie particular.

<sup>10</sup> Ver Corporación de Desarrollo Tecnológico. CDT (2007). "Sistemas solares térmicos. Manual de diseño para el calentamiento de agua".

4. Cálculo de la superficie de captadores mensual (m<sup>2</sup>)

$$\frac{Q}{Q_{\text{útil}}} = \frac{m \cdot C_e \cdot (T^{\circ}\text{uso} - T^{\circ}\text{red}) \cdot n}{E \cdot \eta_c \cdot \eta_d}$$

E = energía solar mensual incidente en el captador (kJ/mes)

$\eta_c$  = rendimiento del captador solar para el mes correspondiente, que va a estar afectado por las propiedades del material receptor de la energía solar, posibles sombreados, horas de sol al día, inclinación y otros. Se puede tomar un valor promedio anual cercano al 40%. En todo caso se recomienda que este valor se estime para cada caso.

$\eta_d$  = rendimiento de distribución, se toma un valor aproximado del 90% (10% de pérdidas por transporte del fluido).

Para calcular la superficie óptima de captadores se debe tener en cuenta que la energía producida por el sistema solar no debe superar el 110% de la demanda de consumo y no debe ser igual al 100% por más de tres meses seguidos<sup>11</sup>. Si el dimensionado es mayor al óptimo se debe asegurar un sistema de disipación de la energía sobrante. En algunos casos el control de sobrecalentamientos se realiza de manera manual (tapando los colectores por ejemplo), pero es muy poco seguro, por lo que no es recomendable.

Una aproximación al dimensionamiento de captadores y sistema de acumulación para una familia de 4 a 5 personas, se entrega en el capítulo III de la presente guía.

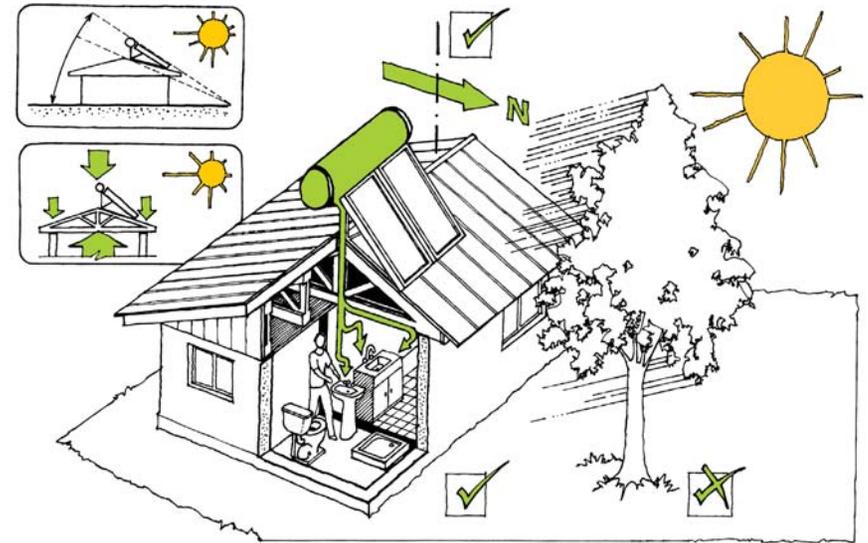


Figura II.3.2.1: Estrategias de diseño arquitectónico en la Instalación Solar.

<sup>11</sup> Ver Corporación de Desarrollo Tecnológico. CDT (2007) Op cit.

# **CAPÍTULO III**

Recomendaciones de diseño arquitectónico  
por zona climática

El capítulo anterior entrega las bases del diseño arquitectónico para alcanzar confort con eficiencia energética en viviendas sociales. Se incluyen estrategias pasivas y activas para un buen comportamiento térmico, disponibilidad de iluminación natural, calidad de aire y la incorporación de sistemas solares para calentamiento de agua sanitaria en este tipo de edificios.

La mayoría de las estrategias consideradas tienen una directa relación con el clima. Muchas de ellas se usan para sólo un cierto período del año, por lo que deben ser concebidas de modo que no afecten el comportamiento del edificio en los períodos restantes.

La presente etapa de la guía entrega recomendaciones de diseño por zona climática, teniendo en cuenta la clasificación definida en la Norma NCh 1079 – 2008. “Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones de diseño arquitectónico”.

La mencionada Norma divide al país en nueve zonas, las que cubren extensos territorios del país y dentro de las cuales se observan diferencias importantes en al menos algunas variables climáticas que son relevantes en el diseño arquitectónico. Ejemplos claros de ello son la Zona Andina y la Zona Sur Extremo. En esta última se presentan grandes diferencias en las precipitaciones, en la temperatura y en la velocidad y dirección de viento. En la Zona Andina existen diferencias relevantes en cuanto a la radiación solar, temperatura, vegetación, altura, precipitaciones, horas de sol y altura solar.

Es preciso indicar que si bien es posible establecer un conjunto de recomendaciones de diseño para viviendas sociales, asumiendo criterios de confort y uso eficiente de energía para diferentes zonas climáticas, cada proyecto debe ser analizado en forma particular, considerando aspectos locales del clima o microclima, la geografía del lugar y el contexto urbano en los casos que corresponda.

Por otra parte, teniendo en cuenta el carácter de “vivienda ampliable” de los proyectos de vivienda social en nuestro país, es necesario que se incorpore el “proyecto de ampliación” en las decisiones preliminares de diseño. Es recomendable estudiar el comportamiento del edificio considerando el proyecto en su fase inicial y final como un sistema único, el que una vez ejecutado (en sus dos fases), genere como resultado una vivienda eficiente energéticamente.

Con el fin de contar con ciertas referencias, las que pueden variar según el proyecto de arquitectura y materialidad de la vivienda, se entregan evaluaciones sobre el impacto en la demanda de energía de calefacción al aplicar algunas estrategias de diseño reco-

mendadas. Igualmente se muestran resultados de simulaciones sobre soleamiento e iluminación natural. Los estudios indicados se realizaron para una ciudad determinada de cada zona climática, lo que hace que sea válido para ella y no necesariamente para otras de la misma zona. En cada ciudad se aplican los estándares establecidos en la Reglamentación Térmica de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Artículo 4.1.10).

En el presente capítulo se entregan recomendaciones ordenadas por áreas del diseño arquitectónico, de modo que el lector las pueda examinar de acuerdo a la localización de su proyecto. Posteriormente, para cada zona climática se detallan recomendaciones específicas para incrementar la eficiencia energética en viviendas sociales según clima.



**Figura III.1:** Mapa de zonificación climático habitacional. Se indican las ciudades para las que se hicieron estudios específicos.

**Fuente:** Elaboración propia según NCh 1079-2008.

### III.1 CLIMA, ENTORNO Y EXIGENCIAS TÉRMICAS

La descripción del clima y aspectos generales del entorno se detallan en cada uno de los sub-puntos que corresponden a cada zona de este capítulo. Los datos climáticos que se presentan corresponden a valores promedio mensuales de las variables predominantes y se han extraído de la Norma NCh 1079 - 2008 y de textos de los autores Arata (1984); Bustamante et al (2001) y Sarmiento (1995).

La clasificación de zonas térmicas existentes por zona climática de la NCh 1079-2008, es presentada en el mapa de la figura III.1.1. La tabla III.1.1 presenta por un lado las exigencias térmicas de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y por otro, los valores recomendados de transmitancia térmica para los elementos de la envolvente para cada zona climático habitacional de la Norma NCh 1079-2008. La aplicación de estos valores puede implicar reducciones en la demanda de calefacción hasta por sobre el 50% en la zona central del país, en la zona norte interior es posible llegar a niveles nulos de calefacción y en la zona sur es posible disminuir hasta más de un tercio de la demanda de calefacción actual en viviendas sociales.



**Figura III.1.1:** Incompatibilidad entre zonas térmicas de la OGUC y zonas climáticas de la NCh1079-2008.  
**Fuente:** Elaboración propia en base a [www.mart.cl](http://www.mart.cl) y NCh 1079 - 2008

Tabla III.1.1: Exigencias térmicas y valores de transmitancia térmica recomendados										
ZONA CLIMÁTICA		NL	ND	NVT	CL	CI	CL	SI	SE	A
<b>Zonas térmicas presentes en zona climática</b>		1 y 2	1 a 5	2 a 4	2 a 6	2 a 6	4 a 6	6 y 7	5 a 7	
<b>EXIGENCIAS TÉRMICAS (ARTÍCULO 4.1.10 O.G.U.C)</b>	Transmitancia térmica máxima permitida (W/m <sup>2</sup> °C)									
	<b>TECHUMBRE</b>	0,84 y 0,60	0,84 a 0,33	0,60 a 0,38	0,60 a 0,28	0,38 a 0,28	0,28	0,28 y 0,25	0,33 a 0,25	
	<b>MURO</b>	4,0 y 3,0	4,0 a 1,6	3,0 a 1,7	3,0 a 1,1	1,7 a 1,1	1,1	1,1 y 0,6	1,6 a 0,6	
	<b>PISO VENTILADO</b>	3,60 y 0,87	3,60 a 0,50	0,87 a 0,60	0,87 a 0,39	0,60 a 0,39	0,39	0,39 y 0,32	0,50 a 0,32	
Superficie vidriada (%)										
	<b>VENTANA (VIDRIO MONOLÍTICO)</b>	50 y 40%	50 a 18%	40 a 21%	40 a 14%	21 a 14%	14%	14 y 12%	18 a 12%	
<b>Valores recomendados de transmitancia térmica (w/m<sup>2</sup>°C) para confort con eficiencia energética en vivienda</b>	<b>TECHUMBRE</b>	0,8	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,25
	<b>MURO</b>	2	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
	<b>PISO VENTILADO</b>	3	0,7	1,2	1,2	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4
	<b>VENTANA</b>	5,8	3	3	3	3	3	3	2,4	2,4

### III.2 RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO

En este punto se definen las estrategias de diseño referidas a la planificación del conjunto de viviendas y el diseño de la vivienda, aspectos que pueden complementarse con lo expuesto en el capítulo II.

#### III.2.1 Estrategias de Planificación del conjunto

El sol es una fuente natural de energía y luz. El acceso equitativo a esta fuente para todos los habitantes, en especial en períodos fríos del año y la protección de radiación directa en períodos calurosos, es un aspecto importante de considerar en el momento de diseñar del loteo en un conjunto habitacional. Ello incidirá positivamente en la habitabilidad y confort de estos conjuntos, en el comportamiento térmico de las viviendas y en el estándar de vida de la población. Estrategias de agrupamiento destinadas a obtener y asegurar los beneficios indicados se exponen a continuación.

**III.2.1.1 Emplazamiento de las agrupaciones.** La orientación del sitio y la superficie de exposición solar de elementos vidriados de la envolvente de la vivienda inciden en las demandas de calefacción, de refrigeración y en la disponibilidad de iluminación natural al interior de la vivienda.

Tanto en terrenos planos como en laderas, la orientación Norte es en general mejor para las viviendas en prácticamente todo el país, salvo en ciudades como Punta Arenas, cuya latitud alta ( $53^{\circ} 10' S$ ) hace que orientaciones este y oeste también impliquen alta exposición solar en su prolongado período frío. La orientación Norte en los tipos de terreno mencionados posibilita una mayor exposición solar y al mismo tiempo una menor superficie de sombras proyectadas (ver figura III.2.1.1.1), lo que es especialmente favorable en la temporada de invierno cuando el sol tiene menor altura.

**III.2.1.2 Trazado vial.** Estos deben tener de preferencia sentido oriente-poniente, lo que permite mayor longitud de superficie de fachada norte y facilita la captación de energía solar, favorable para períodos fríos (ver figura II.2.1.2.1). Excepción es la ciudad de Punta Arenas y otras localidades australes como Puerto Natales, donde orientaciones nororiente (NE) y nor-poniente (NW) implican también alta exposición solar en períodos fríos del año, los que son más prolongados en estas latitudes.

**III.2.1.3 Lotes flexibles.** Aumenta la posibilidad de manejar la forma de los lotes individuales, optimizando la orientación de éstos. De esta manera se puede integrar con mayor eficiencia la variable de acceso al sol. La figura III.2.1.3.1 muestra el acceso al sol en un loteo de orientación nor-poniente.

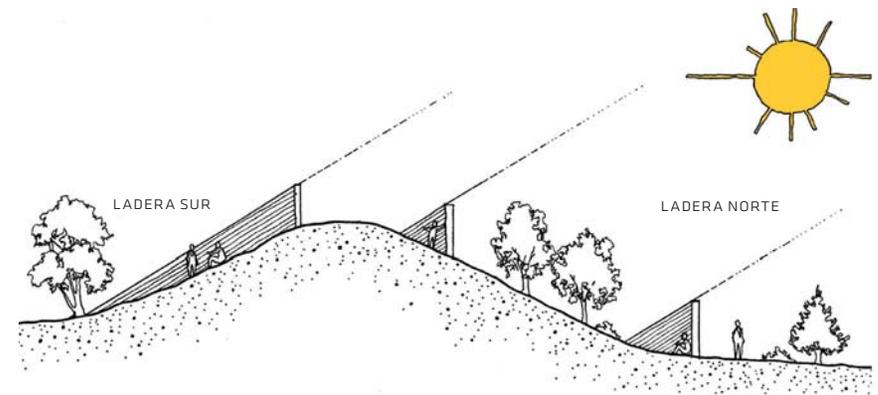


Figura III.2.1.1.1: Acceso solar de fachada norte en distintos puntos de una ladera

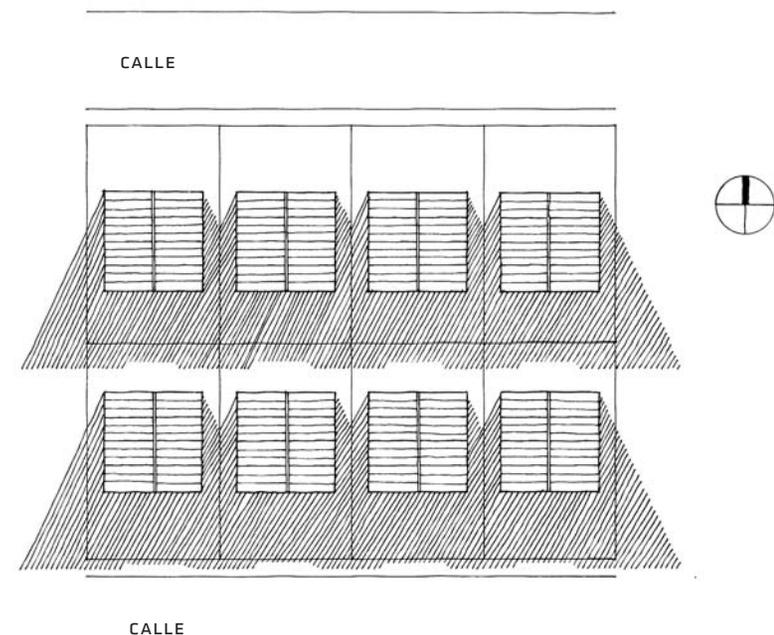
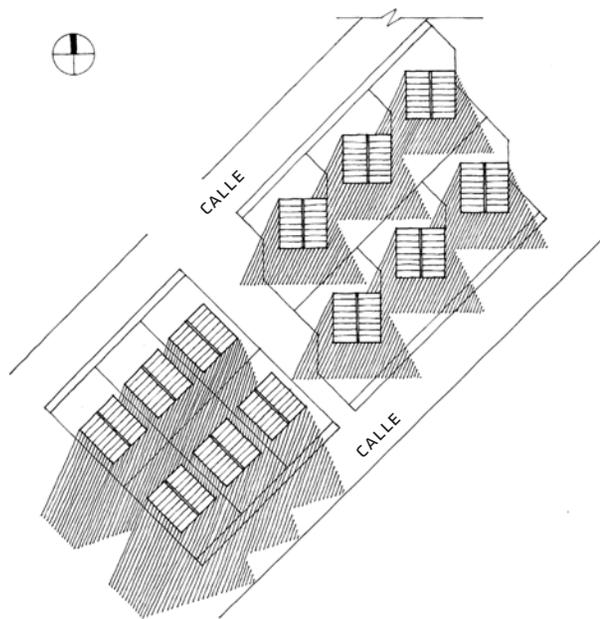


Figura III.2.1.2.1: Calles en sentido oriente poniente permiten acceso solar en fachada norte.

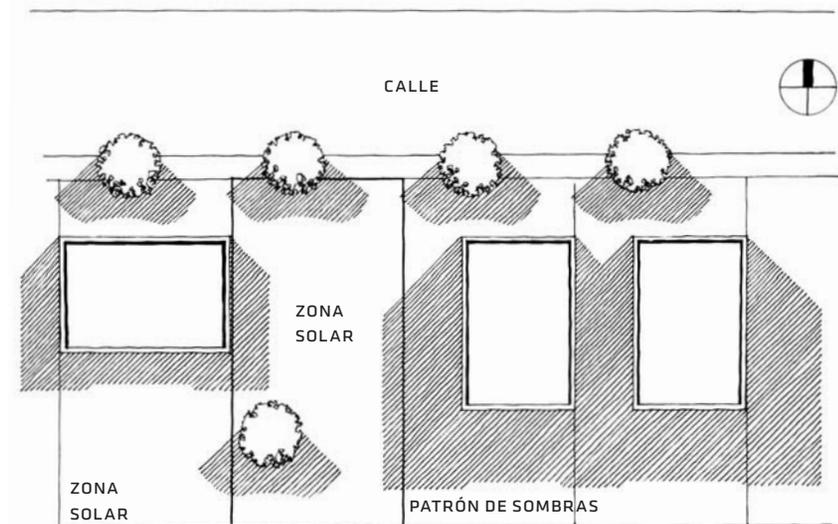


**Figura III.2.1.3.1:** Flexibilidad de lotes permiten mantener la orientación norte.

**III.2.1.4 Zona Solar y Patrones de Sombra.** Conocida la latitud del lugar de emplazamiento de las viviendas, es posible determinar en forma precisa no sólo las ganancias solares de ella, sino también definir el área de incidencia o “zona solar” que permitirá conocer el área edificable de un lugar en función de esta variable. Es por esto que en muchos países el acceso solar se encuentra protegido por ley.

Al diseñar un conjunto de viviendas, una herramienta útil para determinar las zonas conflictivas de acceso solar es el “patrón de sombras”, complementario a la “zona solar” (ver figura III.2.1.4.1). El patrón de sombra está determinado para invierno en una cierta latitud y proyecta el área en que no existirá acceso al sol durante un día determinado.

Actualmente, las herramientas computacionales permiten un rápido y preciso análisis de las sombras proyectadas en un conjunto habitacional, para ello es necesario conocer el



**Figura III.2.1.4.1:** Zona solar y Patrón de Sombra, el área achurada corresponde al patrón de sombras, el área restante corresponde al acceso al sol o zona solar

volumen de las viviendas, su ubicación en el terreno, la latitud y la presencia de cerros u otros obstáculos aledaños al lugar. Ver figura III.2.1.4.2, obtenida con ECOTECT.

Una variable importante a considerar para lograr el acceso al sol en la fachada norte de las viviendas es el ancho de calles, la presencia de árboles y de edificios cercanos. En un conjunto habitacional, si existen edificios de altura (por ejemplo 4 pisos) que coexisten con viviendas de uno o dos pisos, es recomendable que estas se ubiquen hacia el norte para evitar la obstaculización del sol de los edificios altos (Ver Figura III.2.1.4.3).

Para cada ciudad estudiada (correspondiente a una zona climática específica) se muestra un caso de en que se dimensiona el ancho de una calle de orientación oriente-poniente según la altura de un obstáculo generado por un edificio (ver sub-puntos de cada zona en el presente capítulo).

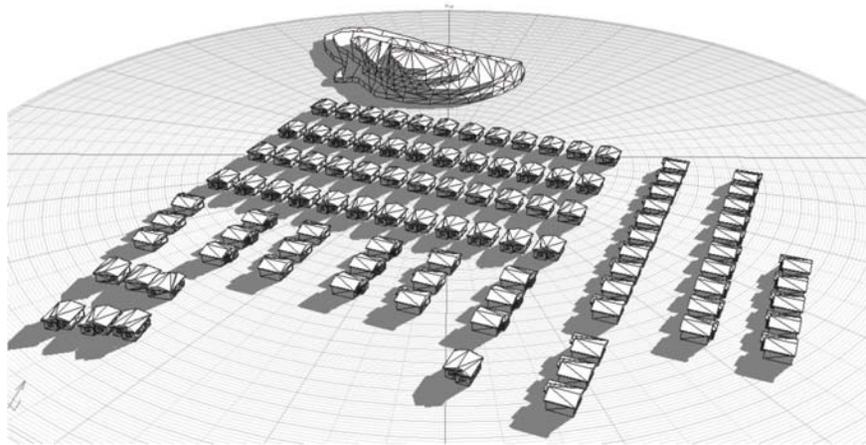


Figura III.2.1.4.2: Estudio de proyección de sombras en conjunto habitacional ubicado en 34° latitud sur. 10 horas. Solsticio de invierno. Se incluye cerro aldeaño.

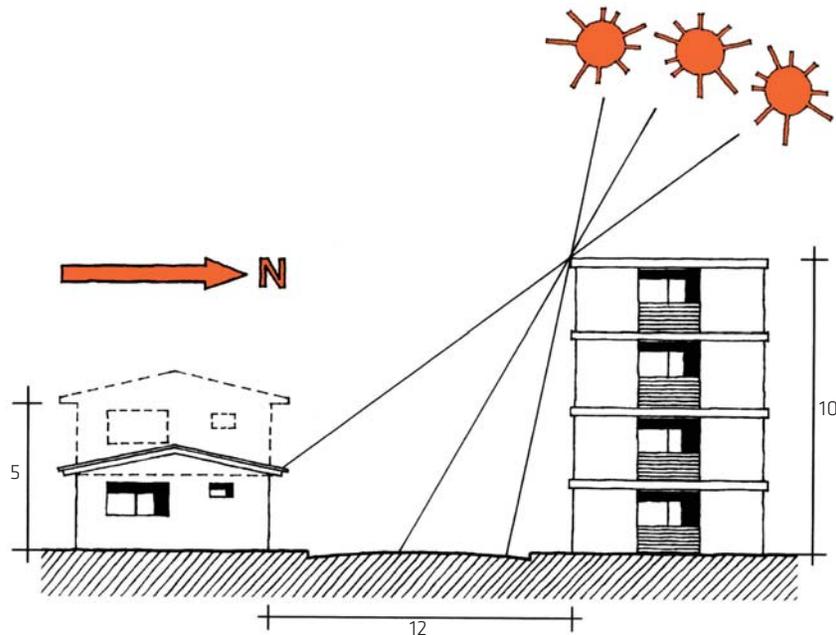


Figura III.2.1.4.3: Exposición solar según ancho de calle para latitud determinada.

**III.2.1.5 Viento.** El viento y su comportamiento es más difícil de predecir a diferencia del sol y su trayectoria, más aún cuando la ciudad genera un efecto importante en las variaciones de velocidad y dirección de éste.

En Chile el viento tiene principalmente una dirección Sur Oeste (sw) y Oeste (w) (según la localidad y de acuerdo a mediciones hechas normalmente en aeropuertos, fuera de las ciudades), pudiendo variar ocasionalmente en invierno a viento Norte. Si bien este viento norte se acompaña a veces con precipitaciones en la zona central del sur del país, sus temperaturas son más cálidas que las provenientes del sur.

De la atención a la variable del viento (dirección y velocidad) derivan -por un lado- las estrategias de agrupación para la protección y exposición asociada a calefacción y refrigeración respectivamente, y por otra, la forma de las viviendas. La forma es capaz de modificar los efectos del viento: en algunos casos acelerándolo, en otros casos creando corrientes de viento secundario o bien desviándolo, tanto en altura como en superficie (ver figura III.2.1.5.1), creando zonas de calma denominadas "sombras de viento". De acuerdo a como incide o envuelve el viento al edificio se generan zonas de altas (+) y bajas (-) presiones.

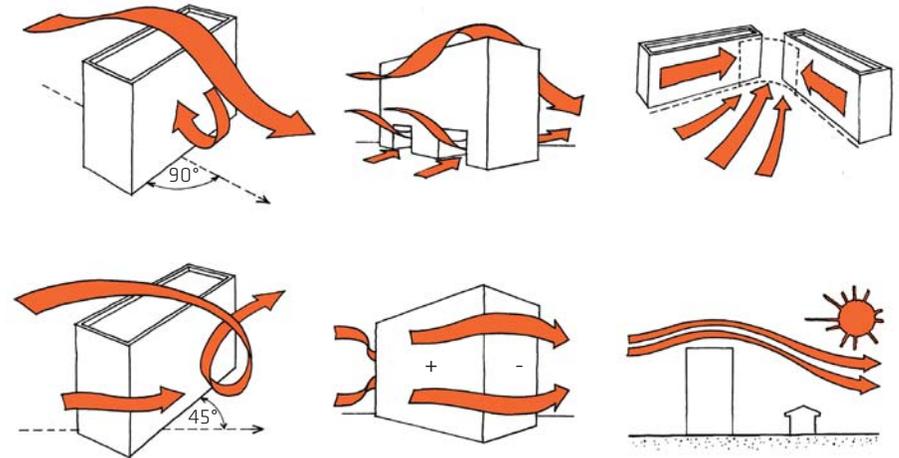
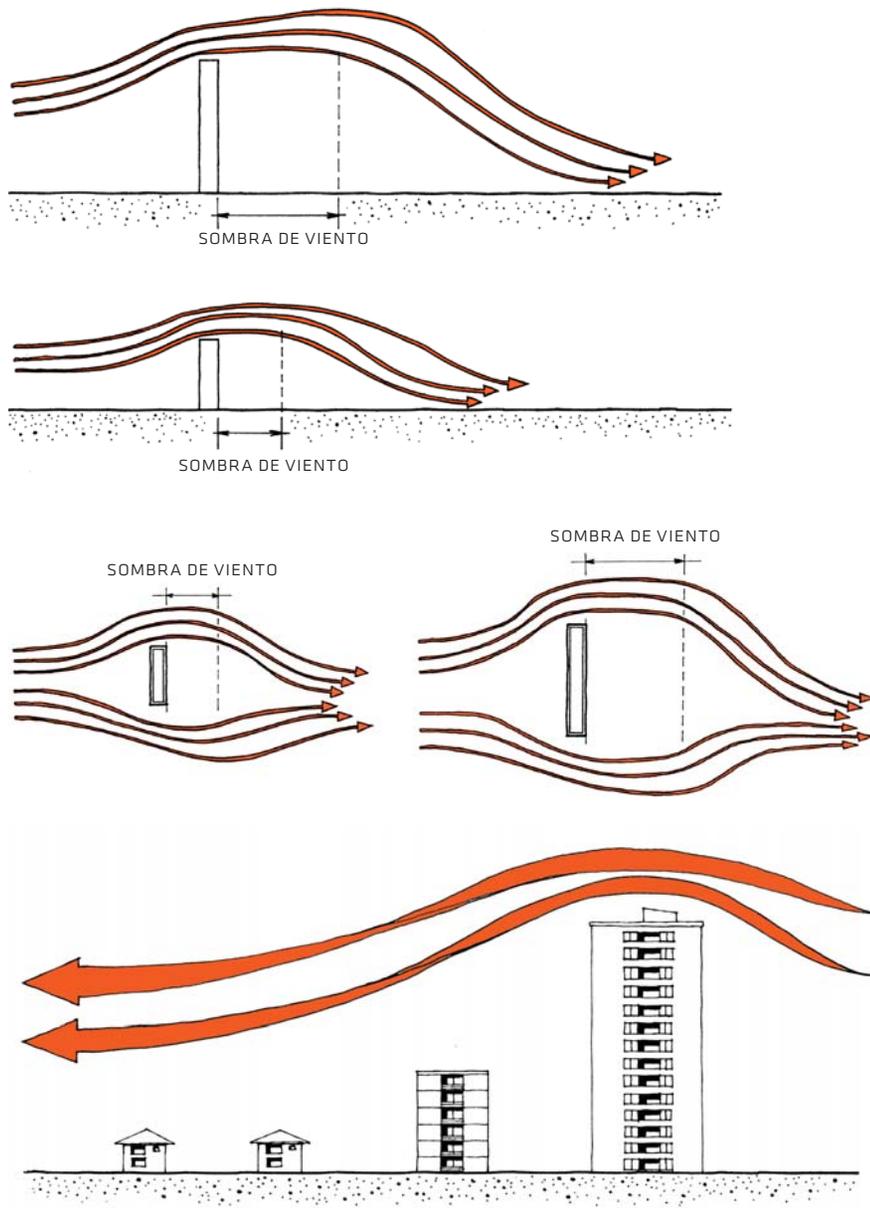


Figura III.2.1.5.1: Variaciones en velocidad y dirección de viento por efecto de los edificios.



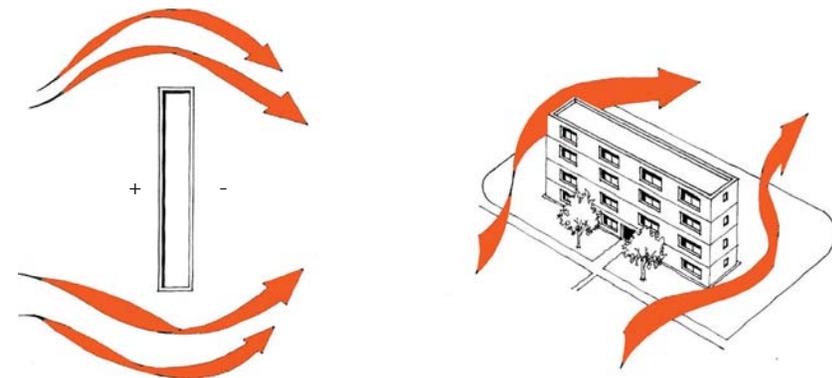
**Figura III.2.1.5.2:** Modificación, disminución o aceleración del viento a través de la forma de la edificación. Zona de sombra de viento.

Las sombras de viento pueden aumentarse o disminuirse en función de la altura y del ancho del edificio que la genera o por la presencia de “quebra vientos” que son simples barreras de protección (ver figura III.2.1.5.2).

El viento (su dirección y velocidad) juega un rol importante en la ventilación natural para enfriamiento en las viviendas durante períodos de calor. Las fachadas orientadas hacia su dirección preferencial favorecen este tipo de ventilación. En el caso de edificios en altura, para favorecer la ventilación cruzada es preferible utilizar una crujía (ver figura III.2.1.5.3).

La ventilación natural también puede favorecerse en la medida que se dirija el viento hacia la fachada en que se supone la entrada del aire, a través del uso de árboles y arbustos tal como se observa en la figura III.2.1.5.4. Además, árboles de copa alta permiten incrementar el efecto del viento para ventilación de la vivienda (ver figura III.2.1.5.5).

Finalmente, cabe señalar que en el país, en zonas de altas precipitaciones, éstas se acompañan de viento norte lo que hace necesario la protección de los edificios frente a esta combinación, en especial en marcos de puertas y ventanas (ver punto II.1.5.1).



**Figura III.2.1.5.3:** Presión positiva y negativa de viento generado por un edificio. Facilitación de ventilación natural cruzada.

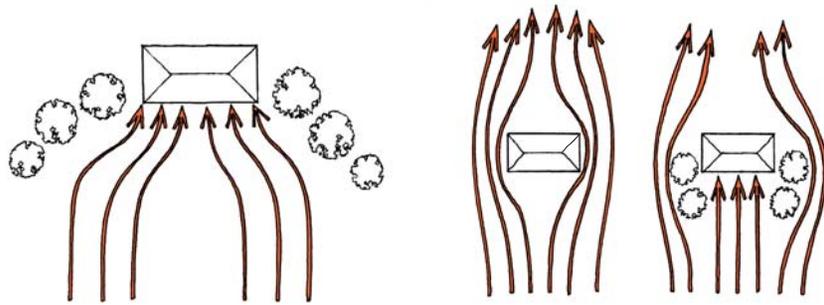


Figura III.2.1.5.4: Uso de árboles y arbustos para dirigir el viento para la ventilación natural.

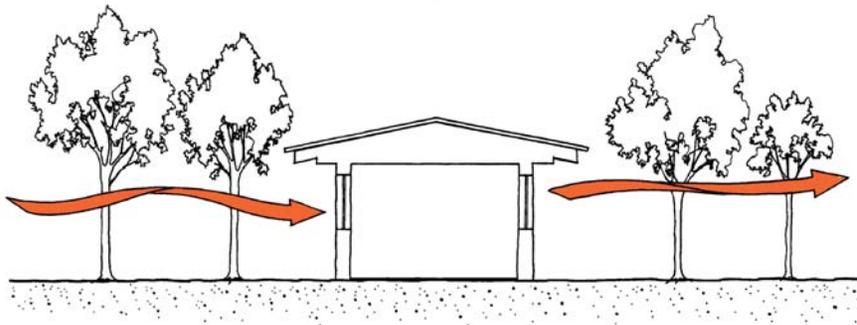


Figura III.2.1.5.5: Árboles de copa alta facilitan la ventilación natural

**III.2.1.6 Vegetación.** El uso de vegetación constituye en una estrategia efectiva para el control climático, tanto del espacio exterior de las viviendas como de su interior. Dependiendo de la especie arbórea utilizada, el material vegetal puede ser aporte para generar menor demanda de calefacción, de refrigeración y posibilitar la iluminación natural de los recintos. En efecto, los árboles pueden proteger a las viviendas de vientos fríos, protegerla de radiación directa en periodos de calor, provocando además el enfriamiento evaporativo alrededor del edificio. A su vez puede ser un excelente atenuador de ruido y contaminación visual (ver figura III.2.1.6.1).

En periodos de invierno, el uso de barreras vegetales como arbustos, al disminuir la presión del viento en la fachada de la vivienda en que éste incide, se reducen las pérdidas de calor por infiltraciones de aire (ver figura III.2.1.6.2). Del mismo modo, los árboles producen un espacio con aire más quieto que también es favorable para invierno al disminuir pérdidas por convección en la superficie exterior de la envolvente.

Por otra parte, en la noche, bajo los árboles se mantiene mayor temperatura (lo que es favorable en climas fríos) al ser bloqueada la radiación infrarroja del suelo, la que es mayor en espacios expuestos a campo abierto (ver figura III.2.1.6.3).

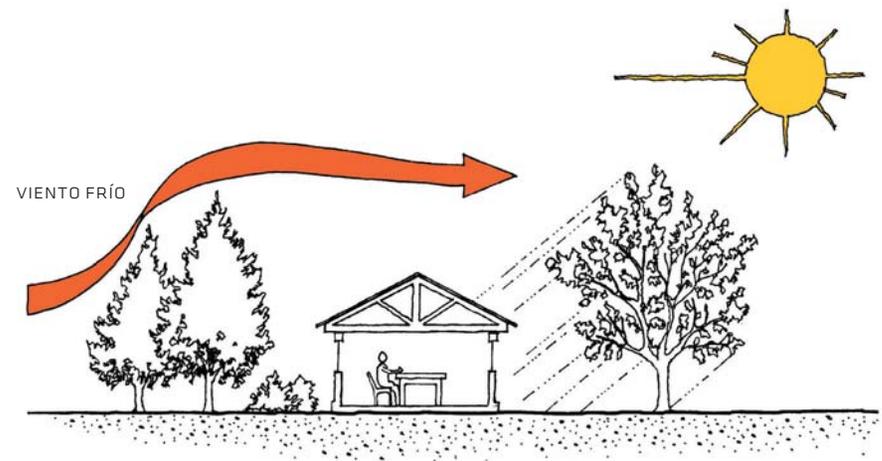


Figura III.2.1.6.1: Control climático a través de la utilización de vegetación.

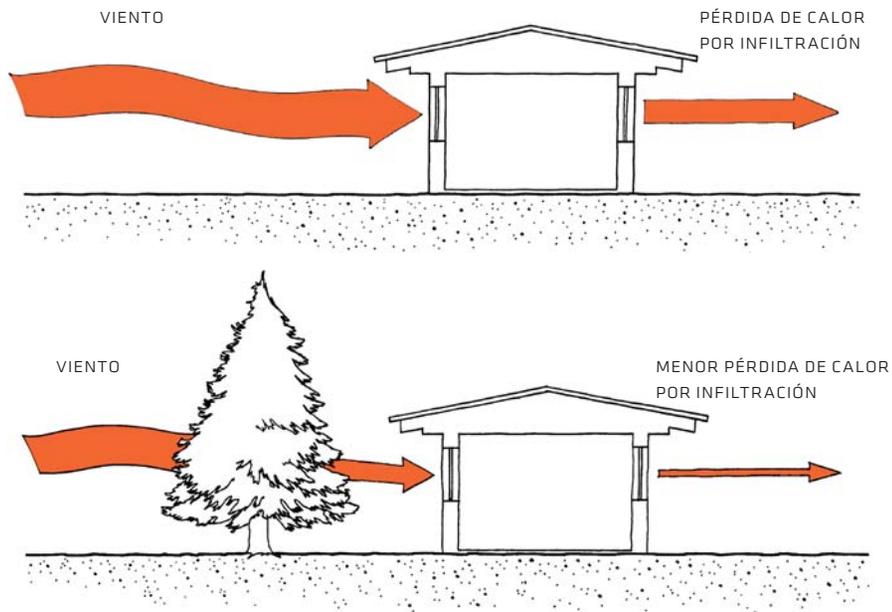


Figura III.2.1.6.2: Árboles para proteger la vivienda y disminuir las infiltraciones

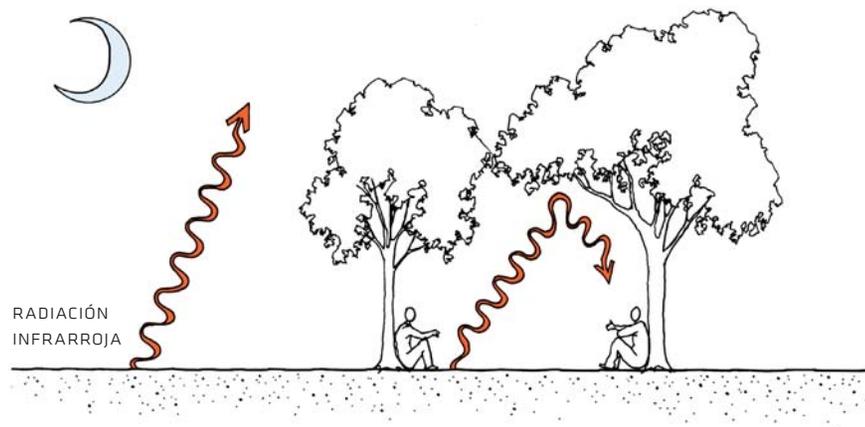


Figura III.2.1.6.3: Árboles bloquean la radiación nocturna desde el suelo, generando mayor temperatura bajo ellos.

En períodos de calor, la vegetación arbórea genera sombras, lo que limita las ganancias de calor a través de la envolvente de los edificios. Las hojas de árboles además transpiran (evaporan), proceso en el cual disminuye su temperatura y la del aire en contacto con ellas. Esto ocurre en los árboles y también en el césped, en cuya superficie se observa menor temperatura que en una superficie pavimentada con asfalto por ejemplo. En todo caso, el árbol es más efectivo que el césped en el control climático a su alrededor, puesto que junto a la protección solar que provee, la evaporación indicada ocurre a cierta altura del suelo, lo que es mejor para el confort de las personas (ver figura III.2.1.6.4).

Un aspecto importante en la selección de árboles, arbustos y césped es la cantidad de agua que se requiere para su mantenimiento. Al respecto, es cada vez más importante y recomendable el uso de diseño de paisaje xerófito que permite ahorro de agua y de energía en su mantenimiento.

Para el diseño de jardines es fundamental considerar plantas que se adecuen al ambiente local, considerando las restricciones de disponibilidad de recurso hídrico. Para ello, se recomienda informarse sobre la distribución de la vegetación en Chile<sup>1</sup> y detallar las especies que funcionan eficientemente para cada zona.

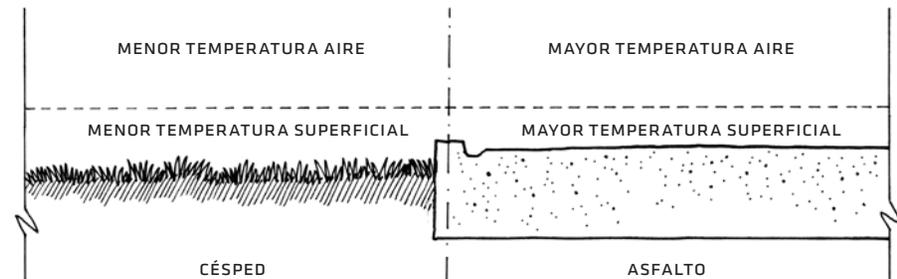


Figura III.2.1.6.4: Disminución de la temperatura ambiental con uso de césped

<sup>1</sup> Gajardo, R. 1994. "La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica". Editorial Universitaria, Santiago.

**III.2.1.7 Recomendaciones para el diseño del espacio público.** Complementando la información expuesta, se presenta la siguiente tabla (tabla III.2.1.7.1) que resume recomendaciones de diseño por zona climática del espacio público de las agrupaciones de viviendas, con el fin de que exista protección tanto a las viviendas como a sus habitantes frente a las condiciones que presenta el clima.

**Tabla III.2.1.7.1: RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE ESPACIOS PÚBLICOS EN AGRUPACIONES DE VIVIENDA, POR ZONA CLIMÁTICO HABITACIONAL DE LA NCh 1079-2008**

ZONA CLIMÁTICA	PROTECCIÓN CONTRA EL VIENTO	ESPECIES VEGETALES DISPONIBLES EN LA ZONA*	PROTECCIÓN EN CIRCULACIÓN PEATONAL	TIPO DE SUELO A UTILIZAR EN PAISAJISMO
NL		Desierto absoluto y matorral desértico	Uso de sombraderos para protección solar (ver figura III.2.1.7.1 III.2.1.7.2 y III.2.1.7.3)	Suelo con poco requerimiento hídrico o inorgánico
ND	×	Desierto absoluto		
NVT		Matorral desértico		
CL		Bosque esclerófilo	Sombraderos para protección solar y cubierta para protección de la lluvia	Suelo orgánico o inorgánico con requerimiento hídrico moderado
CI		Matorral espinoso, bosque espinoso y bosque esclerófilo		
SL		Bosque caducifolio y bosque laurifolio	Cubierta para protección de la lluvia (ver figura III.2.1.7.4 y III.2.1.7.5)	Suelo orgánico con requerimiento hídrico abundante
SI		Bosque caducifolio		
SE	×	Turberas, herbazal y matorral bajo de altitud	Cubierta para la protección de la lluvia, nieve y bajas temperaturas	Suelo orgánico o inorgánico con requerimiento hídrico moderado
An	×	Matorral bajo desértico y matorral bajo de altitud	Cubierta para la protección de la lluvia, nieve y bajas temperaturas	Suelo orgánico o inorgánico con requerimiento hídrico bajo o moderado

\* Luebert, F. y Pliscoff, P. (2006)

**Nota:** × indica protección contra el viento imprescindible. En otras zonas hacerlo de acuerdo a localización del proyecto

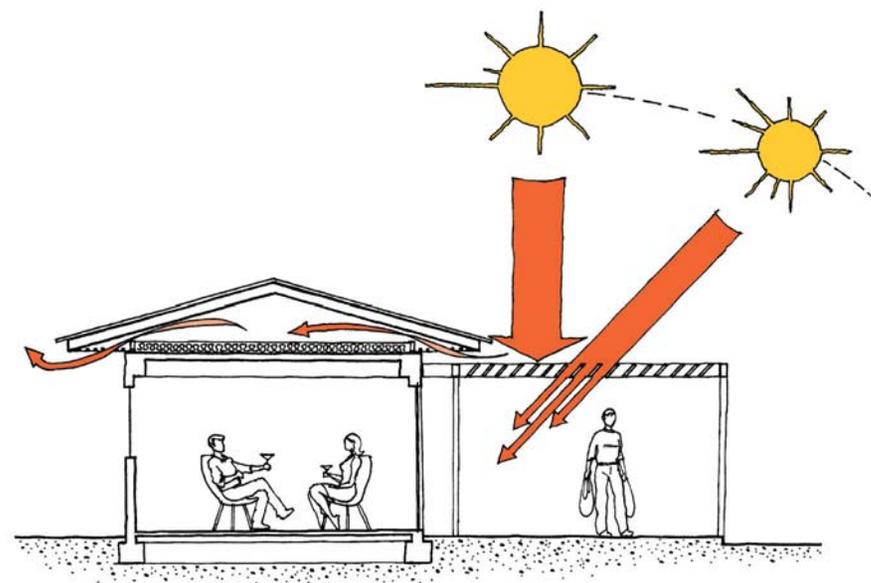


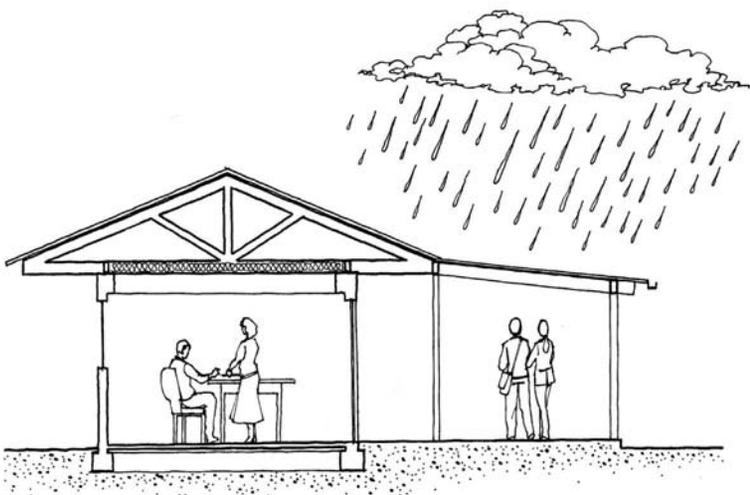
Figura III.2.1.7.1: Circulaciones peatonales exteriores sombreadas.



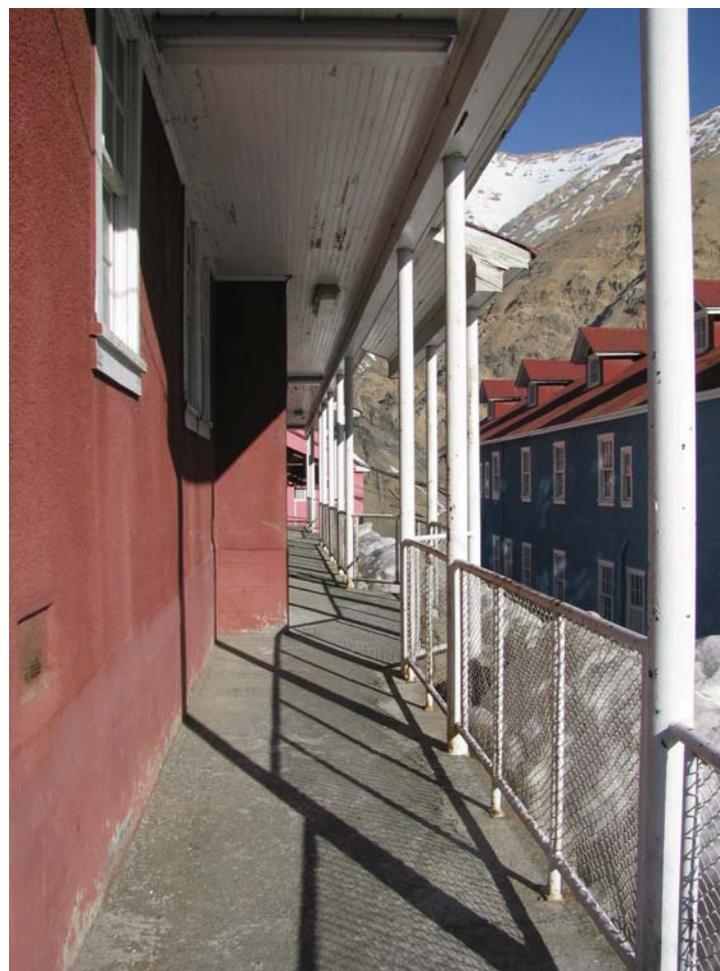
Figura III.2.1.7.2: Casa Retiro Fundación Alonso Ovalle. Colegio San Luis, Antofagasta (Zona Norte Litoral). 1991. Arquitecta Glenda Kapstein. Fotografía gentileza Arq. José Guerra.



**Figura III.2.1.7.3:** Toldos protectores en las calles de la ciudad de Madrid y Sevilla (España). Generan sombras en las calles y permiten mantenerlas iluminadas.



**Figura III.2.1.7.4:** Protección circulaciones exteriores contra la lluvia



**Figura III.2.1.7.5:** Protección circulaciones exteriores contra la lluvia y nieve. Fotografía muestra la localidad de Sewell, VI Región (Zona Andina). III.2.2 Estrategias para el diseño de la vivienda

## III.2.2 Estrategias para el diseño de la vivienda

**III.2.2.1 Estrategias para periodos de frío y calor.** La tabla III.2.2.1.1 muestra un listado de recomendaciones generales para cada una de las nueve Zonas Climáticas definidas en la Norma NCh1079-2008. El diseñador puede elegir el conjunto de recomendaciones que aquí se indican, entendiendo que algunas de ellas son absolutamente complementarias. La aplicación individual de ciertas estrategias es en general insuficiente para conseguir confort con eficiencia energética en las viviendas. No tiene sentido, por ejemplo, conseguir una envolvente de alto estándar térmico en cielo si ello no se acompaña de un estándar equivalente en muros, ventanas e incluso en el piso (sea éste ventilado o no). Es más, si se consigue una envolvente de buen comportamiento térmico (baja transmitancia térmica), ello debe acompañarse de una alta hermeticidad al paso de aire (control

de infiltraciones de envolvente). Además, la envolvente debe absorber el mínimo de aguas lluvia posible pues de otro modo se afecta negativamente su comportamiento térmico. Tal como ya se ha mencionado, es importante considerar que la vivienda debe responder a las solicitaciones del clima en todo período del año, de modo que el confort y eficiencia energética se consiga permanentemente.

Por otra parte, las Zonas Climáticas de la Norma NCh1079-2008 corresponden a extensos territorios del país, luego algunas estrategias pueden estar más relacionadas con una parte de este territorio y no con el total de éste. Por ejemplo, se sabe que al sur de la Zona Norte Litoral es necesario proteger a las viviendas de la lluvia, lo que hacia el norte de idéntica Zona esto es menos importante.

**Tabla III.2.2.1.1: ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO RECOMENDADAS POR ZONA CLIMÁTICA**

ESTRATEGIA DE DISEÑO		NL	ND	NVT	CL	CI	SL	SI	SE	An
<b>Orientación</b>	Orientación norte de dormitorios y estar-comedor	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Forma</b>	Alta compacidad de la envolvente	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Agrupación</b>	Adosamiento pareado y continuo preferencial	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Propiedades envolvente y elementos divisorios</b>	Inercia térmica en envolvente y/o en elementos divisorios		X	X		X	X	X		X
	Aislación térmica envolvente	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Estructuras livianas envolvente	X			X				X	
	Estructura liviana en envolvente con inercia térmica en elementos divisorios		X	X		X	X	X	X	X
	Evitar puentes térmicos	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Aislación térmica en piso ventilados	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Aislación térmica en piso sobre terreno		X	X	X	X	X	X	X	X
	Ventanas con DVH (doble vidriado hermético)		X	X	X	X	X	X		
Ventanas con DVH baja emisividad								X	X	
<b>Protección de la envolvente</b>	Protección solar horizontal en fachada norte	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Protección solar vertical en fachadas oriente-poniente	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Hermeticidad al paso de aire (control de infiltraciones)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Protección contra el viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Colores claros en fachadas	X	X	X	X					
	Protección contra humedad ambiental	X			X		X	X	X	
	Protección contra humedad por capilaridad				X	X	X	X	X	X
	Protección contra rayos UV	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Protección contra la lluvia	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Ventilación</b>	Ventilación mecánica controlada para calidad del aire	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ventilación en techumbre (para enfriamiento)	X	X	X	X	X		X		

*Modelo base de viviendas sociales simuladas energéticamente.*

Los análisis térmicos, de soleamiento e iluminación natural que se presentan, han sido realizados con la ayuda de softwares de simulación energética (TAS para analizar el comportamiento térmico y ECOTECT para analizar soleamiento e iluminación), obteniendo algunos valores de referencia de comportamiento térmico y de iluminación que serán resumidos y detallados en las fichas de estrategias por zona.

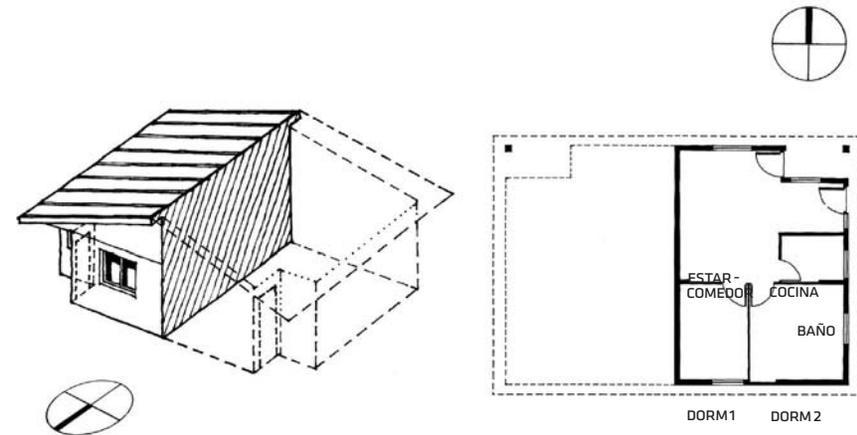
Para el análisis cuantitativo de cada estrategia o conjunto de ellas se toman como modelos de simulación 2 tipos de viviendas sociales descritas en I.6.3.3. La distribución de los recintos en cada vivienda se presenta en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2. Estas figuras además detallan la superficie de los elementos de la envolvente por orientación y la superficie construida de la vivienda simulada de 1 y 2 pisos. Se observa que en el diseño de estas viviendas no se contemplan criterios de orientación para todos los recintos principales (dormitorios y estar-comedor) para eficiencia energética y confort pues corresponden a proyectos ya ejecutados en el marco de los programas del MINVU.

El análisis térmico realizado considera como características de la envolvente en la vivienda base, las mínimas exigidas según la RT para la ciudad en estudio por zona climática. Se considera calefaccionar la vivienda a 20°C durante el día (07:00 a 23:00hrs) y 17°C durante la noche (23:00 a 7:00 hrs), ganancias internas promedio de 160Wh/m<sup>2</sup> día y ventilación correspondiente a 1 volumen por hora. Se sabe que los usuarios de estas viviendas no usan calefacción las 24 horas, sin embargo se determina la demanda de calefacción bajo las condiciones señaladas como indicador de su comportamiento térmico y el de los recintos que la componen. Una renovación de aire equivalente a 1.0 volumen por hora es también ideal y debiera constituir un máximo (aproximado) a conseguir en las viviendas.

Las demandas de calefacción estimadas en las simulaciones consideran el periodo abril-septiembre en todos los casos. Ello se hace para concordar con el periodo considerado en el cálculo de esta demanda en el software CCT-v2.0.

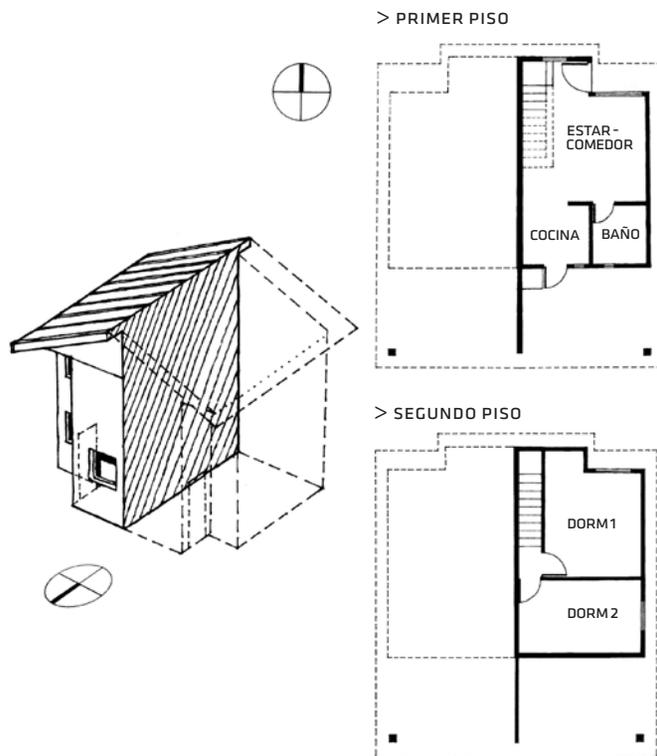
La tabla III.2.2.1.2 indica las características base de muros y cielo por ciudad y los valores de demanda de calefacción obtenidos para la vivienda en su condición inicial. Los ahorros presentados en los siguientes puntos corresponderán a la diferencia entre la demanda de calefacción al aplicar las estrategias consideradas y la demanda de calefacción base presentada en esta tabla.

Se observa en la tabla anterior que en Iquique, tal como se espera, la demanda es baja por cuanto aquí lo más crítico es el período de calor. En las ciudades con menores temperaturas, incluida Calama, se observa el efecto positivo de la compacidad (Vivienda de 2 pisos).



VIVIENDA DE 1 PISO PAREADA. SUPERFICIE CONSTRUIDA 38m <sup>2</sup> Superficie por orientación (m <sup>2</sup> )					
ELEMENTO	HORIZONTAL	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Muro	-	10,7	11,9	13,3	0
Ventana	-	2,2	1,0	1,9	0
Puerta	-	0	0	1,6	0
Cielo	38	-	-	-	-
Piso	38	-	-	-	-

**Figura III.2.2.1.1:** Isométrica, planta y superficie de elementos de la envolvente. Vivienda de 1 piso pareada (38m<sup>2</sup>).



**Tabla III.2.2.1.2 DEMANDA DE CALEFACCIÓN EN VIVIENDA SOCIAL BASE DE 1 Y 2 PISOS**  
Ventanas con vidrio simple.

CIUDAD	ZONA CLIMÁTICA	ZONA TÉRMICA	Exigencias RT		Demanda de calefacción (kWh/m²año)	
			U MURO (W/M²°C)	U CIELO (W/M²°C)	VIVIENDA 1 PISO	VIVIENDA 2 PISOS
Iquique	Norte Litoral	1	4,0	0,84	21	25
Calama	Norte Desértica	2	3,0	0,60	123	113
Copiapó	Norte Valles Transversales	2	3,0	0,60	59	58
Valparaíso	Central Litoral	2	3,0	0,60	80	75
Santiago	Central Interior	3	1,9	0,47	100	90
Concepción	Sur Litoral	4	1,7	0,38	115	97
Temuco	Sur Interior	5	1,6	0,33	131	108
Punta Arenas	Sur Extremo	7	0,6	0,25	185	149
El Teniente	Andina	7	0,6	0,25	153	117

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones con TAS.

Nota: Las simulaciones de la vivienda base se realizaron con orientación norte según figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2.

VIVIENDA DE 2 PISO PAREADA. SUPERFICIE CONSTRUIDA 41m² Superficie por orientación (m²)					
ELEMENTO	HORIZONTAL	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Muro	-	13,9	15,5	26	0
Ventana	-	4,1	0,8	1,0	0
Puerta	-	0	0,8	0,8	0
Cielo	20,5	-	-	-	-
Piso	20,5	-	-	-	-

Figura III.2.2.1.2: Isométrica, planta y superficie de elementos de la envolvente. Vivienda de 2 pisos pareada (41m²).

Las modificaciones a la vivienda base presentadas como estrategia, se explican en conjunto con los resultados obtenidos, en los puntos siguientes.

Los ahorros entregados finalmente, servirán sólo de referencia al diseñador, ya que éstos corresponden a un proyecto único y particular. El diseñador debe analizar el proyecto en estudio con toda su complejidad, considerando el clima y microclima propio del lugar donde será emplazado, analizando el conjunto de estrategias recomendadas para la toma de decisiones, teniendo a la vista valores más precisos respecto del impacto alcanzado al tomar en cuenta estas recomendaciones para el confort y eficiencia energética de la vivienda.

#### a) Orientación y soleamiento

Como se ha indicado con anterioridad, para aumentar la exposición solar en períodos fríos del año, la orientación preferencial para recintos de uso preponderante en la vivienda como son estar-comedor y dormitorios es la Norte prácticamente en la totalidad del país, a excepción de ciudades australes como Punta Arenas, donde orientaciones este y oeste también implican alta exposición solar en este período, el cual es más prolongado.

Una aproximación al impacto de la orientación de los recintos de mayor uso de la vivienda en la demanda de energía para calefacción se presenta en las tablas III.2.2.1.3 y III.2.2.1.4, que resumen la variación en la demanda de energía para calefacción al modificar los recintos de orientación. Como base del análisis se estima la demanda de energía para calefacción cuando la orientación preferencial de recintos estar-comedor y dormitorios es Norte, luego se establecen los aumentos porcentuales promedio de esta demanda al orientar los recintos al sur y este-oeste.

En la sección de estrategias por zonas del presente capítulo, se detallan las demandas de energía de calefacción por recinto en las diversas orientaciones, para la vivienda de 1 y 2 pisos. Además, se presentan gráficos con trayectorias solares para invierno y verano al mediodía, los que muestran de manera esquemática las sombras generadas por la vivienda y la exposición solar de las fachadas, cuantificada en gráficos con datos anuales. Todos estos datos permiten al diseñador tomar decisiones respecto de la mejor orientación de los recintos que conforman la vivienda.

**Tabla III.2.2.1.3: AUMENTO EN LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN PROMEDIO EN RECINTOS AL VARIAR LA ORIENTACIÓN DE ÉSTOS RESPECTO DE LA NORTE.**  
Análisis para vivienda de 1 piso con materialidad de muros y cielo base (U de acuerdo a RT). Ventanas con vidrio simple.

CIUDAD	Demanda de calefacción promedio en recintos Estar-comedor y dormitorios al Norte (kWh/m <sup>2</sup> año)	Aumento en la demanda de calefacción según orientación recintos (%)	
		SUR	ESTE/OESTE
Iquique	17	20 - 25%	5 - 15%
Calama	118	17 - 25%	6 - 17%
Copiapó	54	25 - 40%	8 - 14%
Valparaíso	81	7 - 15%	5 - 10%
Santiago	100	8 - 14%	5 - 10%
Concepción	118	6 - 12%	4 - 8%
Temuco	137	5 - 10%	3 - 6%
Punta Arenas	193	5 - 8%	3 - 6%
El Teniente	160	4 - 8%	2 - 4%

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones con TAS.

**Tabla III.2.2.1.4: AUMENTO EN LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN PROMEDIO EN RECINTOS AL VARIAR LA ORIENTACIÓN DE ÉSTOS RESPECTO DE LA NORTE.**  
Análisis para vivienda de 2 pisos con materialidad de muros y cielo base (U de acuerdo a RT). Ventanas con vidrio simple.

CIUDAD	Demanda de calefacción promedio en recintos Estar-comedor y dormitorios al Norte (kWh/m <sup>2</sup> año)	Aumento en la demanda de calefacción según orientación recintos (%)	
		SUR	ESTE/OESTE
Iquique	18	25 - 30%	7 - 10%
Calama	111	15 - 30%	5 - 15%
Copiapó	57	20 - 35%	5 - 20%
Valparaíso	76	7 - 15%	3 - 13%
Santiago	91	5 - 15%	3 - 6%
Concepción	95	5 - 15%	4 - 8%
Temuco	105	5 - 12%	2 - 10%
Punta Arenas	146	7 - 14%	3 - 10%
El Teniente	112	4 - 12%	2 - 8%

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones con TAS.

b) Captación y protección solar

La tabla III.2.2.1.5 presenta el dimensionamiento de un alero horizontal para las ventanas orientadas al norte, de modo de permitir el ingreso de la radiación solar en invierno y bloquear los rayos perjudiciales en verano. Los análisis se realizan tomando como supuesto una ventana de 1m de alto, con un antepecho de 90cm. Se indica además, el grado de protección solar de un alero de 30cm, que es el ancho mínimo exigido para viviendas sociales que contemplen este elemento.

Cabe indicar que entre las zonas Norte Litoral y Central Interior, ambas incluidas se recomienda la protección de ventanas norte de Septiembre a Marzo con el fin de evitar sobrecalentamiento en el interior de las viviendas. En las zonas Sur Litoral y Sur Interior, los aleros tienen importancia para la protección de la lluvia. Por este motivo se recomiendan aleros superiores a 30 cm en todas las fachadas, lo que en el caso de ventanas de orientación norte ayudan a evitar sobrecalentamiento.

En la Zona Sur Extremo, los aleros cumplen también la función de protección a la lluvia y a la nieve (hacia el sur de la zona) y son más bien estos requerimientos los que prevalecen por sobre la protección solar. En la Zona Andina también la nieve juega un rol importante al definir el ancho de un alero, lo que es complementario a la necesidad de evitar sobrecalentamiento por ventanas orientadas al norte. Este ancho debe estimarse según la localización del proyecto en esta larga y extensa Zona, al igual como debe ocurrir en las restantes que presentan también gran variedad en latitud.

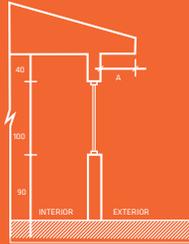
c) Características higrotérmicas de la envolvente

Se presentan a continuación los análisis realizados para determinar el impacto de la aplicación de estrategias de diseño en la materialidad de los elementos de la envolvente y la forma de la vivienda.

1. Disminución en la demanda de calefacción al mejorar las características térmicas de la envolvente

Para realizar el análisis de los ahorros generados al variar la materialidad de los elementos de la envolvente, se proponen soluciones constructivas presentes en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del MINVU, para muros y cielo con distintos niveles de aislación térmica, dependiendo de la zona climática en que se ubique el proyecto.

Tabla III.2.2.1.5: DIMENSIONADO DE PROTECCIÓN SOLAR EN VENTANAS CON ORIENTACIÓN NORTE



ZONA CLIMÁTICA NCH 1079 - 2008	PROTECCIÓN SOLAR HORIZONTAL NORTE "A"	
	PARA PROTECCIÓN TOTAL EN VERANO (Septiembre a Marzo)	MESES DE PROTECCIÓN SOLAR CON ALERO MÍNIMO DE 30 cm
Norte Litoral	40 a 80cm	Octubre a febrero
Norte Desértica	40 a 60cm	Octubre a febrero
Norte Valles Transversales	40 a 60cm	Noviembre a febrero
Central Litoral	60 a 90cm	Noviembre a enero
Central Interior	60 a 90cm	Noviembre a enero
Sur Litoral	90 a 110cm	Diciembre a enero
Sur Interior	80 a 110cm	Diciembre a enero
Sur Extremo	-	No hay protección
Andina	-	Octubre a febrero (norte) Noviembre a enero (centro) Diciembre a enero (sur)

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de simulaciones en ECOTECT.

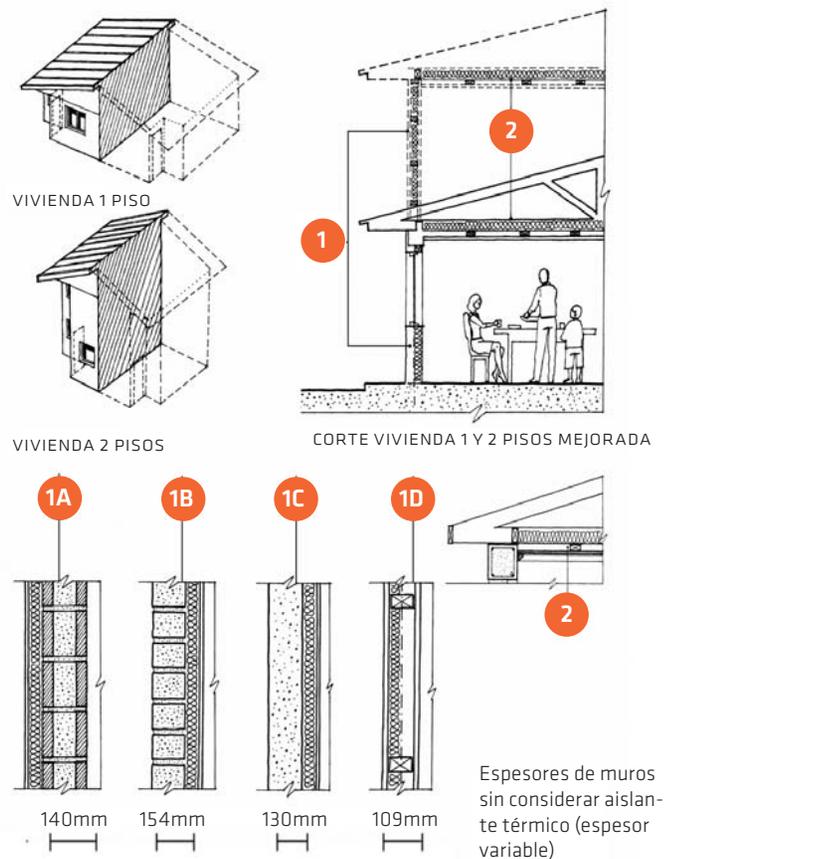


Figura III.2.2.1.3: Mejoras propuestas a la vivienda base en muros y cielo de la envolvente

Tabla III.2.2.1.6: TRANSMITANCIA TÉRMICA "U" EN  $W/m^2\text{°C}$  PARA DISTINTOS ESPESORES DE AISLANTE TÉRMICO INCORPORADOS EN 4 SOLUCIONES DE MUROS TRADICIONALES.

ESPESOR AISLANTE (mm)	20	40	60	80	100	120
Albañilería de bloque de hormigón (1A)	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Albañilería de ladrillo (1B)	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3
Hormigón Armado (1C)	1,3	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Estructura en madera (1D)	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3

La figura III.2.2.1.3 muestra las mejoras realizadas a muros y cielo de la envolvente, que en detalle se describen a continuación:

- Indica las soluciones constructivas de muro utilizadas en los análisis, con distintos espesores de aislante incorporados. Las soluciones constructivas corresponden a 4 tipologías tradicionales de construcción de viviendas sociales en nuestro país:

(1A) Bloque de hormigón de 140mm de espesor y transmitancia térmica  $3,1W/m^2\text{°C}$  (Código 1.2.G.D1 del Listado Oficial del MINVU).

(1B) Albañilería de ladrillo de 154mm de espesor y transmitancia térmica  $1,9W/m^2\text{°C}$  (Código 1.2.M.B8.1 del Listado Oficial del MINVU).

(1C) Hormigón Armado de 130mm de espesor y transmitancia térmica  $4,0W/m^2\text{°C}$  (Código 1.2.G.A1 del Listado Oficial del MINVU).

(1D) Tabique estructurado en madera de 109mm de espesor: revestimiento interior de yeso cartón de 10mm, revestimiento exterior de fibrocemento de 8mm, los pies derechos forman una cámara de aire de 91mm (2x4"). La transmitancia térmica es de  $2,42W/m^2\text{°C}$  (cálculo en base a la NCh 853 Of.2007). Cámara ventilada exterior bajo recubrimiento de materiales a elección (placa de madera, estuco, fibrocemento, etc.).

Estos sistemas constructivos son aislados térmicamente, de preferencia por el exterior, con distintos espesores de aislante, que mejoran las exigencias mínimas de "U" para la ciudad en estudio. Los análisis se hacen con espesores de aislante entre 20mm y 120mm, dependiendo de la ciudad de análisis.

La tabla III.2.2.1.6 presenta los valores de "U" de las 4 soluciones de muros presentadas con diversos espesores de aislante térmico.

NOTA: El aislante térmico considerado corresponde a poliestireno expandido de  $10kg/m^3$  o lana de vidrio de  $11kg/m^3$ , ambos materiales presentan comportamiento térmico similar (conductividad térmica entre  $0,042$  y  $0,043 W/m^2\text{°C}$ ).

- Indica la solución de cielo analizada con diversos espesores de aislante térmico por ciudad, correspondiente a yeso cartón de 10mm bajo entramado de cielo de 2x2", sobre el entramado se ubica el aislante térmico.

Luego de estimar la reducción en la demanda de calefacción al aumentar el espesor de aislante térmico en cielo, se observa que el efecto es menor, debido a que la Reglamentación Térmica en cielo está siendo efectiva en este elemento en prácticamente todo el país, exceptuando algunas localidades cordilleranas del norte y centro del país, como es el caso de Calama, donde aumentar la aislación en unos centímetros reducirá la demanda de calefacción de manera más significativa. Debido al bajo efecto mencionado, no se detallará mejoras en este elemento por zonas.

Las demandas de energía para calefacción al mejorar la calidad térmica de los muros son presentadas en las tablas III.2.2.1.7 y III.2.2.1.8 para la vivienda de 1 y 2 pisos respectivamente.

En la sección de estrategias por zona se presenta el detalle de demanda de energía para calefacción por tipo de solución constructiva aquí considerada.

Cabe señalar que en el caso de Punta Arenas, se estima que la demanda de energía de calefacción puede ser aún mejor cuando se considera vidriado tipo DVH (Doble Vidriado Hermético), sumado a los 80mm de aislante en muro. Esta demanda es de 167 kWh/m<sup>2</sup> año para vidriado tipo DVH y de 162 kWh/m<sup>2</sup> año para vidriado tipo DVH de baja emisividad en viviendas de un piso. En viviendas de 2 pisos estos valores alcanzaron 123 kWh/m<sup>2</sup> año y 116 kWh/m<sup>2</sup> año respectivamente.

En el caso de El Teniente, las demandas de energía con 100 mm de aislante térmico en muro alcanzaron los 138 kWh/m<sup>2</sup> año con vidriado tipo DVH y 134 kWh/m<sup>2</sup> año con DVH de baja emisividad para viviendas de 1 piso, mientras que para viviendas de dos pisos alcanzan los valores de 96 y 90 kWh/m<sup>2</sup> año (DVH y DVH con vidrios de baja emisividad respectivamente).

**Tabla III.2.2.1.7: DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN PROMEDIO EN VIVIENDA DE 1 PISO AL AGREGAR AISLANTE TÉRMICO EN 4 TIPOS DE MURO (kWh/m<sup>2</sup>año).**  
Ventanas con vidrio simple, cielo con "U" según RT.

CIUDAD	U base W/m <sup>2</sup> C	BASE (U de acuerdo a RT)	+20mm U <sub>medio</sub> 1,2W/m <sup>2</sup> C	+40mm U <sub>medio</sub> 0,7W/m <sup>2</sup> C	+60mm U <sub>medio</sub> 0,6W/m <sup>2</sup> C	+80mm U <sub>medio</sub> 0,5W/m <sup>2</sup> C	+100mm U <sub>medio</sub> 0,4W/m <sup>2</sup> C	+120mm U <sub>medio</sub> 0,3W/m <sup>2</sup> C
Calama	3,0	123	102	97	95			
Copiapó	4,0	59	45	44	43			
Valparaíso	3,0	80	67	64	62			
Santiago	1,9	100	90	85	83	81		
Concepción	1,7	115	108	103	101	99		
Temuco	1,6	131	126	120	118	116		
Punta Arenas	0,6	185			184	181	179	177
El Teniente	0,6	153			152	150	148	147

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones con TAS.

**Tabla III.2.2.1.8: DEMANDA DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN PROMEDIO EN VIVIENDA DE 2 PISOS AL AGREGAR AISLANTE TÉRMICO EN 4 TIPOS DE MURO (EN kWh/m<sup>2</sup>año).**

Ventanas con vidrio simple, cielo con "U" según RT.

CIUDAD	"U" base	BASE (U de acuerdo a RT)	+20mm U media 1,2W/m <sup>2</sup> C	+40mm U media 0,7W/m <sup>2</sup> C	+60mm U media 0,6W/m <sup>2</sup> C	+80mm U media 0,5W/m <sup>2</sup> C	+100mm U media 0,4W/m <sup>2</sup> C	+120mm U media 0,3W/m <sup>2</sup> C
Calama	3,0	113	77	77	65			
Copiapó	4,0	58	34	34				
Valparaíso	3,0	75	51	51	43			
Santiago	1,9	90	75	75	62	60		
Concepción	1,7	97	86	86	72	69		
Temuco	1,6	108	99	99	84	81		
Punta Arenas	0,6	149			147	143	138	135
El Teniente	0,6	117			116	113	109	107

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones con TAS.

## 2. Disminución en la demanda de calefacción al variar la forma de la envolvente

Para realizar este análisis, se utiliza como modelo base una vivienda que posee 45m<sup>2</sup> de superficie y 104m<sup>3</sup> de volumen, en uno y dos pisos, orientada al norte, con ventanas y puertas en norte y sur, superficie vidriada en ambos casos de 10% respecto de los elementos verticales de la envolvente. La forma de las viviendas varía y presenta distintos niveles de compacidad (planta cuadrada, planta rectangular y planta irregular), manteniendo constante su área edificada y volumen. Además cada vivienda se adosa por una o ambas caras (este y oeste). Los materiales de envolvente y condiciones de simulación son idénticas a las establecidas para los dos modelos base de vivienda social presentados, en la condición de que el valor "U" de muros y cielo corresponde al mínimo exigido para la ciudad en estudio según la RT y ventanas con vidrio simple.

La figura III.2.2.1.4 describe las viviendas de uno y dos pisos que han sido evaluadas, su nivel de adosamiento y el valor del factor de forma de cada una de estas soluciones. Se recuerda que con menor factor de forma, con idéntica superficie y calidad térmica de envolvente (en cielo, muros, ventanas y piso) se tiene menor demanda de energía de calefacción. El gráfico de resultados III.2.2.1.1 presenta las demandas de calefacción en cada caso descrito.

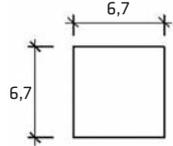
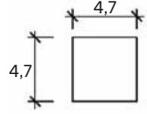
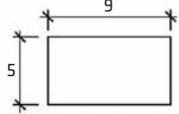
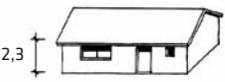
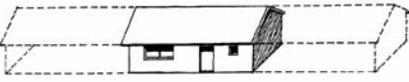
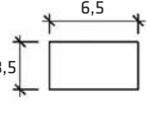
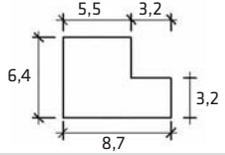
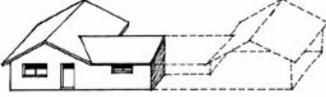
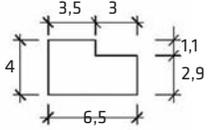
FORMA	NIVEL DE ADOSAMIENTO			
	AISLADA	PARADA	CONTINUA	
PLANTA BASE CUADRADA				
	FF: 1,03	FF: 0,88	FF: 0,73	
				
	FF: 1,05	FF: 0,84	FF: 0,64	
PLANTA BASE RECTANGULAR				
	FF: 1,06	FF: 0,95	FF: 0,83	
				
	FF: 1,11	FF: 0,95	FF: 0,80	
PLANTA BASE IRREGULAR				
	FF: 1,19	FF: 1,03	FF: 0,88	
				
	FF: 1,24	FF: 1,02	FF: 0,80	

Figura III.2.2.1.4: Vivienda de 45m<sup>2</sup> en 1 y 2 pisos con distintos niveles de compacidad y adosamiento

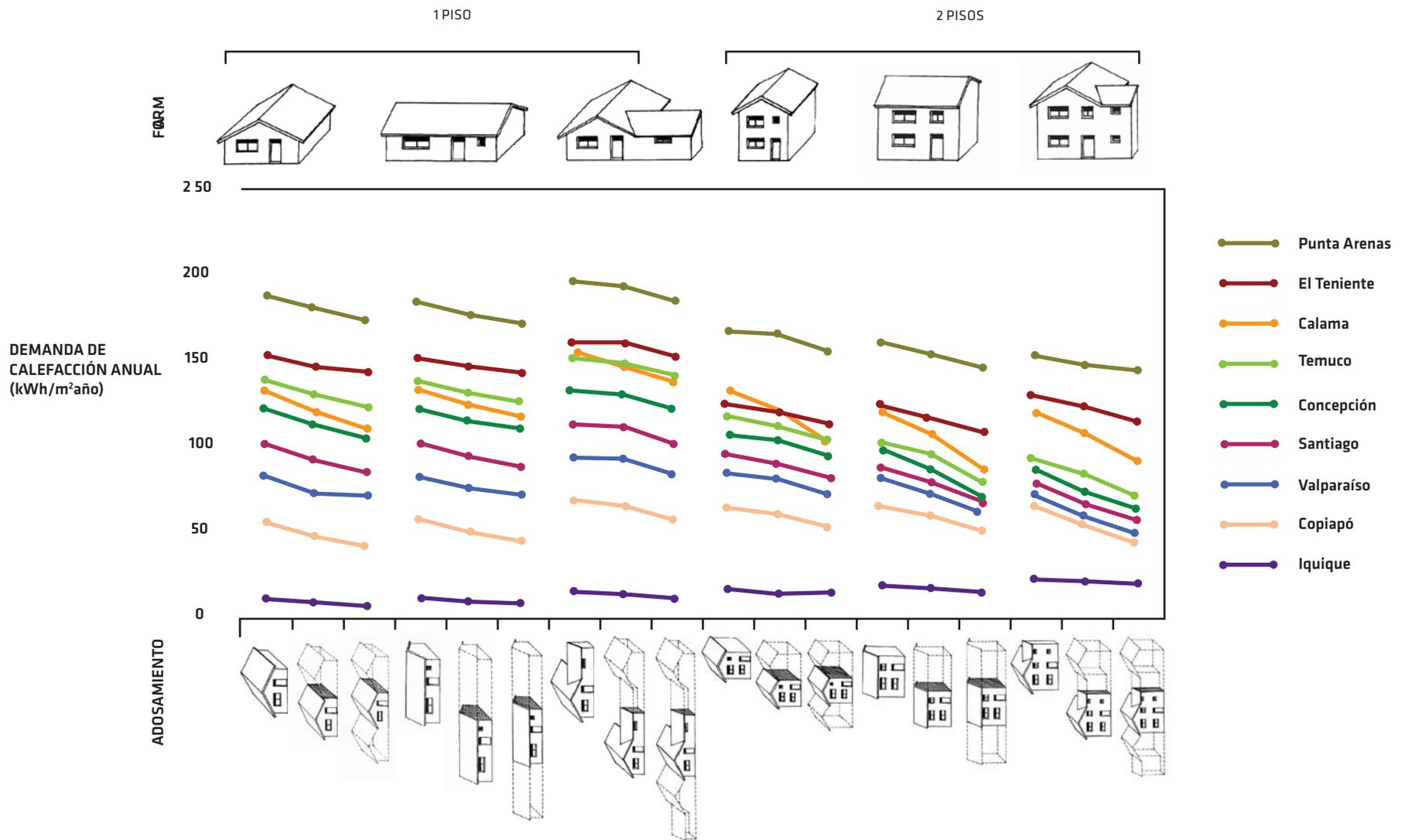


Gráfico III.2.2.1.1: Variación de la demanda de calefacción al modificar la forma y nivel de adosamiento en vivienda de 45m², en distintas ciudades de Chile.

Fuente: Elaboración Propia en base a programa de simulación térmica TAS.

### 3. Condensación superficial e intersticial

Las soluciones constructivas de muros propuestas para obtener el confort con criterios de eficiencia energética son evaluadas para determinar los riesgos de condensación superficial e intersticial que ellos poseen, de modo de complementar los criterios de diseño térmicos con los higrométricos.

El riesgo de condensación superficial e intersticial se analiza bajo condiciones desfavorables de invierno, tomando como base las siguientes variables climáticas: temperatura exterior media mínima para el mes más frío (julio), humedad relativa supuesta a la hora de la mínima temperatura, temperatura interior en 20°C (supuesta para el confort) y humedad relativa interior, variable dependiendo de la ciudad, valores entre 60% y 75%. Los valores de las variables climáticas utilizadas por ciudad se detallan en la tabla III.2.2.1.9.

Las fichas por zona detallan el riesgo de condensación superficial e intersticial en las soluciones de muro consideradas. En general los muros de hormigón armado y bloques de hormigón presentan riesgo de condensación superficial e intersticial casi en la totalidad de las zonas climáticas. En muros de albañilería de ladrillo, el riesgo principal de condensación se presenta en el mortero de pega. Las tabiquerías presentan menores riesgos de condensación. Para evitar los riesgos de condensación se recomienda en general aislar térmicamente por la cara exterior del muro (hormigón o albañilerías). Si esto no es posible, acompañar la aislación térmica por la cara interior de una barrera de vapor entre el aislante y el revestimiento interior o con pintura impermeable al paso de vapor en la cara de este revestimiento. En tabiquerías, con aislante térmico en la cavidad, es recomendable el uso de barreras de vapor lo más al interior posible. (Por ejemplo polietileno entre recubrimiento interior y el aislante térmico o con pinturas impermeables al paso de vapor en la cara interior. Las estrategias anteriores deben ser complementadas con ventilación para extraer el vapor generado al interior de la vivienda.

**Tabla III.2.2.1.9: CONDICIONES CLIMÁTICAS SUPUESTAS PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO DE CONDENSACIÓN EN MUROS**

CIUDAD	T° EXTERIOR MEDIA MÍNIMA	HUMEDAD RELATIVA EXTERIOR	T° INTERIOR (T° CONFORT)	HUMEDAD RELATIVA INTERIOR
Iquique	13,1	79%	20	75%
Calama	-0,9	43%	20	60%
Copiapó	5,5	90%	20	65%
Valparaíso	9,2	86%	20	75%
Santiago	2,5	93%	20	75%
Concepción	5,6	92%	20	75%
Temuco	3,9	95%	20	75%
Punta Arenas	-0,7	84%	20	75%
El Teniente	-2,5	66%	20	75%

#### d) Ventilación

##### Verano

En período de verano se recomienda ventilación natural nocturna para las zonas del norte y centro del país ubicadas en valles y fajas precordilleranas, ventilación durante las primeras horas del día y en últimas horas de la tarde en zonas del norte y centro litoral y las zonas del sur del país, mientras que en el sur extremo se recomienda limitar la ventilación a la requerida para mantener la calidad del aire interior. La ventilación natural puede ser unilateral o cruzada dependiendo de la velocidad del viento en el lugar, si la velocidad es alta la ventilación unilateral podría ser suficiente, mientras que si es baja, es recomendable la ventilación cruzada.

La tabla III.2.2.1.10 presenta la capacidad de enfriamiento en verano medida en W/m<sup>2</sup> (correspondiente a la cantidad de calor sensible posible de extraer), si se ventila naturalmente con la estrategia de ventilación cruzada. Esta tabla supone ventilar cuando la temperatura exterior es al menos un grado inferior que la temperatura interior (a primeras horas del día y últimas horas de la tarde). La capacidad de enfriamiento varía en relación con la velocidad del viento en el lugar y el porcentaje de ventanas respecto de la superficie del recinto ventilado. Las zonas cordilleranas presentarán vientos de alta velocidad y gran capacidad de enfriamiento, sin embargo la ventilación debe ser controlada ya que puede llegar a ser perjudicial al afectar el confort de los habitantes de la vivienda.

En zonas costeras es posible eliminar de manera efectiva el calor en la vivienda, sin embargo la velocidad del viento debe ser controlada al igual que en zonas cordilleranas. En las zonas del valle central el enfriamiento es menor, sin embargo es posible eliminar un alto porcentaje de calor generado en el interior de la vivienda.

Complementario a lo anterior, en la tabla III.2.2.1.10 es posible visualizar las zonas climáticas con vientos intensos, moderados o débiles. Lo anterior permite tomar decisiones en el diseño de protecciones solares instaladas en el exterior, que deben ser resistentes al viento en zonas de vientos intensos.

### Invierno

En período de invierno se recomienda en todas las zonas climáticas a excepción de la Norte Litoral, limitar la ventilación a la requerida para mantener la calidad del aire interior. Además, debido a que la ventilación natural no puede ser controlada, es preferible y mucho más eficiente utilizar sólo ventilación forzada en este período. Referido también al control de la ventilación, se debe evitar infiltraciones de aire en todas las zonas climáticas del país.

**III.2.2.2 Estrategias de Iluminación Natural.** A continuación se entregan algunos criterios y herramientas para el diseño del proyecto de vivienda en relación a la iluminación natural. Cabe señalar que este aspecto es sólo un elemento más que debe comparecer dentro del complejo equilibrio del diseño con eficiencia energética, por tanto no hay que olvidar la necesaria visión holística que permita integrar estas observaciones junto con los criterios de desempeño térmico, acústico, de calidad del aire y otros.

Para la definición de estos criterios de diseño de iluminación natural es necesario integrar la complejidad del fenómeno lumínico asociado a la radiación solar. Para esto, es necesario diferenciar la radiación solar en sus dos componentes: directa y difusa. Es importante señalar que la iluminación natural por definición tiene esencialmente su fuente en la radiación solar difusa y por ende depende de la nubosidad del cielo. Dada la relevancia que esta variable meteorológica por tanto posee, se adjunta un gráfico con las curvas de variación de nubosidad mensual - en unidad de octavas - para cada localidad estudiada. La interpretación de esta unidad se presenta en la figura III.2.2.2.1.

Al mismo tiempo, la accesibilidad a la radiación solar directa como criterio de diseño arquitectónico complementario al de la iluminación natural, se realizó desde la generación

**Tabla III.2.2.1.10 CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO POR MEDIO DE VENTILACIÓN CRUZADA EN ZONAS CLIMÁTICAS DE LA NCh 1079-2008**

ZONA CLIMÁTICA NCh 1079-2008	Dirección del viento predominante "A"	Velocidad promedio del viento (m/s)	Capacidad de enfriamiento (Calor Sensible Extraído) W/m <sup>2</sup>		
			Porcentaje de ventanas respecto a la superficie en planta del recinto		
			5%	10%	15%
Norte Litoral	Suroeste	3.1	142	284	379
Norte Desértica	Oeste	8.7	330	580	---
Norte Valles Transversales	Oeste	3.8	150	300	473
Central Litoral	Suroeste	2.2	95	189	284
Central Interior	Suroeste	3.0	130	260	379
Sur Litoral	Suroeste	4.9	190	400	---
Sur Interior	Oeste	2.7	120	210	340
Sur Extremo	Oeste	7.9	290	490	---
Andina	Suroeste	8.3	300	500	---

**Fuente:** Elaboración propia en base a Geohábitat.Energía y Medioambiente (2000).

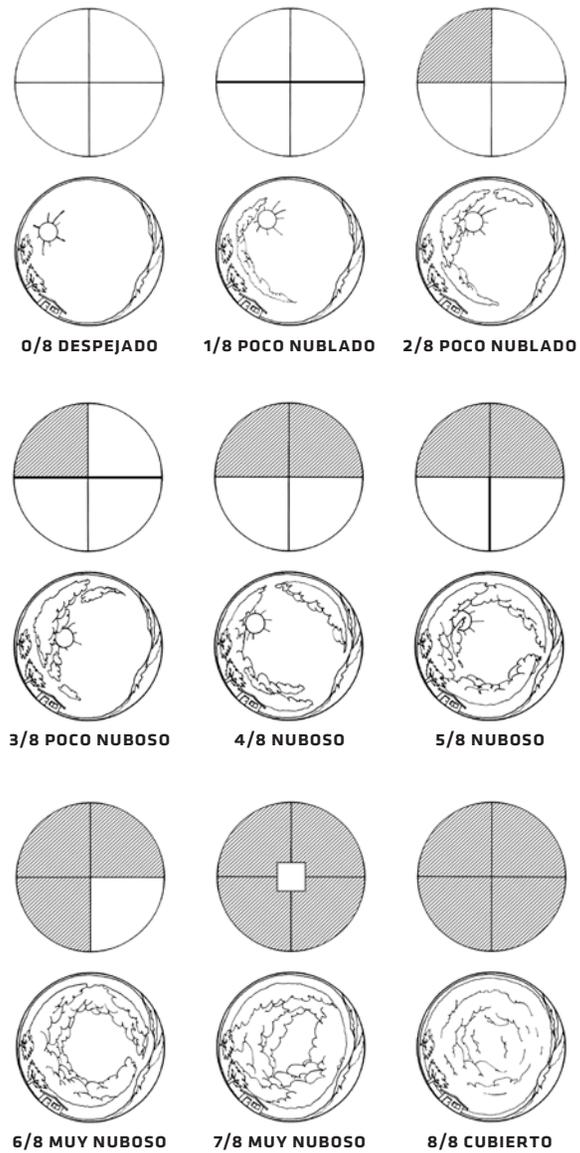


Figura III.2.2.2.1: Definición de nubosidad de cielo según la clasificación de octavas.

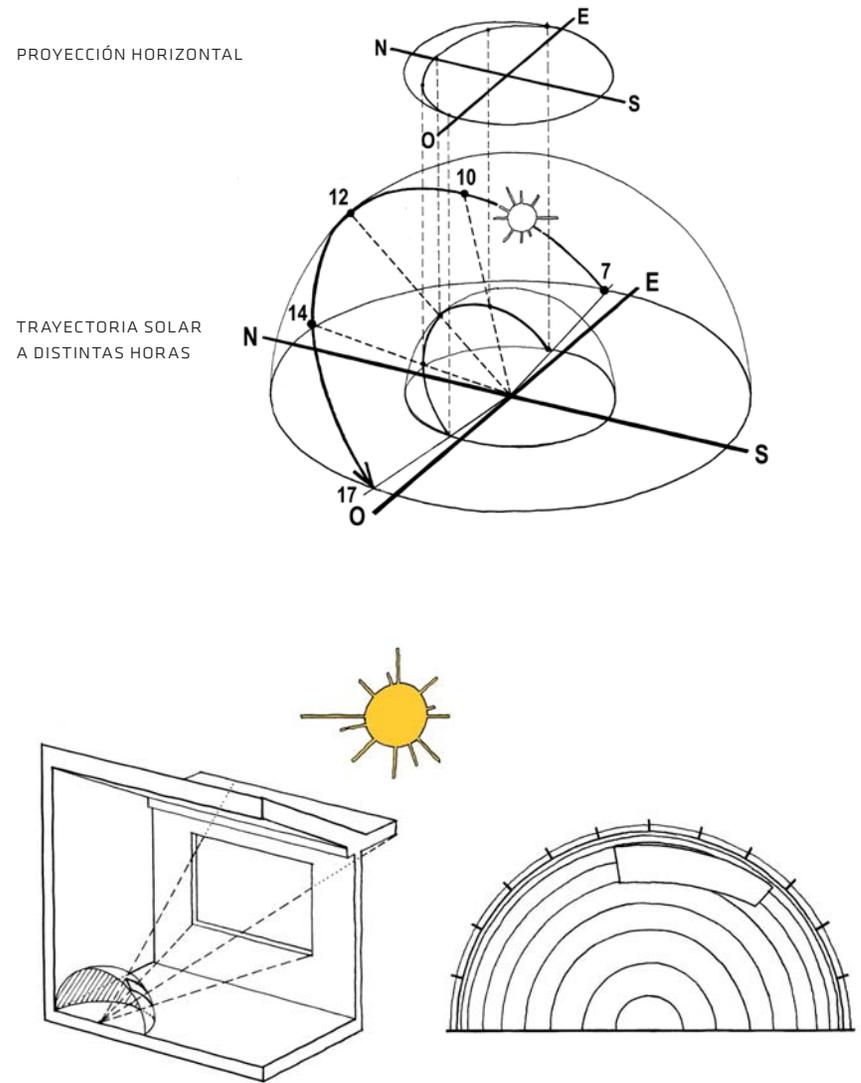


Figura III.2.2.2: (arriba) Construcción de una carta solar estereográfica (proyección horizontal de la trayectoria del sol en la esfera celeste para una latitud particular y en todos los días y horas del año; (abajo) Construcción de una máscara de sombra a partir de la carta solar, para una ventana como representación de las obstrucciones sobre un punto de observación.

de máscaras solares a partir de un gráfico de proyección estereográfica de la trayectoria solar (figura III.2.2.2.2). Se estudió el acceso a la exposición solar directo de un recinto perteneciente a un modelo tipo de vivienda social, con una ventana estándar de 110 x 100 cm de orientación norte y poniente.

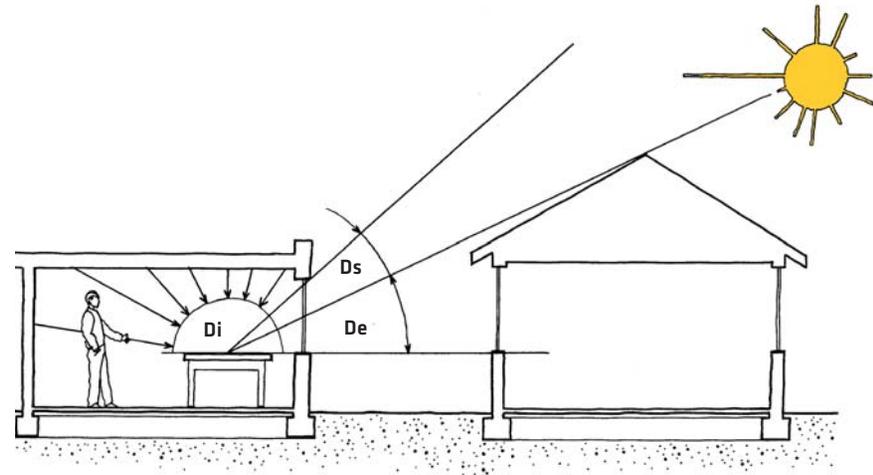
En términos de luz difusa, el estudio de los criterios de iluminación natural, se realizó en primer lugar en función del factor de luz diurna. Este se define como la relación entre la intensidad de iluminación en un punto al interior de un recinto y la iluminación horizontal exterior bajo un modelo estandarizado de cielo nublado. La figura III.2.2.2.3 presenta las tres componentes de la iluminación natural y por tanto, consideradas para el cálculo del factor de luz diurna:

- Componente de cielo,  $D_s$ , que corresponde a la luz desde la bóveda celeste que penetra a través de las aperturas de la envolvente. Esta depende del ángulo según el cual se ve la bóveda celeste en un punto determinado.
- Componente de reflectancia exterior de la radiación solar sobre las superficies exteriores,  $D_e$ , como el suelo y otros edificios.
- Componente de reflectancia interior,  $D_i$ , que corresponde a la reflexión interna de los anteriores componentes en las superficies del espacio analizado. Es evidente que este componente depende de la naturaleza de las paredes y de la claridad de los colores.

La tabla III.2.2.1 propone valores promedios y mínimos recomendados por el CIBSE británico para uso residencial. Al mismo tiempo, la British Standard Institution (BS 8206 part 2) recomienda valores promedio de factor de luz diurna para los casos con y sin utilización de iluminación artificial durante el día (tabla III.2.2.2).

Para los fines de esta guía, se estudió el impacto de las variaciones en el dimensionamiento de ventanas para un recinto tipo de vivienda social (típicamente asociado a un dormitorio), de 3,6 x 2,8 m. Se utilizó una medida de 0,3 m para incrementar sucesivamente las dimensiones de una ventana tipo de 1,0 x 1,0 m. Dichos incrementos generaron un rango de posibilidades que van desde un 15% a un 30% de superficie vidriada con respecto al muro en cual se encuentra la ventana de estudio.

La tabla III.2.2.3 presenta los resultados obtenidos en una primera serie de ejercicios, en términos de factor de luz diurna promedio (del recinto). La particularidad de estas simulaciones es que fueron realizadas a nivel de suelo, lo cual nos acerca a una aproximación más cercana a la iluminación general (para orientación espacial, por ejemplo) que



**Figura III.2.2.2.3:** Componentes de la iluminación natural difusa consideradas para el cálculo del factor de luz diurna para un punto P de medición: Componente de cielo ( $D_s$ ), Componente de reflectancia exterior ( $D_e$ ) y Componente de reflectancia interior ( $D_i$ )

**Tabla III.2.2.1: Valores promedio y mínimos de factor de luz diurna recomendados el CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) para uso residencial**

TIPO DE EDIFICIO	RECINTO	FACTOR DE LUZ DIURNA [%]	
		PROMEDIO	MÍNIMO
Residencial	Estar y salas multipropósito	1,5	0,5
	Dormitorios	1	0,3
	Cocina	2	0,6

**Tabla III.2.2.2: Valores promedio de factor de luz diurna recomendados por la BRITISH STANDARD INSTITUTION (BS 8206 part 2)**

EXIGENCIA DE ILUMINACIÓN NATURAL	FACTOR DE LUZ DIURNA PROMEDIO [%]
Si la iluminación artificial no es usada normalmente durante el día	no menos de 5%
Si la iluminación natural es la predominante pero igualmente se considera la utilización de iluminación artificial durante el día	no menos de 2%

a la requerida para tareas específicas. Dado que el factor de luz diurna es por definición una proporción entre la intensidad de iluminación interior y exterior, ésta será constante en función de los cambios de emplazamiento. Por el contrario, estos resultados sí variarán cuando se expresen en términos de intensidad de iluminación (en unidades de lux), puesto que los cielos de diseño varían en función de la latitud.

La tabla III.2.2.4 presenta los resultados obtenidos para esta primera serie en términos de intensidad de iluminación. En ésta queda de manifiesto que en los casos en que se generaron modificaciones en el alto de la ventana (para un ancho constante), se presentan valores mayores que en los casos de variaciones en el ancho (para un alto constante), asunto que queda aún más de manifiesto cuando se establece un límite de 200 lux como medida de iluminación general.

Si bien esto podría inmediatamente favorecer la decisión de optar por ventanas mas verticales que horizontales, hay que entenderlo desde la lógica de ubicar la altura de medición a nivel de suelo y más aún sin mobiliario. En régimen de uso, muy probablemente, esta iluminación podrá aprovecharse sólo desde una altura mayor debido a obstrucciones de mobiliario. Sin embargo, este tipo de ventanas podrían ser útiles en espacios de circulación, donde el objetivo de diseño de la iluminación está orientado a contribuir a la orientación espacial, más que a actividades que requieran exigencias mayores.

Las tablas III.2.2.5 y III.2.2.6 presentan los resultados de la segunda serie de simulaciones, establecidos a partir de las mismas condiciones de las anteriores, pero a una altura de medición de 1,0m. Al contrario de lo que sucedía en la situación anterior, aquí, los casos en que se generaron variaciones en el ancho (para un alto constante) de la ventana presentaron mayores valores de intensidad de iluminación que sus equivalentes en la otra serie. Por el contrario, aumentar la altura para un ancho constante de ventana no hace subir mucho la iluminación sobre el plano. Este fenómeno se explica muy bien: para un plano a 1 m de altura, es la parte del vidrio encima de 1 m, la que tiene más importancia. Dado que el nivel de medición se estableció a la altura del plano de trabajo, la exigencia establecida fue de 300 lux, valor recomendado para actividades con requerimientos moderados sobre la visión.

Estos resultados nos permiten recomendar el privilegiar ventanas mas horizontales que verticales, cuando el objetivo de diseño de la iluminación sea el de conseguir las mejores condiciones de confort visual en actividades domésticas como la lectura, manualidades o la realización de tareas escolares. Recintos de dormitorios, comedor o estar podrían

**Tabla III.2.2.3 Valores promedio de factor de luz diurna obtenidos mediante simulaciones a una altura de ± 0,00 m para distintas dimensiones de ventana en recinto tipo de vivienda social y emplazado en distintas ciudades del país**

CIUDAD	ALTURA DE MEDICIÓN: ± 0,00 m SOBRE N.P.T.							
	FACTOR DE LUZ DIURNA PROMEDIO [%] PARA VENTANAS DE ANCHO 1,00 m				FACTOR DE LUZ DIURNA PROMEDIO [%] PARA VENTANAS DE A TO 1,00 m			
	A TO 1,00m	ALTO 1,30m	ALTO 1,60m	ALTO 1,90m	ANCHO 1,00m	ANCHO 1,30m	ANCHO 1,60m	ANCHO 1,90m
Iquique	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Calama	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Copiapó	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Valparaíso	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Santiago	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Concepción	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Temuco	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
Punta Arenas	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80
El Teniente	1,54	2,17	2,91	3,78	1,54	1,98	2,40	2,80

Valores bajo el 2% recomendado por la British Standard Institution (BS 8206 part. 2)

**Tabla III.2.2.4 Valores intensidad de iluminación (en unidades de lux) obtenidos mediante simulaciones a una altura de ± 0,00 m para distintas dimensiones de ventana en recinto tipo de vivienda social y emplazado en distintas ciudades del país**

CIUDAD	ALTURA DE MEDICIÓN: ± 0,00 m SOBRE N.P.T.							
	INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN (lux) A PARTIR DEL FACTOR DE LUZ DIURNA PARA VENTANAS DE ANCHO 1,00 m				INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN (lux) A PARTIR DEL FACTOR DE LUZ DIURNA PARA VENTANAS DE ALTO 1,00 m			
	ALTO 1,00m	ALTO 1,30m	ALTO 1,60m	ALTO 1,90m	ANCHO 1,00m	ANCHO 1,30m	ANCHO 1,60m	ANCHO 1,90m
Iquique	192,5	271,3	363,8	472,5	192,5	247,5	300,0	350,0
Calama	177,1	249,6	334,7	434,7	177,1	227,7	276,0	322,0
Copiapó	154,0	217,0	291,0	378,0	154,0	198,0	240,0	280,0
Valparaíso	130,9	184,5	247,4	321,3	130,9	168,3	204,0	238,0
Santiago	130,9	184,5	247,4	321,3	130,9	168,3	204,0	238,0
Concepción	115,5	162,8	218,3	283,5	115,5	148,5	180,0	210,0
Temuco	107,8	151,9	203,7	264,6	107,8	138,6	168,0	196,0
Punta Arenas	53,9	76,0	101,9	132,3	53,9	69,3	84,0	98,0
El Teniente	130,9	184,5	247,4	321,3	130,9	168,3	204,0	238,0

Valores bajo los 200 lux (como medida de una adecuada iluminación natural para orientación en el espacio)

**Tabla III.2.2.5 Valores promedio de factor de luz diurna obtenidos mediante simulaciones a una altura de + 1,00 m para distintas dimensiones de ventana en recinto tipo de vivienda social y emplazado en distintas ciudades del país**

CIUDAD	ALTURA DE MEDICIÓN: ± 1,00 m SOBRE N.PT.							
	FACTOR DE LUZ DIURNA PROMEDIO [%] PARA VENTANAS DE ANCHO 1,00 m				FACTOR DE LUZ DIURNA PROMEDIO [%] PARA VENTANAS DE ALTO 1,00 m			
	ALTO 1,00m	ALTO 1,30m	ALTO 1,60m	ALTO 1,90m	ANCHO 1,00m	ANCHO 1,30m	ANCHO 1,60m	ANCHO 1,90m
Iquique	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Calama	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Copiapó	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Valparaíso	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Santiago	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Concepción	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Temuco	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
Punta Arenas	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50
El Teniente	2,44	2,94	3,03	3,12	2,44	3,15	3,83	4,50

**Tabla III.2.2.6 Valores intensidad de iluminación (en unidades de lux) obtenidos mediante simulaciones a una altura de + 1,0 m para distintas dimensiones de ventana en recinto tipo de vivienda social y emplazado en distintas ciudades del país**

CIUDAD	ALTURA DE MEDICIÓN: ± 1,00 m SOBRE N.PT.							
	INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN [lux] A PARTIR DEL FACTOR DE LUZ DIURNA PARA VENTANAS DE ANCHO 1,00 m				INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN [lux] A PARTIR DEL FACTOR DE LUZ DIURNA PARA VENTANAS DE ALTO 1,00			
	ALTO 1,00m	ALTO 1,30m	ALTO 1,60m	ALTO 1,90m	ANCHO 1,00m	ANCHO 1,30m	ANCHO 1,60m	ANCHO 1,90m
Iquique	305,0	367,5	378,8	390,0	305,0	393,8	478,8	562,5
Calama	280,6	338,1	348,5	358,8	280,6	362,3	440,5	517,5
Copiapó	244,0	294,0	303,0	312,0	244,0	315,0	383,0	450,0
Valparaíso	207,4	249,9	257,6	265,2	207,4	267,8	325,6	382,5
Santiago	207,4	249,9	257,6	265,2	207,4	267,8	325,6	382,5
Concepción	183,0	220,5	227,3	234,0	183,0	236,3	287,3	337,5
Temuco	170,8	205,8	212,1	218,4	170,8	220,5	268,1	315,0
Punta Arenas	85,4	102,9	106,1	109,2	85,4	110,3	134,1	157,5
El Teniente	207,4	249,9	257,6	265,2	207,4	267,8	325,6	382,5

Valores bajo los 300 lux (como medida de una adecuada iluminación natural para actividades con requerimientos moderados sobre la visión, por ejemplo, la lectura).

ser programas arquitectónicos que caigan dentro de esta categoría. Finalmente, cabe señalar que este tipo de ventanas no sólo representa una mejor iluminación promedio en términos absolutos, sino que presentará además una distribución más uniforme de esta. En cada ficha por zona, se presentará un análisis más detallado ciudad por ciudad, en el cual se entregaran observaciones con respecto a este último criterio.

NOTA: Las estrategias de diseño desarrolladas para la ciudad de Valparaíso, deben ser tomadas como base para la ciudad de Santiago y El Teniente. Debido a que la latitud de las tres localidades es similar, los resultados de éstas no variarán. En las fichas por zona sólo se presentará los resultados para la zona Central Litoral (Valparaíso), las 2 zonas restantes deben remitirse a los resultados ahí presentados.

**III.2.2.3 Estrategias para agua caliente sanitaria.** La tabla III.2.2.3.1 resume las principales características del sistema solar, que deben ser complementadas con las estrategias de diseño generales presentadas en II.3.

En primer lugar se entregan los valores recomendados por la NCh 1079-2008 para la pendiente de la cubierta, que permite asegurar la evacuación de aguas lluvias, nieve y proteger la vivienda del viento; junto a estos valores, se presenta la pendiente óptima del colector solar que varía de norte a sur en relación directa con la latitud del lugar (se considera pendiente óptima igual a la latitud del lugar). El análisis de estas dos variables permite concluir que la pendiente del colector solar será mayor a la pendiente mínima de techumbre requerida en todas las zonas climáticas, a excepción de las localidades ubicadas al extremo norte de la zona Andina, en que la pendiente mínima es mayor a la óptima del panel, sin embargo la diferencia es pequeña y la ubicación del panel con una pendiente levemente mayor no afectará significativamente la eficiencia final del sistema.

Es pertinente recordar, que la orientación, inclinación y ubicación del colector en la vivienda va a estar determinada por las condiciones del entorno inmediato de ésta, además la orientación preferencial norte obliga a pensar en el diseño de aguas en la cubierta orientadas al norte, independiente de la forma y orientación de los muros de la vivienda; todo esto debe ser considerado por el diseñador para la eficiencia del sistema. Además, la integración del colector solar en la techumbre puede ser resuelta modificando los largos de las aguas de la cubierta, mansarda en segundos pisos, todo va a depender de los requerimientos que el proyecto posea; si no es posible integrar el colector, se debe diseñar una estructura soportante sobre la techumbre (ver figura III.2.2.3.1).

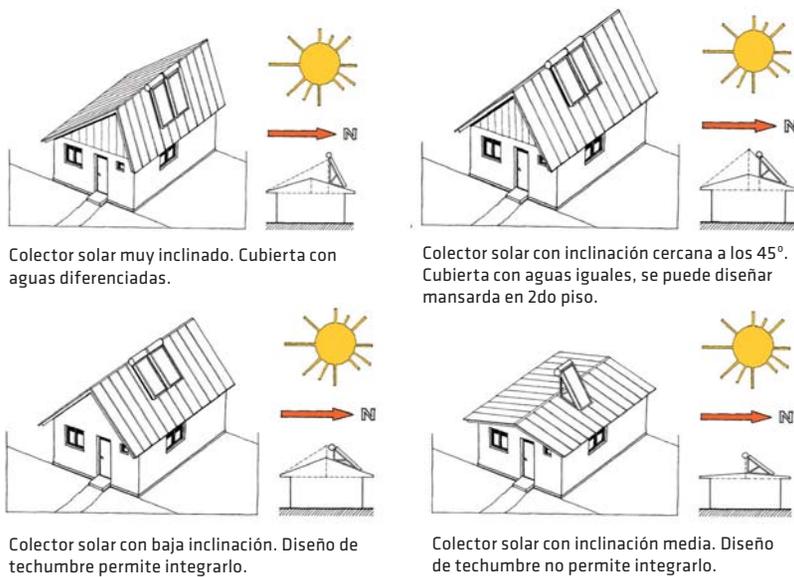


Figura III.2.2.3.1: Formas de integración del panel solar en la techumbre.

La segunda parte de la tabla presenta el dimensionado de la superficie de colectores recomendada por zona y el volumen de acumulación de agua caliente, además de la estimación del aporte del sistema solar durante un año. Los cálculos realizados suponen un consumo de 200 litros al día (4 a 5 personas por vivienda). Se estima rendimiento promedio anual de colectores cercano al 40%. Las pérdidas a través de las tuberías que transportan el fluido se consideran en un 10%. La inclinación del colector se supone igual a la latitud de la ciudad estudiada (ver ciudades en figura III.1), con orientación norte del colector y exposición solar total a lo largo del año.

Tabla III.2.2.3.1: Pendiente del colector solar óptima, superficie de colectores y volumen de acumulación por zona climática de la NCh 1079-2008

ZONA CLIMÁTICA			DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR		
	PENDIENTE MÍNIMA CUBIERTA (GRADOS) "A"	INCLINACIÓN ÓPTIMA DE COLECTOR SOLAR DE NORTE A SUR (GRADOS IGUAL A LATITUD DEL LUGAR) "B"	VOLUMEN DE ACUMULACIÓN (l)	SUPERFICIE DE COLECTORES (m <sup>2</sup> )	APORTE SISTEMA SOLAR (%)
sértico	5,7°	18° a 26°	200-300	2	75%
	5,7°	18° a 26°	200-300	2.2	76%
orte Valles Transversales	8,5°	26° a 32°	200-300	2.1	80%
Central Litoral	11,3°	32° a 36°	200-300	2.6	64%
Central Interior	8,5°	32° a 36°	200-300	2.5	52%
Sur Litoral	16,7°	36° a 42°	200-300	2.9	70%
Sur Interior	16,7°	36° a 42°	300	4	55%
Sur Externo	16,7°	42° a 56°	300	5	55%
Andina	21,8°	18° a 43°	200-300	3.1	57%

**Nota:** Todos los valores de demandas y otros para cada zona climática aquí informados son referenciales (válidos para la situación particular planteada). Apuntan a generar orientación al diseñador respecto del impacto de asumir cierta estrategia. En ciertos casos se asume un comportamiento térmico en la envolvente correspondiente a los mínimos estándares de la ocuc Artículo 4.1.10. Mejores comportamientos en estos elementos también han sido estudiados también a modo de referencia. En todo caso, es pertinente indicar que idealmente todo proyecto debe ser analizado en su desempeño térmico en el momento de su diseño, con el fin de considerar el clima y microclima del lugar, las condiciones del entorno y la arquitectura que se propone para cada vivienda o conjunto habitacional.

### III.3 RECOMENDACIONES SEGÚN ZONA CLIMÁTICO HABITACIONAL DE LA NCH 1079-2008

Para cada una de las Zonas Climáticas definidas en la Norma Chilena Oficial NCh 1079-2008 se elaboran un conjunto de recomendaciones de diseño para alcanzar confort con uso eficiente de energía.

En cada una de estas se describe de modo general el clima y las condiciones generales del entorno en que se localizan los principales centros urbanos de la respectiva Zona. Posteriormente se entregan estrategias para períodos de calor y frío en cada una de ellas, junto con un análisis particular de iluminación natural en un recinto propio de una vivienda social.

Al mismo tiempo, se hace un análisis de riesgo de condensación en algunos sistemas constructivos, indicando recomendaciones para evitar el problema, tanto en la superficie interior del sistema constructivo como en sus intersticios.

En cada zona se detallan resultados que complementan los presentados en el punto III.2 de estudios de impacto en la demanda de energía de calefacción en las viviendas, que representan tipologías de uno y dos pisos que se construyen actualmente en el país.

Igualmente, se entregan algunos valores de demanda de energía de calefacción para una vivienda que utiliza criterios de orientación de espacios de mayor uso (dormitorios y estar comedor) hacia el norte. Se analizan impactos relacionados con el factor de forma (viviendas aisladas, pareadas y continuas y efecto de compacidad por la presencia de uno y dos pisos). Se asumen en cada caso sistemas constructivos con transmitancia térmica que han sido recomendadas en la Tabla III.1.1 del punto III.1 de la presente Guía. Se supone un intercambio de aire de 1,0 volumen por hora, que está asociado a una vivienda de buena hermeticidad al aire en su envolvente. Las simulaciones se hacen para la ciudad que se ha elegido de cada Zona climática y que se han utilizado en los restantes análisis de esta Guía. Las condiciones de temperatura interior, ganancias internas y períodos de calefacción considerados, se suponen idénticos a los indicados en el punto III.2.2.1.

Las viviendas consideradas para el análisis descrito en el párrafo anterior se muestran en las figuras III.3.1 y III.3.2.

No pretendiendo con estas viviendas diseños arquitectónicos definitivos, el objetivo es utilizarlas para realizar un análisis de sensibilidad (considerado criterios de orientación, compacidad y sistemas constructivos según Tabla III.1.1).

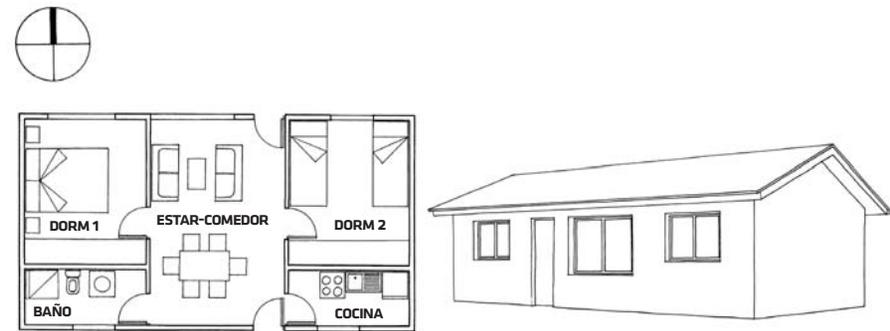


Figura III.3.1: Vivienda 1 piso. 46 m<sup>2</sup>.

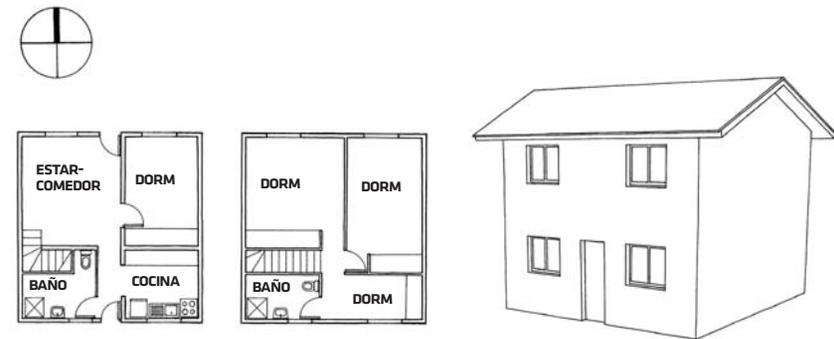
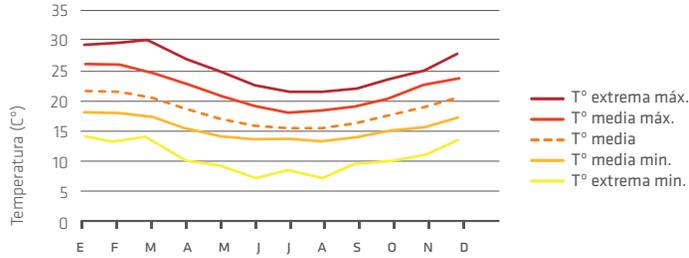
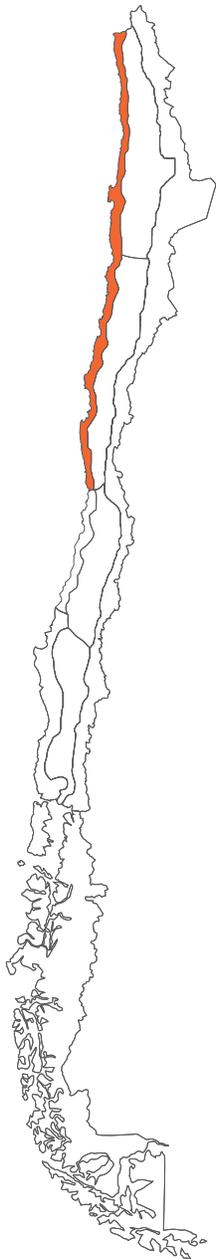
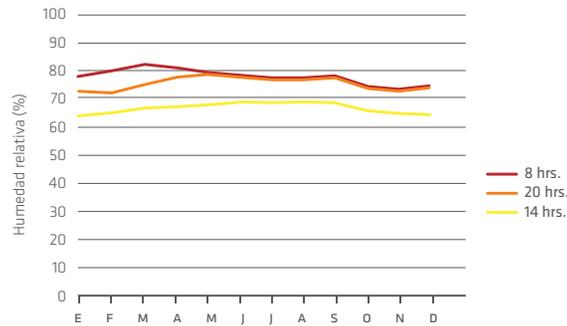


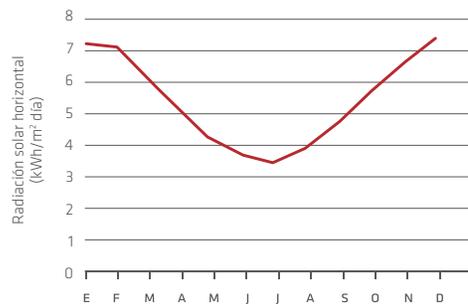
Figura III.3.2: Vivienda 2 pisos. 67 m<sup>2</sup>.



**Gráfico III.3.1.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Iquique.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.1.1.2:** Variación mensual de la H.R. Iquique.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



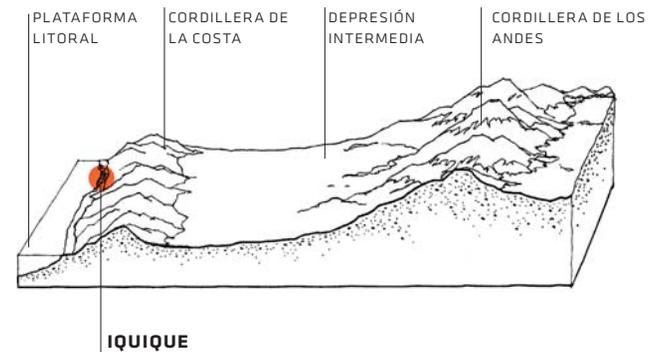
**Gráfico III.3.1.1.3:** Variación mensual de la radiación solar, Iquique.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

### III.3.1 ZONA NORTE LITORAL (NL)

#### III.3.1.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

##### A CLIMA<sup>1</sup>

- Baja oscilación diaria de temperaturas. Diferencias de temperatura entre el día y la noche inferiores a 8°C.
- La temperatura media es alta en verano y templada en invierno, disminuyendo hacia el sur de la Zona.
- Alta radiación solar. Promedios de radiación solar horizontal total entre 7,5 kWh/m² día (julio) y 7,0 kWh/m² día (enero).
- Alta humedad promedios mensuales entre 71% (enero) y 77% (julio).
- Casi nulas precipitaciones hacia el norte y débiles en el sur.
- Vientos moderados de predominancia suroeste.



**Figura III.3.1.1.1:** Relieve transversal en latitud 20° (Iquique).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

## B ENTORNO

- Las ciudades de esta zona están entre la latitud 18,4° y 2,2° SUR.
- Ambiente y terreno salino.
- La alta humedad se presenta en las primeras horas del día (camanchaca), por la tarde despejado con alta radiación solar.
- Las ciudades principales de esta zona se ubican en la plataforma costera (planicie), a medida que se adentran en la cordillera de la costa la pendiente comienza a ser cada vez más pronunciada.
- Presencia de edificios cercanos de baja y mediana altura.

### III.3.1.2 RECOMENDACIONES DE DISEÑO EN LA VIVIENDA

#### A ESTRATEGIAS DE FRÍO Y CALOR

##### A1 Orientación y soleamiento

Orientación norte de dormitorios y estar comedor. Proteger de radiación solar los cerramientos vidriados de la vivienda según lo expuesto en III.2.

Las demandas de calefacción en esta zona son bajas. Se incrementan hacia el sur. A pesar de existir aumentos en la demanda de calefacción al elegir una orientación distinta a la norte (ver tabla III.3.1.2.1 y III.3.1.2.2), lo más importante en esta zona es proteger la vivienda del sobrecalentamiento.

La figura III.3.1.2.1 muestra la posición del sol para solsticio de invierno y verano al mediodía solar en la ciudad de Iquique. Se observa que el sol es prácticamente vertical en verano, afectando principalmente la techumbre de la vivienda (ver gráfico III.3.1.2.1). En invierno, los rayos solares directos a menor altura, inciden sobre la fachada norte. El efecto de la altura solar (entre el solsticio de invierno y de verano) en la generación de sombras y dimensionado de aleros se muestra en las figuras III.3.1.2.2 y III.3.1.2.3.

**NOTA:** Para aminorar problemas de sobrecalentamiento, priorizar el uso de colores claros en fachadas, que permiten reflejar la radiación solar incidente, disminuyendo la transmisión de calor al interior.

**Tabla III.3.1.2.1: IQUIQUE. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m<sup>2</sup>año)**

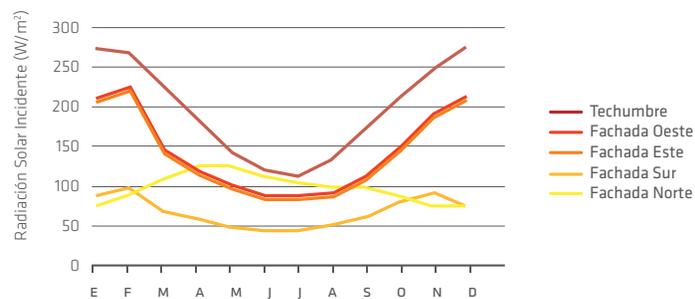
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	24	10
Sur	30	12
Este	27	10
Oeste	26	10

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS

**Tabla III.3.1.2.2: IQUIQUE. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m<sup>2</sup>año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	22	12
Sur	27	15
Este	24	14
Oeste	24	13

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS



**Gráfico III.3.1.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Iquique.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

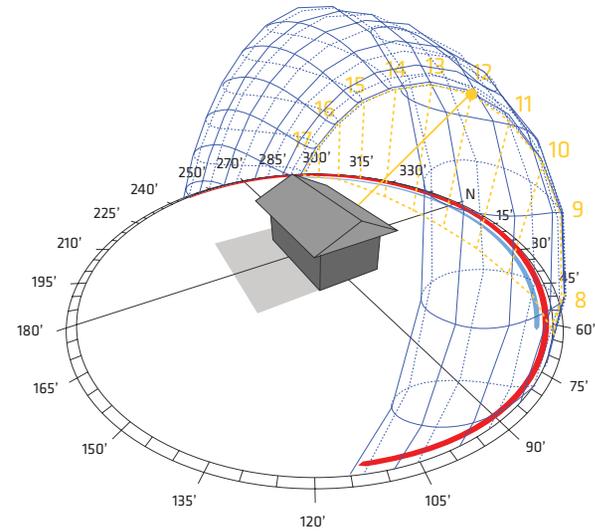


Figura III.3.1.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 20° (Iquique).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

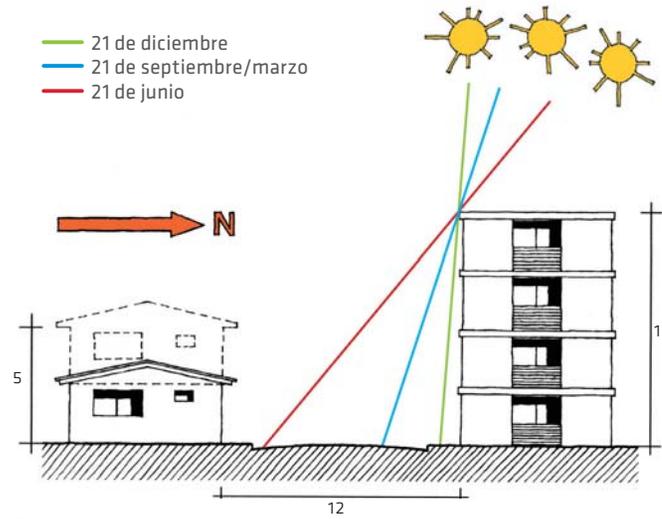


Figura III.3.1.2.2: Exposición solar total de vivienda de 1 y 2 pisos ubicada en Iquique que enfrenta un edificio de 4 pisos a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales.

> DICIEMBRE

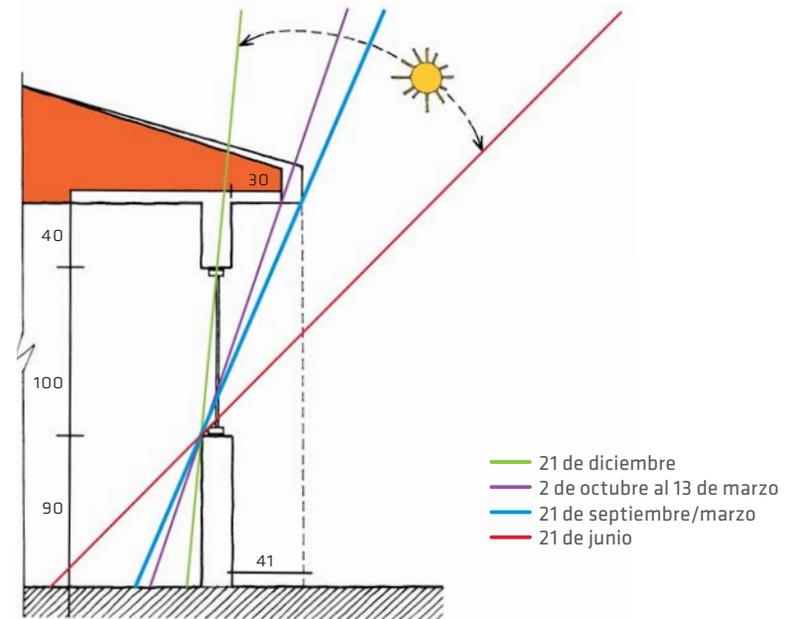
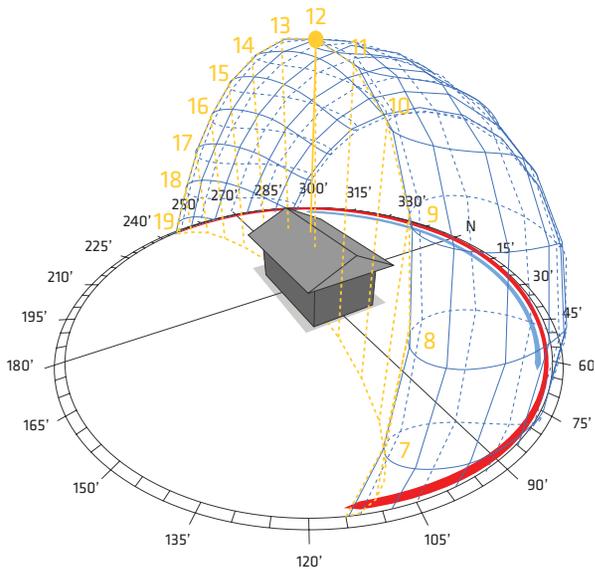


Figura III.3.1.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 20° (Iquique).

Las viviendas de uno y dos pisos mostradas en las figuras III.3.1 y III.3.2 respectivamente alcanzan demandas de energía de calefacción entre 11,0 (vivienda de 2 pisos) y 12,7 (vivienda de un piso) kWh/m<sup>2</sup> año para la situación de viviendas aisladas. La vivienda de un piso presenta una demanda de calefacción de 9,5 kWh/m<sup>2</sup> año y la de 2 pisos de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> año cuando se consideran viviendas continuas, lo que implica que prácticamente no requieren calefacción. Se consideró vidriado simple en ventanas, muros de albañilería de ladrillos ( $U=2.0 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y 40 mm de aislante térmico en el cielo (con conductividad térmica de  $0,042 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). 1,0 vol/h de intercambio de aire con el exterior.

## A2 Características higrotérmicas de la envolvente:

### Componentes

#### Muros:

- Muros de albañilerías de ladrillos son recomendables por sobre las de bloques de mortero-cemento, en especial hacia el sur de la Zona (Costas de 3<sup>a</sup> y 4<sup>a</sup> Región).
- Muros envolventes de estructuras livianas deben contemplar cámara de aire exterior ventilada para aminorar efecto de la radiación solar sobre la piel. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.
- Estructuras de acero deben estar protegidas de la corrosión.

#### Techumbre:

Cubierta ventilada con 40mm de aislación mínimo<sup>2</sup>. El aumentar la aislación térmica en cielo generará bajas o nulas reducciones en la demanda de energía para calefacción anual. Se recomienda la ventilación del entretecho o sobre el aislamiento térmico en techos planos, con el fin de amortiguar el efecto de la radiación sobre la cubierta, haciendo disminuir el posible sobrecalentamiento en el interior de la vivienda.

#### Ventanas y puertas:

- Vidriado simple es suficiente.
- Alta hermeticidad al aire sobretodo hacia el sur de la Zona. Ver punto II.1.7 y Figura II.1.7.1.
- Protección solar exterior vertical opaca en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal según latitud en cerramientos vidriados norte.

#### Pisos:

Si se ubican sobre terreno, podría omitirse la aislación térmica. Se hace recomendable este tipo de piso por la estabilidad térmica que ofrece el terreno.

---

<sup>2</sup> Según Listado Oficial de Soluciones Constructivas del MINVU para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

*Forma de la vivienda y adosamiento*

Privilegiar la forma compacta de la vivienda y adosamiento continuo. Si no es posible el diseño compacto y continuo, compensar con estrategias referidas a características higrotérmicas de la envolvente y protección solar. De acuerdo con los resultados presentados III.2.2, es posible llegar a valores cercanos a cero en la demanda de calefacción en la vivienda con menor factor de forma.

*Riesgo de condensación superficial e intersticial*

Cumpliendo con las exigencias mínimas de la RT, en general, no existe riesgo de condensación superficial ni intersticial (en Iquique) en las 4 tipologías de muros estudiadas (ver tipologías de muro en III.2.2.1, figura III.2.2.1.3), según los supuestos en cuanto a presencia de aislante térmico indicados en la tabla III.3.1.2.3. El fenómeno podría ocurrir en sistemas constructivos de albañilería de ladrillos (en mortero de pega) y de bloques de mortero de cemento cuando se trate de ciudades del sur de esta larga Zona (La Serena, Coquimbo).

La figura III.3.1.2.4 muestra los perfiles de temperatura del muro y temperatura de rocío para un muro de albañilería de bloque de hormigón (supuesto en Iquique). El perfil de temperaturas a través del mortero de pega (1) y bloque de hormigón (2) son prácticamente equivalentes. No existe riesgo de condensación superficial e intersticial.

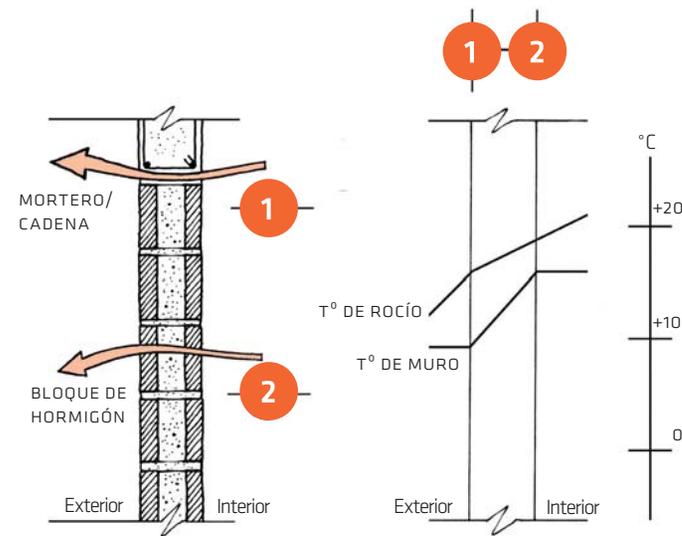
Importante indicar que la albañilería de bloques de mortero presenta mayor riesgo de condensación que muros de ladrillos cerámicos. La condensación en muros de albañilería de bloques puede ocurrir hacia el sur de la Zona, sobretodo si existe insuficiente ventilación en las viviendas. Aquí se recomienda ventilación forzada.

**A3** Ventilación

- La ventilación mecánica controlada (vmc o ventilación forzada) es imprescindible para el control de humedad y contaminantes de manera eficaz y efectiva al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1.7.
- Ventilación natural es posible durante horas de temperaturas menores al máximo de confort en verano (27°C). También en períodos fríos, cuando debe limitarse a lo estrictamente necesario, para evitar exceso de pérdidas de calor. (Ver punto II.1.7).

**Tabla III.3.1.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Iquique.**

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A	1B	1C	1D
	SIN AISLANTE TÉRMICO Y CON AISLANTE TÉRMICO (INTERIOR O EXTERIOR)			
Riesgo de condensación superficial	NO	NO	NO	NO
Riesgo de condensación intersticial	NO	NO	NO	NO



**Figura III.3.1.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de albañilería de bloque de hormigón en vivienda ubicada en Iquique.

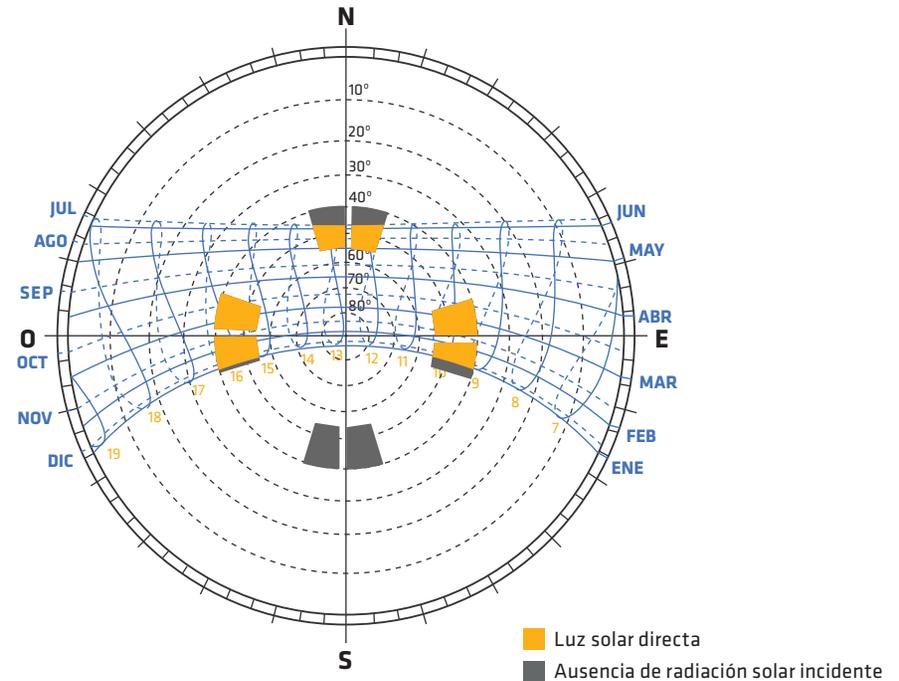
**B ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACION NATURAL**

**IQUIQUE, Región de Tarapacá.**

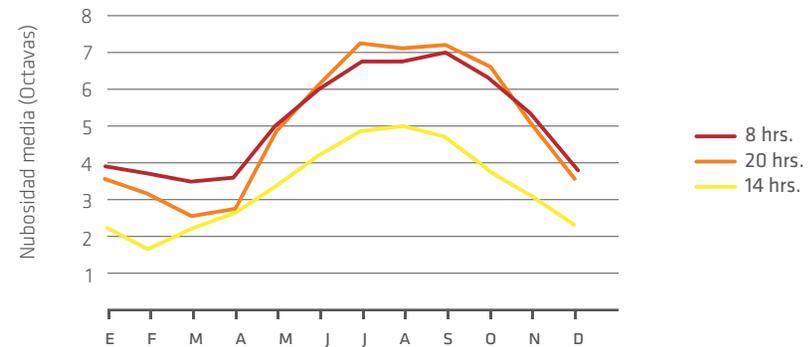
- > Coordenadas geográficas: 20°32'S; 70°11'W
- > Ángulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs: 46,2°
- > Ángulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs: 86,3°
- > Cielo de diseño nublado (modelo CIE): 12.500 lux

La máscara solar de la localidad de Iquique nos presenta una trayectoria del sol cercano a la perpendicular en las horas cercanas al mediodía del solsticio en diciembre y en general durante el período de primavera-verano. A consecuencia de esto, la ventana de orientación norte prácticamente es capaz de iluminar el centro del recinto en estudio (a nivel del suelo) exclusivamente en los meses críticos de invierno, mientras que al orientarse al oriente y poniente la radiación solar directa logra penetrar prácticamente desde octubre a marzo (figura III.3.1.2.5).

Los resultados anteriormente expuestos, si bien hablan de una extensa e intensa exposición solar, la existencia de una no despreciable nubosidad en el cielo, obliga a no descuidar las consideraciones relativas a la iluminación natural en su componente difusa. De acuerdo al gráfico III.3.1.2.2, principalmente las horas de la mañana y en la tarde se concentrará la nubosidad, que de acuerdo a la época de al año variará entre 2,5 y 7 octavas.



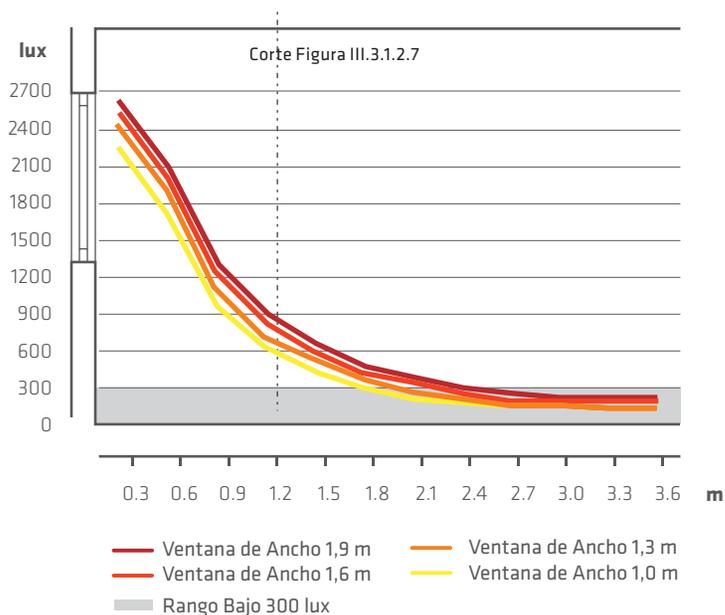
**Figura III.3.1.2.5:** Carta solar de proyección estereográfica para Iquique. Accesibilidad a la luz solar directa en recinto tipo de vivienda social (3,6 x 2,8 m) a través de una ventana de 1,0 x 1,0 m en las distintas orientaciones.



**Gráfico III.3.1.2.2:** Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Iquique. Fuente: Bustamante et al (2001)

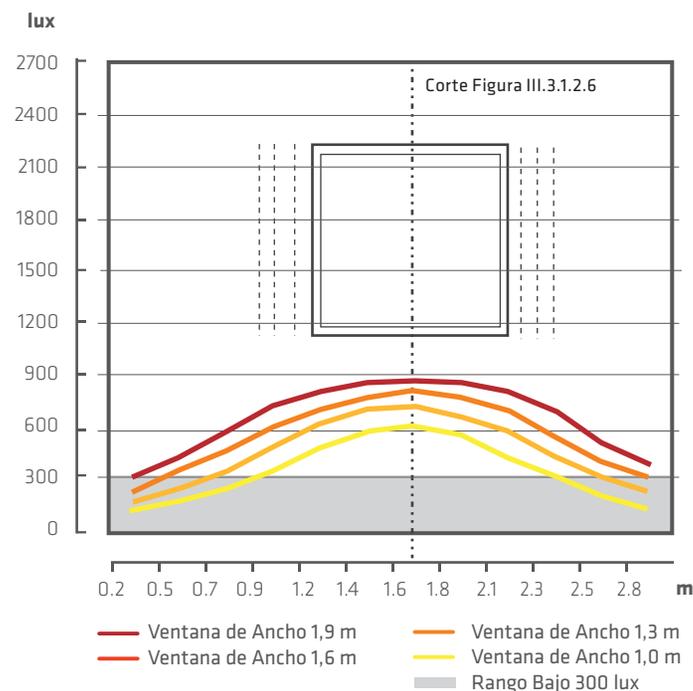
La figura III.3.1.2.6 presenta los niveles de iluminación natural en unidades de lux alcanzados a partir del cálculo del factor de luz diurna para una sección longitudinal del recinto de estudio (por el centro de la ventana) y distintas variaciones de ancho de ventana. Se pueden observar en general, niveles muy satisfactorios, por sobre 300 lux hasta prácticamente 2,0 m de profundidad en planta, para todos los casos estudiados. Estos buenos resultados se pueden explicar desde la definición de un cielo de diseño de una alta intensidad de iluminación (12500 lux), determinado básicamente por su latitud.

En un sentido similar, la figura III.3.1.2.7 presenta el mismo indicador y los mismos casos de estudio, pero esta vez a través de una sección transversal al recinto (distanciado a 1,2 m de la ventana). Nuevamente aquí los resultados son muy satisfactorios en general, aunque - a diferencia del anterior - se aprecia una importante diferencia entre los dos casos extremos (ventanas de ancho 1,0 y 1,9 m) tanto en términos absolutos (diferencia de casi 300 lux) como en distribución de la luz (una porción no despreciable del caso más desfavorable cae bajo el límite de los 300 lux).

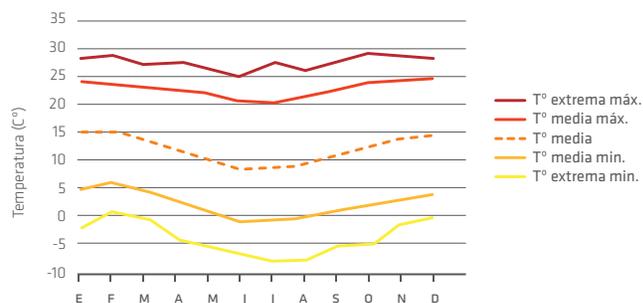
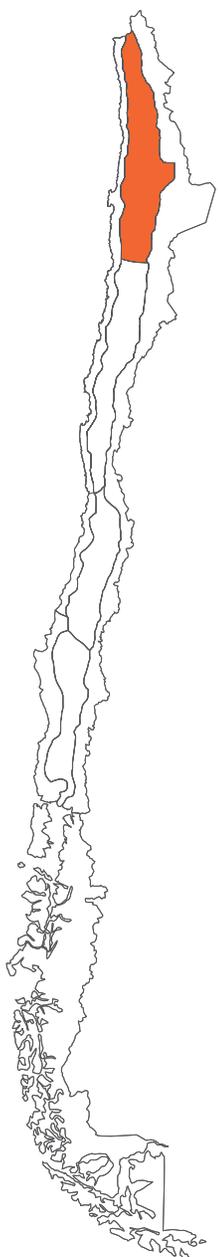


**Figura III.3.1.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Iquique, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

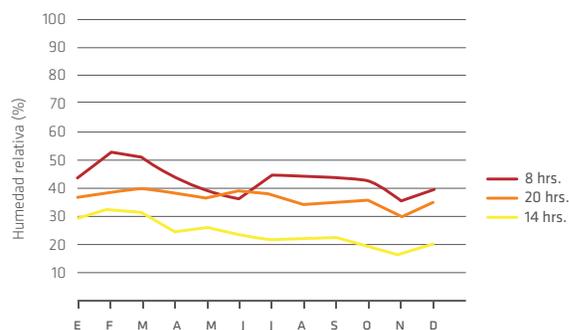
**Nota:** modelos digitales de las Figuras III.3.1.2.6 y III.3.1.2.7 realizados por medio de softwares Ecotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CIE Overcast Sky de 12.500 lux. Se consideraron reflectividad de 0,70; 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.



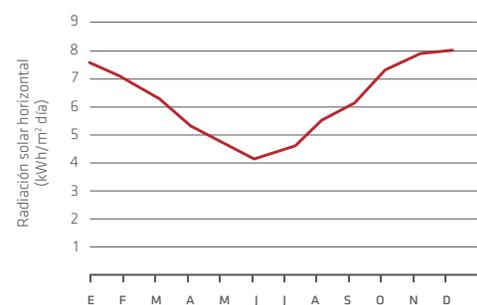
**Figura III.3.1.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Iquique, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.



**Gráfico III.3.2.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Calama.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.2.1.2:** Variación mensual de la H.R. Calama.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



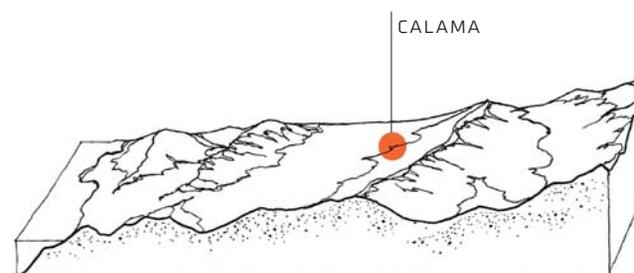
**Gráfico III.3.2.1.3:** Variación mensual de la radiación solar. Calama.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

## III.3.2 ZONA NORTE DESÉRTICA (ND)

### III.3.2.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

#### A CLIMA<sup>1</sup>

- Alta oscilación diaria de temperaturas. Diferencias de temperatura entre el día y la noche mayores a 20°C durante todo el año. Ello implica -en otras palabras- que en un mismo día de cualquier mes se tienen altas y bajas temperaturas.
- Cielos limpios con alto enfriamiento nocturno.
- Baja diferencia en temperaturas medias entre el mes más frío y el más cálido (aproximadamente 6,5°C en Calama).
- La temperatura media máxima es relativamente baja en verano y relativamente alta en invierno.
- Alta radiación solar. Promedios de radiación solar horizontal total entre 4kWh/m<sup>2</sup>día (julio) y 8 kWh/m<sup>2</sup>día (enero).
- Baja humedad ambiental. Promedios mensuales entre 42% (Enero) y 31% (Agosto).
- Bajas precipitaciones. Hasta 60 mm anuales en ciertas localidades, con predominancia entre enero y febrero.
- Vientos intensos de predominancia oeste.



**Figura III.3.2.1.1:** Relieve transversal en latitud 22° (Calama).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

**B ENTORNO**

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 18° y 26° S.
- Escasez de agua. Fuente hídrica fundamental río Loa.
- Terrenos planos de baja pendiente en zonas urbanas, que comienzan a ser más sinuosos en zonas rurales y cercanas a cordillera.
- Terrenos áridos con bajo porcentaje de humedad.
- Presencia de edificios cercanos de baja altura.

**III.3.2.2 RECOMENDACIONES DE DISEÑO**

**A ESTRATEGIAS DE FRÍO Y CALOR**

**A1 Orientación y soleamiento**

Es altamente recomendable que recintos de mayor uso tales como dormitorios y estar comedor se orienten con sus ventanas al norte.

Las tablas III.3.2.2.1 y III.3.2.2.2 muestran los efectos en la demanda de calefacción el variar la orientación de los recintos en las viviendas base de 1 y 2 pisos (descritas en III.2.2.1) supuestas en Calama. Es significativa la demanda de energía en recintos de orientación norte respecto de las restantes.

Cabe señalar que estas demandas de energía corresponden a las viviendas con sistemas constructivos de muro, cielo y ventanas que cumplen los mínimos estándares de transmitancia térmica de la ocuc, Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) para Calama. En ventanas se considera vidriado simple. Sus especificaciones se detallan en I.6.3.3 y III.2.2.1. Ver "A2" del presente punto, en que se muestran demandas de energía con mejores estándares térmicos de la envolvente.

La trayectoria solar (figura III.3.2.2.1) en la latitud 22° (Calama) muestra que en verano la radiación del sol incide prácticamente en forma vertical sobre la techumbre (mediodía solar). También tendrá una alta incidencia en fachadas oriente y poniente.

La figura III.3.2.2.2 muestra la exposición solar (mediodía solar) durante el año en una vivienda de 1 y 2 pisos orientada al norte en Calama para las condiciones planteadas en la figura. La figura III.3.2.2.3 muestra que con 30cm de alero (mínimo exigido) es posible proteger de la radiación solar gran parte del período de verano en una ventana orientada al norte.

**Tabla III.3.2.2.1: CALAMA. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m²año)**

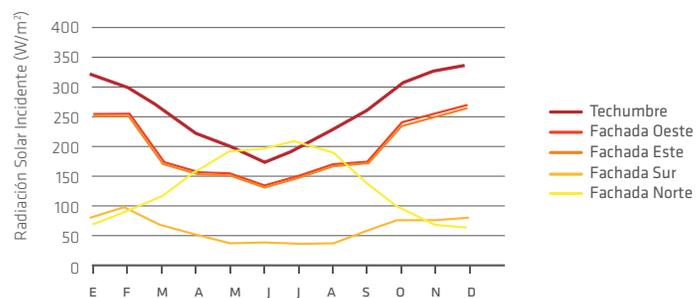
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	138	108
Sur	171	129
Este	161	117
Oeste	147	117

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS

**Tabla III.3.2.2.2: CALAMA. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m²año)**

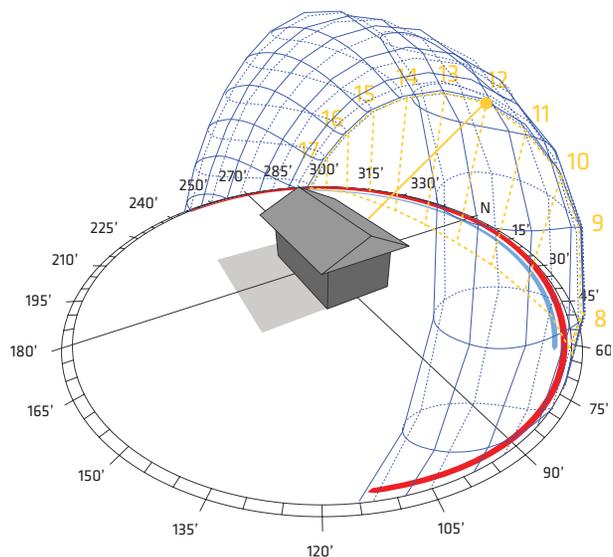
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	99	127
Sur	132	152
Este	130	144
Oeste	106	131

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS



**Gráfico III.3.2.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Calama.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)



> JUNIO

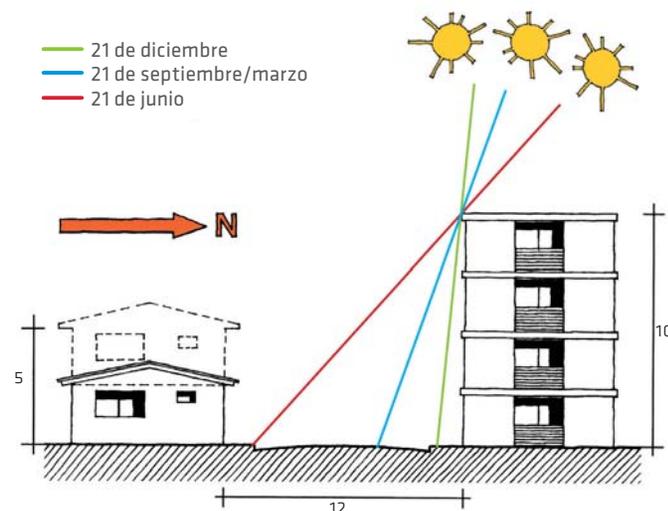
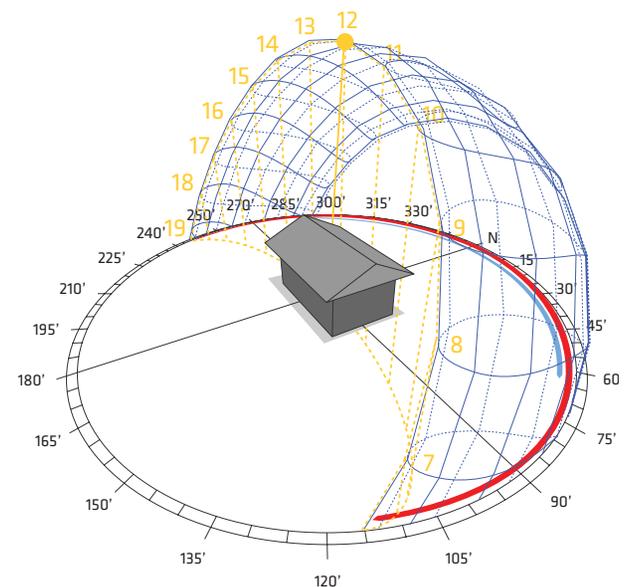


Figura III.3.2.2.2: Exposición solar para un ancho de calle igual a 12m y altura de edificio que obstruye radiación solar directa, en la ciudad de Calama.



> DICIEMBRE

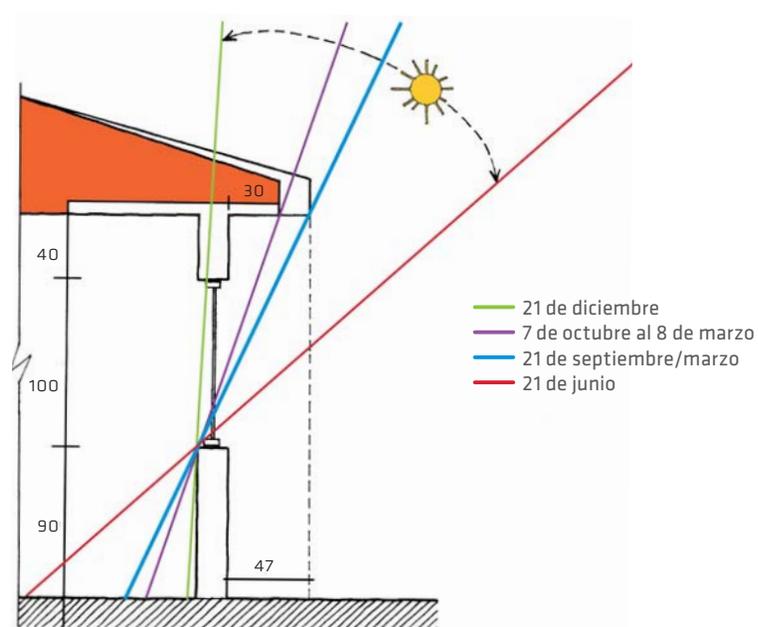


Figura III.3.2.2.3: Dimensionamiento de protección horizontal norte, para latitud 22° (Calama).

Figura III.3.2.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 22° (Calama).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

**A2** Características higrotérmicas de la envolvente

*Componentes*

Muros:

- Muros con alta inercia térmica (hormigón armado y albañilerías de ladrillo y bloque de hormigón) aislados térmicamente por el exterior. Con ello se amortigua la oscilación térmica exterior, se retarda la hora de temperatura interior máxima respecto de lo que ocurre en el ambiente exterior. Las tablas III.3.2.2.3 y III.3.2.2.4 muestran valores referenciales de demanda de calefacción al aislar en el exterior los muros (o en la cavidad de la estructura de madera) de las viviendas tipo de 1 y 2 pisos. Recuérdese que las viviendas base de comparación presentan las exigencias mínimas de la OGUC Artículo 4.1.10, para Calama, con vidriado simple en ventanas. Ver puntos I.6.3.3 y III.2.2.1. Se considera la orientación norte de las viviendas según lo indicado en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2.
- Muros interiores idealmente de alta inercia térmica. Ello es altamente recomendable en viviendas con envolvente liviana con aislación térmica.
- Muros envolventes de estructuras livianas deben contemplar cámara de aire exterior ventilada para aminorar efecto de la radiación solar sobre la piel. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12. También se recomienda alta impermeabilidad al aire.
- Utilización de colores claros en fachadas, estos permiten una mayor reflexión de la radiación solar incidente, disminuyendo la ganancia de calor a través de la envolvente opaca.
- Evitar puentes térmicos en todo sistema constructivo utilizado en muros y los restantes componentes de la envolvente.

Techumbre:

Cubierta ventilada con 60mm de aislación mínimo<sup>2</sup>. El aumentar la aislación térmica en cielo generará reducciones de hasta aproximadamente un 7% al considerar 100mm de aislante térmico en cielo. Se recomienda considerar el aumento de aislación en cielo debido a las bajas temperaturas nocturnas en esta zona. Es recomendable la ventilación del entretecho (sobre el aislante térmico), que permite amortiguar el efecto de la radiación sobre la cubierta durante el día.

Posible uso de lucarna con vidrio vertical para acceder al sol en invierno, en especial en viviendas de un piso y hacia recintos ubicados en orientación sur.

**Tabla III.3.2.2.3: CALAMA. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	60		
	MURO (mm)	20	40	60
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	102	97	95
	Albañilería de ladrillo (1B)	100	96	94
	Hormigón Armado (1C)	103	98	95
	Estructura en madera (1D)	104	99	96

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Nota: En Calama, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 123 kWh/m<sup>2</sup>año

**Tabla III.3.2.2.4: CALAMA. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	60		
	MURO (mm)	20	40	60
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	77	68	64
	Albañilería de ladrillo (1B)	72	66	63
	Hormigón Armado (1C)	79	69	65
	Estructura en madera (1D)	81	71	67

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Nota: En Calama, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 113 kWh/m<sup>2</sup>año

<sup>2</sup> Según Listado Oficial de Soluciones Constructivas del MINVU para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

La tabla III.3.2.2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de las viviendas de 1 y 2 pisos. Éstas corresponden a las presentadas en el punto III.3 en que supone 100 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 60 mm de aislante térmico en muro y vidrioado doble (DVH) en ventanas. La vivienda de un piso no presenta tragaluz en techumbre, tal como ha sido recomendado.

**Tabla III.3.2.2.5: CALAMA.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

	1 PISO	2 PISOS
<b>AISLADA</b>	61	38
<b>PAREADA</b>	58	35
<b>CONTINUA</b>	55	33

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Ventanas y puertas:

- Se recomienda el uso del DVH debido a las bajas temperaturas nocturnas.
- Alta hermeticidad al aire. Ver punto II.1.7 y figura II.1.7.1
- Protección solar exterior vertical opaca en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal según latitud en cerramientos vidriados norte.

Pisos:

Se recomienda piso sobre terreno. Idealmente debe tener aislante térmico. Si el piso es ventilado se deberá utilizar 40mm de aislante térmico como mínimo<sup>3</sup>.

*Forma de la vivienda y adosamiento.*

Recomendable un bajo factor de forma (alta compacidad). En casas conseguirla por la vía de un perímetro regular o adosamiento más que a través de dos o más pisos. Ello debido a que existe alta radiación en techo, a la cual puede accederse a través de elementos vidriados verticales con casi nula o escasa (según latitud) protección solar. Ver figura III.1.3.4 del punto III.1.3. En otras palabras, casas de un piso son preferibles para acceder al sol (intenso en invierno) a través de la techumbre.

*Riesgo de condensación superficial e intersticial.*

Las bajas temperaturas nocturnas, hacen necesario el análisis de este fenómeno.

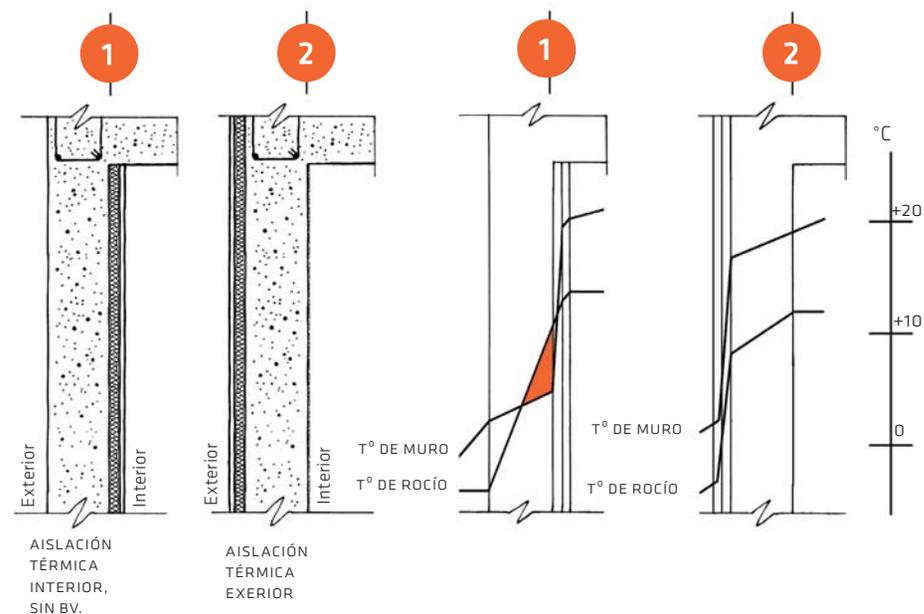
La tabla III.3.2.2.6 muestra los riesgos de condensación superficial e intersticial en soluciones constructivas de muros (ver detalle de soluciones constructivas en III.2.2.1) para condiciones de invierno. Existe condensación intersticial en los casos en que se instala aislante térmico interior, ello se podría evitar agregando barrera de vapor instalada lo más al interior posible. Nótese que en este caso, los puentes térmicos persisten, con el consiguiente riesgo de condensación y la existencia de mayores pérdidas de calor.

<sup>3</sup> Para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>.

La figura III.3.2.2.4 muestra el riesgo de condensación en un muro de hormigón (“1C”) aislado térmicamente con 20mm de poliestireno expandido. La presencia de aislante térmico exterior prácticamente anula el riesgo de condensación, presente en la solución con aislante térmico interior, incluido en el puente térmico formado por la cadena de hormigón armado. Con un espesor mayor de aislante térmico exterior (recomendable) el problema tampoco existirá (ver tabla III.3.2.6). En el caso de que un sistema constructivo presente aislante térmico interior en muros, debe instalarse una barrera de vapor lo más al interior posible, para eliminar el riesgo de condensación intersticial.

**A3 Ventilación**

- La ventilación mecánica controlada (VMC o ventilación forzada) es imprescindible para el control de la humedad y de contaminantes de manera eficaz y efectiva al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1.7.
- Ventilación natural es posible durante horas de temperaturas menores al máximo de confort en verano (27°C). También en períodos fríos, cuando debe limitarse a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor. (Ver punto II.1.7).



**Figura III.3.2.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de hormigón armado con aislación térmica interior y exterior de poliestireno expandido de 20mm. Análisis para vivienda ubicada en Calama.

Tabla III.3.2.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Calama.											
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A			1B			1C		1D		
	SIN AISLANTE TÉRMICO	10mm A 60mm AISLANTE TÉRMICO		SIN AISLANTE TÉRMICO	10mm A 60mm AISLANTE TÉRMICO		10mm A 60mm AISLANTE TÉRMICO		SIN AISLANTE TÉRMICO	10mm A 60mm AISLANTE TÉRMICO	
		EXTERIOR	INTERIOR+BV		EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV		SIN BV	CON BV
Riesgo de condensación superficial	Sí, en mortero de pega	No	No	Sí, en mortero de pega	No	No	No	No	No	No	No
Riesgo de condensación intersticial	Sí, en mortero de pega	No	No	Sí, en mortero de pega	No	No	No	No	No	No	No

Fuente: *Elaboración propia.*

## B ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACION NATURAL

### CALAMA, Región de Antofagasta.

- > Coordenadas geográficas: 22°28'S; 68°54'W
- > Ángulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs: 44,2°
- > Ángulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs: 88,7°
- > Cielo de diseño nublado (modelo CIE): 11.500 lux

La cercanía de esta localidad con el Trópico de Capricornio (23°26'S) produce que el ángulo de altitud del sol sea perpendicular durante el solsticio de verano (figura III.3.2.2.5). Esto genera una trayectoria solar muy alta durante el período estival, lo que se puede traducir en una carga importante de radiación en las superficies horizontales (cubiertas, por ejemplo). Por esta misma razón, los rayos solares – al igual que el caso anterior – alcanzan el suelo al centro del recinto durante el verano en las orientaciones oriente y poniente (figura III.3.2.2.5).

El gráfico III.3.2.2.2 demuestra que en relación a esta localidad, se está en presencia de cielos muy claros, puesto que para la casi totalidad del año la nubosidad se sitúa en un rango entre 0,5 y 1,5 octavas. La excepción la constituye los meses de enero y febrero, que aunque si bien la nubosidad aumenta (hasta una media de 3 octavas), todavía se puede considerar a la componente difusa de la luz solar como claramente minoritaria.

Si bien todo lo anteriormente expuesto apunta a que en Calama los desafíos de diseño irán por el lado del control y/o aprovechamiento de la luz solar en su componente directa, la figura III.3.2.2.6 presenta los resultados obtenidos en términos de iluminación natural bajo condiciones estandarizadas de cielo nublado para una sección longitudinal del recinto de estudio y 4 dimensiones de ventana. Nuevamente, producto de un cielo de diseño de una alta intensidad de iluminación (11.500 lux), la distribución al interior del recinto alcanza niveles muy favorables hasta casi los 2,0 m de profundidad de la planta.

La figura III.3.2.2.7 presenta nuevamente las curvas de intensidad de iluminación natural en unidades de lux para una sección transversal del recinto de estudio. De los 4 distintos tipos de ventanas, prácticamente solo la más ancha logra asegurar una autonomía con respecto a la iluminación artificial, puesto que garantiza 300 lux hacia los bordes del recinto. este dato resulta interesante en la medida por ejemplo, que el diseñador disponga el emplazamiento de un escritorio hacia algún borde del recinto en esta sección de la planta.

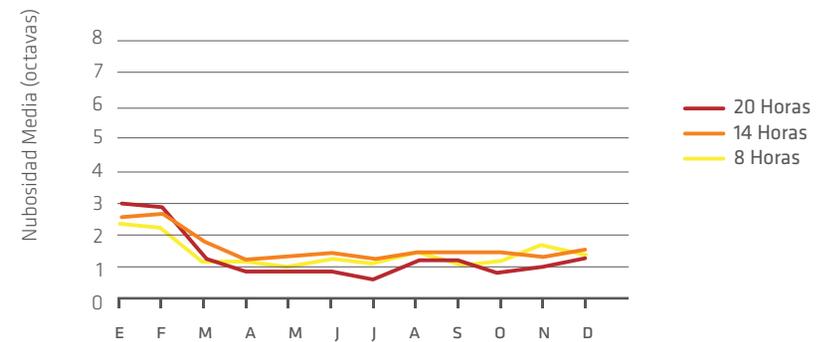
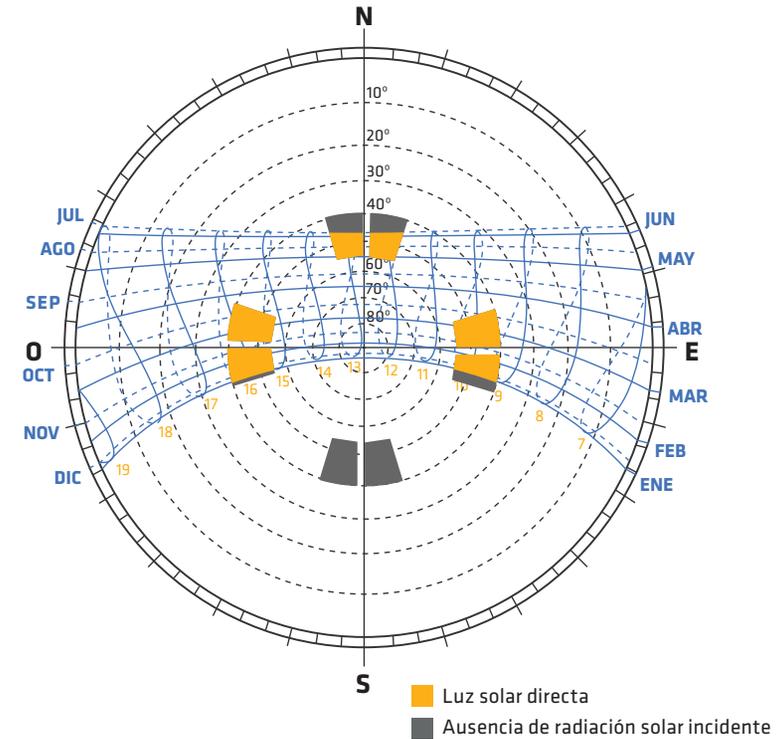
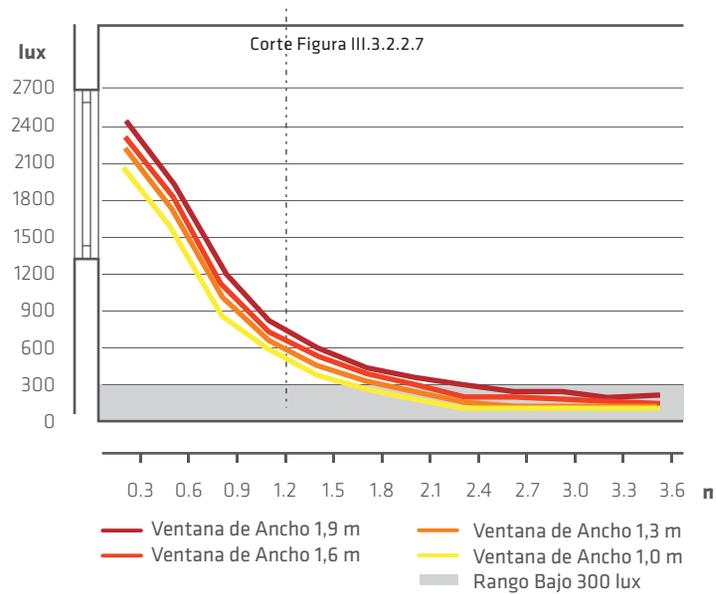
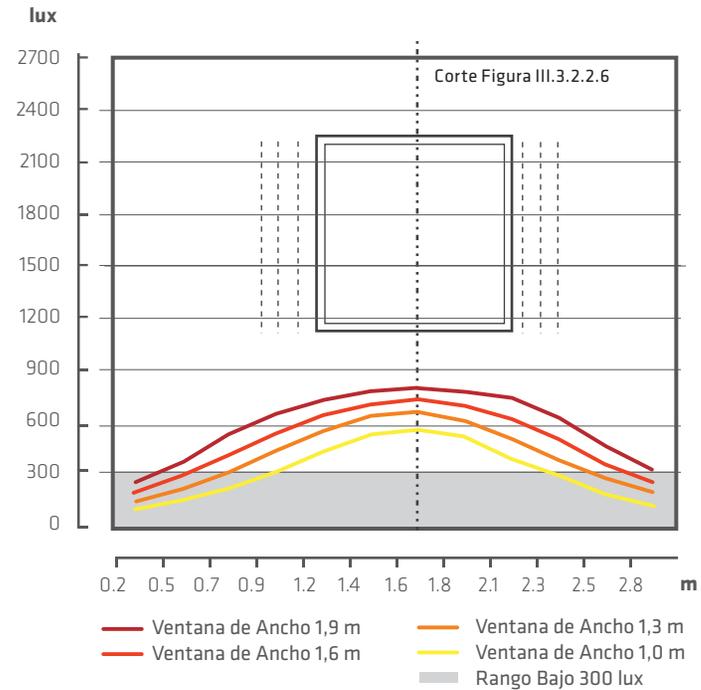


Gráfico III.3.2.2.2: Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Calama. Fuente: Bustamante et al (2001)

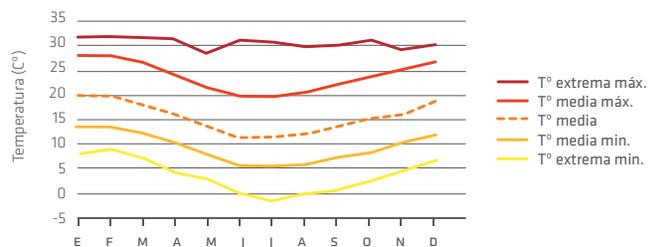
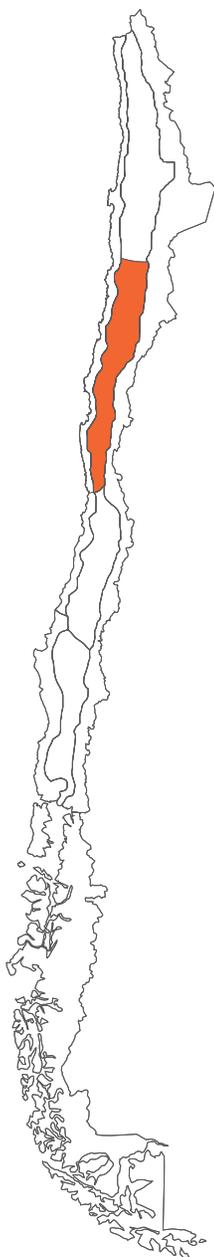


**Figura III.3.2.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Calama, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

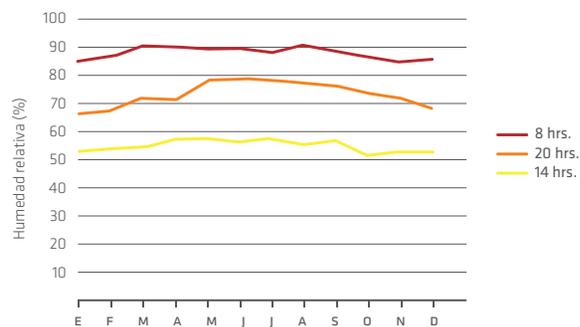


**Figura III.3.2.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Calama, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna

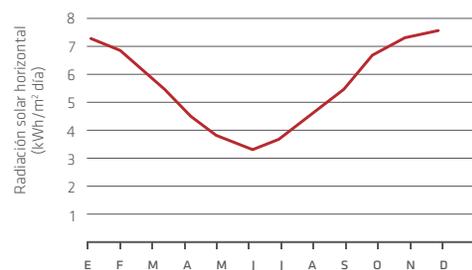
**Nota:** modelos digitales de las figuras III.3.2.2.6 y III.3.2.2.7 realizados por medio de softwares Ecotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CIE Overcast Sky de 11.500 lux. Se consideraron reflectividades de 0,70; 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.



**Gráfico III.3.3.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Copiapó.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.3.1.2:** Variación mensual de la H.R. Copiapó.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.3.1.3:** Variación mensual de la radiación solar, Copiapó.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

### III.3.3 ZONA NORTE VALLES TRANSVERSALES (NVT)

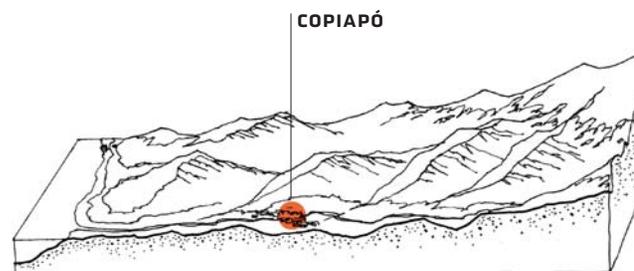
#### III.3.3.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

##### A CLIMA<sup>1</sup>

- Escalación media mensual con valores cercanos a los 15°C.
- Alta radiación solar en verano y moderada en invierno. Promedios de radiación solar horizontal total entre 3,4kWh/m<sup>2</sup>día (julio) y 7,4kWh/m<sup>2</sup>día (enero).
- Alta humedad ambiental. Promedios mensuales entre 0% (enero) y 6% (julio).
- Precipitaciones bajas. Máxima diaria de 58,6mm, media anual de 12mm.
- Vientos moderados de predominancia oeste.

##### B ENTORNO

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 25,4° y 32,2° S.
- Terrenos planos de baja pendiente en zonas urbanas, que comienzan a ser más sinuosos en zonas rurales y cercanas a cordillera.
- Terrenos áridos con bajo porcentaje de humedad.
- Presencia de edificios cercanos de baja y mediana altura.



**Figura III.3.3.1.1:** Relieve transversal en latitud 27° (Copiapó).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

### III.3.3.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

#### A ESTRATEGIAS DE FRÍO Y CALOR

##### A1 Orientación y soleamiento

Es altamente recomendable que recintos de mayor uso tales como dormitorios y estar comedor se orienten con sus ventanas al norte.

La orientación de recintos como dormitorios y living-comedor hacia el sur genera un aumento en la demanda de calefacción que afectará el confort de las personas de manera importante (ver valores referenciales en tablas III.3.3.2.1 y III.3.3.2.2 para ciudad de Copiapó).

Cabe señalar que una demanda alta de energía de calefacción en un recinto o en una vivienda en general, es equivalente a indicar que éstas presentarán temperaturas por bajo el estándar de confort en la medida que no se tenga calefacción encendida.

Las demandas de energía que se presentan en las tablas respectivas corresponden a las viviendas con sistemas constructivos de muro, cielo y ventanas que cumplen los mínimos estándares de transmitancia térmica de la OGUC, Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) para Copiapó. En ventanas se considera vidriado simple. Sus especificaciones se detallan en I.6.3.3 y III.2.2.1. Ver “A2” del presente punto, en que se muestran demandas de energía con mejores estándares térmicos de la envolvente.

La figura III.3.3.2.1 muestra el movimiento del sol en la latitud 27° (Copiapó), al igual que en Calama, en verano afectará directamente la techumbre en ángulo cercano a los 90° (ver gráfico III.3.3.2.1). La altura solar en esta zona permitirá buena protección solar en invierno con los 30cm de alero mínimo exigidos (ver figura III.3.3.2.3). La figura III.3.3.2.2 muestra como un edificio de 4 pisos provoca escasa o nula sombra durante el año en una vivienda de 1 o 2 pisos ubicada a 12 metros de él.

**Tabla III.3.3.2.1: COPIAPÓ. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m²año)**

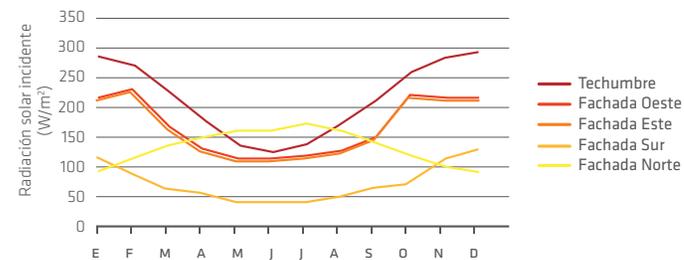
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	67	48
Sur	87	60
Este	81	54
Oeste	73	54

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS

**Tabla III.3.3.2.2: COPIAPÓ. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m²año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	55	59
Sur	75	72
Este	74	69
Oeste	59	61

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS



**Gráfico III.3.3.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Copiapó.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

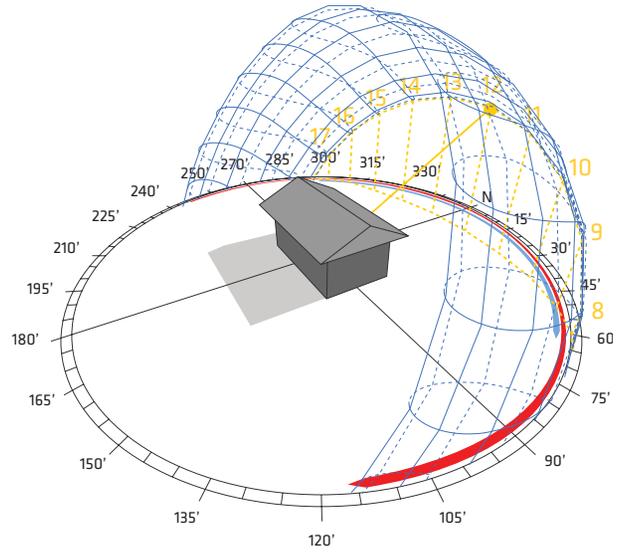


Figura III.3.3.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 27° (Copiapó).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

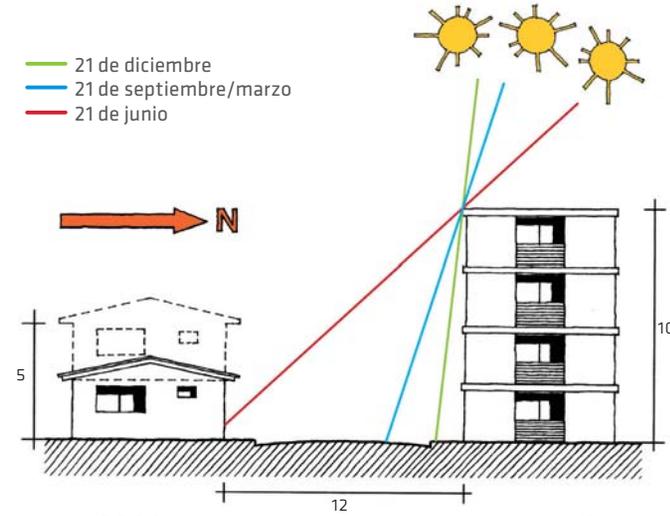
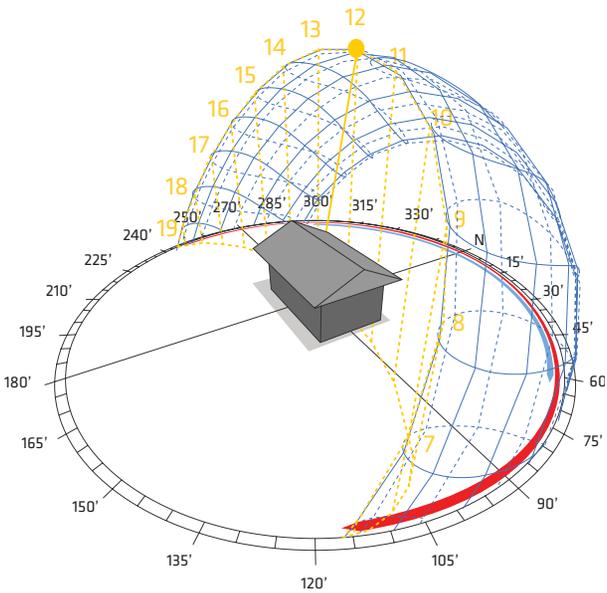


Figura III.3.3.2.2: Exposición solar para un ancho de calle igual a 12m y altura de edificio que obstruye radiación solar directa, en la ciudad de Copiapó.



> DICIEMBRE

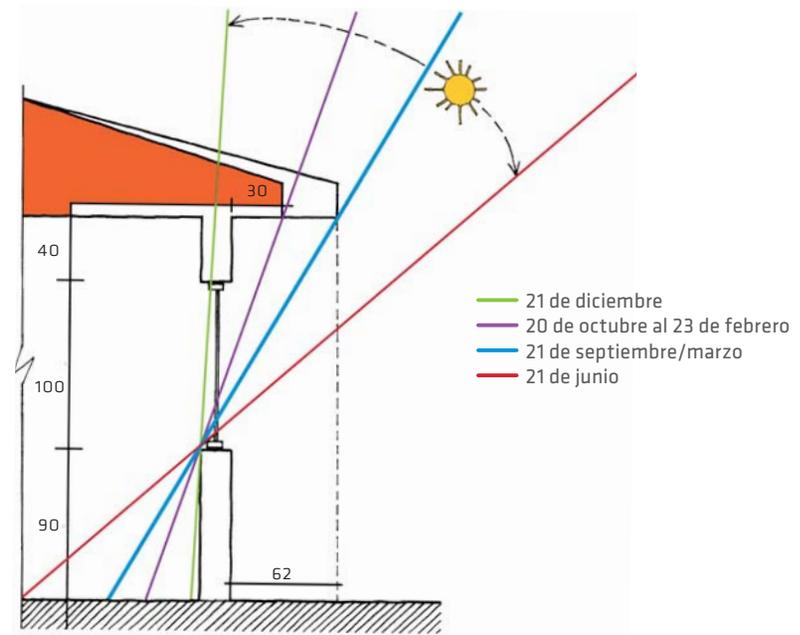


Figura III.3.3.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 27° (Copiapó).

**A2** Características higrotérmicas de la envolvente

*Componentes*

El conjunto de los componentes de la envolvente y las juntas entre ellas deben presentar alta impermeabilidad al aire (evitar infiltraciones de aire).

Muros:

Las temperaturas templadas en verano y bajas en invierno hacen eficientes energéticamente:

- Muros con alta inercia térmica (hormigón armado y albañilerías de ladrillo y bloque de hormigón) aislados térmicamente por el exterior. Con ello se amortigua la oscilación térmica exterior, se retarda la hora de temperatura interior máxima respecto de lo que ocurre en el ambiente exterior. Las tablas III.3.3.2.3 y III.3.3.2.4 muestran valores referenciales de demanda de calefacción al aislar en el exterior los muros (o en la cavidad de la estructura de madera) de las viviendas tipo de 1 y 2 pisos. Recuérdese que las viviendas base de comparación presentan las exigencias mínimas de la OGUC, Artículo 4.1.10 para Copiapó, con vidriado simple en ventanas. Ver puntos I.6.3.3 y III.2.2.1. Se considera la orientación norte de las viviendas según lo indicado en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2.
- Muros interiores idealmente de alta inercia térmica. Ello es altamente recomendable en viviendas con envolvente liviana aisladas térmicamente.
- Muros envolventes de estructuras livianas deben contemplar cámara de aire exterior ventilada para aminorar efecto de la radiación solar sobre la piel. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.
- Utilización de colores claros en fachadas, estos permiten una mayor reflexión de la radiación solar incidente, disminuyendo la ganancia de calor a través de la envolvente opaca.
- Evitar puentes térmicos en todo sistema constructivo utilizado en muros y los restantes componentes de la envolvente.

**Tabla III.3.3.2.3: COPIAPÓ. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	40	
	MURO (mm)	20	40
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	45	42
	Albañilería de ladrillo (1B)	43	42
	Hormigón Armado (1C)	45	42
	Estructura en madera (1D)	47	44

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Nota: Copiapó. Demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 59 kWh/m<sup>2</sup>año

**Tabla III.3.3.2.4: COPIAPÓ. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	40	
	MURO (mm)	20	40
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	33	29
	Albañilería de ladrillo (1B)	31	28
	Hormigón Armado (1C)	34	29
	Estructura en madera (1D)	38	32

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Nota: Copiapó. Demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 58 kWh/m<sup>2</sup>año

**Techumbre:**

Cubierta ventilada con 60 mm de aislación mínimo<sup>2</sup>. Considerar el aumento de aislación en zonas cercanas a la cordillera, para evitar pérdidas de calor durante la noche. Es recomendable la ventilación del entretecho (sobre el aislante térmico), que permite amortiguar el efecto de la radiación sobre la cubierta durante el día.

Posible uso de lucarna con vidrio vertical para acceder al sol en invierno, en especial en viviendas de un piso y hacia recintos ubicados en orientación sur.

**Ventanas y puertas:**

- Se recomienda el uso del DVH en ventanas.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. Ver punto II.1. y figura II.1. .1
- Protección solar exterior vertical opaca exterior en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal según latitud en cerramientos vidriados norte.

**Pisos:**

Se recomienda su ubicación sobre el terreno con aislación térmica. Si el piso es ventilado se deberá utilizar 50mm de aislante térmico como mínimo<sup>3</sup>.

**Forma de la vivienda y adosamiento**

Recomendable un bajo factor de forma (alta compacidad). En casas conseguirla por la vía de un perímetro regular o adosamiento más que a través de dos o más pisos. Ello debido a que existe alta radiación en techo, a la cual puede accederse a través de elementos vidriados verticales con escasa (según latitud) protección solar. Ver figura III.1.3.4 del punto III.1.3. En otras palabras, casas de un piso son preferibles para acceder al sol (intenso en invierno) a través de la techumbre.

La tabla III.3.3.2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 60 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 40mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (DVH) en ventanas. La vivienda de un piso no presenta tragaluz en techumbre tal como ha sido recomendado.

**Tabla III.3.3.2.5: COPIAPÓ.  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)**

	<b>1 PISO</b>	<b>2 PISOS</b>
<b>AISLADA</b>	29	18
<b>PAREADA</b>	27	16
<b>CONTINUA</b>	26	14

**Fuente:** *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

<sup>2</sup> Según Listado Oficial de Soluciones Constructivas del MINVU para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>.

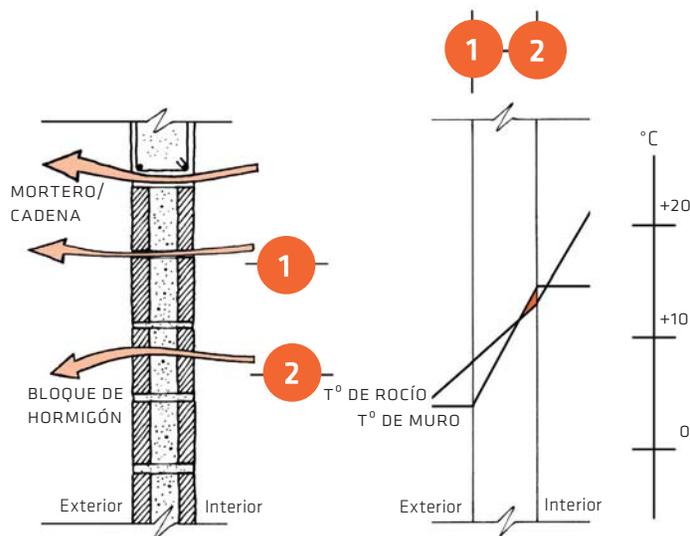


Figura III.3.3.2.4: Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de albañilería de bloque de hormigón en vivienda ubicada en Copiapó. Perfil de temperaturas a través de bloque de hormigón y mortero de pega.

Riesgo de condensación superficial e intersticial

El riesgo de condensación existente en los muros de una vivienda ubicada en Copiapó, dependiendo del sistema constructivo que utilice (ver detalle de sistemas constructivos en III.2.2.1), se presenta en la tabla III.3.3.2.6. En todos los muros de albañilería y de hormigón se produce condensación intersticial (para las condiciones estudiadas) si se instala aislación térmica interior, la que se evita con barrera de vapor (BV) ubicada lo más al interior posible. También se evita con BV en sistema de estructura de madera.

La figura III.3.3.2.4 muestra el caso “1A” correspondiente a un muro de albañilería de bloque de hormigón. El perfil de temperaturas presentado representa lo que sucede tanto a través del bloque de hormigón como a través del mortero de cemento, existiendo riesgo de condensación superficial e intersticial en ambos casos. También existe alto riesgo de condensación en la cadena de hormigón. Este riesgo se elimina aislando térmicamente el muro por el exterior, ó aislando por el interior y colocando barrera de vapor lo más adentro posible. Nótese que la aislación térmica interior deja descubierto el puente térmico, lo que implica que en ella persiste el riesgo de condensación junto con mayores pérdidas de calor

A3 Ventilación

- La ventilación mecánica controlada (VMC o ventilación forzada) es imprescindible para el control de humedad y contaminantes de manera eficaz y efectiva. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1.7.
- Ventilación natural es posible durante horas de temperaturas menores al máximo de confort en verano (27°C). También en períodos fríos, cuando debe limitarse a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor. (Ver punto II.1.7).

Tabla III.3.3.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Copiapó.

SOLUCIONES	1A		1B		1C		1D					
	SIN AISLANTE TÉRMICO	10mm A 40mm AISLANTE TÉRMICO		SIN AISLANTE TÉRMICO	10mm A 40mm AISLANTE TÉRMICO		SIN AISLANTE TÉRMICO	10mm A 40mm AISLANTE TÉRMICO				
		EXTERIOR	INTERIOR+BV		EXTERIOR	INTERIOR+BV		EXTERIOR	INTERIOR+BV	SIN BV	CON BV	
Riesgo de condensación superficial	Sí	No	No	Sí, en mortero de pega	No	No	Sí	No	No	No	No	
Riesgo de condensación intersticial	Sí	No	No	Sí, en mortero de pega	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No

Fuente: Elaboración propia.

## B ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACION NATURAL

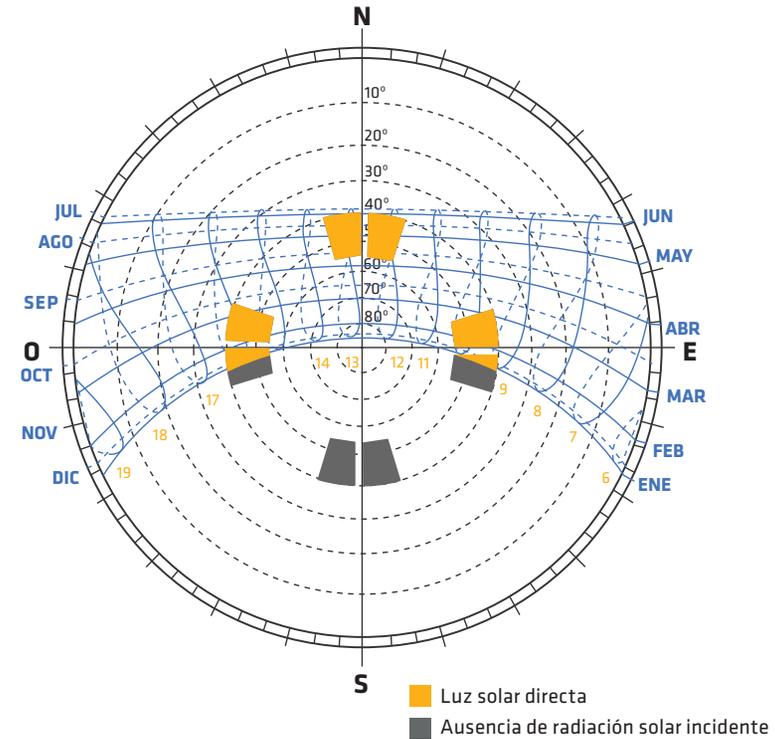
### COPIAPÓ, Región de Atacama

- > Coordenadas geográficas: 27°18'S; 70°25'W
- > Angulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs: 39,3°
- > Angulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs: 85,8°
- > Cielo de diseño nublado (modelo CIE): 10.000 lux

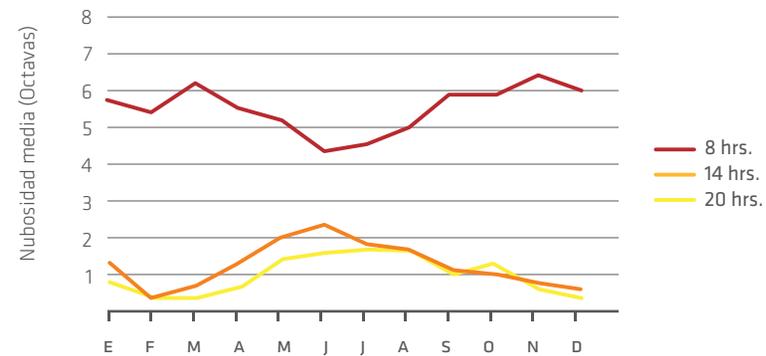
La localidad de Copiapó, emplazada en una latitud algo más meridional que los dos casos precedentes, presenta una trayectoria solar bastante similar a las ya presentadas, mostrando, eso sí, el efecto de ángulos de altitud menos inclinados, tanto para el verano como para el invierno (figura III.3.3.2.5). La ubicación de la ventana norte en el trazado de la máscara solar, refuerza este concepto, puesto que los rayos solares logran penetrar buena parte del año, específicamente desde mayo a agosto. En cambio, las ventanas oriente y poniente comienzan a perder protagonismo, puesto que el acceso a la radiación solar empieza a ser más limitado.

Las curvas mensuales de nubosidad media para Copiapó mostradas en el gráfico III.3.3.2.2, presenta una situación muy común a las localidades emplazadas en la costa e incluso interior del Norte Chico chileno. Aquí aparece con claridad como la mayor parte del año, los cielos son sumamente claros, alcanzando como situación más desfavorable (en invierno) una media de 2,5 octavas. La excepción la constituyen las horas de la mañana, ya que, asimismo en todo el año, aparece una nubosidad persistente y siempre situada en un rango entre los 4,3 y 6, 4 octavas.

Los resultados obtenidos mediante la simulación de factor de luz diurna para condiciones de cielo nublado para una sección longitudinal del caso de estudio (figura III.3.3.2.6), presenta una disminución general de los valores alcanzados con respecto a los casos anteriores (producto de un cielo de diseño menos intenso de 10.000 lux). Esta reducción se puede apreciar en la reducción de los valores en las inmediaciones de la ventana así como en la definición (en relación a la profundidad del recinto) del punto en el cual las curvas descienden por debajo de los 300 lux. El primer fenómeno por cierto, puede convertirse en un elemento favorable, ya que sin perder una buena distribución de la iluminación natural, se reduce el riesgo de deslumbramiento (por valores demasiado altos).

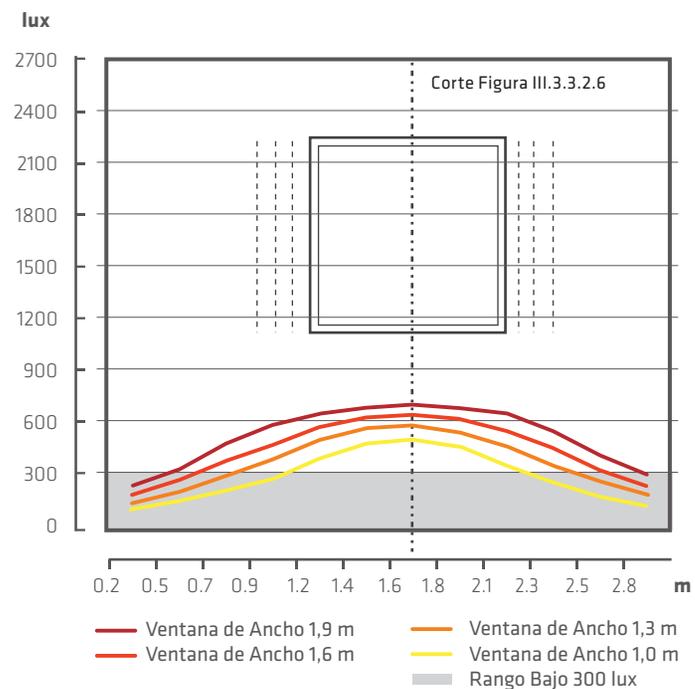
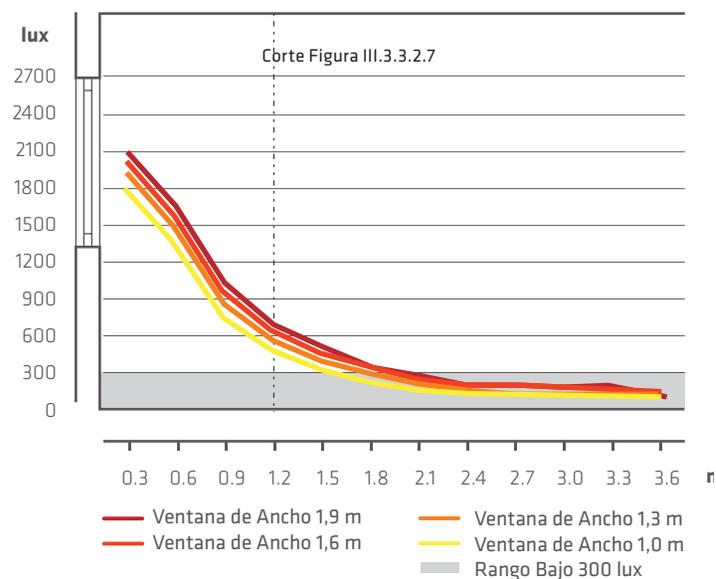


**Figura III.3.3.2.5:** Carta solar de proyección estereográfica para Copiapó. Accesibilidad a la luz solar directa en recinto tipo de vivienda social (3,6 x 2,8 m) a través de una ventana de 1,0 x 1,0 m en las distintas orientaciones.



**Gráfico III.3.3.2.2:** Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Copiapó. Fuente: Bustamante et al (2001)

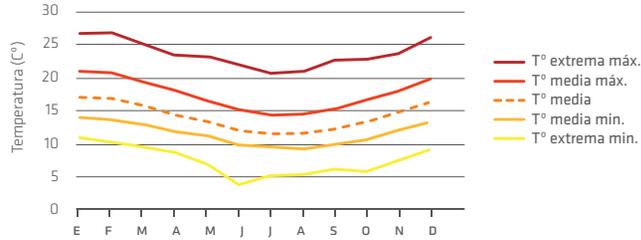
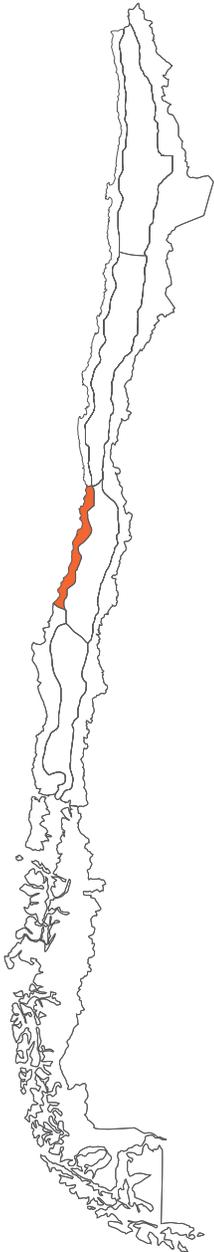
La figura III.3.3.2.7 refuerza la impresión anterior, puesto que el borde más alejado de la ventana en esta sección transversal (la ventana no está ubicada simétricamente) presentan valores que en todos los casos caen bajo el límite de los 300 lux. Resulta interesante notar, que a pesar de esto, y al igual que los casos anteriores, la diferencia entre los valores de los dos casos extremos (las ventanas de 1,0 y 1,9 m de ancho) es apreciable, llegando hasta alrededor de 250 lux hacia el centro de la ventana.



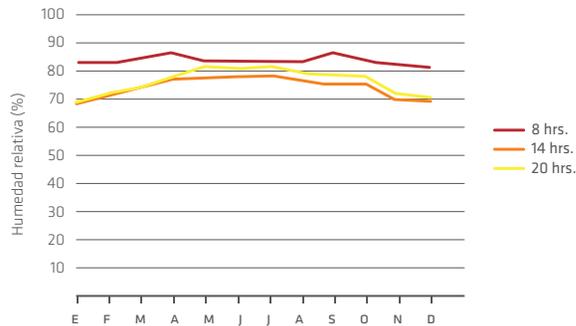
**Figura III.3.3.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Copiapó, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

**Figura III.3.3.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Copiapó, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

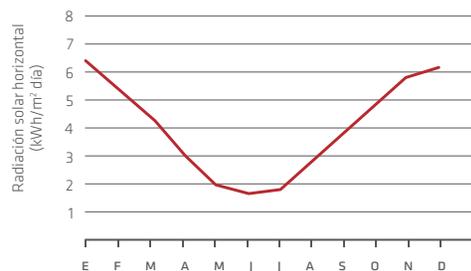
**Nota:** modelos digitales de las figuras III.3.3.2.6 y III.3.3.2.7 realizados por medio de softwares Ecotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CIE Overcast Sky de 10.000 lux. Se consideraron reflectividades de 0,70; 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.



**Gráfico III.3.4.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Valparaíso.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.4.1.2:** Variación mensual de la H.R. Valparaíso.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



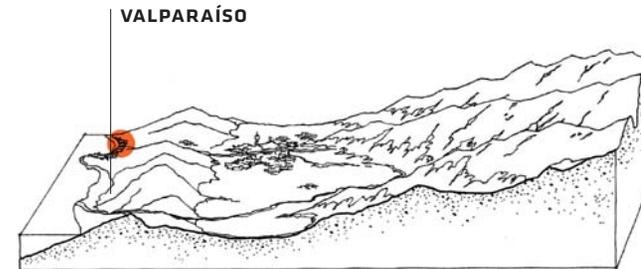
**Gráfico III.3.4.1.3:** Variación mensual de la radiación solar. Valparaíso.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

## III.3.4 ZONA CENTRAL LITORAL (CL)

### III.3.4.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

#### A CLIMA

- Temperaturas promedio moderadas a lo largo de todo el año.
- Temperatura promedio máxima en verano bajo la máxima de confort.
- Baja oscilación diaria de temperaturas media mensual. Cerca de  $^{\circ}\text{C}$  en verano y sólo  $5^{\circ}$  en invierno.
- Alta nubosidad durante todo el año. En verano, alta probabilidad de nubosidad matutinal que disipa a mediodía.
- Alta radiación solar en verano y moderada en invierno. Promedios de radiación solar horizontal total entre  $1.7\text{ kWh/m}^2\text{ día}$  (julio) y  $6,1\text{ kWh/m}^2\text{ día}$  (enero).
- Alta humedad ambiental durante todo el año. Promedios mensuales entre  $8\%$  (enero) y  $84\%$  (julio).
- Precipitaciones moderadas concentradas en meses de invierno. Varían entre  $300\text{ mm}$  anuales en el norte hasta cerca de  $800\text{ mm}$  anuales en el sur. Máxima de 24 horas oscila entre aproximadamente  $80\text{ mm}$  en el norte hasta sobre  $120\text{ mm}$  en el sur de la Zona.
- Vientos débiles de predominancia SW. Vientos intensos combinados con lluvia.



**Figura III.3.4.1.1:** Relieve transversal en latitud  $33^{\circ}$  (Valparaíso).

1 Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

**B ENTORNO**

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 32,2° y 36° S.
- Terrenos sinuosos con pendientes escalonadas.
- Presencia de edificios cercanos de baja altura.
- Ambiente húmedo y salino.

**III.3.4.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO**

**A ESTRATEGIAS DE FRÍO Y CALOR**

**A1 Orientación y soleamiento**

Recomendable recintos de mayor uso en la vivienda orientados al norte.

La orientación de recintos como dormitorios y living-comedor hacia el sur genera un aumento en la demanda de calefacción, lo que es equivalente a indicar que si no existe calefacción en la vivienda, el confort se verá significativamente afectado (ver valores referenciales en tablas III.3.4.2.1 y III.3.4.2.2 correspondientes a la ciudad de Valparaíso).

Las demandas de energía que se presentan en las tablas respectivas corresponden a las viviendas con sistemas constructivos de muro, cielo y ventanas que cumplen los mínimos estándares de transmitancia térmica de la OGUC, Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) para Valparaíso. En ventanas se considera vidriado simple. Sus especificaciones se detallan en I.6.3.3 y III.2.2.1. Ver “A2” del presente punto, en que se muestran demandas de energía con mejores estándares térmicos de la envolvente.

La figura III.3.4.2.1 muestra la posición del sol a mediodía solar en la latitud 33° (Valparaíso) para solsticio de invierno y verano, los rayos solares en invierno penetrarán en la vivienda en la fachada norte. En esta zona la altura solar es menor (comparada con Zonas más al norte), lo que lleva a que los elementos del entorno generen mayor sombra. Este efecto se puede ver en la figura III.3.4.2.2. La figura III.3.4.2.3 muestra que la protección solar horizontal debe ser mayor a los 30cm de alero mínimo, para otorgar sombra durante los meses de verano. Protección de elementos vidriados oriente y poniente son necesarios (idealmente por el exterior).

**Tabla III.3.4.2.1: VALPARAÍSO. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m²año)**

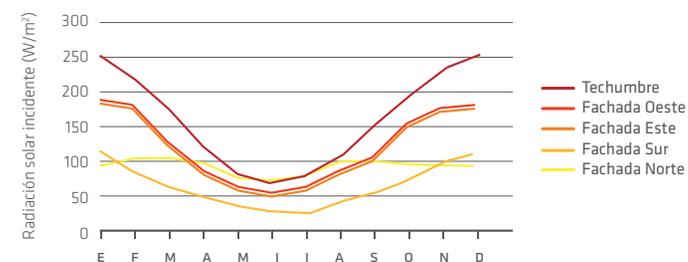
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	96	71
Sur	107	78
Este	103	75
Oeste	100	75

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

**Tabla III.3.4.2.2: VALPARAÍSO. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m²año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	73	84
Sur	84	91
Este	83	88
Oeste	76	86

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.



**Gráfico III.3.4.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Valparaíso.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

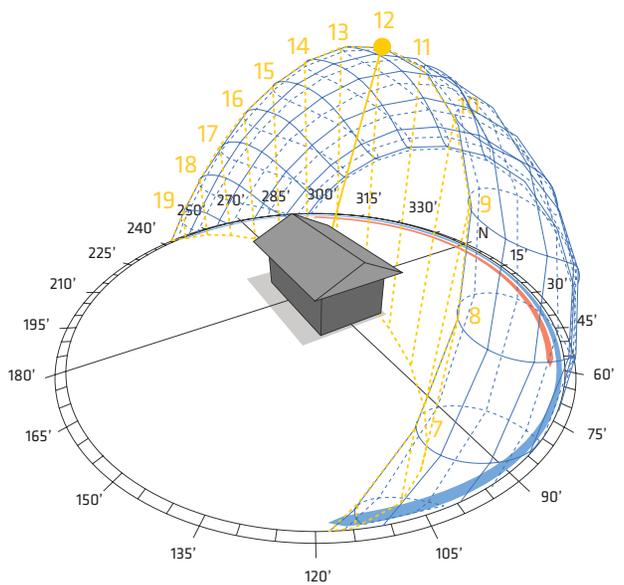
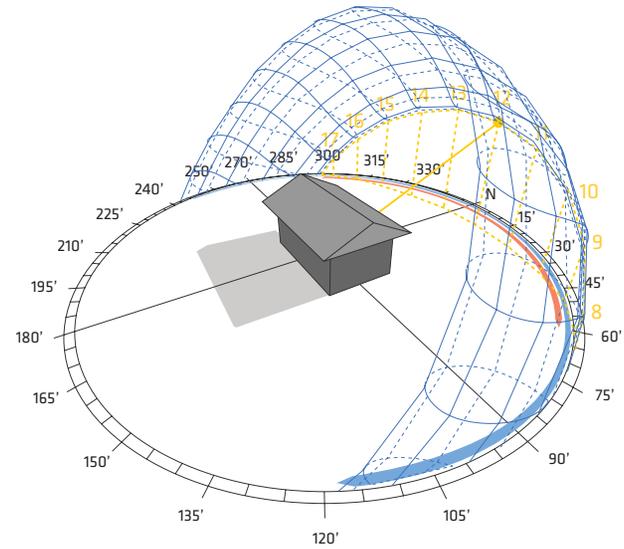


Figura III.3.4.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 33° (Valparaíso).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

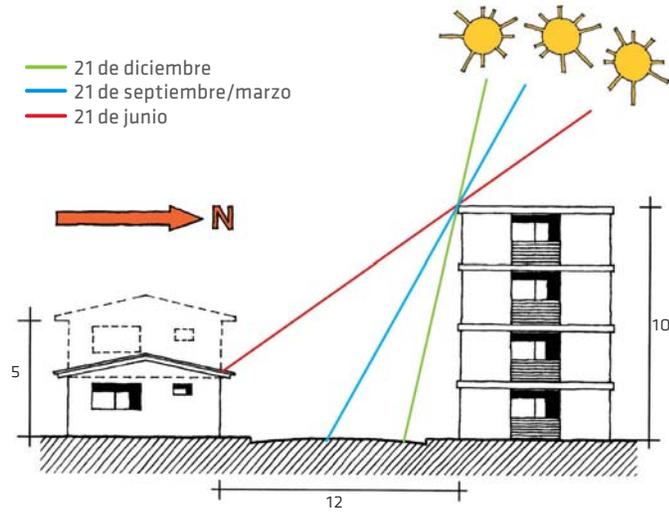


Figura III.3.4.2.2: Exposición solar de vivienda de 1 y 2 pisos ubicada en Valparaíso. Un edificio de 4 pisos ubicado a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales genera sombra total en invierno en el primer piso de la vivienda.

> DICIEMBRE

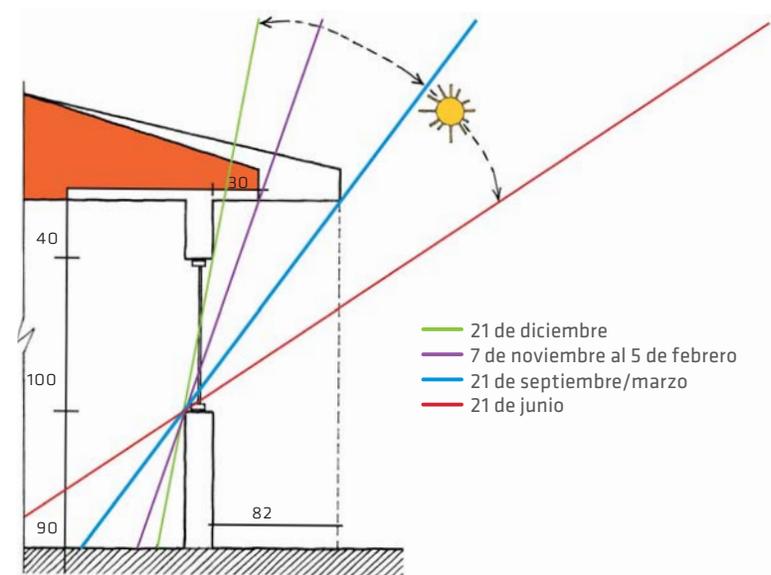


Figura III.3.4.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 33° (Valparaíso).

## A2 Características higrotérmicas de la envolvente

### Componentes

#### Muros:

Clima que exige transmitancia térmica en muros significativamente menor al estándar de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC); Artículo 4.1.10. Aislación térmica mínima en muros de albañilerías y de hormigón armado de 40 mm. Las tablas III.3.4.2.3 y III.3.4.2.4 muestran que al incorporar 40mm de aislante térmico en muros (hormigón armado, estructura de madera, albañilería de ladrillo y albañilería de bloque de hormigón) es posible reducir la demanda de calefacción por sobre el 20% en las viviendas de 1 y 2 pisos estudiadas. Recuérdese que las viviendas base de comparación presentan las exigencias mínimas de la OGUC, Artículo 4.1.10 para Valparaíso, con vidrio simple en ventanas. Ver puntos I.6.3.3 y III.2.2.1. Se considera la orientación norte de las viviendas según lo indicado en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2.

Muros de estructura liviana permiten aumentar aun más el espesor del aislante térmico. Ello debido a la facilidad con que puede instalarse en la cavidad del sistema constructivo. En este tipo de muros se recomienda cámara ventilada exterior, la que evacua humedad (de aguas lluvia) que intenta penetrar en la vivienda a través del sistema constructivo y amortigua la radiación incidente en el muro, disminuyendo la temperatura en recintos de la vivienda, mejorando así las condiciones de confort en verano. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.

Por otro lado, la presencia de lluvia hace recomendable la protección de la envolvente ante absorción de agua. Proteger de manera especial las construcciones de acero ante el riesgo de corrosión. Usar acero galvanizado.

Evitar puentes térmicos en todo sistema constructivo utilizado en muros y los restantes componentes de la envolvente.

#### Techumbre:

Cubierta ventilada con 60mm de aislación mínimo<sup>2</sup>. El aumentar la aislación térmica de 60mm a 90mm en cielo generará reducciones cercanas al 4%. En verano, ventilar el entretecho para evitar el sobrecalentamiento de la vivienda.

<sup>2</sup> Según Listado Oficial de Soluciones Constructivas del MINVU para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla III.3.4.2.3: VALPARAÍSO. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidrio simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	60		
	MURO (mm)	20	40	60
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	67	63	62
	Albañilería de ladrillo (1B)	65	63	61
	Hormigón Armado (1C)	67	64	62
	Estructura en madera (1D)	68	64	63

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Valparaíso. Demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 80kWh/m<sup>2</sup>año

**Tabla III.3.4.2.4: VALPARAÍSO. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidrio simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	60		
	MURO (mm)	20	40	60
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	51	45	43
	Albañilería de ladrillo (1B)	48	44	42
	Hormigón Armado (1C)	51	46	43
	Estructura en madera (1D)	54	48	44

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Valparaíso. Demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 75kWh/m<sup>2</sup>año

**Ventanas y puertas:**

- Se recomienda el uso del DVH en ventanas.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. ver punto II.1. y figura II.1. .1
- Alta impermeabilidad a aguas lluvia.
- Protección solar exterior vertical opaca exterior en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal según latitud en cerramientos vidriados norte.

**Pisos:**

Se recomienda su ubicación sobre el terreno con aislación térmica. Si el piso es ventilado se deberá aislar con espesor de 50mm como mínimo<sup>3</sup>.

**Forma de la vivienda y adosamiento**

Alta compacidad en la vivienda y reducción de la superficie expuesta al exterior. Se recomienda viviendas pareadas o continuas. Estas últimas son preferibles.

**Riesgo de condensación superficial e intersticial**

El riesgo de condensación superficial e intersticial en muros de una vivienda ubicada en Valparaíso, para condiciones de invierno, se presenta en la tabla III.3.4.2.6 (ver detalle de muros estudiados en III.2.2.1, figura III.2.2.1.3). Obsérvese que en muros de albañilería de ladrillos y de bloques de hormigón y en muros de hormigón armado, existe riesgo de

La tabla III.3.4.2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 60mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 40mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (DVH) en ventanas.

**Tabla III.3.4.2.5: VALPARAÍSO.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

	<b>1 PISO</b>	<b>2 PISOS</b>
<b>AISLADA</b>	46	18
<b>PAREADA</b>	44	16
<b>CONTINUA</b>	42	14

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

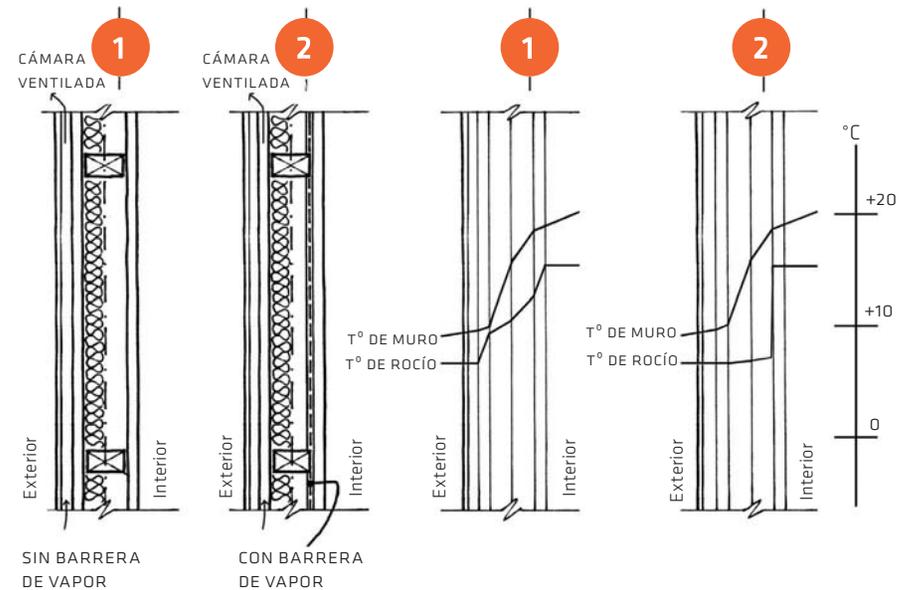
<sup>3</sup> Para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>.

condensación superficial e intersticial si no tienen aislación térmica. La aislación térmica evita el problema si se instala por el exterior. Si ella se instala por el interior, debe acompañarse con barrera de vapor ubicada lo más al interior posible.

La figura III.3.4.2.4 muestra el riesgo de condensación superficial e intersticial en un muro estructurado en madera con aislante térmico en su cavidad. Se muestran los perfiles a través del vano entre cadenetas. El perfil izquierdo (1) presenta un muro sin barrera de vapor, en el que a pesar de no presentar riesgo con las condiciones consideradas, la instalación de una barrera de vapor ayudará a disminuir el riesgo (perfil 2). Este muro presenta una cámara de aire exterior ventilada que protege al muro de agua lluvia que pudiera penetrar hacia el interior. Además a través de él se evacua vapor de agua proveniente desde el interior. Además atenúa el efecto de la radiación solar incidente en períodos de altas temperaturas, disminuyendo riesgo de sobrecalentamiento en el interior de la vivienda.

**A3 Ventilación**

- ventilación mecánica controlada (vmc o ventilación forzada) es imprescindible para controlar la humedad interior y la presencia de contaminantes de modo eficaz y eficiente al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1.7.
- La ventilación natural es posible de ser usada evitando que ocurra cuando la temperatura exterior esté por sobre la de confort interior máxima en verano (27°C). También es posible usar la ventilación natural en períodos fríos pero limitándola a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor (ver punto II.1.7).



**Figura III.3.4.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro estructurado en madera con aislante interior de 20mm. (1) sin barrera de vapor y (2) con barrera de vapor. Caso analizado en la ciudad de Valparaíso.

**Tabla III.3.4.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Valparaíso.**

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A		1B		1C		1D			
	SIN AISLANT TÉR ICO	A AISLANT TÉR ICO		SIN AISLANT TÉR ICO	A AISLANT TÉR ICO		SIN AISLANT TÉR ICO	A AISLANT TÉR ICO		
		EXTERIOR	INTERIOR+BV		EXTERIOR	INTERIOR +BV		EXTERIOR	INTERIOR +BV	SIN BV
Riesgo de condensación superficial	Sí	No	No	Sí, en mortero de pega	No	No	No	No	No	No
Riesgo de condensación intersticial	Sí	No	No	Sí, en mortero de pega	No	No	No	No	No	No

Fuente: Elaboración propia.

## B ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACION NATURAL

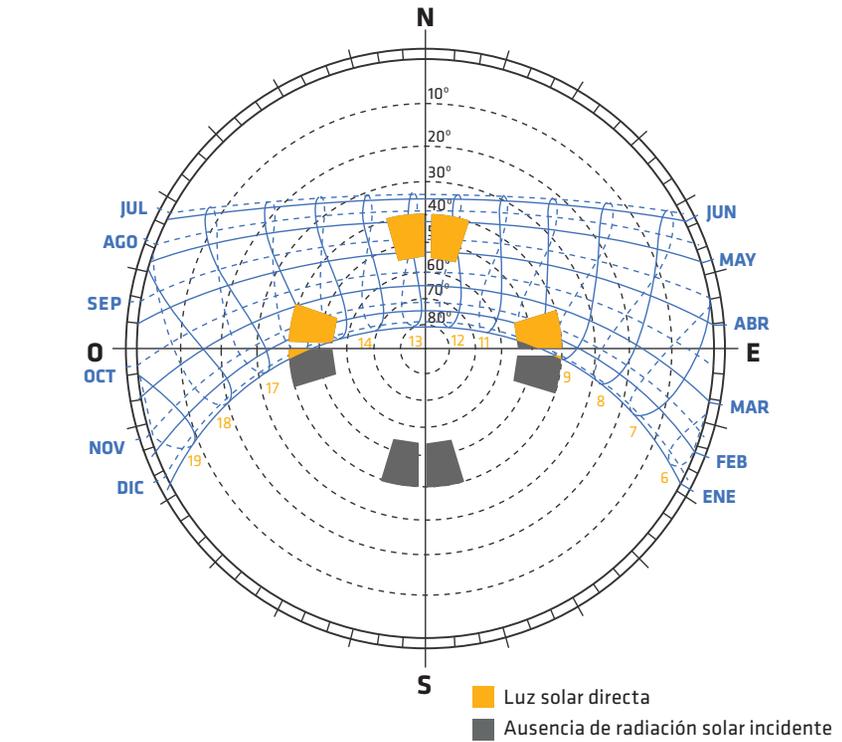
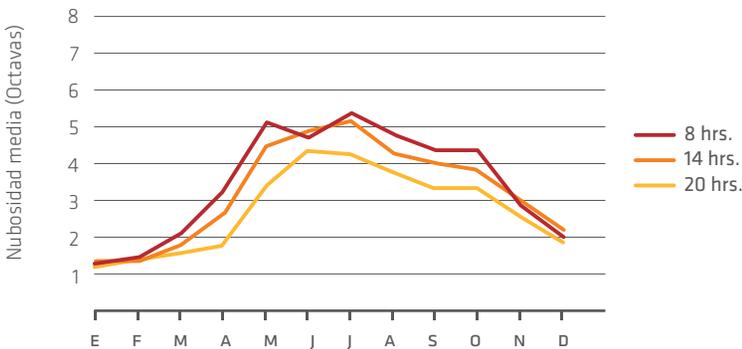
### VALPARAISO, Región de Valparaíso.

### SANTIAGO, Región Metropolitana.

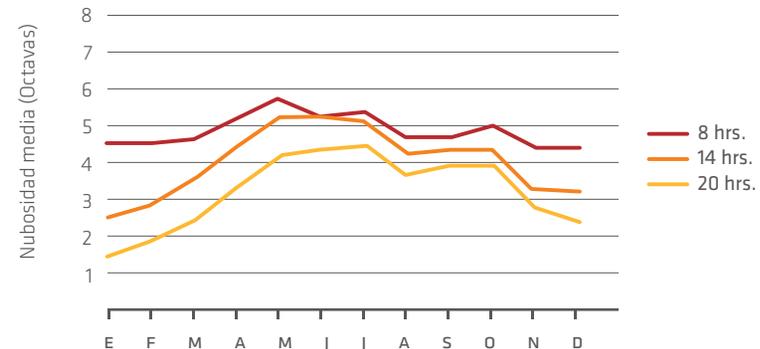
- > Coordenadas geográficas: 33°01'S; 71°38'W (Valparaíso),  
33°27'S; 70°42'W (Santiago)
- > Angulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs: 33,2°
- > Angulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs: 80°
- > Cielo de diseño nublado (modelo CIE): 8.500 lux

Producto de la cercanía en términos de latitud de las localidades de Valparaíso y Santiago, se optó por agruparlas en un solo análisis. A partir de la máscara solar elaborada para ambos casos, se observa una presencia cada vez más limitada de la luz solar directa en el recinto a través de las ventanas oriente y poniente, mientras que en la de orientación norte, se garantiza accesibilidad ya no durante el invierno, sino en otoño y primavera (figura III.3.4.2.5).

En términos de nubosidad, ambas localidades, si bien coinciden en los valores y rangos generales, difieren de manera importante entre noviembre y abril (gráfico III.3.4.2.2). Es en este período donde Santiago va a presentar cielos muy claros, mientras que Valparaíso estará relativamente nublado, despejándose durante el transcurso del día. Debido a esto,



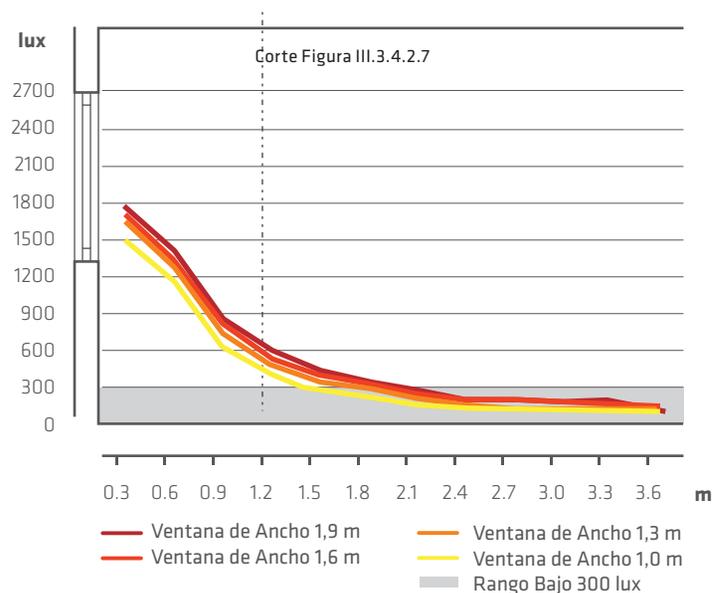
**Figura III.3.4.2.5:** Carta solar de proyección estereográfica para Valparaíso y Santiago. Accesibilidad a la luz solar directa en recinto tipo de vivienda social (3,6 x 2,8 m) a través de una ventana de 1,0 x 1,0 m en las distintas orientaciones



**Gráfico III.3.4.2.2:** Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Santiago (izquierda) y Valparaíso (derecha)  
**Fuente:** Bustamante et al (2001)

si bien en Santiago, las consideraciones para el diseño bajo condiciones de cielo nublado estarán asociadas al invierno, en Valparaíso sería un factor a considerar durante todo el año.

También para ambos casos, el cielo de diseño de 8500 lux (significativamente menos intenso que en las localidades del norte de Chile ya descritas), va a representar algunas dificultades (o desafíos) desde el punto de vista del diseño, puesto que a partir de entre 1,5 y 1,8 m de separación de la ventana, las curvas de intensidad de iluminación descienden bajo los 300 lux (figura III.3.4.2.6), dejando a gran parte de la planta es una situación desfavorable para el desarrollo de actividades con requerimientos moderados sobre la visión.

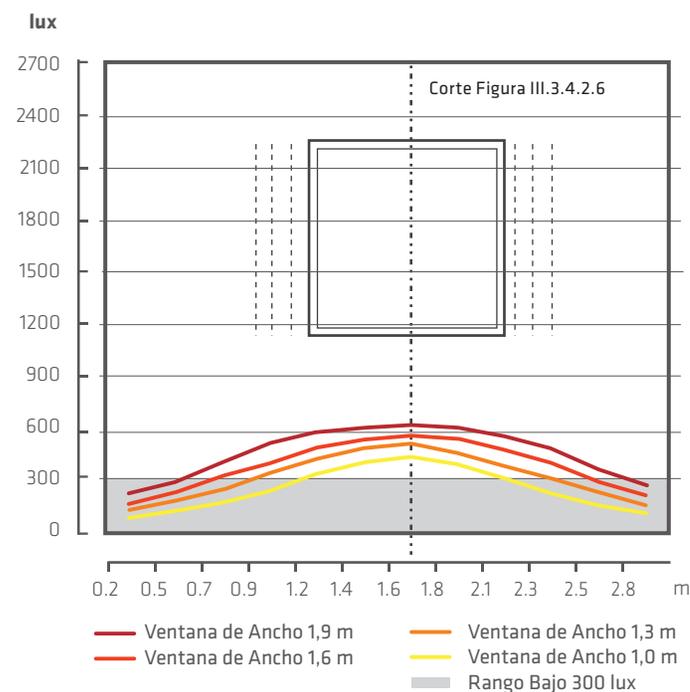


**Figura III.3.4.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Valparaíso y Santiago, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

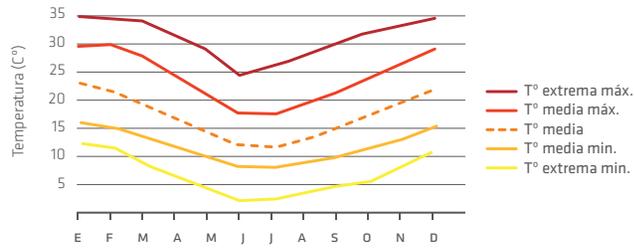
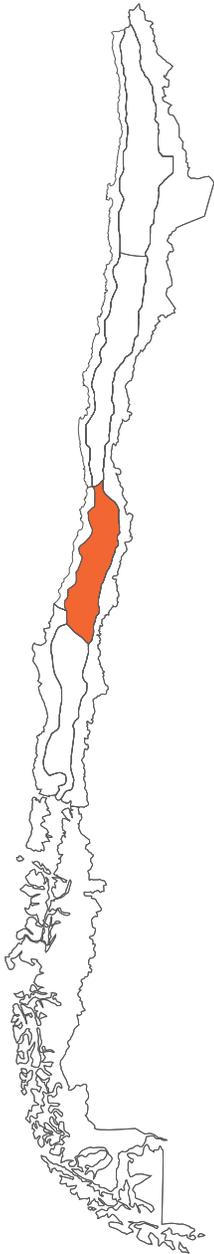
**Nota:** modelos digitales de las figuras III.3.4.2.6 y III.3.4.2.7 realizados por medio de softwares Ecotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CIE Overcast Sky de 8.500 lux. Se consideraron reflectividades de 0,70; 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.

Si bien esto se podría entender como una justificación directa a la decisión de aumentar el tamaño de la ventana (dentro de los rangos estudiados o incluso más), también podría traducirse a través del cuidado en la elección de los colores de las superficies interiores, una adecuada distribución del mobiliario y el correcto manejo de las obstrucciones exteriores (por ejemplo, en el diseño de los elementos de sombra o a la decisión de utilizar vegetación caduca en vez de perenne, para obtener una mejor accesibilidad a la luz solar en invierno).

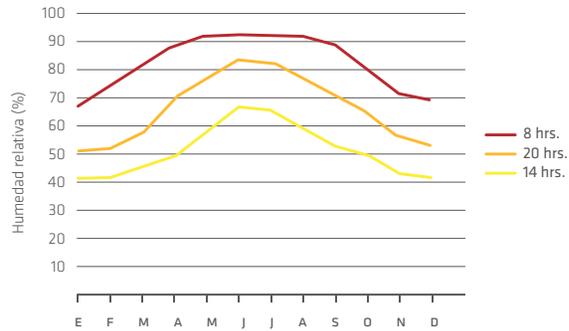
Si bien esto se podría entender como una justificación directa a la decisión de aumentar el tamaño de la ventana (dentro de los rangos estudiados o incluso más), también podría traducirse a través del cuidado en la elección de los colores de las superficies interiores, una adecuada distribución del mobiliario y el correcto manejo de las obstrucciones exteriores (por ejemplo, en el diseño de los elementos de sombra o a la decisión de utilizar vegetación caduca en vez de perenne, para obtener una mejor accesibilidad a la luz solar en invierno).



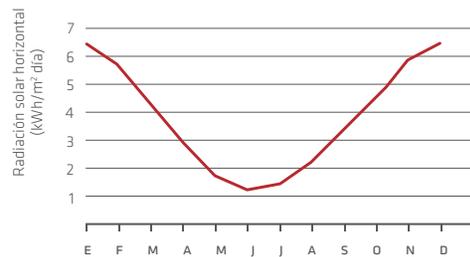
**Figura III.3.4.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Valparaíso y Santiago, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.



**Gráfico III.3.5.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Santiago.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.5.1.2:** Variación mensual de la H.R. Santiago.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



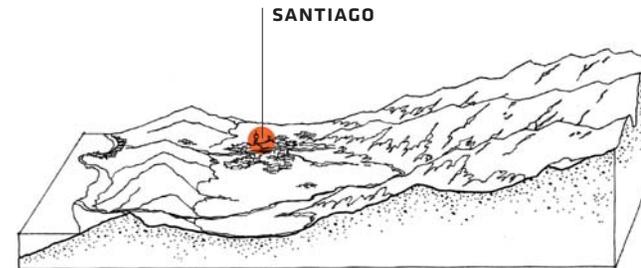
**Gráfico III.3.5.1.3:** Variación mensual de la radiación solar. Santiago.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

### III.3.5 ZONA CENTRAL INTERIOR (CI)

#### III.3.5.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

##### A CLIMA

- Alta oscilación diaria de temperaturas. En veranos estas existen diferencias de temperatura entre el día y la noche mayores a 17°C en prácticamente toda la Zona. En invierno esta oscilación disminuye a aproximadamente 11°C en Santiago hasta menos de 7°C en Chillán.
- Alta radiación solar en verano y baja en invierno. Promedios de radiación solar horizontal total entre 1,4 kWh/m<sup>2</sup>día (julio) y 6,9 kWh/m<sup>2</sup>día (enero).
- Humedad relativa es baja en verano y tiende a subir en invierno. Promedios mensuales entre aproximadamente 50% (enero) y 84% (julio).
- Precipitaciones moderadas en el norte de la Zona. Crecen significativamente hacia el sur. Promedios anuales desde 260 mm (Pudahuel) hasta más de 1000 mm en Chillán. Hacia el sur aumentan las precipitaciones en otoño y primavera, las que bajan en el norte. Máximas de 24 horas desde aproximadamente 75 mm en el norte hasta más de 150 mm en el sur de la Zona.
- Vientos moderados de predominancia SW. Hacia el norte (Santiago) predomina calma en verano.



**Figura III.3.5.1.1:** Relieve transversal en latitud 33° (Santiago).

1 Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

**B ENTORNO**

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 32,2° y 36° S.
- Terrenos planos de baja pendiente en zonas urbanas, que comienzan a ser más sinuosos en zonas cercanas a la cordillera de la costa y de los andes.
- En general, presencia de edificios cercanos de mediana y baja altura.

**III.3.5.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO**

**A ESTRATEGIAS DE FRÍO Y CALOR**

**A1 Orientación y soleamiento**

Es recomendable la orientación norte en recintos de mayor uso. La orientación de recintos como dormitorios y living-comedor hacia el sur genera un aumento en la demanda de calefacción, lo que es equivalente a indicar que si no existe calefacción en la vivienda, el confort se verá significativamente afectado. Las tablas III.3.5.2.1 y III.3.5.2.2 muestran las demandas de calefacción para Santiago, al variar la orientación de recintos de la vivienda de 1 y 2 pisos respectivamente.

Las demandas de energía que se presentan en las tablas indicadas corresponden a las viviendas con sistemas constructivos de muro, cielo y ventanas que cumplen los mínimos estándares de transmitancia térmica de la OCUC, Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) para Santiago. Se considera ventana con vidriado simple. Sus especificaciones se detallan en I.6.3.3 y III.2.2.1. Ver “A2” del presente punto, en que se muestran demandas de energía con mejores estándares térmicos de la envolvente.

La figura III.3.5.2.1 muestra la ubicación del sol al mediodía del solsticio de invierno y verano en la latitud 33° (Santiago), la altura del sol en verano en este caso es cercana a los 80°. Esta altura es levemente superior hacia en sur de la Zona. Lo anterior generará alto riesgo de sobrecalentamiento del techos y entretechos. Además es imprescindible la protección solar en cerramientos vidriados norte, este y oeste para evitar sobrecalentamiento.

La figura III.3.5.2.3 muestra las dimensiones de una protección solar para una ventana de orientación norte y que impide radiación directa sobre ella durante todo el período de altas temperaturas en Santiago. En elementos vidriados este y oeste se debe privilegiar protección opaca exterior, normalmente de tipo vertical. Evitar ventanas o elementos vidriados (las que si existen deben ser de vidriado doble hermético DVH) en el techo sin protección solar opaca exterior.

**Tabla III.3.5.2.1: SANTIAGO. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m²año)**

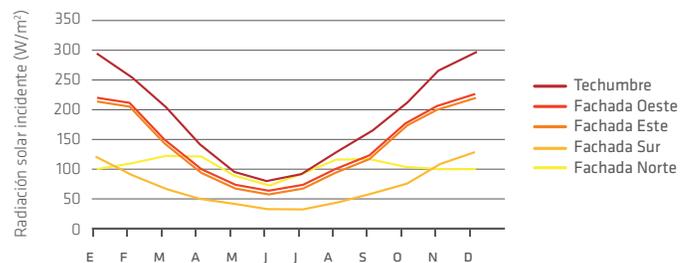
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	114	92
Sur	127	100
Este	121	96
Oeste	119	96

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

**Tabla III.3.5.2.2: SANTIAGO. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m²año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	80	110
Sur	91	118
Este	89	113
Oeste	85	113

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.



**Gráfico III.3.5.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Santiago.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

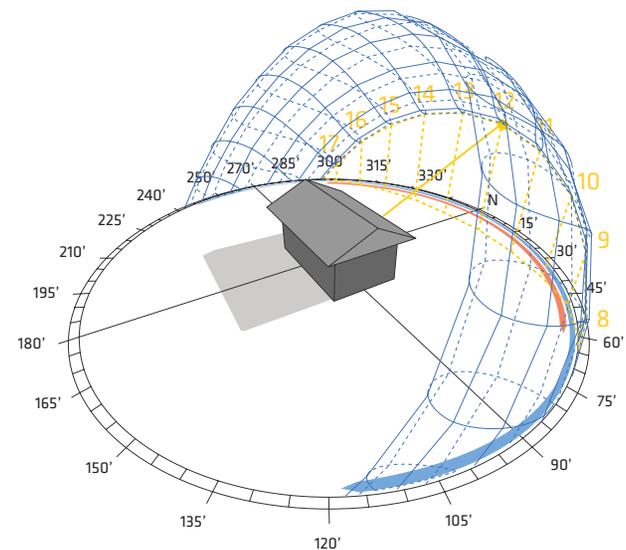


Figura III.3.5.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 33° (Santiago).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

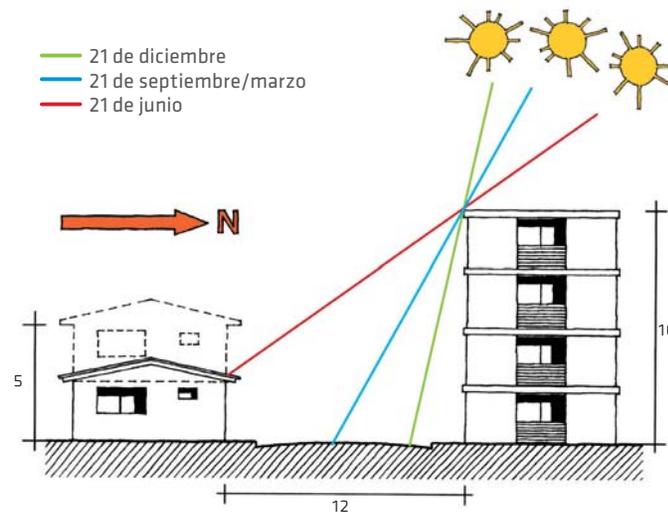
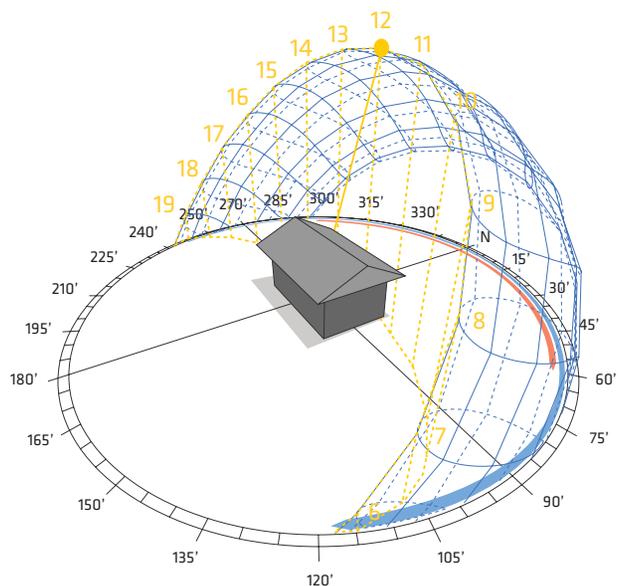


Figura III.3.5.2.2: Sombra proyectada por un edificio de 4 pisos en una vivienda de 1 y 2 pisos ubicada a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales. Caso de Santiago.



> DICIEMBRE

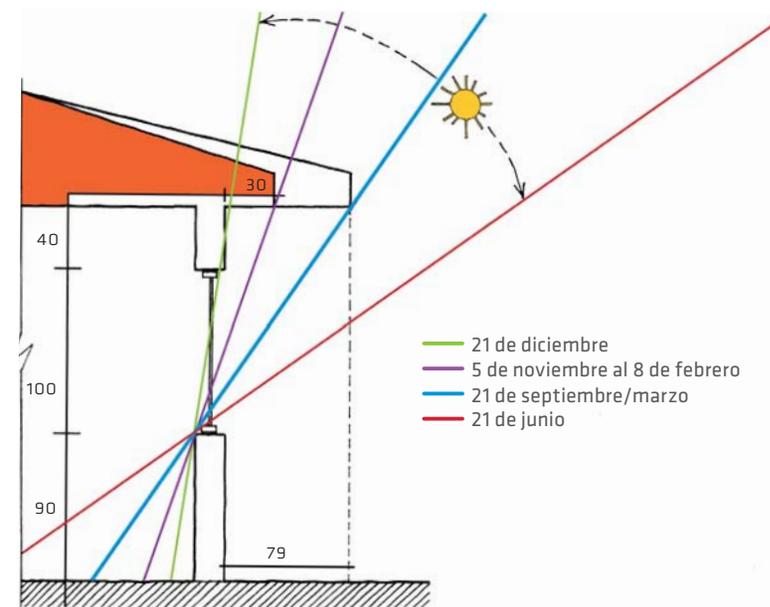


Figura III.3.5.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 33° (Santiago).

**A2** Características higrotérmicas de la envolvente

*Componentes*

Muros:

Transmitancia térmica recomendada para esta Zona es de  $U=0,6 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , lo que implica instalar aislante térmico de al menos 50 mm en muros de hormigón armado y albañilería de ladrillos o de bloques de mortero. En estos muros es recomendable la aislación térmica exterior para incrementar inercia térmica en la vivienda.

En las tablas III.3.5.2.3 y III.3.5.2.4 se observa una disminución significativa en las demandas de energía de calefacción en la vivienda base de 1 y de 2 pisos, cuyos detalles se describen en puntos I.6.3.3 y III.2.2.1. Las especificaciones de muro y cielo cumplen con el mínimo exigido por la OGUC en artículo indicado para la ciudad de Santiago. Se considera la orientación norte de las viviendas según lo indicado en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2. En el diseño de estas viviendas no se han considerado criterios de orientación en espacios de mayor uso.

Por otro lado, la presencia de lluvia hace recomendable la protección de la envolvente ante la absorción de agua. La absorción de agua en cualquier material desmejora de manera significativa sus propiedades térmicas.

Muros de estructura liviana permiten incrementar aun más el espesor del aislante térmico. Ello debido a la facilidad con que puede instalarse en la cavidad del sistema constructivo. En este tipo de muros se recomienda cámara ventilada exterior, la que evacua humedad (de aguas lluvia) que intenta penetrar en la vivienda a través del sistema constructivo y amortigua la radiación incidente en el muro, disminuyendo la temperatura en recintos de la vivienda, mejorando así las condiciones de confort en verano. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.

Evitar puentes térmicos en todo sistema constructivo utilizado en muros y los restantes componentes de la envolvente.

Techumbre:

Cubierta ventilada con 80mm de aislación mínimo<sup>2</sup>. El aumentar la aislación térmica en cielo generará una reducción despreciable en la demanda de energía de calefacción En verano, ventilar el entretecho para evitar el sobrecalentamiento.

**Tabla III.3.5.2.3: SANTIAGO. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	80			
	MURO (mm)	20	40	60	80
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	90	85	83	81
	Albañilería de ladrillo (1B)	87	84	82	81
	Hormigón Armado (1C)	91	86	83	81
	Estructura en madera (1D)	92	86	84	82

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Nota: Para Santiago, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 100kWh/m<sup>2</sup>año

**Tabla III.3.5.2.4: SANTIAGO. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	80			
	MURO (mm)	20	40	60	80
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	75	66	62	59
	Albañilería de ladrillo (1B)	70	64	60	58
	Hormigón Armado (1C)	77	67	62	59
	Estructura en madera (1D)	78	69	64	61

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

Nota: Para Santiago, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 90kWh/m<sup>2</sup>año

<sup>2</sup> Según Listado Oficial de Soluciones Constructivas del MINVU para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

#### Ventanas y puertas:

- Se recomienda el uso del DVH en ventanas.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. ver punto II.1. y Figura II.1. .1.
- Alta impermeabilidad a aguas lluvia.
- Protección solar exterior vertical opaca en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal según latitud en cerramientos vidriados norte.

#### Pisos:

Se recomienda su ubicación sobre el terreno, de preferencia aislar térmicamente bajo el radier o al menos su perímetro con 20mm de espesor como mínimo. Aislante térmico no debe absorber agua. Si el piso es ventilado se deberá aislar con 50mm como mínimo<sup>3</sup>.

#### Forma de la vivienda y adosamiento

La forma compacta de la vivienda y con envolvente de superficie baja, permitirá en invierno reducir las pérdidas de calor.

Cabe indicar que tanto en este como en los restantes casos estudiados, una disminución en las demandas de energía de calefacción es equivalente a un mejoramiento en las condiciones ambientales (T°, Humedad y temperatura de las paredes) en que las personas desarrollan sus actividades.

#### Riesgo de condensación superficial e intersticial

El riesgo de condensación en muros de una vivienda ubicada en Santiago, se ve muestra en la tabla III.3.5.2.6. En todos los muros de albañilería y de hormigón se produce condensación intersticial (para las condiciones estudiadas) si se instala aislación térmica interior, la que se evita con barrera de vapor (BV) ubicada lo más al interior posible. También con BV se evita en sistema de estructura de madera.

<sup>3</sup> Para zona térmica 1 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>.

La tabla III.3.5.2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 80 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 50mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (DVH) en ventanas.

**Tabla III.3.5.2.5: SANTIAGO.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

	1 PISO	2 PISOS
<b>AISLADA</b>	63	45
<b>PAREADA</b>	61	41
<b>CONTINUA</b>	58	38

Fuente: *Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.*

La figura III.3.5.2.4 muestra gráficamente el riesgo de condensación superficial e intersticial en el muro de albañilería de ladrillo (1B). Se representa el perfil de temperatura través del ladrillo (2) y a través del mortero de pega (1). Existirá condensación superficial e intersticial en el muro en el mortero de pega y en la cadena de hormigón armado, por las condiciones consideradas. También habrá condensación si las condiciones supuestas son levemente más desfavorables que las consideradas (menor temperatura exterior y/o mayor humedad relativa interior para idéntica temperatura ambiental por ejemplo). El riesgo de condensación se puede evitar aislando térmicamente el muro por el exterior. Tal como se ha indicado, si esta aislación se instala por el interior debe estar acompañado de una barrera de vapor ubicada lo más al interior posible del muro (hacia el lado más cálido del muro en invierno). La aislación interior no evita el puente térmico de la cadena por lo que el riesgo de condensación sigue existiendo en ella.

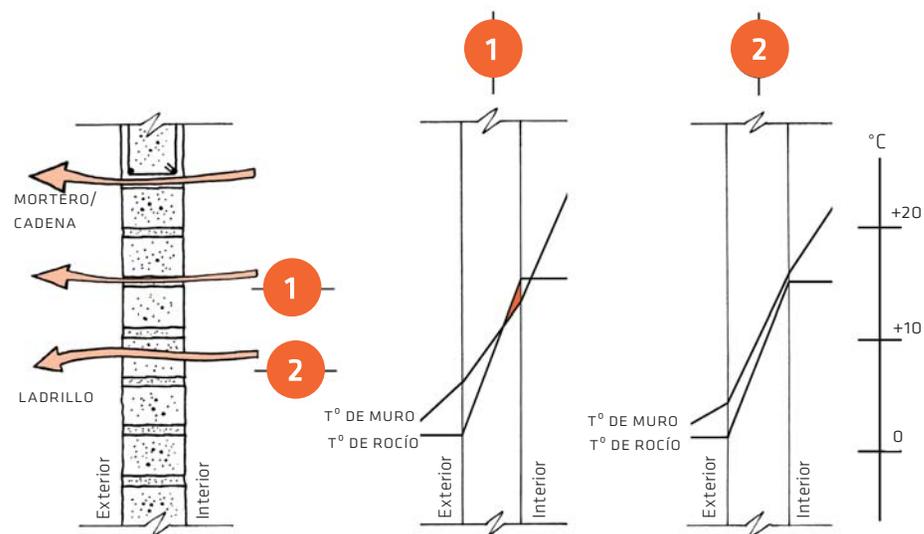


Figura III.3.5.2.4: Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de albañilería de ladrillo, en vivienda ubicada en Santiago. (1) Perfil de temperaturas a través del mortero de pega y (2) a través del ladrillo.

**Tabla III.3.5.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Santiago.**

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A		1B		1C		1D	
	10mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO		SIN AISLANTE TÉRMICO		10mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO		10mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO	
	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	SIN BV	CON BV
Riesgo de condensación superficial	No	No	Sí	No	No	No	No	No
Riesgo de condensación intersticial	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No

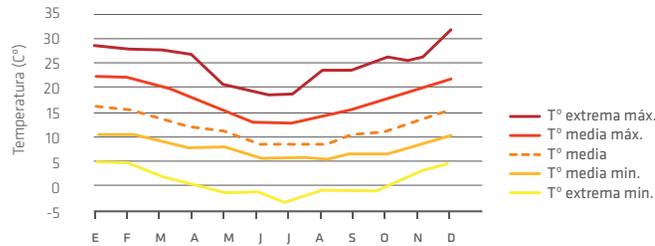
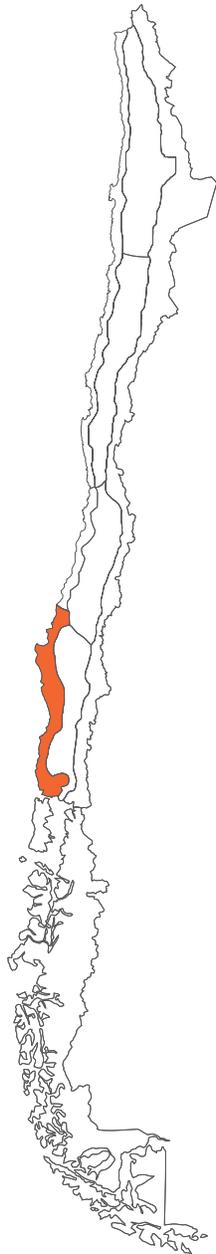
Fuente: Elaboración propia.

### A3 Ventilación

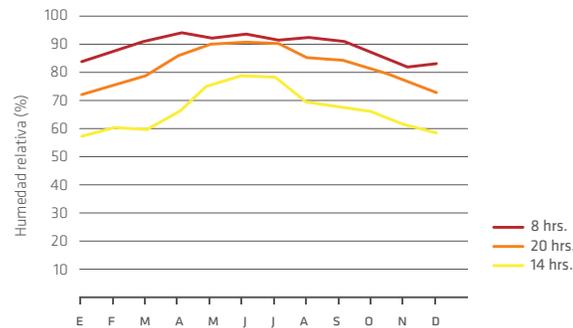
- Ventilación mecánica controlada (Mec o ventilación forzada) es imprescindible para controlar la humedad interior y la presencia de contaminantes de manera eficaz y eficiente al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1.7.
- La ventilación natural es posible de ser usada evitando que ocurra cuando la temperatura exterior esté por sobre la de confort interior máxima en verano (27°C). También es posible usar la ventilación natural en períodos fríos pero limitándola a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor. (Ver punto II.1.7).

### B ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACION NATURAL

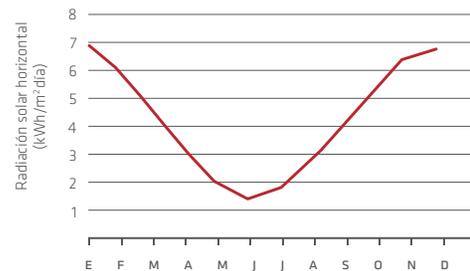
Dada la similar latitud de Valparaíso y Santiago, la iluminación natural para ambas ciudades resulta similar para día nublado, luego para este análisis en Santiago, remitirse a la ciudad de Valparaíso en la parte B del punto III.3.4.2.



**Gráfico III.3.6.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Concepción.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.6.1.2:** Variación mensual de la H.R. Concepción.  
Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.6.1.3:** Variación mensual de la radiación solar. Concepción.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

### III.3.6 ZONA SUR LITORAL (SL)

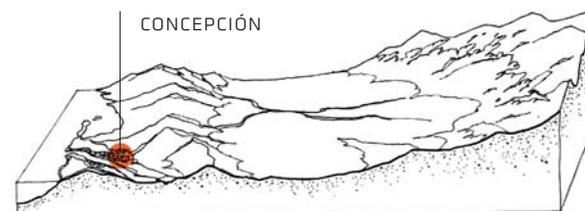
#### III.3.6.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

##### A CLIMA<sup>1</sup>

- Zona de temperaturas templadas (verano) a frías (invierno). Baja oscilación diaria de temperaturas en invierno (menor a 8°C promedio). Crece en verano (aproximadamente 12°C en Concepción y 10°C en Puerto Montt).
- Alta radiación solar en verano hacia el norte de la Zona (Concepción, Talcahuano), la que decrece hacia el sur. Baja radiación en invierno en toda la zona.
- Alta humedad ambiental en verano y muy alta en invierno. Promedios mensuales entre 5% (enero) y 8% (julio).
- Zona lluviosa, con precipitaciones normales sobre 1000 mm anuales. Máxima diaria por sobre 100 mm en toda la zona.
- Vientos moderados de predominancia SW en Concepción y N en Puerto Montt. Aquí se combina viento norte con precipitaciones. Promedio anual de 6, m/s (Concepción) y 4,6 m/s (Puerto Montt).

##### B NT RN

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 36° y 41, ° S
- Suelo y ambiente salino y húmedo.
- Terrenos planos de baja pendiente en zonas urbanas, que comienzan a ser más sinuosos en zonas cercanas a la Cordillera de la Costa y en otras cordilleras como la de Nahuelbuta.



**Figura III.3.6.1.1:** Relieve transversal en latitud 37° (Concepción).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

### III.3.6.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

#### A STRATEGIAS DIFERENCIALES

##### A1 Orientación y soleamiento

Es recomendable la orientación norte en recintos de mayor uso. Al no poder acceder al sol a través de cerramientos vidriados, los que deben ser de mayor superficie en esta orientación.

La orientación de recintos como dormitorios y living-comedor hacia el sur genera un aumento en la demanda de calefacción, lo que es equivalente a indicar que si no existe calefacción en la vivienda, el confort se verá significativamente afectado.

Las tablas III.3.6.2.1 y III.3.6.2.2 muestran las demandas de calefacción (para Concepción), al variar la orientación de recintos de la vivienda de 1 y 2 pisos respectivamente.

La recomendación de orientación norte de los recintos indicados implica que las ventanas de idéntica orientación tendrán una solicitud importante de aguas lluvias combinadas con viento.

Las demandas de energía que se presentan en las tablas indicadas corresponden a las viviendas con sistemas constructivos de muro, cielo y ventanas que cumplen los mínimos estándares de transmitancia térmica de la OGUC, Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) para Concepción. Sus especificaciones se detallan en puntos I.6.3.3 y III.2.2.1. Ser "A2" del presente punto, en que se muestran demandas de energía con mejores estándares térmicos de la envolvente.

Respecto de la posición del sol, la altura solar en invierno es baja en la Zona. En el caso de Concepción (Latitud 35°S) en figura III.3.6.2.1. Esta baja altura genera sombras extensas hacia el sur de las viviendas en las horas cercanas a mediodía. (ver figura III.3.6.2.1).

En la figura III.3.6.2.2, el edificio genera sombra en invierno en la vivienda al sur de éste, obstaculizando la incidencia de sol en su fachada norte, por lo que se recomienda evitar edificios cercanos de mayor altura a la vivienda diseñada. La figura III.3.6.2.3 muestra la protección solar generada por un alero de gran dimensión que evita la incidencia de radiación solar directa en ventana de orientación norte entre los equinoccios. Un alero de dimensiones intermedias a las indicadas (entre 30 y 90cm) puede ser suficiente para protección solar en esta Zona. En esta zona la función principal de un alero es la protección contra la lluvia.

**Tabla III.3.6.2.1: CONCEPCIÓN. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m<sup>2</sup>año)**

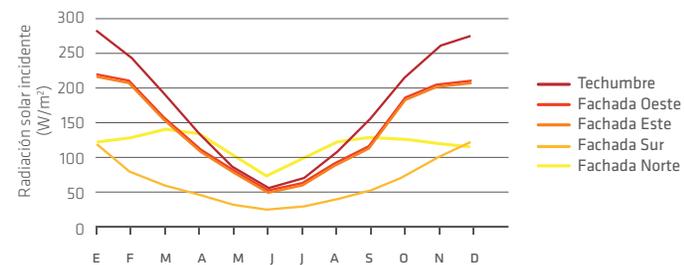
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	133	108
Sur	145	116
Este	141	112
Oeste	137	112

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS

**Tabla III.3.6.2.2: CONCEPCIÓN. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m<sup>2</sup>año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	79	121
Sur	91	129
Este	90	126
Oeste	84	123

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.



**Gráfico III.3.6.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Concepción.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

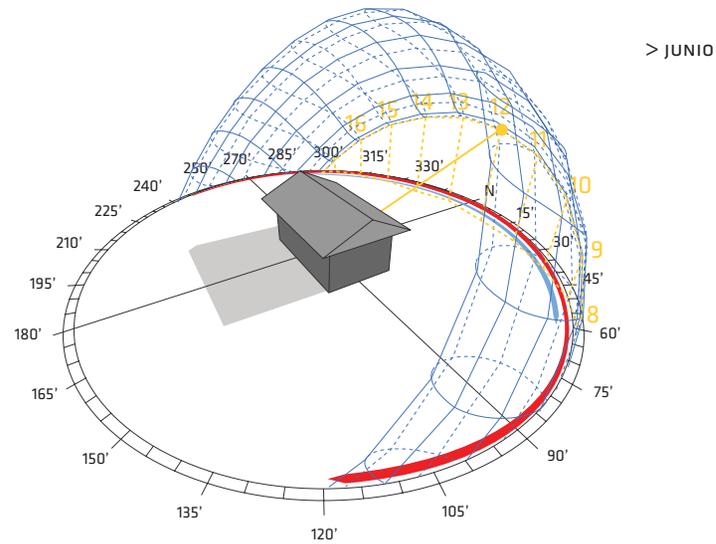


Figura III.3.6.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 37° (Concepción).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

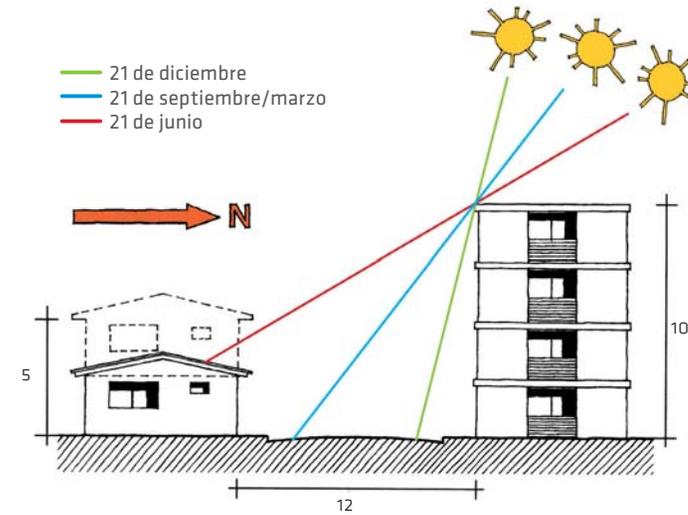
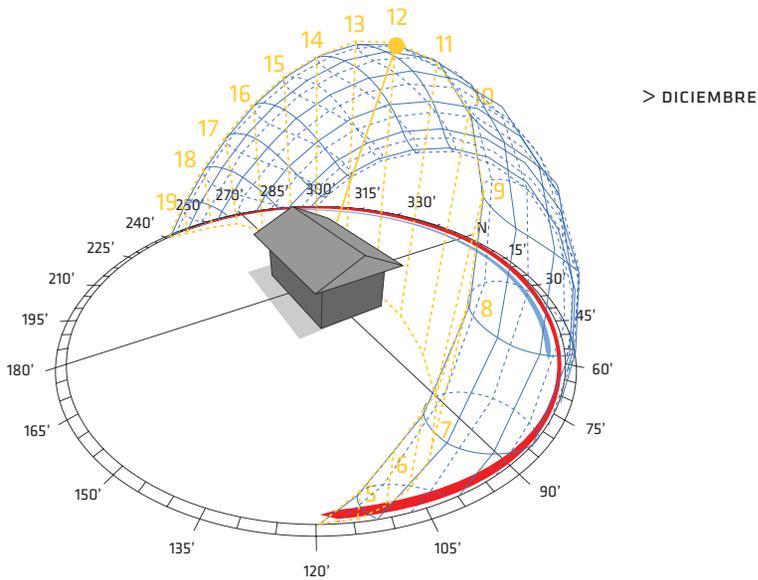


Figura III.3.6.2.2: Sombra proyectada por un edificio de 4 pisos en una vivienda de 1 y 2 pisos ubicada a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales. Caso de Concepción.



> DICIEMBRE

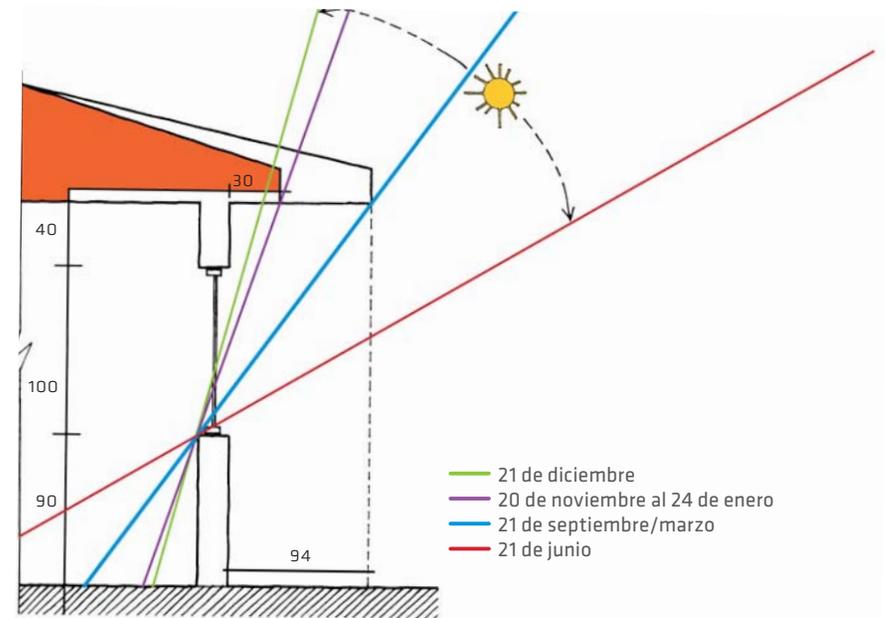


Figura III.3.6.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 37° (Concepción).

## A2 Características higrotérmicas de la envolvente

### Componentes

#### Muros

Es recomendable una baja transmitancia térmica en muros, lo que implica que en muros de albañilería –por ejemplo- debe agregarse aislante térmico. Esta aislación debe ser como mínimo 50mm<sup>2</sup>. El aumento de aislación térmica (o disminución de la transmitancia térmica) en muros, genera reducciones significativas en la demanda de calefacción.

Estas se pueden alcanzar hasta un 25% cuando a un muro que cumple con el mínimo exigido por la OCUC artículo 4.1.10 ( $U=1, \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) se agrega aislante térmico de 60mm (conductividad térmica de 0,042 W/m°C). Es recomendable aumentar la aislación térmica en esta zona debido a la alta demanda de energía en calefacción de las viviendas tales como las analizadas.

Se considera la orientación norte de las viviendas según lo indicado en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2. En el diseño de estas viviendas no se han considerado criterios de orientación en espacios de mayor uso.

Por otro lado, la presencia de lluvia intensa hace recomendable la protección de la envolvente ante la absorción de agua. La absorción de agua en cualquier material desmejora de manera significativa sus propiedades térmicas.

Muros de estructura liviana permiten aumentar aun más el espesor del aislante térmico. Ello debido a la facilidad con que puede instalarse en la cavidad del sistema constructivo. En este tipo de muros se recomienda cámara ventilada exterior, la que evacua humedad (de aguas lluvia) que intenta penetrar en la vivienda a través del sistema constructivo y amortigua la radiación incidente en el muro, disminuyendo la temperatura en recintos de la vivienda, mejorando así las condiciones de confort en verano. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.

Evitar puentes térmicos en todo sistema constructivo utilizado en muros y los restantes componentes de la envolvente.

**Tabla III.3.6.2.3: CONCEPCIÓN. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)		100			
	MURO (mm)		20	40	60	80
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)		109	104	101	99
	Albañilería de ladrillo (1B)		106	102	100	99
	Hormigón Armado (1C)		110	104	101	100
	Estructura en madera (1D)		109	103	101	99

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: En Concepción, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 115kWh/m<sup>2</sup>año.

**Tabla III.3.6.2.4: CONCEPCIÓN. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)		100			
	MURO (mm)		20	40	60	80
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)		87	77	72	69
	Albañilería de ladrillo (1B)		81	74	70	68
	Hormigón Armado (1C)		89	78	73	70
	Estructura en madera (1D)		88	77	72	70

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: En Concepción, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 97kWh/m<sup>2</sup>año.

<sup>2</sup> Al considerar como aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>. Espesor referido a la zona térmica 4.

### Techumbre

100mm de aislación mínimo<sup>3</sup> en cielo o en techos planos inclinados. Pendientes mínimas de cubierta de 30% para superficies rugosas y 15% para superficies lisas (recomendación de la Norma NCh10 9-2008)

#### ventanas y puertas

- Se recomienda el uso del D/H en ventanas.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. Ver punto II.1. y Figura II.1. .1
- Alta impermeabilidad a aguas lluvia.
- Protección solar en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal en cerramientos vidriados norte.

### Pisos

Para piso sobre terreno se recomienda instalación de aislante térmico bajo el radier. Usar aislante térmico que no absorba humedad. Si el piso es ventilado se deberá aislar con 60mm como mínimo<sup>4</sup>. Todo tipo de piso debe estar protegido de la humedad del suelo.

#### Forma de la vivienda y adosamiento

Disminuir al máximo la superficie expuesta de la vivienda, por la vía de una alta compactidad y adosamiento. Viviendas continuas son preferibles.

Cabe indicar que tanto en este como en los restantes casos estudiados, una disminución en las demandas de energía de calefacción en viviendas es equivalente a un mejoramiento en las condiciones ambientales (T°, Humedad y temperatura de las paredes) en que las personas desarrollan sus actividades.

<sup>3</sup> Ver Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, supuesto zona térmica 4 y aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

<sup>4</sup> Espesor mínimo en base a exigencias de la OGUC para la zona térmica 4, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>.

La tabla siguiente (Tabla III.3.6.2.5) muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 100 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 50mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (D/H) en ventanas.

**Tabla III.3.6.2.5: CONCEPCIÓN.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

	1 PISO	2 PISOS
<b>AISLADA</b>	73	50
<b>PAREADA</b>	71	46
<b>CONTINUA</b>	68	43

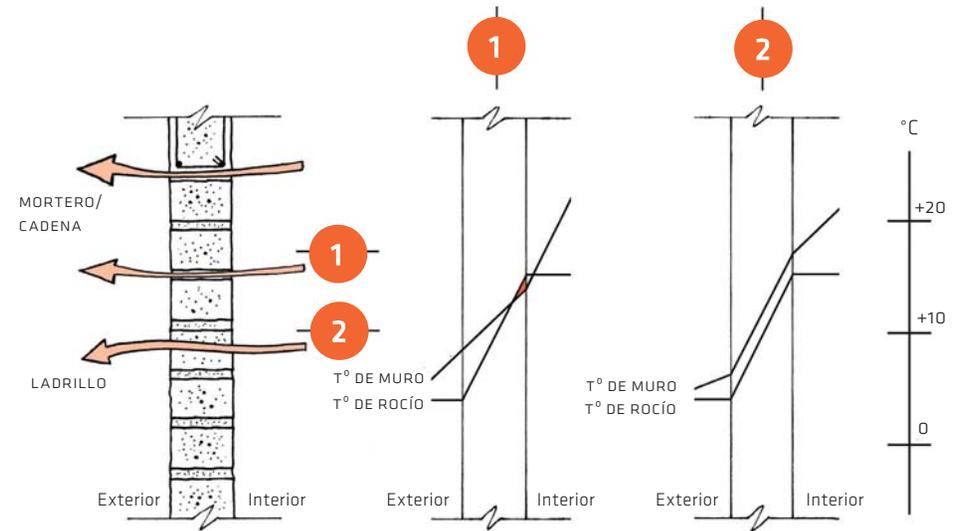
Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

### Riesgo de condensación superficial e intersticial

En esta zona, el riesgo de condensación superficial e intersticial en muros es similar a lo presentado para las Zona Central Interior. Para las condiciones ambientales consideradas (ver tabla III.2.1.9), se observa que en la albañilería de ladrillo existe riesgo de condensación en el mortero de pega y no en el ladrillo. También lo existirá en puentes térmicos como cadenas y pilares de hormigón armado. El riesgo de condensación a través del mortero de pega y en cadenas y pilares puede ser eliminado aislando térmicamente el muro por el exterior, eliminando puentes térmicos. En los sistemas constructivos estudiados, toda vez que se instala aislación térmica interior (en albañilerías o muro de hormigón armado) y en muros livianos (tipo 1D), existirá condensación intersticial, lo que se repara con la presencia de una lámina de alta resistencia al paso de vapor instalada lo más al interior posible del sistema constructivo. (ver punto II.1.6.2)

#### A3 Ventilación

- Ventilación mecánica controlada (VMC o ventilación forzada) es imprescindible para controlar la humedad interior y la presencia de contaminantes de manera eficaz y eficiente al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. (ver puntos II.1.6.1 y II.1.6.2)
- La ventilación natural es posible de ser usada tanto en invierno como en verano. En verano no producirá sobrecalentamiento interior debido a las bajas temperaturas ambientales en el exterior. En períodos fríos debe limitarse a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor. (ver punto II.1.6.2)



**Figura III.3.6.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de albañilería de ladrillo, en vivienda ubicada en Concepción. (1) Perfil de temperaturas a través del mortero de pega y (2) a través del ladrillo.

**Tabla III.3.6.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Concepción.**

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A		1B		1C		1D	
	0mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO		0mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO		0mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO		0mm A 80mm AISLANTE TÉRMICO	
	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	SIN BV	CON BV
Riesgo de condensación superficial	No	No	No	No	No	No	No	No
Riesgo de condensación intersticial	No	No	No	No	No	No	Sí	No

Fuente: Elaboración propia.

3 STRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN NATURAL

**CONCEPCIÓN, Región del Bío-Bío**

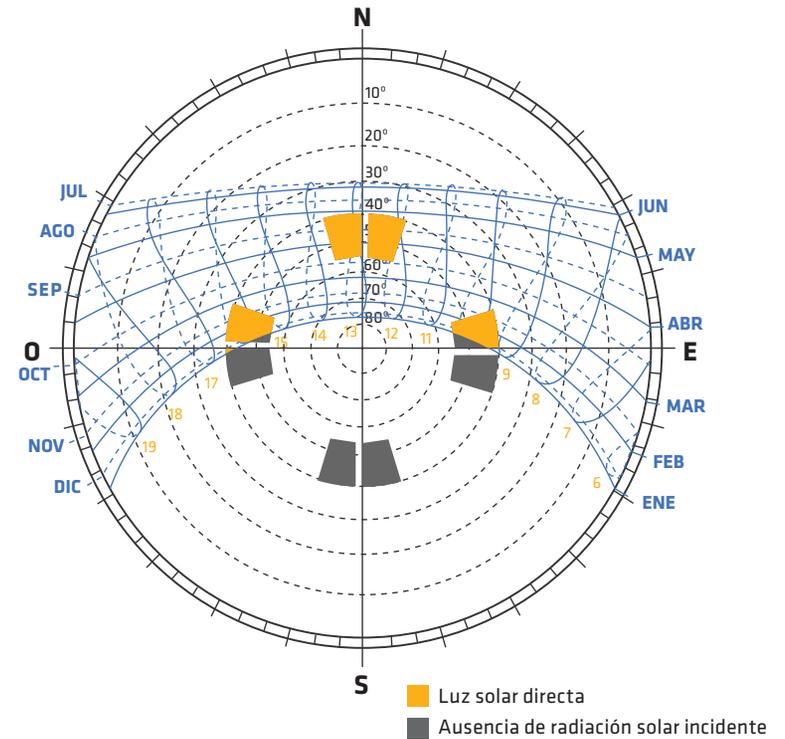
- > Coordenadas geográficas 36°4 'S; 3°0 'W
- > Angulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs 29,8°
- > Angulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs 6,3°
- > Cielo de diseño nublado (modelo CI ) .500 lux

La trayectoria solar de la localidad de Concepción presenta una definición de ángulos de altitud y azimut que serán característicos de las ciudades del sur de Chile, con un invierno y verano que van disminuyendo y aumentando su duración respectivamente conforme la latitud se vuelve más meridional. En este caso, los ángulos más extendidos del sol durante el solsticio de invierno no alcanzan a impactar el suelo del recinto por la ventana de orientación norte, mientras que el acceso por las de orientación oriente y poniente se ve exclusivamente limitado a los meses críticos de verano (figura III.3.6.2.5).

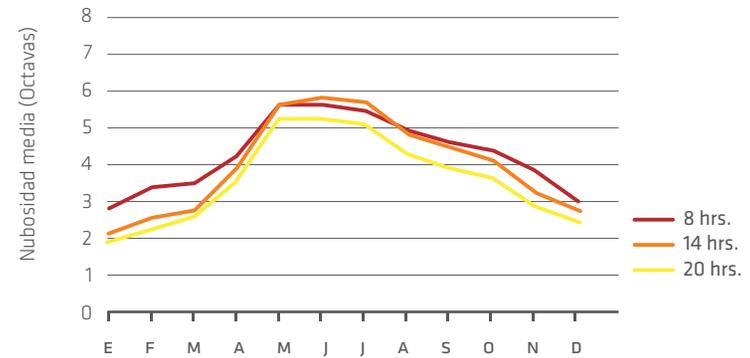
El gráfico III.3.6.2.2 presenta el gráfico de curvas de variación mensual de nubosidad media para Concepción, con valores que también son característicos de las localidades del sur de Chile (alrededor de 6 octavas, en este caso asociado a los meses de invierno).

En este sentido queda de manifiesto, que la luz difusa será un elemento importante a la hora del diseño arquitectónico, especialmente en estaciones intermedias y el invierno (el verano presenta prácticamente a toda hora cielos más bien claros).

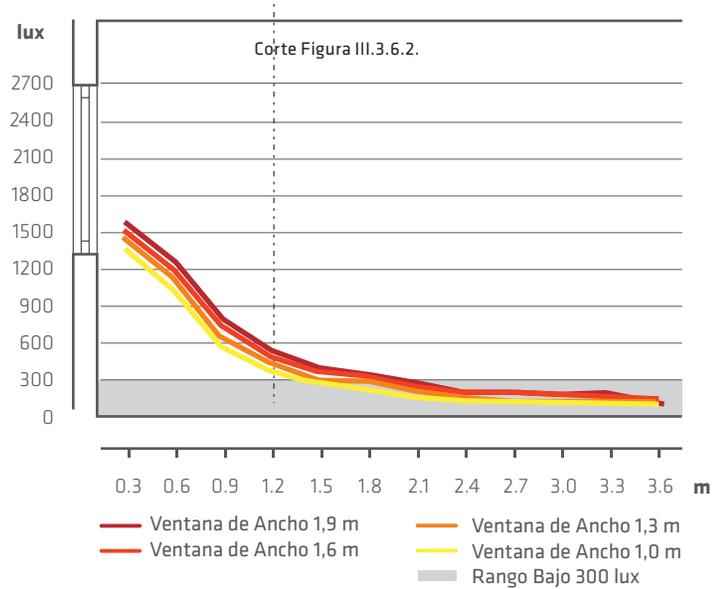
La figura III.3.6.2.6 presenta los niveles de iluminación natural en unidades de lux, para un para una sección longitudinal del caso de estudio y a partir de un modelo de cielo nublado de 500 lux. Dado que la intensidad de iluminación del cielo de diseño ha ido disminuyendo conforme la latitud se hace más septentrional, los valores obtenidos también han ido reduciéndose (aunque el perfil de las curvas se mantenga constante). En este caso, el valor máximo alcanzado en las inmediaciones de la ventana está en el rango de los 1.300 – 1.500 lux, lo cual claramente compromete la posibilidad de contar con una buena autonomía de iluminación natural en la profundidad de la planta. La figura III.3.6.2. pone de manifiesto esta situación al demostrar que gran parte del recinto estará bajo el nivel de los 300 lux a sólo 1,2 m de distancia de la ventana. Esta situación aparece como particularmente crítica para el caso de la ventana más pequeña (1,0 x 1,0 m).



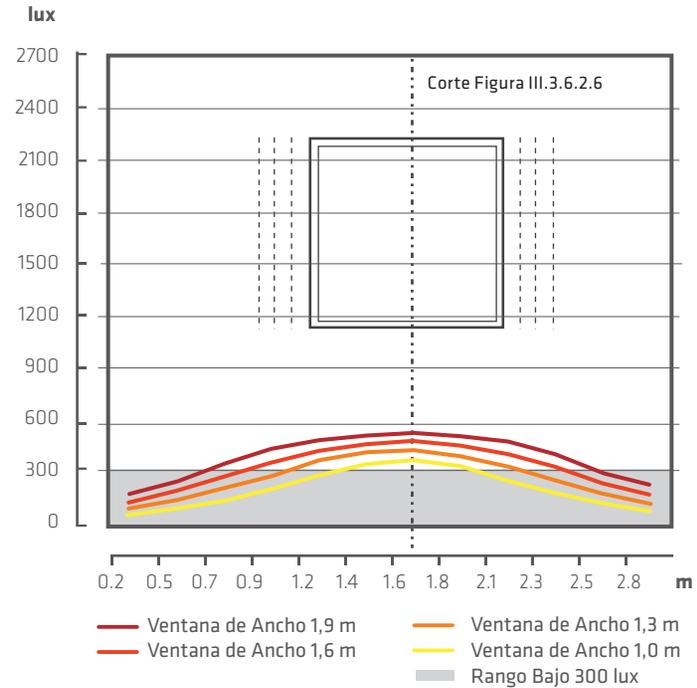
**Figura III.3.6.2.5:** Carta solar de proyección estereográfica para Concepción. Accesibilidad a la luz solar directa en recinto tipo de vivienda social (3,6 x 2,8 m) a través de una ventana de 1,0 x 1,0 m en las distintas orientaciones.



**Gráfico III.3.6.2.2:** Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Concepción. Fuente: Bustamante et al (2001)



**Figura III.3.6.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Concepción, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.



**Figura III.3.6.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Concepción, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

**Nota:** modelos digitales de las figuras III.3.6.2.6 y III.3.6.2. realizados por medio de softwares cotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CI vercast Sky de .500 lux. Se consideraron reflectividades de 0, 0; 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.

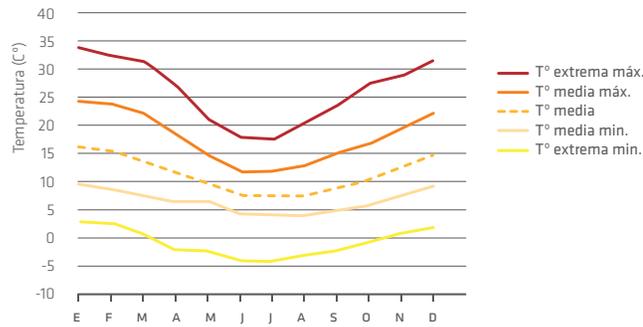
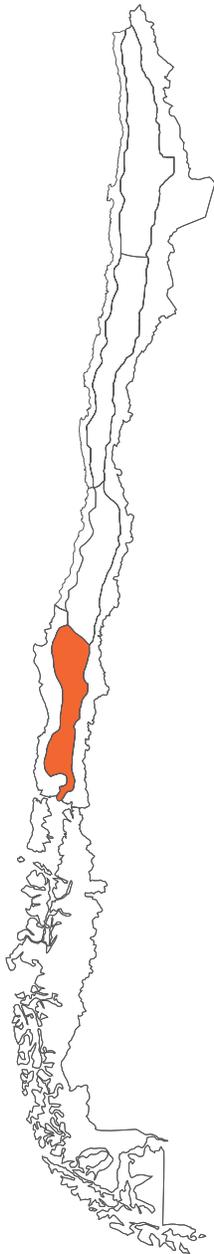


Gráfico III.3.7.1.1: Variación mensual de la temperatura, Temuco.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

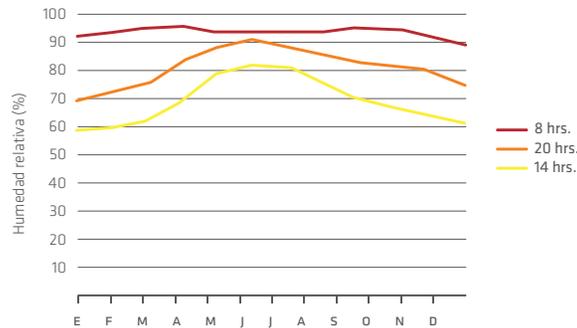


Gráfico III.3.7.1.2: Variación mensual de la H.R. Temuco.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

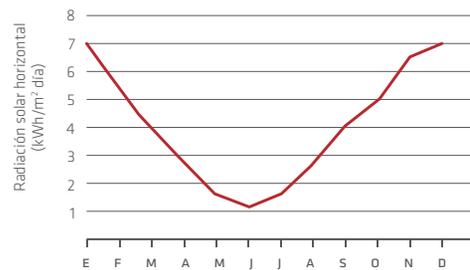


Gráfico III.3.7.1.3: Variación mensual de la radiación solar. Temuco.  
Fuente: Bustamante et al (2001)

### III.3.7 ZONA SUR INTERIOR (SI)

#### III.3.7.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

##### A CLIMA<sup>1</sup>

- Zona de temperaturas templadas (verano) a frías (invierno).
- Baja oscilación diaria de temperaturas en invierno (menor a 8°C promedio) . Mayor en verano (14,8°C promedio).
- Alta radiación solar en verano y baja en invierno. Promedios de radiación solar horizontal total entre 1,4 kWh/m² día (julio) y 6,9 kWh/m² día (enero).
- Alta humedad ambiental en verano y muy alta en invierno. Promedios mensuales entre 4% (enero) y 88% (julio).
- Precipitaciones altas sobre 1000 mm promedio anual. Máxima diaria sobre 130 mm en Temuco y sorno,
- vientos moderados de predominancia W. En Temuco y sorno predomina la calma.

##### B ENTORNO

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 36° y 41,5° S.
- Ambiente y terreno húmedo y frío. Vegetación robusta.
- Gran cantidad de ríos y lagos que forman microclimas.
- Presencia de edificios cercanos de baja altura.

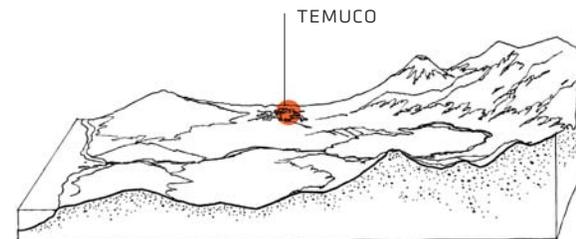


Figura III.3.7.1.1: Relieve transversal en latitud 38° (Temuco).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

### III.3.7.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

#### A ESTRATEGIAS DE FRIYCALOR

##### A1 Orientación y soleamiento

Es recomendable la orientación norte en recintos de mayor uso. Al para acceder al sol a través de cerramientos vidriados, los que deben ser de mayor superficie en esta orientación.

La orientación de recintos como dormitorios y living-comedor hacia el sur genera un aumento en la demanda de calefacción, lo que es equivalente a indicar que si no existe calefacción en la vivienda, el confort se verá significativamente afectado.

Las tablas III.3.6.2.1 y III.3.6.2.2 muestran las demandas de calefacción (para Temuco), al variar la orientación de recintos de la vivienda de 1 y 2 pisos respectivamente.

Las demandas de energía que se presentan en las tablas indicadas corresponden a las viviendas con sistemas constructivos de muro, cielo y ventanas que cumplen los mínimos estándares de transmitancia térmica de la OGUC, Artículo 4.1.10 (Reglamentación Térmica) para Temuco. En ventanas se considera vidriado simple. Sus especificaciones se detallan en I.6.3.3 y III.2.2.1. En el “A2” del presente punto, en que se muestran demandas de energía con mejores estándares térmicos de la envolvente.

La figura III.3.7.2.1 muestra baja altura solar durante los meses de invierno en la latitud 38° (Temuco), lo que permite penetración importante de radiación solar directa en los recintos de la vivienda orientados al norte. Sin embargo, la baja altura del sol lleva a grandes dimensiones en las protecciones solares horizontales norte (ver figura III.3.7.2.3). Aleros norte de aproximadamente 100 cm podrán obstruir la radiación directa en el período crítico de primavera-verano. Evitar elementos del entorno que generen sombras como lo que se observa en la figura III.3.7.2.3. El edificio de 4 pisos genera sombra en invierno en la vivienda que lo enfrenta, lo que hace que a pesar de tener buena orientación, la vivienda disminuye su acceso al sol.

**Tabla III.3.7.2.1: TEMUCO. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m<sup>2</sup>año)**

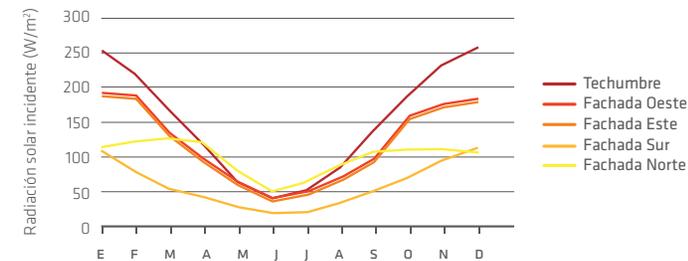
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	152	125
Sur	163	132
Este	159	129
Oeste	156	129

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

**Tabla III.3.7.2.2: TEMUCO. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m<sup>2</sup>año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	88	136
Sur	98	145
Este	97	142
Oeste	91	139

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.



**Gráfico III.3.7.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Temuco.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

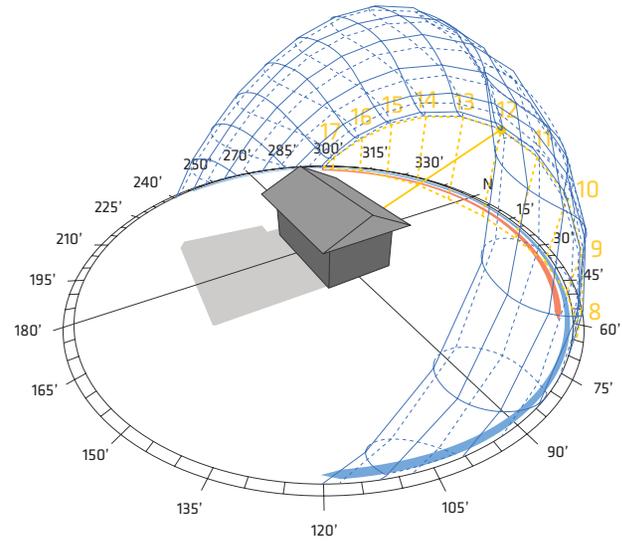


Figura III.3.7.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 38° (Temuco).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

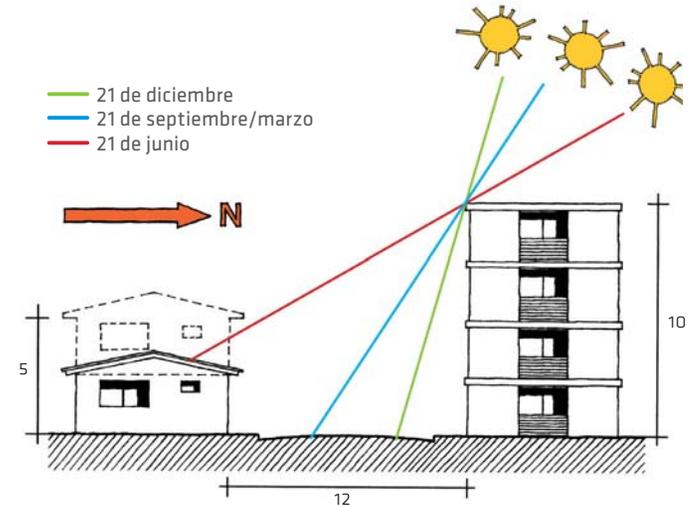


Figura III.3.7.2.2: Sombra proyectada por un edificio de 4 pisos en una vivienda de 1 y 2 pisos ubicada a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales. Caso de Temuco.

> DICIEMBRE

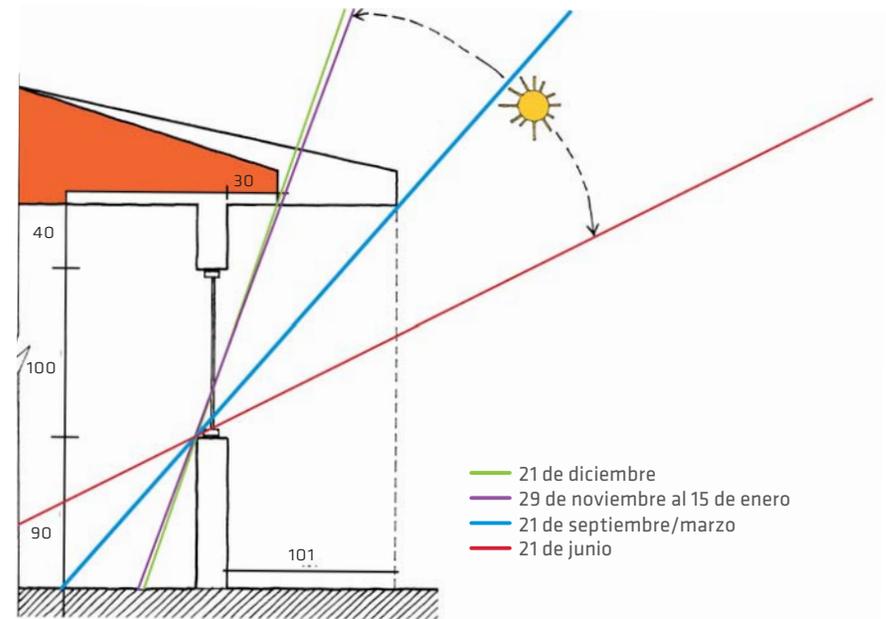
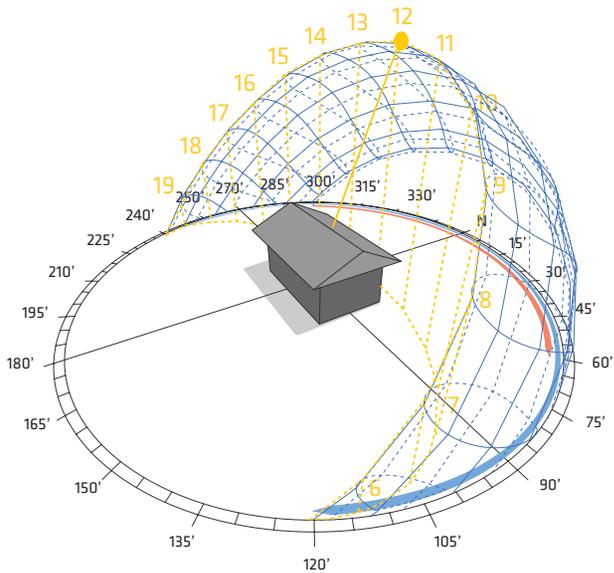


Figura III.3.7.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 38° (Temuco).

## A2 Características higrotérmicas de la envolvente

### Componentes

#### Muros

Es recomendable una baja transmitancia térmica en muros, lo que implica que en muros de albañilería –por ejemplo- debe agregarse aislante térmico. Esta aislación debe ser como mínimo 60mm<sup>2</sup>. El aumento de aislación térmica (o disminución de la transmitancia térmica) en muros, genera reducciones significativas en la demanda de calefacción.

Estas se pueden alcanzar más de un 20% cuando a un muro que cumple con el mínimo exigido por la OGUC, Artículo 4.1.10 ( $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) se agrega aislante térmico de 60mm (conductividad térmica de  $0,042 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ).

Se considera la orientación norte de las viviendas según lo indicado en las figuras III.2.2.1.1 y III.2.2.1.2. En el diseño de estas viviendas no se han considerado criterios de orientación en espacios de mayor uso.

Por otro lado, la presencia de lluvia intensa hace recomendable la protección de la envolvente ante la absorción de agua. La absorción de agua en cualquier material desmejora de manera significativa sus propiedades térmicas.

Muros de estructura liviana permiten aumentar aun más el espesor del aislante térmico. Ello debido a la facilidad con que puede instalarse en la cavidad del sistema constructivo. En este tipo de muros se recomienda cámara ventilada exterior, la que evacua humedad (de aguas lluvia) que intenta penetrar en la vivienda a través del sistema constructivo y amortigua la radiación incidente en el muro, disminuyendo la temperatura en recintos de la vivienda, mejorando así las condiciones de confort en verano. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.

Evitar puentes térmicos en todo sistema constructivo utilizado en muros y los restantes componentes de la envolvente.

### Techumbre

Cubierta ventilada con 120mm de aislación térmica como mínimo<sup>3</sup>. El entretecho debe ser ventilado con el fin de amortiguar el efecto de la radiación sobre la cubierta, haciendo

<sup>2</sup> Al considerar como aislante térmico poliestireno expandido de  $10\text{kg/m}^3$  ó lana de vidrio de  $11\text{kg/m}^3$ . Espesor referido a la zona térmica 4.

**Tabla III.3.7.2.3: TEMUCO. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	120			
	MURO (mm)	20	40	60	80
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	127	121	118	116
	Albañilería de ladrillo (1B)	123	119	117	115
	Hormigón Armado (1C)	128	121	118	116
	Estructura en madera (1D)	126	120	118	116

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Para Temuco la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es  $131\text{kWh/m}^2\text{año}$ .

**Tabla III.3.7.2.4: TEMUCO. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	120			
	MURO (mm)	20	40	60	80
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	100	90	84	81
	Albañilería de ladrillo (1B)	94	86	82	80
	Hormigón Armado (1C)	103	91	85	82
	Estructura en madera (1D)	99	89	85	81

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Para Temuco, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es  $108\text{kWh/m}^2\text{año}$ .

<sup>3</sup> Según Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del MINVU, para Zona térmica 4 y aislante térmico poliestireno expandido de  $10\text{kg/m}^3$  ó lana de vidrio de  $11\text{kg/m}^3$

disminuir el posible sobrecalentamiento en el interior de la vivienda, riego que existe en esta zona en verano.

ventanas y puertas

- Se recomienda el uso del Doble Vidrio (DV) en ventanas.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. Ver punto II.1. y Figura II.1. .1
- Alta impermeabilidad a aguas lluvia.
- Protección solar en cerramientos vidriados oriente y poniente.
- Protección solar horizontal en cerramientos vidriados norte.

Pisos

Para piso sobre terreno se recomienda instalación de aislante térmico bajo el radier. Usar aislante térmico que no absorba humedad. Si el piso es ventilado se deberá aislar con 50 mm como mínimo<sup>4</sup>. Todo tipo de piso debe estar protegido de la humedad del suelo.

#### Forma de la vivienda y adosamiento

Disminuir al máximo la superficie expuesta de la vivienda, por la vía de una alta compactidad y adosamiento. Viviendas continuas son preferibles.

#### Riesgo de condensación superficial e intersticial

El riesgo de condensación en los muros de viviendas de esta zona (análisis para Temuco), se puede observar en la tabla III.3. .2.5. En los casos de aislante térmico interior, la presencia de barrera de vapor (B) elimina la condensación intersticial.

La figura III.3. .2.4 muestra el análisis realizado para un tabique de madera (1D) con cámara ventilada exterior. El sistema presenta barrera de vapor entre el recubrimiento

<sup>4</sup> Espesor mínimo en base a exigencias de la OGUC para la zona térmica 4, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>. Cálculo en base a la NCh 853 Of91.

La tabla III.3. .2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 120 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 60mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (DVH) en ventanas.

**Tabla III.3.7.2.5: TEMUCO.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

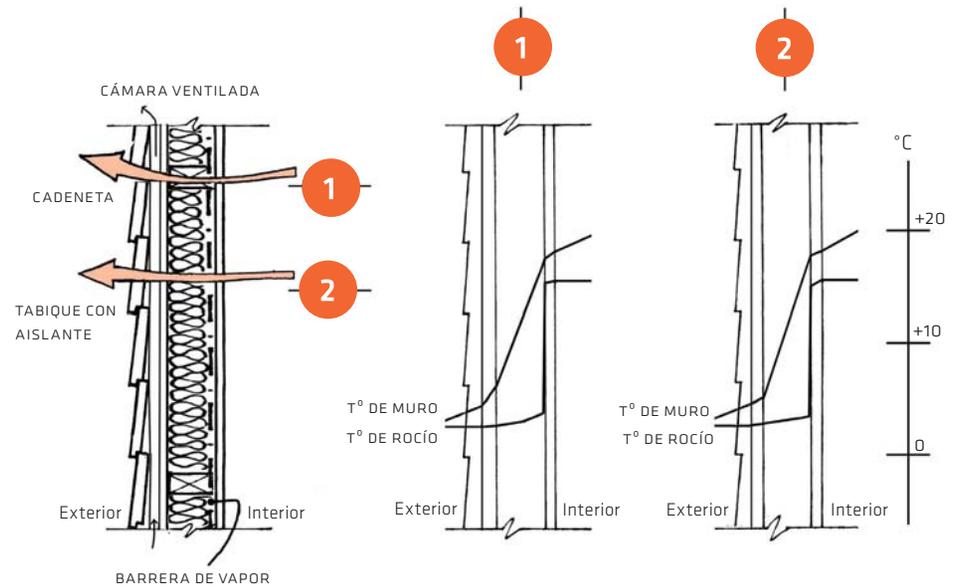
	1 PISO	2 PISOS
<b>AISLADA</b>	84	57
<b>PAREADA</b>	82	53
<b>CONTINUA</b>	79	50

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

interior y el aislante térmico. El perfil de temperaturas (1) corresponde a lo que sucede a través de la cadeneta de madera, mientras que el perfil de temperaturas (2) muestra lo que sucede a través del vano con aislante térmico. En ambos casos no existe condensación de ningún tipo. Esto ocurre por el efecto de aislante térmico (lana de vidrio) y la presencia de barrera de vapor de polietileno.

### A3 Ventilación

- Ventilación mecánica controlada (VMC o ventilación forzada) es imprescindible para controlar la humedad interior y la presencia de contaminantes de manera eficaz y eficiente al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1. .
- La ventilación natural es posible de ser usada evitando que ocurra cuando la temperatura exterior esté por sobre la de confort interior máxima en verano (27 °C). También es posible usar la ventilación natural en períodos fríos pero limitándola a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor. ( Ver punto II.1. ).



**Figura III.3.7.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro estructurado en madera con 70mm de aislante térmico. Perfil de temperaturas a través de la cadeneta (1) y a través del aislante (2). Análisis realizado en la ciudad de Temuco.

**Tabla III.3.7.2.6: Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Temuco.**

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A		1B		1C		1D	
	20 A 80 mm AISLANTE TÉRMICO							
	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR +BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	SIN BV	CON BV
Riesgo de condensación superficial	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Riesgo de condensación intersticial	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO

Fuente: Elaboración propia.

B STRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN NATURAL

**TEMUCO, Región de la Araucanía, Zona 5**

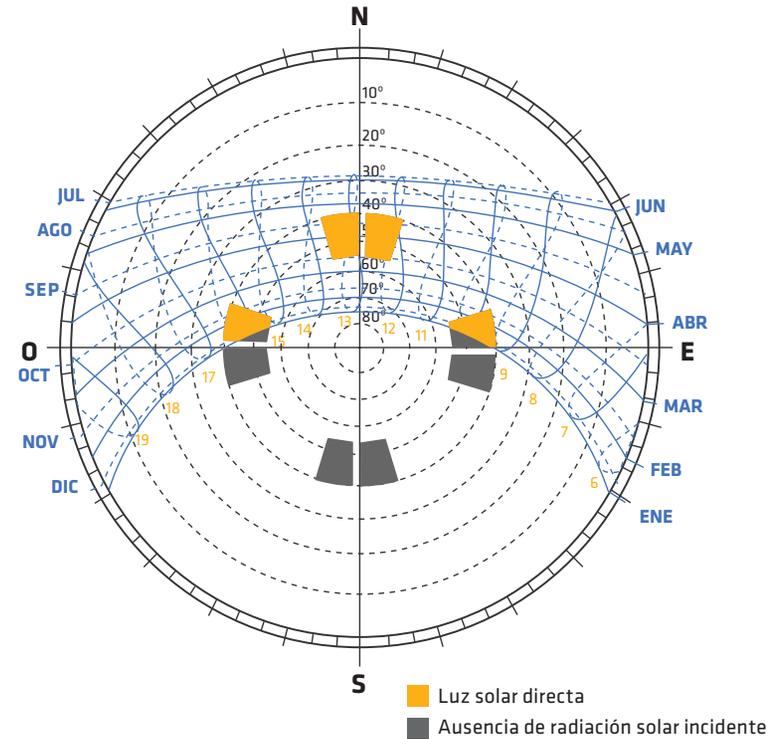
- > Coordenadas geográficas 38°46'S; 72°38'W
- > Ángulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs 21,9°
- > Ángulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs 44,5°
- > Cielo de diseño nublado (modelo CI) 0,000 lux

La trayectoria del sol en la localidad de Temuco, expresada en las máscaras solares de la figura III.3.2.5, enfatiza lo ya expresado en las observaciones al caso anterior, pero ahora con un invierno menos prolongado y con ángulos de altitud cada vez más extendidos. Asimismo resulta interesante notar como la accesibilidad solar al centro del recinto en la ventana de orientación poniente aparece cada vez más limitada, en este caso restringida a las un par de horas de la tarde durante la época estival.

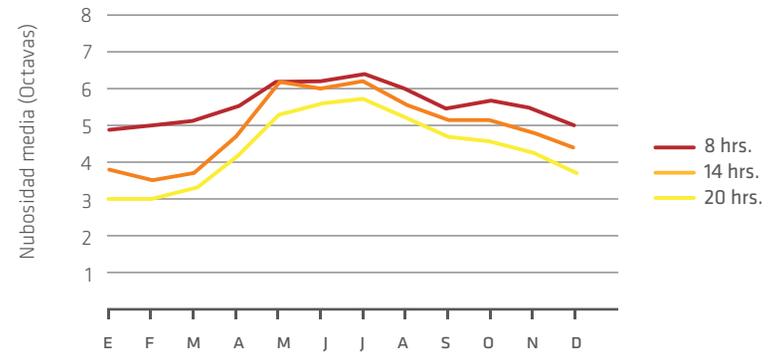
El gráfico III.3.2.2 presenta las curvas de variación mensual de nubosidad media para Temuco, con valores considerablemente altos y más constantes a lo largo del año que en el caso de Concepción (incluso en verano, la nubosidad tiene una presencia importante). Luego, nuevamente la luz difusa ocupará un lugar importante a la hora de definir los criterios de diseño, más aún cuando el fenómeno ya no esté asociado solamente al caso particular del invierno.

Los resultados de los niveles de iluminación de la sección longitudinal del caso de estudio presentado en la figura III.3.2.6 nuevamente expresan la necesidad de efectuar un diseño arquitectónico que integre la variable de la iluminación natural bajo condiciones de cielo nublado, puesto que los valores están al límite para garantizar el desarrollo de actividades como la lectura o las tareas escolares bajo condiciones exclusivas de iluminación natural. A partir de ahí, cualquier decisión errónea – en el diseño de elementos exteriores por ejemplo – afectará negativamente el desempeño lumínico del recinto, generando una situación de alta dependencia con respecto a la iluminación artificial.

En este mismo sentido, las curvas de intensidad de iluminación trazadas por la sección transversal del recinto (a 1,2 m de la ventana) de la figura III.3.2.1 constituirían argumento suficiente para apoyar la decisión de aumentar las dimensiones de la ventana desde el estándar mínimo de 1,0 x 1,0 m (pensando por ejemplo en la necesidad de instalar un

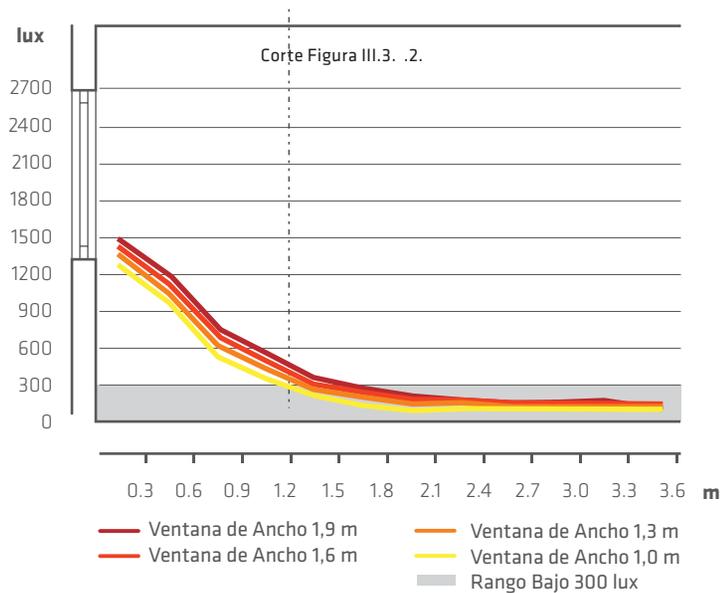


**Figura III.3.7.2.5:** Carta solar de proyección estereográfica para Temuco. Accesibilidad a la luz solar directa en recinto tipo de vivienda social (3,6 x 2,8 m) a través de una ventana de 1,0 x 1,0 m en las distintas orientaciones.



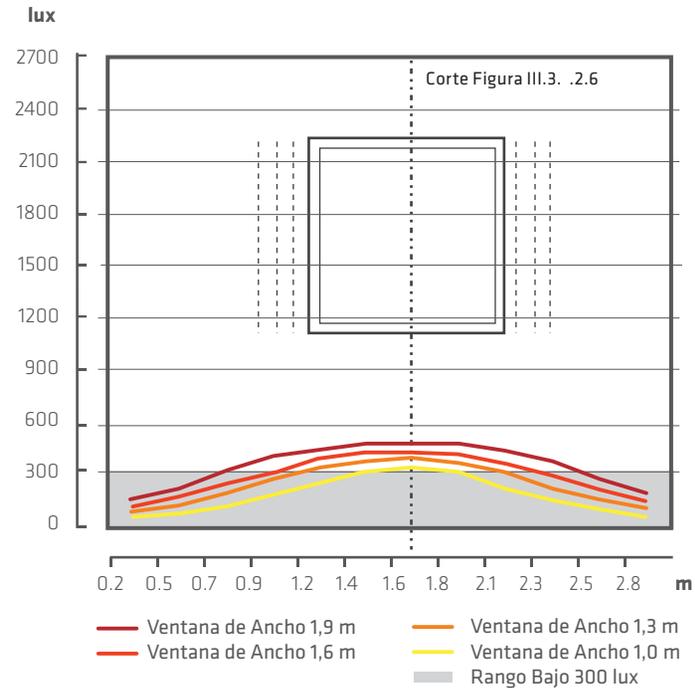
**Gráfico III.3.7.2.2:** Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Temuco. Fuente: Bustamante et al (2001)

escritorio hacia alguno de los bordes del recinto). Sin embargo, el dimensionamiento de ventanas afecta de manera muy relevante también otros aspectos del comportamiento ambiental de una vivienda, no sólo el lumínico. Se sugiere, por tanto incorporar una visión holística donde los distintos aspectos asociados al desempeño de la vivienda - térmico, lumínico, acústico, entre otros - sean incorporados y evaluados en conjunto.

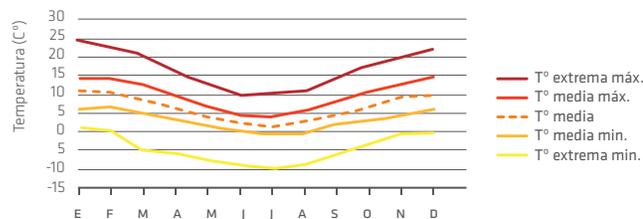
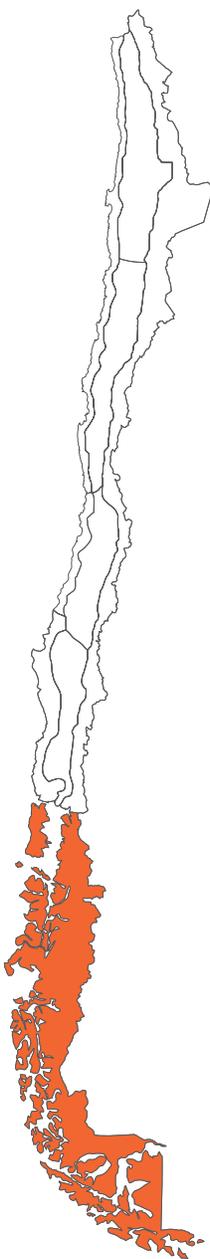


**Figura III.3.7.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Temuco, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

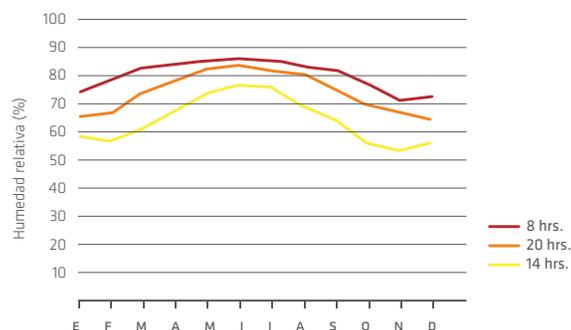
**Nota** modelos digitales de las figuras III.3.7.2.6 y III.3.7.2.7 realizados por medio de softwares cotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CIE overcast Sky de 1000 lux. Se consideraron reflectividades de 0, 0, 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.



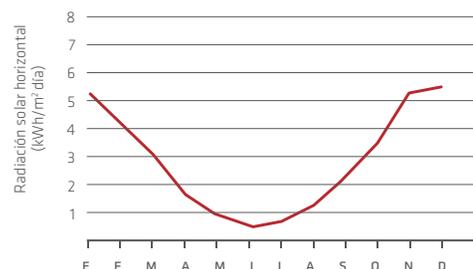
**Figura III.3.7.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Temuco, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.



**Gráfico III.3.8.1.1:** Variación mensual de la temperatura, Punta Arenas. Fuente: Bustamante et al (2001)



**Gráfico III.3.8.1.2:** Variación mensual de la H.R. Punta Arenas. Fuente: Bustamante et al (2001)



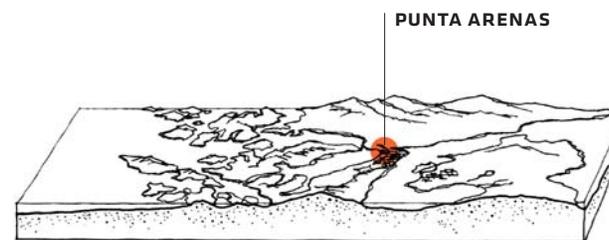
**Gráfico III.3.8.1.3:** Variación mensual de la radiación solar. Punta Arenas. Fuente: Bustamante et al (2001)

### III.3.8 ZONA SUR EXTREMO(SE)

#### III.3.8.1 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

##### A CLIMA<sup>1</sup>

- extensa Zona con amplias variaciones en el clima.
- Hacia el sur de la zona, la temperatura promedio mensual es baja en verano y muy baja en invierno.
- Temperaturas aumentan hacia el norte de la Zona (Isla de Chiloé).
- Baja oscilación diaria de temperaturas en invierno y verano.
- Moderada radiación solar en verano y muy baja en invierno. Promedios de radiación solar horizontal total entre 0,5kWh/m<sup>2</sup> día y 5,5kWh/m<sup>2</sup> día.
- Promedios de humedad relativa mensual en Punta Arenas entre 69% (enero) y 84% (julio). Promedios mayores hacia el norte
- Precipitaciones moderadas en Punta Arenas. Máxima de 24 horas de 98mm, anual de 35, mm. Muy superiores hacia el norte. Máxima de 24 horas de 140 mm en Coyhaique, 111 mm en Puerto Aysén y 110 mm en Castro. Precipitación anual de 264,1 mm y de 1205,9 mm en Puerto Aysén y Coyhaique respectivamente.
- Vientos intensos durante todo el año (de predominancia W) con promedio anual de 8,2 m/s en Punta Arenas. Calma predomina de Abril a Agosto en Puerto Aysen.



**Figura III.3.8.1.1:** Relieve transversal en latitud 53° (Punta Arenas).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.net](http://www.meteochile.net)).

## B NT RN

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 41, ° y 56° S.
- Abundancia de agua en ambiente y terreno.
- Abundantes islas.
- Terrenos planos de baja pendiente en zonas urbanas, que comienzan a ser más sinuosos en zonas cercanas a la Cordillera de la Costa y de los Andes.
- n zonas urbanas, presencia de edificios cercanos de baja altura.

### III.3.8.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

#### A STRAT GIAS D FRÍ Y CAL R

##### A1 rientación y soleamiento

Las tablas III.3.8.2.1 y III.3.8.2.2 muestran las variaciones en la demanda de energía al modificar la orientación de recintos de la vivienda de 1 y 2 pisos. La variación en la demanda de calefacción (para orientaciones Norte, este y ste de recintos) es menor en comparación con otras zonas de nuestro país, debido a la baja altura del sol y su prolongado recorrido en períodos intermedios e incluso verano, cuando aun es necesaria la calefacción. n estos períodos las ganancias solares son significativas en orientaciones oriente y poniente. De este modo, si bien es preferible la orientación norte, recintos orientados al oriente y poniente tendrán también una relativamente alta ganancia solar con el consiguiente impacto en la temperatura interior.

Con respecto a la trayectoria solar, la figura III.3.8.2.1, como es de esperar, muestra una altura solar baja en el mes de Junio (Punta Arenas), lo que genera prolongadas sombras. La figura III.3.8.2.3 muestra que la protección solar horizontal no es efectiva en esta zona para orientación norte de ventanas. Sin embargo, dado que el riesgo de sobrecalentamiento en esta ciudad y en el resto de la Zona es bajo, los aleros cumplen más bien la función de protección contra la lluvia y nieve y no de protección solar. Para evitar deslumbramiento en el espacio interior, son recomendables cortinas o persianas interiores. La figura III.3.8.2.2 muestra una vivienda, que en caso de ser de uno o dos pisos en Punta Arenas, está completamente sombreada en invierno, a pesar de estar orientada al norte. Por ello se debe analizar la proximidad de edificios de mayor altura a la vivienda en diseño, priorizando el emplazamiento en un entorno con viviendas de alturas similares.

**Tabla III.3.8.2.1: PUNTA ARENAS. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m<sup>2</sup>año)**

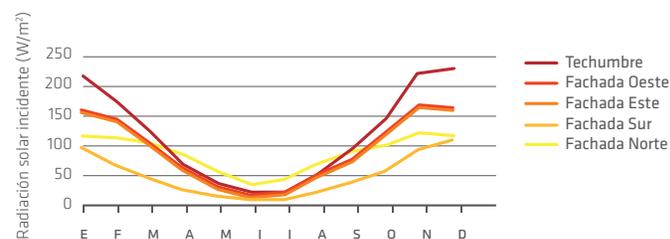
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	202	183
Sur	225	198
Este	210	192
Oeste	216	190

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

**Tabla III.3.8.2.2: PUNTA ARENAS. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m<sup>2</sup>año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	112	207
Sur	130	226
Este	121	216
Oeste	123	214

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.



**Gráfico III.3.8.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de Punta Arenas.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

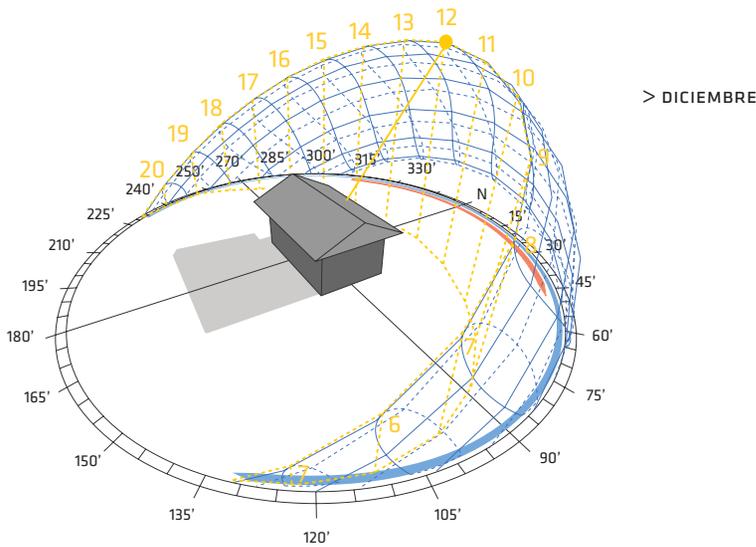
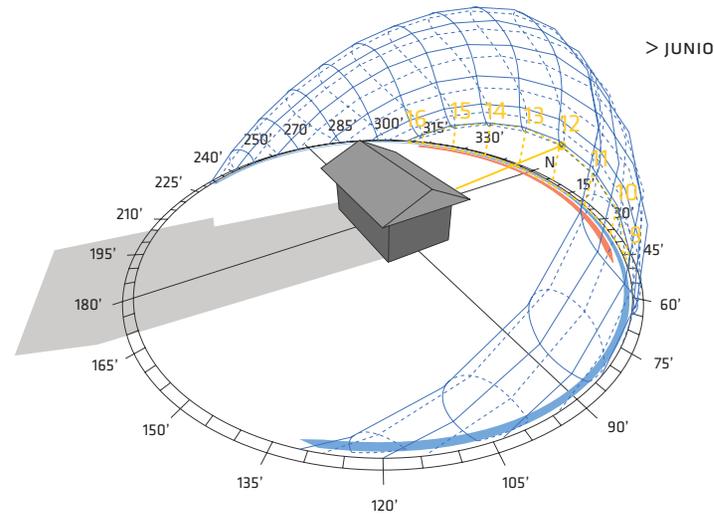


Figura III.3.8.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 53° (Punta Arenas).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

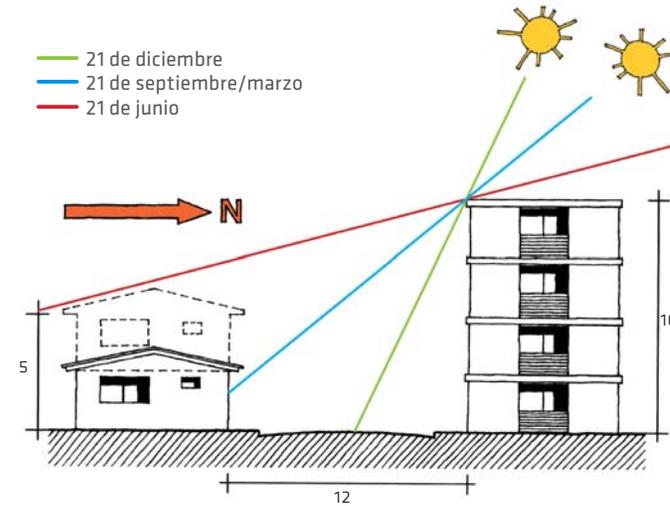


Figura III.3.8.2.2: Sombra proyectada por un edificio de 4 pisos en una vivienda de 1 y 2 pisos ubicada a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales. Caso de Punta Arenas.

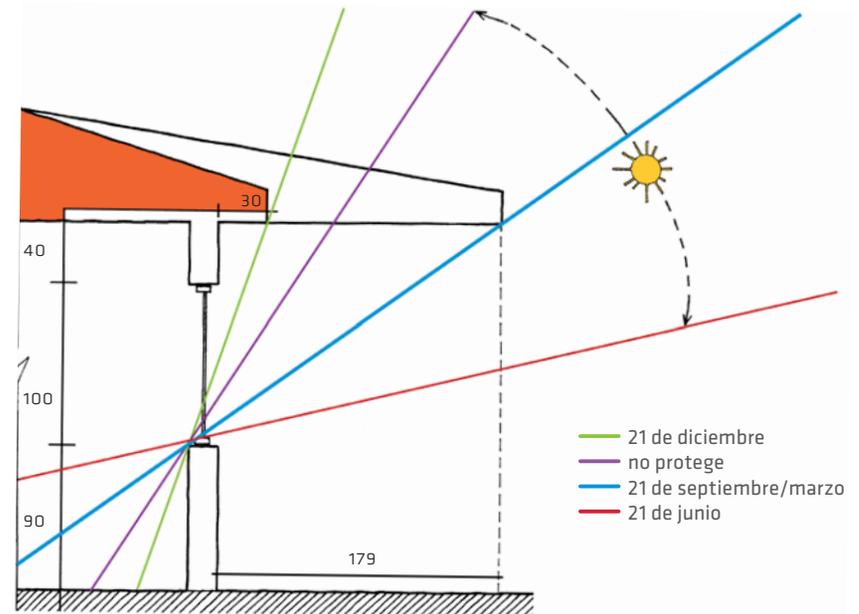


Figura III.3.8.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 53° (Punta Arenas)

## A2 Características higrotérmicas de la envolvente

### Componentes

#### Muros

- Muros de albañilerías y de hormigón deben ser aislados térmicamente, de preferencia por el exterior. Se recomienda 80mm de aislante térmico como mínimo<sup>2</sup>.
- Evitar puentes térmicos en muros y en todo componente de la envolvente.
- La presencia de lluvia intensa en ciertas regiones de la Zona y de nieve en otras, hace recomendable la protección de la envolvente ante absorción de agua. La absorción de agua en cualquier material desmejora de manera significativa sus propiedades térmicas.
- Muros de estructura liviana permiten un alto espesor de aislante térmico instalado en la cavidad del sistema constructivo. En este tipo de muros se recomienda cámara ventilada exterior, la que evacua humedad (de aguas lluvia) que intenta penetrar en la vivienda a través del sistema constructivo y amortigua la radiación incidente en el muro, disminuyendo la temperatura en recintos de la vivienda, mejorando así las condiciones de confort en verano. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.
- Muros y toda la envolvente debe ser altamente impermeable a las infiltraciones de aire.

#### Techumbre

Cubierta aislada térmicamente con 160mm de espesor como mínimo<sup>3</sup>. Cubierta debe estar cuidadosamente diseñada para evitar infiltraciones de aguas lluvia y nieve.

#### Ventanas y puertas

- Se recomienda el uso del DVH en ventanas. Idealmente DVH con vidrio de baja emisividad.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. Ver punto II.1. y figura II.1. .1
- Alta impermeabilidad a aguas lluvia, nieve y humedad de deshielos (en los casos que corresponda)
- Protección solar interior en cerramientos vidriados norte, oriente y poniente. (para evitar deslumbramiento).
- Es altamente recomendable considerar zaguán en la entrada.

**Tabla III.3.8.2.3: PUNTA ARENAS. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	160			
	MURO (mm)	60	80	100	120
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	185	181	179	177
	Albañilería de ladrillo (1B)	183	180	178	176
	Hormigón Armado (1C)	185	182	179	177
	Estructura en madera (1D)	184	181	179	177

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Para Punta Arenas la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 185kWh/m<sup>2</sup>año.

**Tabla III.3.8.2.4: PUNTA ARENAS. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)	160			
	MURO (mm)	60	80	100	120
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)	148	143	138	135
	Albañilería de ladrillo (1B)	145	140	136	134
	Hormigón Armado (1C)	149	143	139	136
	Estructura en madera (1D)	147	142	138	135

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Para Punta Arenas, la demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 149kWh/m<sup>2</sup>año.

<sup>2</sup> Ver Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, para la zona térmica 7, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Ver Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, para la zona térmica 7, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

Pisos

- Privilegiar el piso sobre terreno frente al piso ventilado. Si se trata de piso ventilado, la aislación térmica mínima a considerar es de 120mm<sup>4</sup>.
- Considerar aislación térmica bajo pisos sobre terreno. El aislante a usar no debe absorber agua. Por ejemplo poliestireno extruido.

*Forma de la vivienda y adosamiento*

Disminuir al máximo la superficie expuesta de la vivienda, ello a través de adosamiento y con un diseño lo más compacto posible. La vivienda compacta y adosada de manera continua, ayudará a disminuir las pérdidas de calor a lo largo del año.

*Riesgo de condensación superficial e intersticial*

El riesgo de condensación en muros de viviendas de esta zona (análisis para Punta Arenas), se puede observar en la tabla III.3.8.2.6. En los casos de aislante térmico interior, la presencia de barrera de vapor (B) elimina la condensación intersticial.

La figura III.3.8.2.4 muestra como la aislación térmica exterior (recomendable para la zona) disminuye los riesgos de condensación intersticial de un muro de albañilería de ladrillo. Si se aísla por el interior se debe agregar una barrera de vapor entre el aislante térmico (ubicado hacia el interior) y el revestimiento interior. De otro modo podrá existir condensación intersticial tal como se observa en el perfil 2 de temperatura.

Cabe señalar que toda barrera que se use por el exterior (de viento y/o de impermeabilidad al agua de lluvia o deshielos) debe ser permeable al paso de vapor (incluidas las pinturas).

<sup>4</sup> Espesor mínimo en base a exigencias de la OGUC para zona térmica 7, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>. Cálculo en base a la NCh 853 Of91.

La tabla III.3.8.2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 160 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 80mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (DVH) en ventanas.

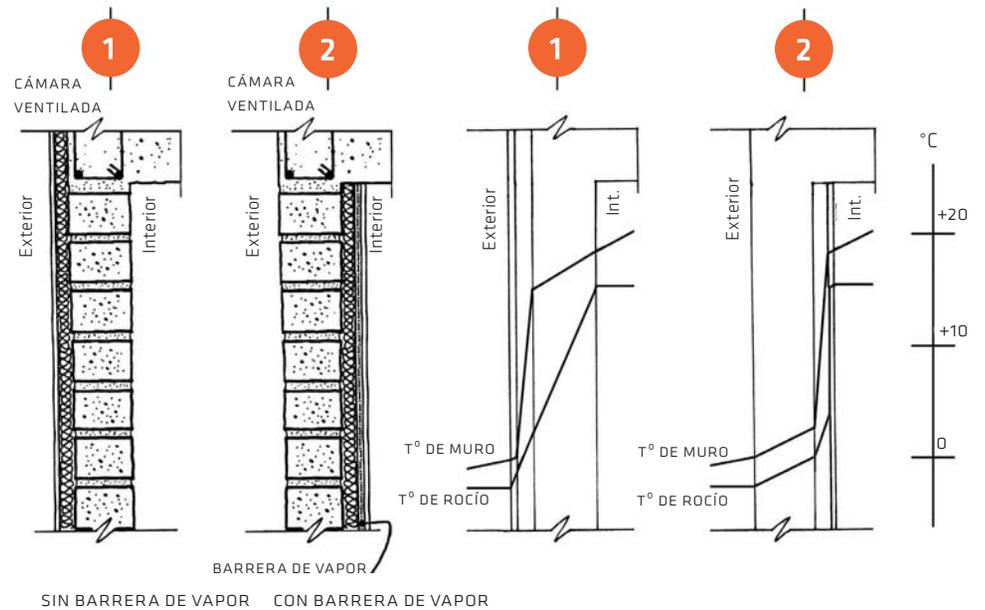
En el caso de suponer doble vidriado hermético en la vivienda continua de 1 y 2 pisos se obtiene una demanda de calefacción de 121 y 80 kWh/m<sup>2</sup> año respectivamente.

**Tabla III.3.8.2.5: PUNTA ARENAS.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

	1 PISO	2 PISOS
<b>AISLADA</b>	135	99
<b>PAREADA</b>	131	92
<b>CONTINUA</b>	127	86

**A3** Ventilación

- Ventilación mecánica controlada (VMC o ventilación forzada) es imprescindible para controlar la humedad interior y la presencia de contaminantes de manera eficaz y eficiente al interior de la vivienda. El control de humedad limita las posibilidades de condensación superficial en la envolvente. Ver puntos II.1.6.1 y II.1.7.
- La ventilación natural es posible de ser usada evitando que ocurra cuando la temperatura exterior esté por sobre la de confort interior máxima en verano ( $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). También es posible usar la ventilación natural en períodos fríos pero limitándola a lo estrictamente necesario para evitar exceso de pérdidas de calor. (Ver punto II.1.7).



**Figura III.3.8.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de albañilería con 70mm de aislamiento térmico exterior (1) y 70mm de aislamiento térmico interior (2).

**Tabla III.3.8.2.6:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en Punta Arenas.

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A		1B		1C		1D	
	60mm A 110mm AISLANTE TÉRMICO		60mm A 110mm AISLANTE TÉRMICO		60mm A 110mm AISLANTE TÉRMICO		60mm A 110mm AISLANTE TÉRMICO	
	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR +BV	SIN BV	CON BV
Riesgo de condensación superficial	No	No	No	No	No	No	No	No
Riesgo de condensación intersticial	No	No	No	No	No	No	Si	No

3 STRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN NATURAL

**PUNTA ARENAS, Región de Magallanes.**

Coordenadas geográficas 53°08'S; 0°53'W

Angulo de inclinación sol 21 junio, 12.00 hrs 12, °

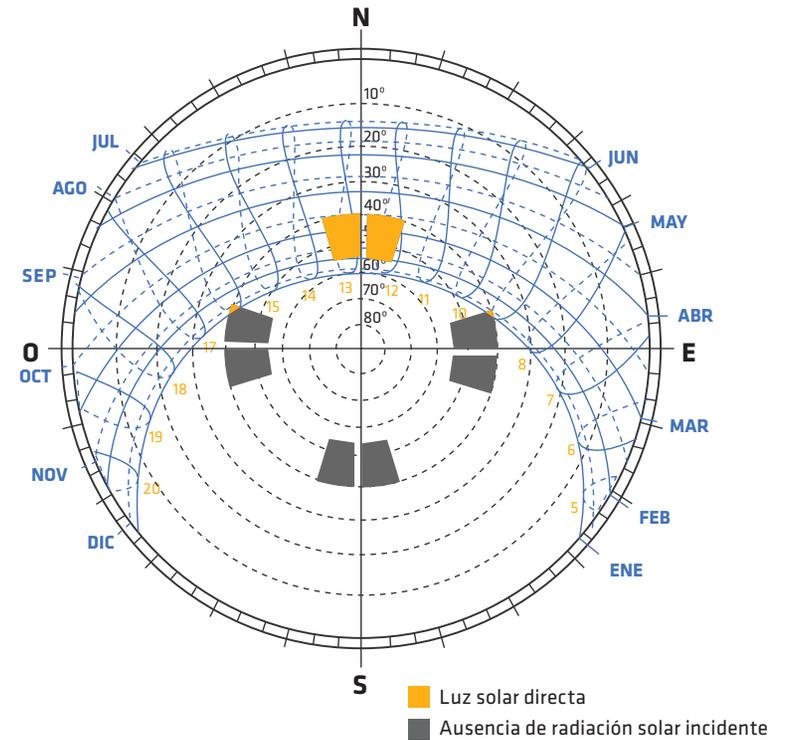
Angulo de inclinación sol 21 diciembre, 12.00 hrs 59,6°

Cielo de diseño nublado (modelo CI ) 3.500 lux

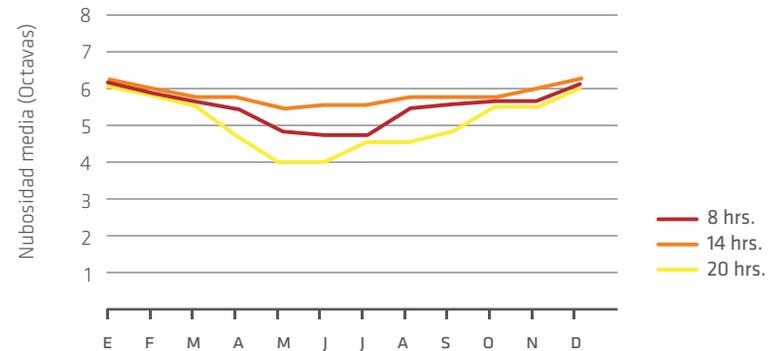
El caso de Punta Arenas nos presenta el caso probablemente más excepcional de los hasta aquí expuestos, puesto que su extrema latitud meridional, genera una trayectoria solar exageradamente extendida durante el verano y muy limitada durante el invierno (figura III.3.8.2.5), de manera similar a lo que ocurre en latitudes del norte de Europa. A diferencia de los casos anteriores, la luz solar directa alcanza el centro del recinto a nivel del suelo sólo a través de la ventana de orientación norte y en una época casi completamente estival, durante los meses de octubre, noviembre, febrero y marzo.

La situación de la nubosidad en Punta Arenas también presenta sus peculiaridades. El gráfico III.3.8.2.2 demuestra que esta localidad presenta una nubosidad permanente y bastante alta (6 octavas) especialmente en horas tempranas de la tarde, que disminuye ligeramente en invierno y estaciones intermedias en la mañana y en las últimas horas del día. Con esto queda de manifiesto que la luz difusa no será solamente un elemento relevante dentro del diseño arquitectónico, sino fundamental (debido a su persistencia en el tiempo e intensidad).

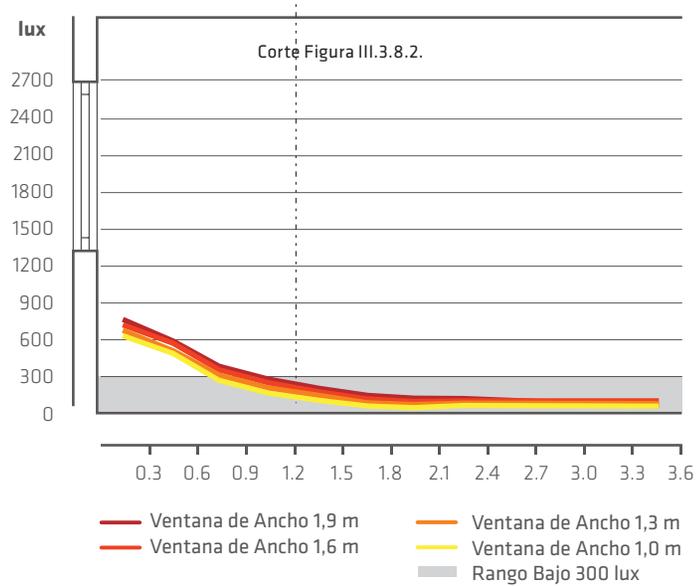
Para entender los resultados de los niveles de iluminación obtenidos bajo condiciones de cielo nublado, hay que señalar en primer lugar que el modelo de cielo utilizado posee una intensidad de iluminación muy baja (3500 lux), que generará resultados muy desfavorables, como efectivamente se puede observar en la figura III.3.8.2.6. Esto se refleja en la presencia de una máxima de apenas 600 lux en las inmediaciones de la ventana y que ya antes de 1,0 m de distancia se llegue al límite de 300 lux definido para actividades con un requerimiento moderado sobre la visión. La sección transversal de la figura III.3.8.2. refuerza esta impresión (con todas las curvas de intensidad de iluminación bajo el rango propuesto). Con esto, queda de manifiesto que lo más probable para estas condiciones y para el estándar de 300 lux que se está considerando, se tenga que encender luminarias durante buena parte del día.



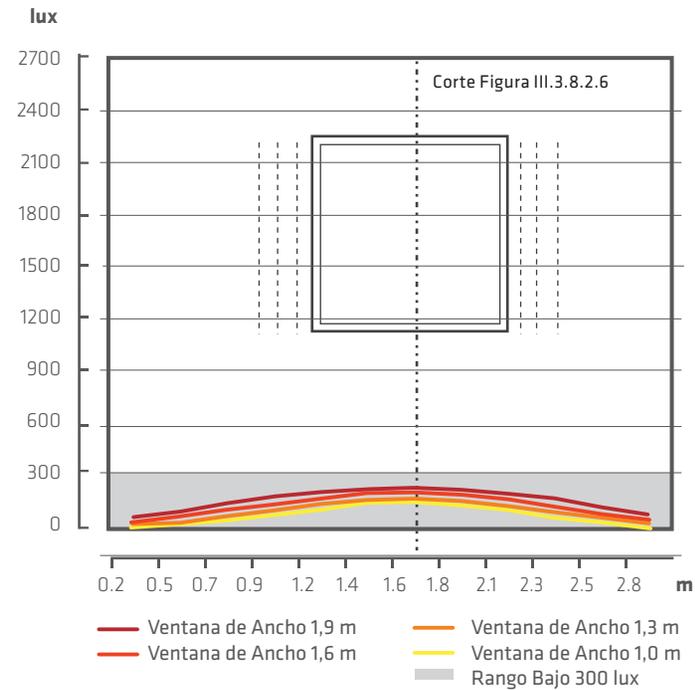
**Figura III.3.8.2.5:** Carta solar de proyección estereográfica para Punta Arenas. Accesibilidad a la luz solar directa en recinto tipo de vivienda social (3,6 x 2,8 m) a través de una ventana de 1,0 x 1,0 m en las distintas orientaciones.



**Gráfico III.3.8.2.2:** Curvas de variación mensual de la nubosidad media para Punta Arenas. Fuente: Bustamante et al (2001)



**Figura III.3.8.2.6:** Niveles de iluminación natural en sección longitudinal de recinto tipo de vivienda social en Punta Arenas, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.



**Figura III.3.8.2.7:** Niveles de iluminación natural en sección transversal de recinto tipo de vivienda social en Punta Arenas, expresado en unidades lux a partir del cálculo de factor de luz diurna.

**Nota:** modelos digitales de las figuras III.3.8.2.6 y III.3.8.2. realizados por medio de softwares cotect v5.50 y Radiance, para un cielo de diseño estandarizado CI vercast Sky de 3.500 lux. Se consideraron reflectividades de 0, 0; 0,80 y 0,80 para muros, cielos y pisos respectivamente.

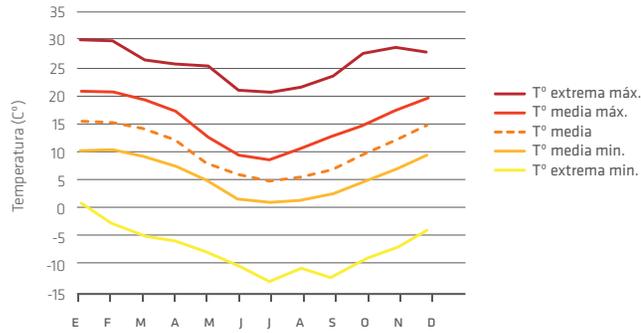
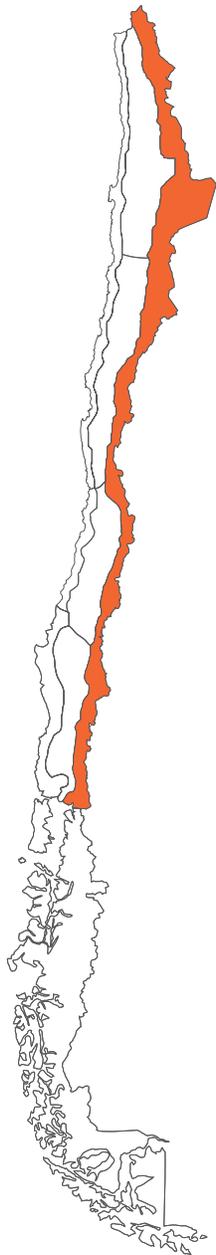


Gráfico III.3.9.1.1: Variación mensual de la temperatura, El Teniente. Fuente: NCh 1079-2008 y Arata, A. (1984).

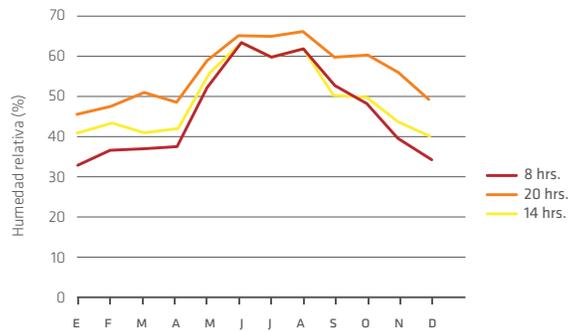


Gráfico III.3.9.1.2: Variación mensual de la H.R. El Teniente. Fuente: Arata, A. (1984)

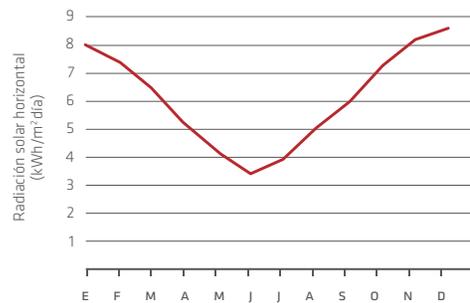


Gráfico III.3.9.1.3: Variación mensual de la radiación solar. Potrerillos. Fuente: Sarmiento, P. (1995)

### III.3.9 ZONA ANDINA (An)

#### III.3.9.1 VARIABLES DE DISEÑO

##### A CLIMA<sup>1</sup>

En este caso dada la gran diversidad climática al interior de la Zona se analiza sólo lo que ocurre en el caso de Sewell, El Teniente, tanto desde el punto de vista del clima como de las recomendaciones a plantear.

- Temperaturas medias templadas en verano y bajas en invierno.
- Oscilación diaria de temperaturas de 10,5°C en verano y 9°C en invierno. Sin embargo, las extremas diarias llegan a valores superiores a los 30°C en verano y mayores a 20°C en invierno.
- Alta radiación solar. Promedios de radiación solar horizontal total entre 3,5kWh/m²día (julio) y 8,5 kWh/m²día (enero).
- Humedad ambiental moderada en verano; mayores en invierno. Promedios mensuales entre 53% (enero) y 68% (julio).
- Altas precipitaciones. Máxima diaria de 148,3mm, media anual de 85,1mm.
- Abundante nieve en invierno.
- Niegos intensos.

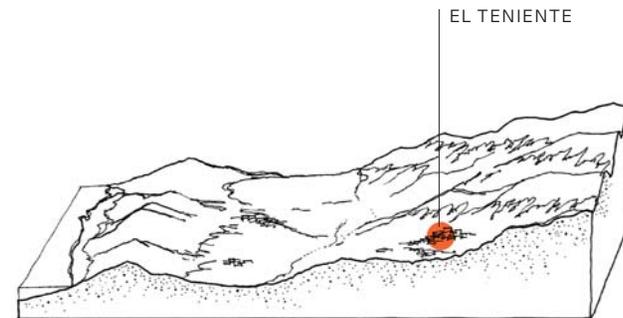


Figura III.3.9.1.1: Relieve transversal en latitud 34° (El Teniente).

<sup>1</sup> Fuentes: NCh1079-2008; Sarmiento P. (1995); Dirección Meteorológica de Chile (www.meteochile.net).

## B NT RN

- Ciudades de esta zona están comprendidas entre la latitud 1 ,5° y 42,2° SUR.
- Atmósfera seca y fría.
- Nubosidad abundante.
- Microclimas en los valles formados por cajones que se internan cordillera adentro.

### III.3.9.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO EN LA VIVIENDA

#### A STRATEGIAS DIFÍCIL Y CALOR

##### A1 Orientación y soleamiento

Se recomienda orientación norte para recintos como dormitorios y living-comedor. La orientación de estos recintos hacia el sur genera un aumento en la demanda de calefacción, lo que es equivalente a indicar que si no existe calefacción en la vivienda, el confort se verá significativamente afectado.

Las tablas III.3.9.2.1 y III.3.9.2.2 muestran las demandas de calefacción (para El Teniente), al variar la orientación de recintos de la vivienda de 1 y 2 pisos respectivamente.

La figura III.3.9.2.1 y gráfico III.3.9.2.1 muestran la trayectoria solar y la radiación incidente en el Teniente (la latitud 34°). En invierno, gran parte del día, la radiación solar será directa en la fachada norte. La figura III.3.9.2.2 muestra una vivienda de uno o dos pisos que enfrenta un edificio de 4 pisos, éste genera sombras en el primer piso de la vivienda durante el período de invierno, perjudicando la captación solar de la fachada norte. La altura del sol en verano en esta zona, hacen recomendable que el ancho del alero sea superior al mínimo de 30cm (figura III.3.9.2.3) o complementarlo con otro tipo de protección solar (vertical), que generen sombra sobre cerramientos vidriados durante el período de calor. Las protecciones solares en esta zona deben ser resistentes al viento, lluvia y nieve en períodos de frío.

**Tabla III.3.9.2.1: EL TENIENTE. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 1 piso (kWh/m<sup>2</sup>año)**

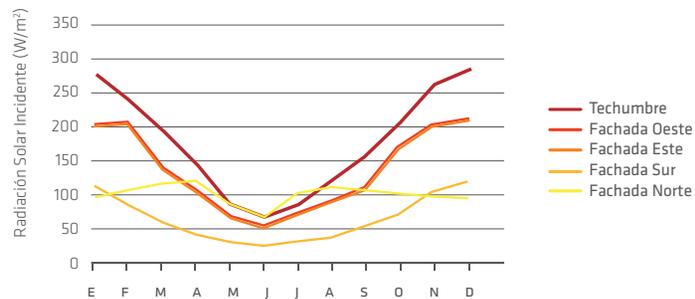
ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 1	ESTAR-COMEDOR
Norte	169	152
Sur	185	169
Este	176	156
Oeste	178	155

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

**Tabla III.3.9.2.2: EL TENIENTE. Demanda de calefacción anual por orientación en recintos de vivienda de 2 pisos (kWh/m<sup>2</sup>año)**

ORIENTACIÓN RECINTO	DORMITORIO 2	ESTAR-COMEDOR
Norte	81	166
Sur	98	184
Este	89	170
Oeste	90	169

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.



**Gráfico III.3.9.2.1: Radiación solar incidente en muros y techumbre en vivienda ubicada en la ciudad de El Teniente.**

Fuente: Elaboración propia según Sarmiento P. (1995)

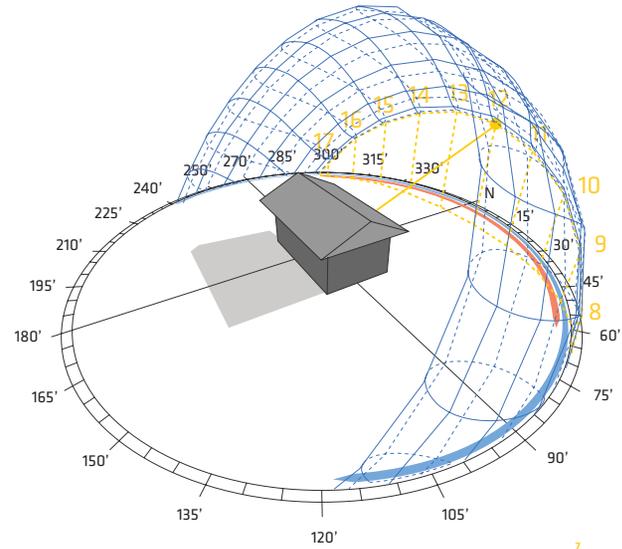


Figura III.3.9.2.1: Posición del sol en solsticio de invierno y verano a las 12:00pm. Sombra proyectada por vivienda ubicada en latitud 34° (El Teniente).

Fuente: Elaboración propia con uso de programa ECOTECH.

> JUNIO

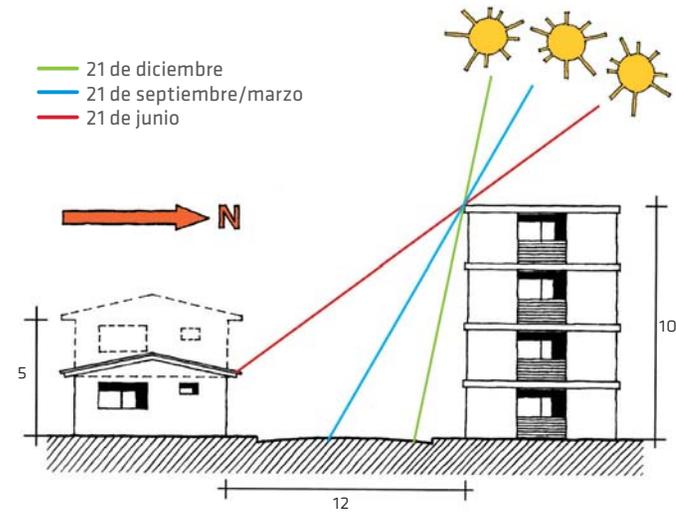


Figura III.3.9.2.2: Sombra proyectada por un edificio de 4 pisos en una vivienda de 1 y 2 pisos ubicada a una distancia igual a 12m entre líneas oficiales. Caso de El Teniente.

> DICIEMBRE

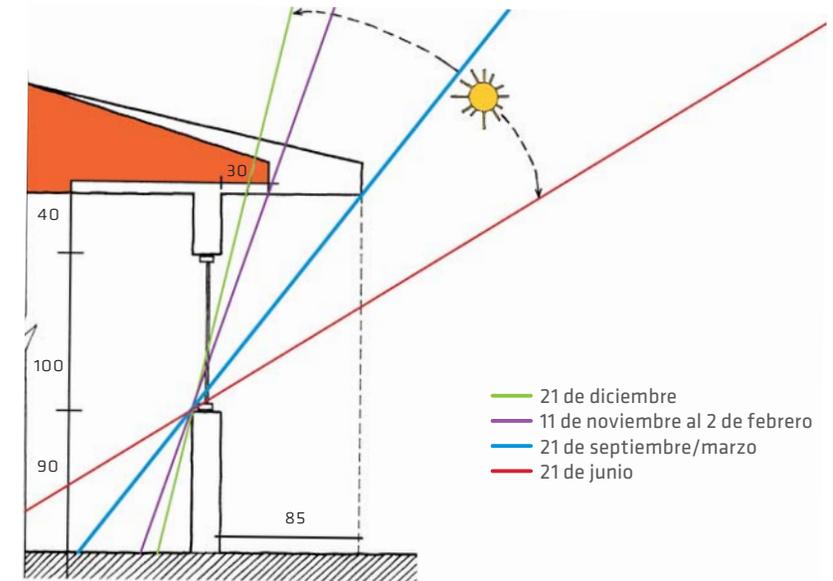
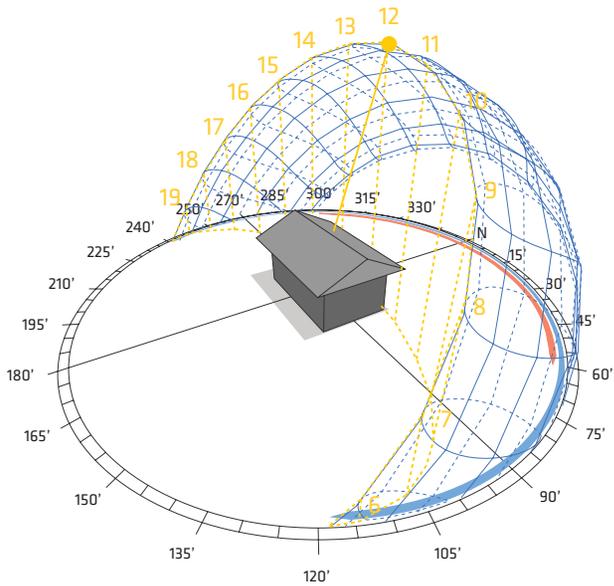


Figura III.3.9.2.3: Dimensionamiento de protección solar horizontal norte para latitud 34° (El Teniente).

## A2 Características higrotérmicas de la envolvente

### Calidad térmica de los materiales de la envolvente

#### Muros

- Muros con alta inercia térmica (hormigón armado y albañilerías de ladrillo y bloque de hormigón) aislados térmicamente por el exterior con 100 mm como mínimo<sup>2</sup>. Las tablas III.3.9.2.3 y III.3.9.2.4 muestran la disminución en las demandas de calefacción al aumentar el espesor de aislante en los muros de la vivienda.
- Evitar puentes térmicos en muros y en todo componente de la envolvente.
- La presencia de lluvia y nieve en la Zona y de nieve en otras, hace recomendable la protección de la envolvente ante absorción de agua. La absorción de agua en cualquier material desmejora de manera significativa sus propiedades térmicas.
- Muros de estructura liviana permiten un alto espesor de aislante térmico instalado en la cavidad del sistema constructivo. En este tipo de muros se recomienda cámara ventilada exterior, la que evacua humedad (de aguas lluvia o de deshielo de nieve) que intenta penetrar en la vivienda a través del sistema constructivo y amortigua la radiación incidente en el muro, disminuyendo la temperatura en recintos de la vivienda, mejorando así las condiciones de confort en verano. Ver punto II.1.4.2 y figura II.1.4.12.
- Muros y toda la envolvente debe ser altamente impermeable a las infiltraciones de aire.

#### Techumbre

Cubierta con 120 a 160mm de aislación térmica mínima<sup>3</sup>.

#### Ventanas y puertas

- Se recomienda el uso del DVH en ventanas. Idealmente DVH con vidrio de baja emisividad.
- Alta hermeticidad al aire en marcos y jambas. Ver punto II.1. y figura II.1. .1
- Alta impermeabilidad a aguas lluvia, nieve y humedad de deshielos
- Protección solar en cerramientos vidriados.
- Es altamente recomendable considerar zaguán en la entrada.

**Tabla III.3.9.2.3: EL TENIENTE. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 1 piso por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)		160			
	MURO (mm)		60	80	100	120
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)		153	150	148	147
	Albañilería de ladrillo (1B)		151	149	147	146
	Hormigón Armado (1C)		153	151	149	148
	Estructura en madera (1D)		152	150	148	147

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Demanda de calefacción anual de la vivienda base de 1 piso es 153kWh/m<sup>2</sup>año.

**Tabla III.3.9.2.4: EL TENIENTE. Demanda de energía de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año) en vivienda de 2 pisos por tipo de muro envolvente y espesor de aislante térmico incorporado. Ventanas vidriado simple.**

AISLACIÓN TÉRMICA	CIELO (mm)		160			
	MURO (mm)		60	80	100	120
SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	Albañilería de bloque de hormigón (1A)		117	113	109	107
	Albañilería de ladrillo (1B)		115	111	108	106
	Hormigón Armado (1C)		117	114	110	107
	Estructura en madera (1D)		116	113	110	108

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones software TAS.

Nota: Demanda de calefacción anual de la vivienda base de 2 pisos es 117kWh/m<sup>2</sup>año.

<sup>2</sup> Aislación térmica mínima referida a poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup> u otro aislante térmico de similar conductividad térmica.

<sup>3</sup> Ver Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup> ó lana de vidrio de 11kg/m<sup>3</sup>.

### Pisos

- Privilegiar el piso sobre terreno frente al piso ventilado. Si se trata de piso ventilado, la aislación térmica mínima a considerar es de 120mm<sup>4</sup>.
- Considerar aislación térmica bajo pisos sobre terreno. El aislante a usar no debe absorber agua. Por ejemplo poliestireno extruido.

### Forma de la vivienda y adosamiento

La vivienda compacta y con baja superficie expuesta al exterior permitirá disminuir ganancias de calor perjudiciales en períodos de calor y pérdidas de calor en período de frío.

Disminuir al máximo la superficie expuesta de la vivienda, ello a través de adosamiento y con un diseño lo más compacto posible. La vivienda compacta y adosada de manera continua, ayudará a disminuir las pérdidas de calor a lo largo del año.

### Riesgo de condensación superficial e intersticial

En los elementos de envolvente de las viviendas, la presencia de aislante térmico juega un rol importante para evitar este fenómeno. Sin embargo si el aislante térmico se instala hacia en interior de la vivienda, se tendrá alto riesgo de condensación intersticial.

Ver figura III.3.9.2.4 La presencia de barrera de vapor entre el recubrimiento interior y el aislante térmico evita el problema. Ver situación 2 de figura III.3.9.2.4. En esta zona, tal como se ha indicado, es recomendable en aislante térmico exterior, que entre otras cosas evita puentes térmicos y a su vez disminuye el riesgo de condensación (superficial e intersticial). Cualquier barrera de que se instale hacia el exterior (viento, agua, nieve) debe ser permeable al paso de vapor.

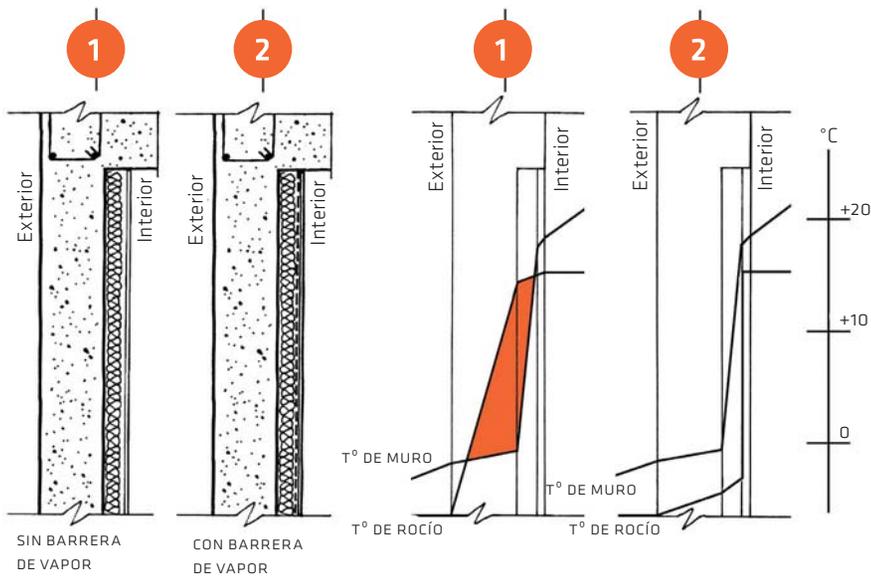
La tabla III.3.9.2.5 muestra valores de demanda de energía en que se observa el efecto de forma y adosamiento de la vivienda. Las viviendas de esta tabla corresponden a las del punto III.3 en que supone 160 mm de aislante térmico en el cielo (conductividad térmica de 0,042 W/m°C), 100 mm de aislante térmico en muro y vidriado doble (DVH) en ventanas.

En el caso de suponer doble vidriado hermético en la vivienda continua de 1 y 2 pisos se obtiene una demanda de calefacción de 96 y 61 kWh/m<sup>2</sup> año respectivamente.

<sup>4</sup> Espesor mínimo en base a exigencias de la O.G.U.C para zona térmica 7, supuesto aislante térmico poliestireno expandido de 10kg/m<sup>3</sup>. Cálculo en base a la NCh 853 Of91.

**Tabla III.3.9.2.5: EL TENIENTE.**  
Demanda de energía en viviendas descritas en III.3 (kWh/m<sup>2</sup>año)

	1 PISO	2 PISOS
<b>AISLADA</b>	105	72
<b>PAREADA</b>	103	68
<b>CONTINUA</b>	100	65



**Figura III.3.9.2.4:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en muro de hormigón armado con 70mm de aislante interior. Se muestran los perfiles de temperatura en un muro sin barrera de vapor (1) y con barrera de vapor (2). Caso analizado en la localidad de Sewell. El Teniente.

## B ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN NATURAL

Dada la similar latitud de Valparaíso y El Teniente, la iluminación natural para ambas ciudades resulta similar para día nublado, luego para este análisis en El Teniente, remitirse a la ciudad de Valparaíso en el punto III.3.4.3

**Tabla III.3.9.2.6:** Riesgo de condensación superficial e intersticial en 4 tipos de soluciones constructivas de muros, en vivienda ubicada en El Teniente.

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	1A		1B		1C		1D	
	60mm A 130mm AISLANTE TÉR ICO		60mm A 130mm AISLANTE TÉR ICO		60mm A 130mm AISLANTE TÉR ICO		60mm A 130mm AISLANTE TÉR ICO	
	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR+BV	EXTERIOR	INTERIOR +BV	SIN BV	CON BV
Riesgo de condensación superficial	No	No	No	No	No	No	No	No
Riesgo de condensación intersticial	No	No	No	No	No	No	Si	No

# **CAPÍTULO IV**

Tecnologías de generación de energía  
basadas en recursos energéticos renovables y  
otros sistemas pasivos

El país cuenta con un importante potencial de recursos energéticos renovables que podrían resolver a nivel nacional, regional o local una serie de requerimientos de energía en viviendas y en otro tipo de edificios.

A continuación, a modo general se presentan sistemas de energías renovables, que pueden ser aplicables a la vivienda en Chile.

## IV.1 ENERGÍA SOLAR

Se sabe que el norte del país, en especial su zona interior, es privilegiado con respecto al recurso solar disponible. Aquí el cielo es normalmente claro, lo que permite una alta radiación solar directa en la superficie terrestre.

En el resto del país, la energía solar presenta también un alto potencial, lo que hace altamente factible la aplicación de tecnologías solares existentes, que permiten resolver importantes requerimientos energéticos de las viviendas. Ello implica una disminución significativa de los efectos ambientales por uso de combustibles fósiles. Cabe señalar que actualmente, en países con climas y radiación solar disponible similares a las encontradas en Punta Arenas, el uso de energía solar para fines residenciales es de uso muy frecuente.

Dentro de las tecnologías solares de uso común en viviendas se encuentran los colectores solares térmicos para agua caliente sanitaria.

### IV.1.1 Colectores solares térmicos para agua caliente sanitaria

Permiten la obtención de agua caliente sanitaria a bajas temperaturas (<100°C). Se conforman por un sistema colector (placa plana o tubos al vacío), un estanque acumulador de agua caliente, un líquido que circula en el circuito y las respectivas conexiones a la red de agua del edificio. Existen colectores de placas planas y de tubos al vacío.

**IV.1.1.1 Colectores de placas planas.** La placa colectora es normalmente de cobre. Esta placa puede conformar ductos para circulación del fluido portador del calor. También existen los que cuentan con tuberías (idealmente también de cobre) adheridas a la placa. De acuerdo al tipo de líquido portador de calor que circula en el circuito, el sistema puede ser directo o indirecto.

El sistema directo implica que el agua para el consumo es la que circula por la placa y se almacena en el estanque previo al paso a la red de la vivienda. Este sistema no es recomendable en zonas donde se puede producir congelamiento de este líquido (zonas en que se alcancen temperaturas iguales o menores a 0°C).

En el sistema indirecto, existe un líquido que circula a través de la placa colectora, el que luego transfiere calor, mediante un intercambiador, al agua de uso doméstico en el estanque de almacenamiento.

La inclinación recomendada de la placa depende de la latitud del lugar (ver capítulo II.3).

De acuerdo al método que se utiliza para la circulación del fluido portador del calor, se tienen los sistemas naturales (o de termosifón) o forzados.

En los colectores con circulación natural (o termosifón), el líquido del circuito se desplaza producto de las variaciones de densidad provocadas por las diferencias de temperatura que se generan en él. Ello obliga a que el estanque acumulador se ubique sobre las placas colectoras (ver figura IV.1.1.1).

En los colectores con circulación forzada, una bomba es la que genera el desplazamiento del líquido portador de calor. De este modo el estanque puede estar a nivel de piso (ver figura IV.1.1.2).

**IV.1.1.2 Colectores de tubos al vacío.** Normalmente de mayor eficiencia que los anteriores pero de mayor costo. En estos sistemas, la placa colectora es reemplazada por una serie de tubos paralelos al vacío, a través de los cuales se ha instalado una tubería por donde circula el líquido portador de calor, el que posteriormente continúa en un circuito similar al de colectores planos.

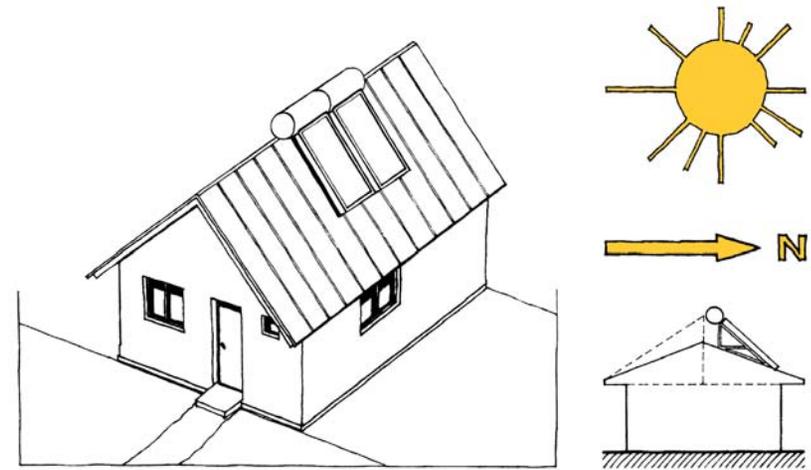


Figura IV.1.1.1: Colector tipo termosifón.

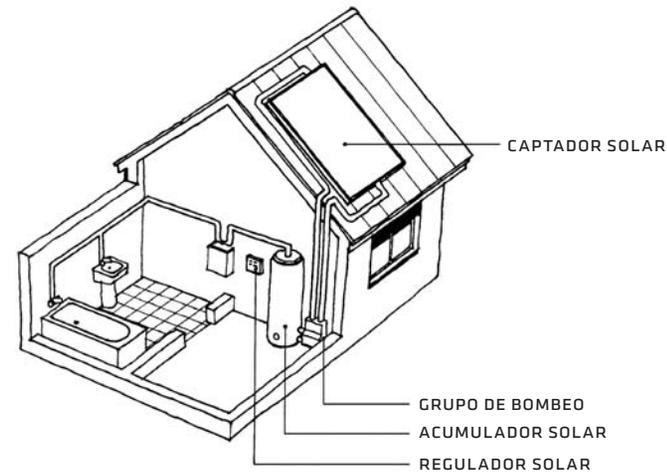


Figura IV.1.1.2: Colector forzado.

### IV.1.2 Celdas fotovoltaicas

Estas celdas permiten convertir la luz directamente en electricidad. Están constituidas por láminas muy delgadas de un material semiconductor. Este material es normalmente sílice con pequeñas cantidades de impurezas. Las celdas de cristales de sílice son de alto costo, por lo que últimamente se han desarrollado celdas policristalinas delgadas más económicas.

Los generadores de electricidad basados en celdas fotovoltaicas pueden formar parte de un circuito cerrado que provee de energía a una o más viviendas (ver figura IV.1.2.1) o pueden además de lo anterior, traspasar parte de la energía generada a la red pública.

Debido al costo de este tipo de instalaciones, actualmente se recomienda principalmente para zonas apartadas, donde se requieren altas inversiones para llegar con la red eléctrica de los sistemas interconectados nacionales. Son estos los sistemas más comunes actualmente en el país.

En el país la Comisión Nacional de Energía cuenta con un Programa de Electrificación Rural (PER) con uso de esta tecnología que permite llevar la electricidad a zonas apartadas<sup>1</sup> (ver figura IV.1.2.2).

Las placas de instalaciones fotovoltaicas y de sistemas solares para agua caliente sanitaria, deben tener una cierta pendiente que maximice la radiación solar directa incidente en el lugar de emplazamiento de la vivienda.

Para acceder más libremente al sol y por razones de espacio, en especial en el caso de las placas solares para agua caliente sanitaria, su instalación se realiza comúnmente en la cubierta. Es recomendable entonces que esta cubierta tenga pendiente con orientación norte, adaptándose a la pendiente de la placa solar en la medida de lo posible. Si la pendiente no es idéntica a la del colector solar, será necesario el uso de una estructura soportante del sistema en la techumbre.

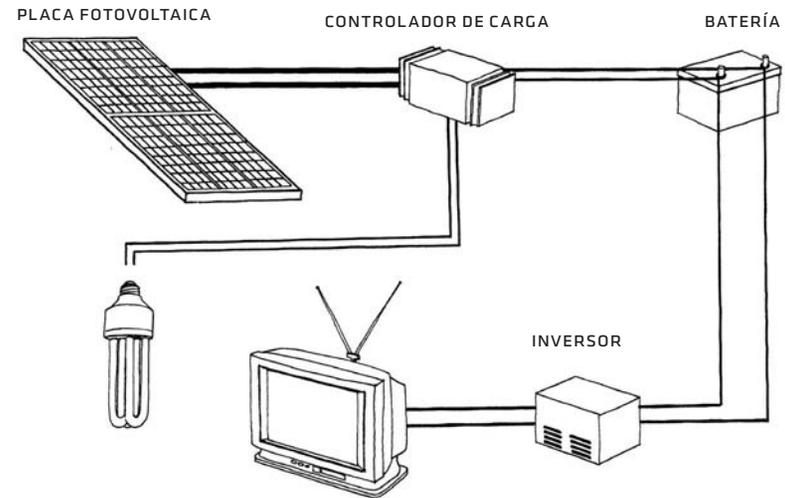


Figura IV.1.2.1: Circuito con celdas fotovoltaicas para una vivienda.



Figura IV.1.2.2: Programa PER de la CNE (Foto gentileza CNE).

<sup>1</sup> Ver CNE (2004). "Chile, una década en electrificación rural".

## IV.2 ENERGÍA EÓLICA

Esta energía puede ser transformada en energía eléctrica o en energía mecánica.

La energía eléctrica puede ser destinada para los fines que se estimen en una vivienda. La energía mecánica ha permitido el bombeo de agua y la molienda de granos.

Existen generadores eólicos de baja potencia, para uso local e incluso para sola una vivienda. Otros aerogeneradores, de mayor potencia, pueden entregar electricidad a la red de los sistemas interconectados.

La figura IV.2.1 muestra un generador eólico de baja potencia (0,75kW). Se trata de una instalación realizada por ΤΕΚΗΝΕ en la Región de Coquimbo, Comuna de Canela, Comunidad Agrícola de Huentelauquén. El sistema inició su operación el año 1987 y alimentó con energía a una vivienda y a una quesería de leche caprina de la Comunidad (ver figura IV.2.1).

Un muy buen ejemplo de aerogeneradores de mayor potencia corresponde a la instalación de parque eólico<sup>2</sup> de 11 generadores, de capacidad instalada es de 18,15MW y un promedio anual de generación de 47.140MWh (ver figura IV.2.2).



**Figura IV.2.1:** Aerogenerador de baja potencia (0,75kW) instalado en Comunidad Agrícola de Huentelauquén. Comuna de Canela. Región de Coquimbo. (Foto gentileza de ΤΕΚΗΝΕ)



**Figura IV.2.2:** Parque eólico en Comuna de Canela, Región de Coquimbo. Chile. (Foto gentileza Comisión Nacional de Energía).

<sup>2</sup> [www.endesa.cl/canela](http://www.endesa.cl/canela)

### IV.3 ENERGÍA HIDRÁULICA

Este es un recurso de alta disponibilidad en el país y que puede ser utilizado para generación eléctrica de baja y mediana potencia, a través de turbinas hidráulicas de distinto tipo. Estas instalaciones tienen la ventaja de que en general son de muy bajo impacto ambiental. El agua utilizada en el sistema sigue su curso normal después de la generación o su almacenamiento en represas es de tamaño pequeño, según la potencia generada (ver figura IV.3.1).

La figura IV.3.2 muestra la sala de máquinas de una instalación de una microcentral de 50kW ubicada en la localidad de Río Grande en las cercanías de San Pedro de Atacama, II Región.

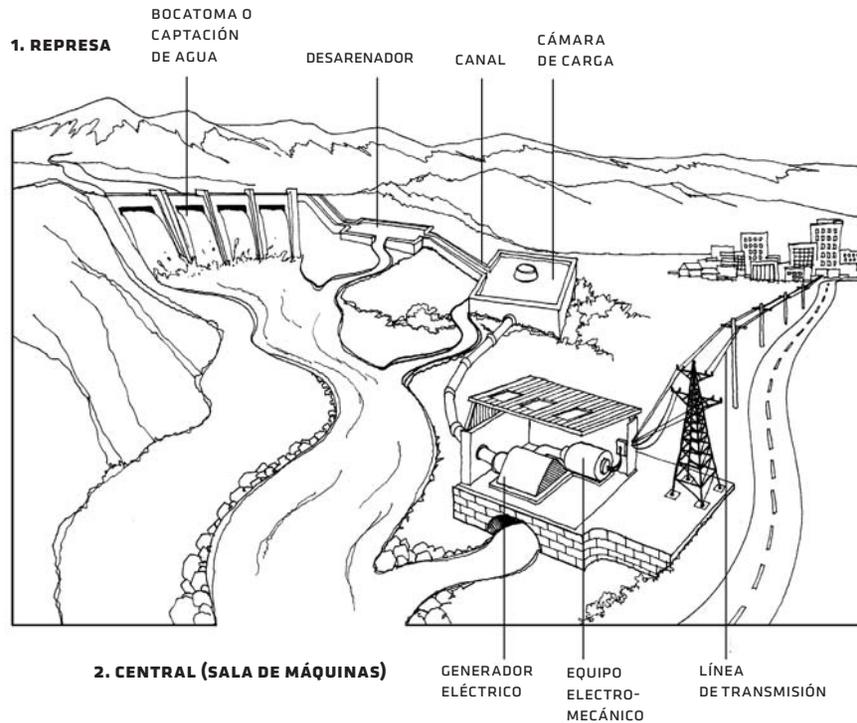


Figura IV.3.1: Esquema de una microcentral hidroeléctrica.



Figura IV.3.2: Sala de máquinas microcentral Río Grande, II Región. (Gentileza de MTF Ingenieros, Concepción, Chile).

#### IV.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA

El término energía geotérmica ha sido utilizado para describir dos tipos de sistemas energéticos: la extracción de calor desde la profundidad de la tierra (de aguas termales por ejemplo) y el uso del subsuelo, inmediatamente bajo la superficie, como fuente de calor para períodos fríos y para enfriamiento en períodos de alta temperatura ambiental durante el año (ver figura IV.4.1).

Normalmente la temperatura bajo los 8m de profundidad en el suelo alcanza aproximadamente la temperatura media anual del lugar. A la derecha se muestra la curva que representa la temperatura a cierta distancia de la superficie hasta alcanzar la media máxima de verano (nivel de profundidad bajo subsuelo igual a cero). La curva de la izquierda muestra esta variación hasta la media mínima de invierno (ver figura IV.4.2).

Lo anterior permite entonces enfriar o calentar aire o agua antes de introducirlo a una vivienda para su calefacción o enfriamiento, generando una disminución del consumo energético para acondicionamiento térmico.

Este método puede estar conectado a otros sistemas de calefacción o refrigeración que aporten con la energía para alcanzar las condiciones ambientales del interior de una vivienda según el período del año. De este modo estos sistemas de acondicionamiento disminuirán el consumo de energía residencial.

Cabe indicar, que en el caso de enfriamiento, en prácticamente toda región del país, la vivienda y su arquitectura pueden responder a las solicitaciones del clima y conseguir confort sin requerimiento de sistema energético adicional.

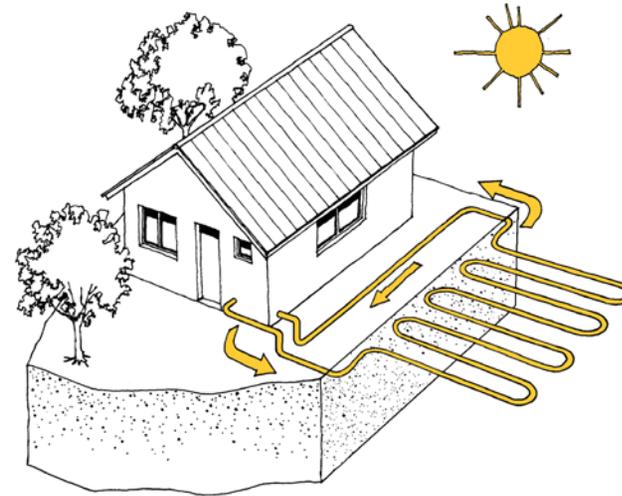


Figura IV.4.1: Sistema de intercambio de calor con subsuelo.

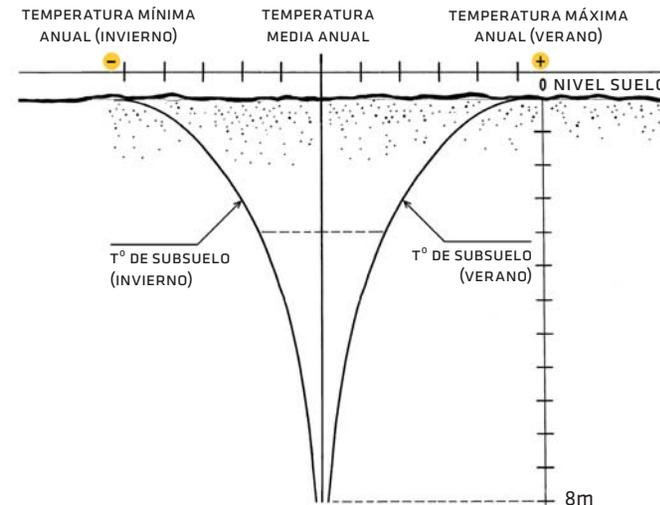


Figura IV.4.2: Variación de la temperatura en el subsuelo.

## IV.5 BIOMASA

La biomasa y particularmente la leña puede ser usada en calefacción y calentamiento de agua sanitaria. Dados los altos índices de contaminación que se produce por la quema de este combustible es necesario incorporar sistemas de mayor eficiencia, en especial aquellos que utilizan doble cámara para la combustión completa de la leña (tanto primaria como secundaria). Igualmente, es recomendable extraer aire para la combustión desde el exterior, el que pudiera ser precalentado en el propio sistema de calefacción para aumentar la eficiencia en la quema de la leña (ver figura IV.5.1).

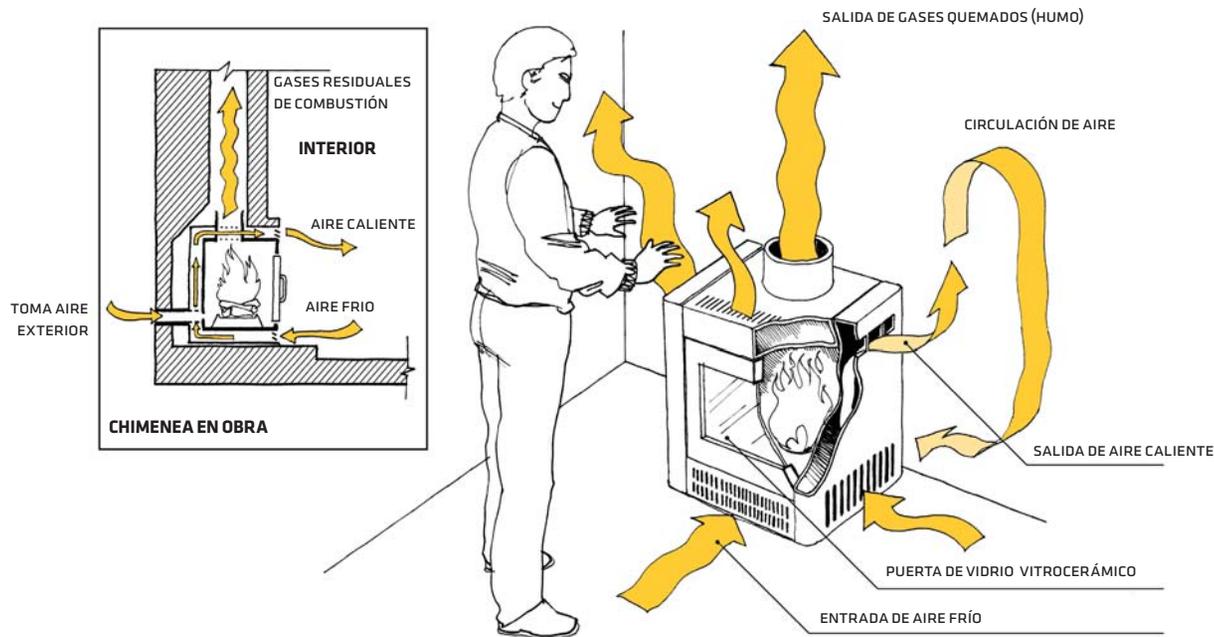


Figura IV.5.1: Estufa a leña de doble cámara.

#### IV.6 SISTEMAS COLECTIVOS DE CALEFACCIÓN

El uso de leña y desechos de madera pueden ser usados en sistemas de calentamiento de agua para calefacción central de uso comunitario. En este tipo de sistemas se pueden complementar diferentes tecnologías térmicas para la generación de agua caliente, la que se distribuye hasta las viviendas por medio de tuberías aisladas térmicamente. Una tubería de retorno vuelve el agua a la central térmica.

En general estos sistemas se componen de una planta generadora de calor, un estanque de almacenamiento y una red de suministro. Cada vivienda cuenta con su propio sistema de distribución del calor (radiadores o losas radiantes por ejemplo) con el respectivo medidor de energía consumida (ver figura IV.6.1).

La generación puede ser en base a diferentes fuentes, existiendo actualmente sistemas que utilizan biomasa, biogas, placas solares, gas natural y otras fuentes renovables o convencionales.

El sistema, tiene el inconveniente de que requiere una inversión importante. Entre sus ventajas se cuenta la eliminación de fuentes de contaminación al interior de los hogares, la disminución de peligros de incendio y el mejor control de las emanaciones contaminantes de la ciudad al tener la planta una mantención adecuada.

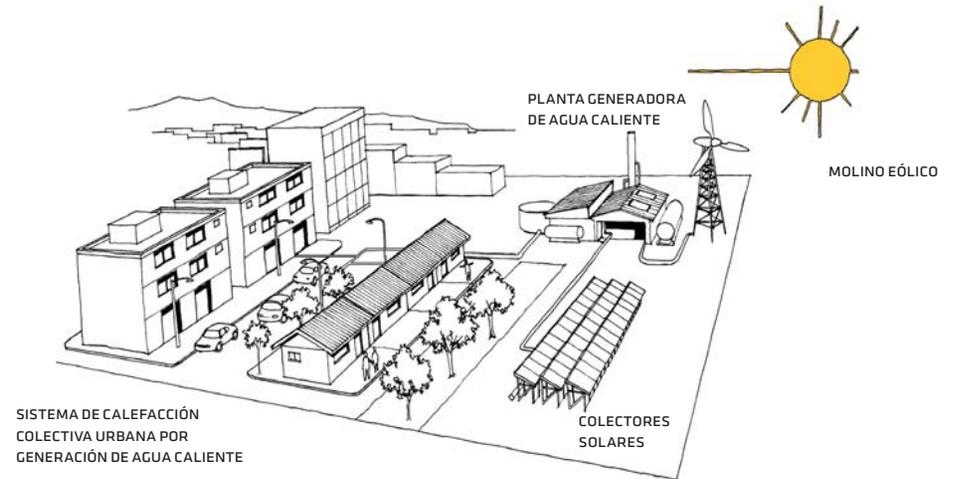


Figura IV.6.1: Sistema de calefacción comunitaria urbana.

## IV.7 EL RECURSO HÍDRICO

La aplicación de tecnologías de uso doméstico para el consumo racional del recurso hídrico tiene un efecto directo en el uso más eficiente de los recursos energéticos involucrados en la extracción, purificación y transporte de agua hacia los centros de demanda<sup>3</sup>. Dentro de tecnologías de uso eficiente de agua en la vivienda se encuentran el perlizador o aireador (A) y la válvula limitadora de caudal (B), dispositivos que se instalan directamente en duchas y/o llaves de lavaplatos y lavamanos (ver figura IV.7.1). El limitador de caudal, tal como lo indica su nombre, permite una reducción de éste. El perlizador o aireador mezcla agua con aire, compensando la disminución de caudal mediante la adición de aire al flujo de agua justo antes de la boca del grifo.

Los indicados dispositivos pueden lograr entre un 30 y un 70% de ahorro en agua utilizada en la ducha y en la grifería de lavamanos y lavaplatos, lo que implica una disminución significativa en el total de agua consumida en el hogar.

Otro de los artefactos que permiten hacer un uso más eficiente del agua en las viviendas es el estanque de wc, el cual puede disminuir sus descargas significativamente con idéntica efectividad. Actualmente en Chile se usan estanques de wc con un volumen de 7 litros, los que son más eficientes que los usados antiguamente, con hasta el doble de este volumen. Una forma de disminuir el consumo de agua en el wc es a través del uso de válvulas de doble descarga o de descarga selectiva en los estanques (que también pueden usarse en wc en pleno uso, reemplazando válvulas antiguas que presentan pérdidas constantes de agua). Válvulas de doble descarga utilizan 3 a 4 litros de agua para evacuar líquidos y 6 a 7 litros para sólidos. Los de descarga selectiva utilizan de 3 a 7 litros, a elección.

Un sistema adecuado para hacer más eficiente el uso del agua es la implementación de sistemas de recuperación de aguas lluvia, que permite acceder a un recurso, el que con mínimas medidas, puede usarse en agua sanitaria, excluyendo el consumo humano (ver figura IV.7.2). Estos se recomiendan para zonas con precipitaciones durante todo el año. Para zonas con lluvias estacionales pueden no ser eficientes.

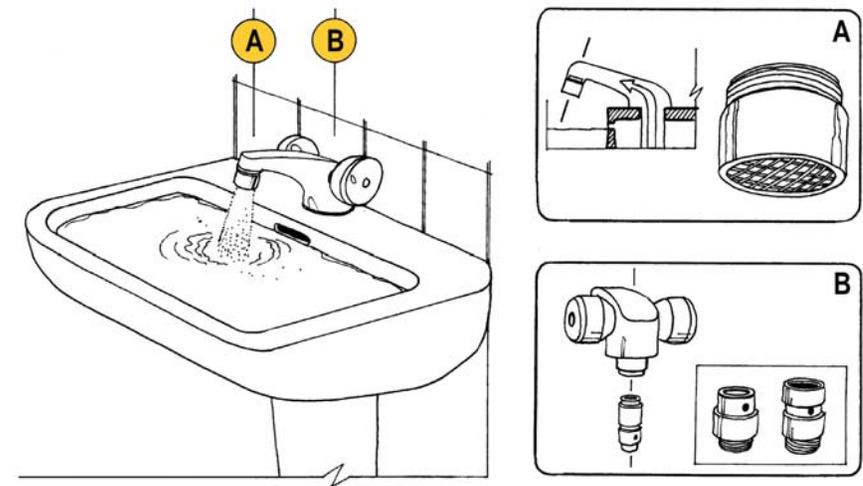


Figura IV.7.1: Aireador de lavamanos (A) y válvula reductora de caudal en ducha (B).



Figura IV.7.2: Sistemas de recuperación de aguas lluvia.

<sup>3</sup> Observatorio de Ciudades. Pontificia Universidad Católica de Chile y Dirección General de Aguas MOP. (2009).

# **CAPÍTULO V**

Proyectos premiados Concurso de  
eficiencia energética en vivienda social  
2006 y 2007

En el año 2006 el MINVU y el Programa País de Eficiencia Energética realizaron el “Primer Concurso de Ideas para el Desarrollo de Diseños y Estrategias de Eficiencia Energética para Vivienda Social Rural”, experiencia que se repite en el año 2007 con el “Segundo Concurso de Arquitectura y Eficiencia Energética en la Vivienda Social”.

El objetivo de estos concursos fue generar un espacio de reflexión para los arquitectos que les permitiera proponer innovaciones en el diseño de viviendas sociales asumiendo criterios de mejorar las condiciones de habitabilidad y la eficiencia energética que habitualmente se dan en ellas. Los proyectos debían considerar las condiciones del clima y el lugar de emplazamiento, junto con responder a los requerimientos establecidos en el Fondo Solidario de Vivienda (fsv) en el caso del 2° concurso y en el programa de Subsidio Habitacional Rural (shr) en el caso del primero.

A continuación se presentan los proyectos premiados de ambos concursos.

## V.1 PRIMER CONCURSO DE IDEAS PARA EL DESARROLLO DE DISEÑOS Y ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA VIVIENDA SOCIAL (2006)

### V.1.1 Primer Premio

**INTEGRANTES:**

Rodrigo Villalobos;  
Tomas Vera Aguilar;  
José Pascual Poblete;  
Susana Muñoz Pérez

**UBICACIÓN PROYECTO:**

Comuna de Cabrero, Región del Bío Bío

El proyecto “casa cuadra” propone una envolvente de fardos de paja. La captación de la energía solar se realiza a través de las fachadas orientadas al norte (ver figura V.1.1.1). La distribución de los espacios beneficia la recirculación convectiva del aire en el interior de la vivienda y asegura el aprovechamiento térmico de la energía acumulada en su interior. Es posible incorporar paneles solares para satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria y un sistema de recolección de aguas lluvia para uso en la vivienda.



**Figura V.1.1.1:** Proyecto “Casa Cuadra”, Región del Bío Bío.

## V.1.2 Segundo Premio

### INTEGRANTES:

José Guerra Ramírez;  
Pablo Bello M.;  
Héctor Hurtado D.;  
Carlos Maldonado V.

### UBICACIÓN PROYECTO:

Caleta Cobija, Región de Antofagasta

La vivienda se conforma de un volumen compacto, con una doble envolvente de orientación norte para el control de la radiación solar directa incidente (ver figura V.1.2.1). Los espacios son permeables al exterior a través de esta doble piel. El sistema constructivo corresponde a un entramado de madera prefabricado. El confort térmico interior está proporcionado por la piel exterior y la cubierta (bajo la cual existe ventilación continua) que generan sombra sobre el volumen de la vivienda.



**Figura V.1.2.1:** *Perspectiva Proyecto en Caleta Cobija, Región de Antofagasta.*

## V.1.3 Tercer Premio

### INTEGRANTES:

Marcelo Huenchuñir Bustos;  
Pedro Martínez Pañella.

### UBICACIÓN PROYECTO:

Zona rural de Temuco, Región de la Araucanía.

El proyecto nace como un reconocimiento de las tradiciones familiares en el mundo rural del sur de Chile, predominantemente mapuche, donde destaca la actividad diaria en torno al fogón. Esta actividad, localizada al centro de la vivienda se materializa mediante la cocina a leña que irradia su calor al resto de las habitaciones (ver figura V.1.3.1). Así también destaca la búsqueda del sol mediante la orientación norte de los recintos de mayor permanencia. En ese mismo sentido, el espacio fogón se refuerza con lucarnas superiores que permiten iluminar el centro de la vivienda y reforzar su carácter de corazón energético. Las lucarnas facilitan la evacuación de calor en verano mediante una ventilación cruzada por diferencial térmico. La forma escogida permite alcanzar a futuro la eficiencia energética de una forma compacta, mediante la ampliación en dos nuevos recintos en torno al fogón. Así también el diseño posibilita la incorporación de sistemas solares activos en la cubierta, la captación de aguas lluvias y la acumulación de calor en lecho de piedras para las noches frías.



**Figura V.1.3.1:** *Proyecto "Casa Fogón", Región de la Araucanía.*

## V.2 SEGUNDO CONCURSO DE ARQUITECTURA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA SOCIAL (2007)

### V.2.1 Primer Premio

#### INTEGRANTES:

Andrés Horn Morgenstern;  
Roberto Flores Rosales;  
Marco Scheihing Fischer

#### UBICACIÓN PROYECTO:

Valdivia, Región de Los Ríos

#### DEMANDA DE CALEFACCIÓN ESTIMADA:

55,2 kWh/m<sup>2</sup> año

A partir del concepto propuesto de “casa patio”, este proyecto articula módulos de 4 unidades habitacionales con un patio común, propiciando la vida social y la integración comunitaria (figura V.2.1.1). Esta agrupación está concebida a partir de una trama constructiva de 3 x 3 m, que acoge una gran cantidad de variaciones formales y múltiples posibilidades de ampliación (figura V.2.1.2). Al mismo tiempo, el diseño del módulo maximiza la captación solar en invierno y por medio de toldos la reduce en verano. La envolvente térmica es de alta eficiencia eliminando los puentes térmicos continuos. Finalmente se propone un sistema de calefacción común para cada módulo a partir de una bomba de calor geotérmica.



Figura V.2.1.1: Perspectiva exterior del patio común por agrupación.



Figura V.2.1.2: Agrupación de 4 viviendas y módulo constructivo.

### V.2.2 Segundo Premio

**INTEGRANTES:**

Gonzalo Barros Hoffens;  
Bárbara Rodríguez;  
Felipe Romero Samaniego;  
Juan Francisco Vargas Malebrán

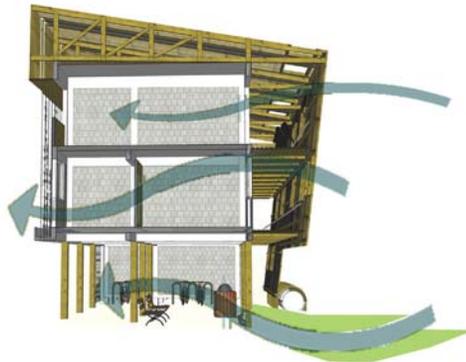
**UBICACIÓN PROYECTO:**

Tocopilla, Región de Antofagasta

**DEMANDA DE CALEFACCIÓN ESTIMADA:**

25,0 kWh/m<sup>2</sup> año

Este proyecto propone abordar el concepto de eficiencia energética desde una aproximación integral, donde la infraestructura y el espacio público son aspectos esenciales y configuradores de la propuesta. A partir de un modelo de tejido entrelazado como propuesta de ciudad y capaz de generar su propio clima, se establece una membrana permeable con cubierta vegetal, a modo de doble piel (figura V.2.2.1). Esta permite controlar las ganancias térmicas de la orientación poniente, proveyendo sombra a la agrupación, a la vez que capta y canaliza la humedad proveniente de la camanchaca costera, favoreciendo además la ventilación cruzada como estrategia de enfriamiento pasivo.



**Figura V.2.2.1:** Perspectiva exterior del volumen de viviendas propuesto con su membrana permeable y captadora de camanchaca.

### V.2.3 Tercer Premio

**INTEGRANTES:**

Jeanette Roldán Rojas;  
Pedro Andrade Harrison;  
Christian Castro Albornoz;  
Benjamín Díaz Santibañez;  
Carlos Gutiérrez Vera;  
Sergio Uribe Barrera

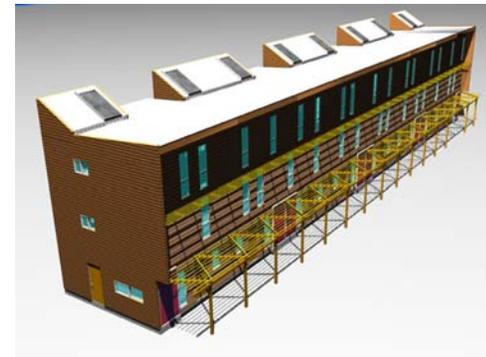
**UBICACIÓN PROYECTO:**

Santiago, Región Metropolitana

**DEMANDA DE CALEFACCIÓN ESTIMADA:**

53,0 y 45,0 kWh/m<sup>2</sup> año

Este proyecto propone a través de estrategias de eficiencia energética probadas, tales como la compacidad y una envolvente bien aislada, resolver tanto los aspectos de comportamiento térmico, como temas de seguridad y de integración social (figura V.2.3.1). Es así como conjunto se hace cargo de todos los límites de los volúmenes, generando espacios de participación comunitaria. A una escala menor, cada bloque de viviendas, a través de sus cajas de escaleras de orientación sur, es capaz de ventilar tanto en el día como en la noche, retirando las ganancias de calor indeseadas. En invierno, este sistema puede utilizarse en conjunto con una serie de muros trombe ubicados en el primer piso de la fachada norte.



**Figura V.2.3.1:** Perspectiva en isométrica del bloque de viviendas propuesto en su fachada norte.

# **GLOSARIO TÉCNICO Y BIBLIOGRAFÍA**

## > GLOSARIO TÉCNICO

**Abaco psicrométrico:** muestra la relación entre la humedad relativa, la temperatura de bulbo seco y la masa de vapor de agua contenida en la masa de aire seco (gr/kg de aire seco) con su equivalencia en presión de vapor. En ella pueden representarse las condiciones ambientales en un espacio interior de un edificio, el clima (temperatura y humedad) de una localidad, el diagrama de confort. Permite conocer la temperatura de rocío.

**Absorción acústica:** es la propiedad de los materiales para disipar energía vibratoria, disminuyendo la reflexión de las ondas sonoras incidentes sobre este material.

**Absortividad:** coeficiente entre 0 y 1 que indica la relación entre la radiación térmica que se absorbe en la superficie de un material y la que incide sobre ella.

**Aislamiento acústico:** El aislamiento acústico es la propiedad de un sistema constructivo que indica el grado de reducción del sonido entre dos espacios separados por éste, ya sea entre dos recintos o entre el ambiente exterior y el local. El aislamiento acústico entre se expresa en decibelios (dB) o en decibelios A (dBA).

**Altura solar:** es el ángulo que forma el sol con el plano horizontal en que se ubica un observador. Se expresa en grados sexagesimales

**Ángulo de acimut:** ángulo entre la ubicación proyectada del sol en el plano horizontal y uno de los ejes cardinales, suponiendo al observador en el punto de origen del sistema de referencia. Se expresa en grados sexagesimales. Puede leerse en la carta de trayectoria solar de una determinada latitud.

**Calor:** energía transferida debido a la existencia de una diferencia de temperatura entre dos puntos. Se puede expresar en Calorías, Joules.

**Calor específico:** calor necesario para elevar en una unidad (1°C ó 1K) la temperatura la temperatura de un kilogramo de material. En el Sistema Internacional de medidas (SI) se expresa en J/kgK. ó J/kg°C. También se le denomina capacidad calorífica específica o calor másico.

**Calor latente:** cantidad de calor cedido o absorbido al cambiar de fase una unidad de masa de la materia, proceso en que no existe variación de temperatura. En el Sistema Internacional de medidas SI se expresa en J/g ó J/kg

**Calor sensible:** cantidad de calor cedido o absorbido al cambiar la temperatura de un cuerpo.

**Captador solar térmico:** dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica así producida a un fluido que circula por su interior.

**Clo:** unidad de medida utilizada para el índice de indumento, que procede del inglés “cloth” (vestimenta). Se relaciona con el aislamiento térmico que proporciona la indumentaria normal de un varón, es decir, chaqueta, camisa, ropa interior normal (todo ello de algodón) más calcetines y zapatos. El cero (0) corresponde a la desnudez. La unidad equivale a una resistencia térmica de 0,155m<sup>2</sup>K/W.

**Condensación:** Paso de vapor de agua al estado líquido. Ocurre cuando para cierta humedad absoluta se alcanza la temperatura de rocío o cuando a cierta temperatura de bulbo seco se alcanza el 100% de humedad relativa (saturación).

**Conducción de calor:** transferencia de energía calórica debido a la presencia de temperatura existente al interior de un cuerpo o entre dos cuerpos en contacto físico. En este proceso no existe transferencia de masa. El fenómeno requiere presencia de materia.

**Conductividad Térmica ( $\lambda$ ):** cantidad de calor transferida (por conducción) a través de un material de espesor unitario por unidad de tiempo y área, al existir un gradiente de temperatura de 1°C.

**Convección:** transferencia de energía por movimiento de un fluido. El movimiento puede ser causado por diferencias de densidad o de presión.

**Decibel (dB):** El decibelio (dB) es la unidad usual para las mediciones acústicas. Indica en que proporción un sonido es más fuerte que otro denominado de referencia -umbral de audición-. El decibelio dB es una unidad que evalúa la potencia sonora, intensidad sonora o el nivel de presión sonora de un sonido.

**Decibel A dB(A):** indica que en la medición acústica se ha tenido en cuenta la ponderación A según las frecuencias del sonido. El decibelio A ofrece una valoración del sonido teniendo en cuenta la sensibilidad propia del oído humano.

**Demanda energética:** energía necesaria para mantener en el interior del edificio las condiciones de confort definidas en función del uso del edificio. Se compone de la demanda energética de calefacción y de refrigeración.

**Diagrama o carta de trayectoria solar:** Muestra la trayectoria del sol proyectada en un plano horizontal. Anillos concéntricos describen la altura solar y líneas radiales definen el acimut. El mediodía solar corresponden al instante en que el sol (en el hemisferio sur) cruza el eje norte.

**Envolvente:** Se entiende como tal a la superficie de un edificio construido en contacto con el ambiente exterior.

**Emisividad:** coeficiente entre 0 y 1 que indica la relación entre la radiación emitida por una superficie y la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

**Escala de temperatura grados Celsius:** Escala de temperatura, que asigna el valor 0°C al punto de congelamiento (solidificación) del agua y como 100°C al punto de ebullición del agua, a presión normal. Se le conoce también como escala de grados centígrados.

**Escala de Temperatura Kelvin:** Escala de temperatura con un punto de congelación del agua de +273 K (Kelvin) y un punto de ebullición del agua de +373 K, a presión normal. Se usa principalmente con fines científicos. También se le conoce como la Escala de Temperatura Absoluta.

**Factor de sombra:** Es la fracción de la radiación incidente en un elemento vidriado (u otro elemento de la envolvente) que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

**Factor solar:** Es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un vano perfectamente transparente.

**Frecuencia (f):** es el número de pulsaciones de una onda acústica sinusoidal ocurridas en un segundo. Se mide en ciclos por segundo (s<sup>-1</sup>) ó Hertz (Hz).

**Grados día de calefacción:** La diferencia entre la temperatura media y la temperatura base de calefacción (20°C por ejemplo) corresponde a los grados-día de un día. La suma de estas diferencias para todos los días de un mes corresponde a los grados-día mensuales. Análogamente se obtienen los grados-día anuales de una cierta localidad. (Cuando la temperatura media del día es igual o superior a la temperatura base, se considera que los grados-día de ese día son nulos). Su unidad es °C.

**Humedad absoluta del aire (gr/kg de aire seco):** masa de vapor de agua contenida en la masa de aire seco.

**Humedad relativa del aire:** Relación entre el contenido de vapor del aire y el máximo éste que puede contener (en estado de vapor) a una cierta temperatura.

**Índice de Reducción Acústica (R):** diferencia de niveles entre el recinto de emisión sonora y el recinto de recepción, corregidos por la relación entre el área del elemento constructivo ensayado y el área de absorción equivalente del recinto receptor. Se determina experimentalmente en laboratorio según la norma NCh 2786.

**Infiltración:** paso no controlado de aire. Se mide en N° de renovaciones de aire por hora.

**Kilowatt (kW):** Es un múltiplo de la unidad de medida de la potencia (el kilowatt, equivale 1.000 Watts). Representa la cantidad de energía consumida por unidad de tiempo.

**Kilowatt hora (kWh):** Corresponde a la potencia de mil watts aplicada durante una hora (o una potencia equivalente). 1 kWh es una unidad de energía. 1 kWh = 3.600 Joules.

**Lumen (lm):** unidad que define el flujo luminoso.

**Lux (lx):** unidad del S.I. para la iluminancia o nivel de iluminación. Es igual a un lumen por m<sup>2</sup>.

**Metabolismo:** El metabolismo representa la producción de calor interna del cuerpo humano necesaria para mantener la temperatura constante de 36,8 °C. Corresponde al esfuerzo físico realizado durante cierta actividad en relación a la unidad de superficie del cuerpo de un individuo. Se expresa en W/m<sup>2</sup>. El metabolismo base es aquel realizado por un individuo de contextura normal en reposo. Este alcanza a aproximadamente 45W/m<sup>2</sup>, es decir aproximadamente 80 W para una superficie de cuerpo de alrededor 1,8 m<sup>2</sup>. Un persona en reposo sentada presenta un metabolismo de 58W/m<sup>2</sup>, el cual se ha definido como 1 Met. Toda actividad se puede expresar en función de esta unidad. La actividad metabólica asociada a trabajo pesado alcanza a 3,0 Met.

**Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado, Ln:** es el nivel de presión de ruido de impacto L, ajustado mediante un término de corrección, dado por el cociente entre la absorción equivalente del recinto receptor y el área de absorción equivalente de referencia.

**Nubosidad:** porcentaje del cielo total, cubierto por nubes. Se expresa en décimas o en octavas.

**Oscilación térmica diaria:** Diferencia entre las temperatura máxima y mínima diaria en un lugar.

**Oscilación térmica anual:** Diferencia entre las temperaturas máxima y mínima anual en un lugar.

**Permeabilidad al aire:** propiedad de una ventana, puerta y de la envolvente de un edificio (vista en su totalidad con todos sus sistemas constructivos y vanos) relacionada con el flujo de aire que traspasa a través de rendijas debido a una cierta diferencia de presión a que se somete.

**Permeabilidad al vapor de agua:** cantidad de vapor por unidad de tiempo y área que fluye a través de un material de espesor unitario al existir una diferencia de presión de vapor a 1 Pascal. Se mide en g m/N s.

**Precipitación media anual:** promedio aritmético de las precipitaciones anuales caídas sobre una localidad durante varios años consecutivos (idealmente al menos 30 años).

**Presión sonora:** incremento variable de la presión atmosférica que resulta de la presencia o la ausencia de sonido.

**Puente acústico:** discontinuidad en un sistema constructivo que genera una mayor transmisión de la energía acústica.

**Puente térmico:** Parte de un sistema constructivo de la envolvente en que su resistencia térmica normalmente uniforme se ve significativamente disminuida por reducción en el espesor o ausencia de material aislante en el sistema constructivo. La presencia de puentes térmicos incrementa el flujo de calor provocando mayores pérdidas térmicas y disminución local de las temperaturas superficiales en períodos fríos, lo que provoca un aumento del riesgo de condensación superficial o crecimiento de hongos.

**Punto de rocío:** temperatura a la cual se inicia el fenómeno de condensación en cierta mezcla de vapor y aire.

**Radiación de onda corta:** radiación térmica emitida por cuerpos a alta temperatura, tales como el sol (5900 K) o una lámpara incandescente (2700 K). Está compuesta de luz visible e infrarrojo cercano.

**Radiación onda larga:** radiación térmica emitida por cuerpos a temperatura ambiente. Está compuesta por infrarrojo lejano.

**Radiación solar:** Amplio espectro de radiación electromagnética emitida por el sol. Se refiere a la que llega a la tierra después de filtrarse por la atmósfera. Contiene radiación ultravioleta, visible y calórica de onda corta.

**Radiación térmica:** energía electromagnética emitida espontáneamente por la super-

ficie de un cuerpo, ya sea en el vacío o en un medio transparente. Aumenta con la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

**Resistencia térmica R ( $m^2K/W$  ó  $m^2C/W$ ):** Representa la dificultad a la transmisión de calor que se produce en un sólido de cierto espesor o en una cámara de aire. En el caso de un sólido plano corresponde al cociente entre el espesor y la conductividad térmica del material ( $R= e/\lambda$ ).

**Resistencia térmica superficial ( $m^2K/W$  ó  $m^2C/W$ ):** Representa la dificultad a la transmisión de calor que se produce en la capa de aire contigua a la superficie sólida de un sistema constructivo, tanto en el interior como en el exterior.

**Resistencia térmica total ( $m^2K/W$  ó  $m^2C/W$ ):** Corresponde a la suma de las resistencias térmicas de cada uno de los componentes de un sistema constructivo, tanto sólidos como cámaras de aire. Incluye las resistencias térmicas superficiales a cada lado del sistema. Indica la oposición que ofrece el sistema constructivo al paso de calor a través de él.

**Reverberación:** es el fenómeno de persistencia del sonido en el interior de un recinto una vez cesada la fuente de ruido, debido a reflexiones sucesivas en los cerramientos del mismo.

**Soleamiento:** lapso durante el cual los rayos solares inciden en un determinado punto geográfico. Se expresa en horas de sol/día.

**Temperatura máxima:** temperatura más elevada que se observa dentro de un lapso de tiempo.

**Temperatura media del día:** promedio aritmético de las temperaturas registradas dentro de un período diario.

**Temperatura mínima:** Temperatura más baja que se observa dentro de un lapso dado.

**Transmitancia Térmica "U" ( $W/m^2C$  ó  $W/ m^2K$ ):** calor por unidad de tiempo y área, que se transfiere a través de un sistema constructivo, al existir una diferencia de temperatura de  $1^{\circ}C$  (1 K) entre los ambientes que éste separa. Incluye la resistencia térmica superficial en ambas caras del sistema. Es el recíproco de la Resistencia térmica total.

**Watt (W):** Unidad de potencia eléctrica o cantidad de trabajo en unidad de tiempo (Joule / segundo).

## > BIBLIOGRAFÍA

Alcorn, Andrew (2003). Embodied Energy and CO<sub>2</sub> Coefficients for NZ Building Materials. Centre for Building Performance Research. Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand.

Ambiente Consultores y Dirección de Arquitectura. Ministerio de Obras Públicas (2000). Análisis de variables que influyen en el ahorro de energía y en la calidad ambiental de los edificios. Dirección de Arquitectura. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

Arata, Adolfo (1984). Datos y Métodos para Proyectos de Energía Solar. Departamento de Publicaciones de UTFSM, Valparaíso, Chile.

Architectural Institute of Japan (AIJ) (2005). Architecture for a Sustainable Future. Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan.

Banham, Reyner (1975). La arquitectura del entorno bien climatizado. Infinito, Buenos Aires, Argentina.

Behling, Sophia (2002). Sol power: la evolución de la arquitectura sostenible. Gustavo Gili, Naucalpan, México.

Bradshaw, Vaughn (2006 Third Edition). The Building Environment: Active and Passive Control Systems. John Wiley and Sons, New York, Estados Unidos.

Bustamante, W.; S, Luci y M. Santibáñez (2001). Clima y Vivienda. Guía de Diseño. Disponible en web [http://www.uc.cl/sw\\_educ/vivienda/](http://www.uc.cl/sw_educ/vivienda/), Santiago, Chile.

Centro de Promoción de Usos del Cobre (2000). Calama Provincia El Loa. Recopilación de Valores Patrimoniales, Culturales y Geográficos. Fundamentos para la Formulación de Tipologías y del Paisaje. Editorial Cal & Canto, Santiago, Chile.

Ching, Francis D.K. (2008 Fourth Edition). Building Construction Illustrated. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Colegio de Arquitectos de Chile ag (2007). Ganadores del Concurso de Ideas para Vivienda Social: Desarrollo de Sistemas Constructivos, Equipos de Calefacción y Climatización en Revista (Ciudad y Arquitectura) N° 129, pp 52.59. Publicaciones Lo Castillo, Santiago, Chile.

Comisión Nacional de Energía, Departamento de Economía UCH y SERNAC (2005). Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos. SERNAC, Santiago, Chile.

Comisión Nacional de Energía (2008). Política Energética: Nuevos Lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad. CNE, Santiago, Chile.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción. (2007). Sistemas Solares Térmicos. Manual de diseño para el calentamiento de agua. Corporación de Desarrollo Tecnológico, Santiago, Chile.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción. (2008). Aislación Térmica Exterior. Manual de diseño para soluciones en edificaciones. Corporación de Desarrollo Tecnológico, Santiago, Chile.

Courgey Samuel y Jean-Pierre Oliva (2006-2008). La conception bioclimatique. Terre Vivante, Mens, Francia.

De Herde, André y Allan Liébard (2005). Tratié d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Observatoire des énergies renouvelables, París, Francia.

De Herde, André (1992). Le Manuel du Responsable Energie. Université Catholique de Louvain, Louvain la Neuve, Bélgica.

De Herde, André y José Antonio González (1997). Arquitectura Bioclimática. Colegio de Arquitectos de Galicia, Galicia, España.

De Rosa, C. et al (1988). Conjunto Solar I - Bioclimatic and Passive Design Applied to Low-Cost Multistoreyed Housing - First Experience in Argentina. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (IAHV). Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT), Mendoza, Argentina.

Del Valle, Alfredo (1985). Energía en Medio Ambiente en Chile. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA). Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales, Gobierno Vasco (2009). "Transmisión de calor en la edificación". Disponible en web [http://www.gizaetxe.ejgv.euskadi.net/r40-19380/es/contenidos/informacion/area\\_termica](http://www.gizaetxe.ejgv.euskadi.net/r40-19380/es/contenidos/informacion/area_termica). Gobierno Vasco, España.

Energy Information Administration. Official Energy Statistics from the U.S. Government. Disponible en web [www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html), Washington, Estados Unidos.

Energy Research Group (ERG) University College Dublin et al (1999). A Green Vitruvius. Principles and Practice of Sustainable Architectural Design. James & James (Science Publishers), Europa.

Fritz, A. y M. Ubilla (2007). Editores. Manual de Diseño. Construcción, Montaje y Aplicación del Muro Envolvente. cidm uc & corma, Santiago, Chile.

Fundación Chile (sin año de publicación). Características acústicas de viviendas sociales urbanas. Definición de estándares y recomendaciones de diseño. Fundación Chile, Santiago, Chile.

Gajardo, R. (1994). La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

Geohábitat. Energía y Medioambiente (2000). Manual. Arquitectura Solar para Climas Cálidos. Geohábitat, España.

Givoni, Baruch (1998). Climate considerations in building and urban design. John Wiley and Sons, Nueva York, Estados Unidos.

Instituto de la Construcción (2005). "Guía Técnica para la Prevención de Patologías en Viviendas Sociales". Instituto de la Construcción, Santiago, Chile.

Instituto de la Construcción (2006). Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Artículo 4.1.10. Instituto de la Construcción, Santiago, Chile.

Instituto Geográfico Militar (IGM) (1988). Atlas Geográfico de Chile para la Educación. IGM, Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2007). Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. NCh 853 Of. 2007. INN, Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2008). Arquitectura y construcción – Zoni-

ficación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. NCh 1079 - 2008. INN, Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (Chile) (2008). Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación - Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo. NCh 1973 Of.2008". INN, Santiago, Chile.

Junta de Castilla y León. Conserjería de Industria, Comercio y Turismo. Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN) (2002). Energía Solar Térmica. Manual del Arquitecto. EREN, Junta de Castilla y León, España.

Koch-Nielsen, Holger (2007). Stay cool. A design guide for the built environment in hot climates. Earthscan, Londres, Inglaterra.

Kwok, Alison y Walter Grondzik (2007). The Green Studio Handbook. Environmental Strategies for Schematic Design. Elsevier, Londres, Inglaterra.

Kreider, Jan y A. Rabl (1994). Heating and cooling of buildings design for efficiency. McGraw-Hill, Nueva Cork, Estados Unidos.

Lavigne, Pierre (2003). Arquitectura climática. Una contribución al desarrollo sustentable. Tomo 1. Bases físicas. Universidad de Talca, Talca, Chile.

Lavigne, Pierre (2003). Arquitectura climática. Una contribución al desarrollo sustentable. Tomo 2. Conceptos y dispositivos. Universidad de Talca, Talca, Chile.

Lechner, Norbert (2001). Heating, cooling, lighting: design methods for architects. John Wiley and Sons, Nueva York, Estados Unidos.

López de Asiain, Jaime (1996). Vivienda Social Bioclimática. Un Nuevo Barrio en Osuna. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Sevilla, España.

Luebert, F. y Pliscoff, P. (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

Miliarium Aureum, Ingeniería Civil y Medioambiente (2004). Glosario de Arquitectura Sostenible. Disponible en web [http://www.miliarium.com/Paginas/Biblio/Glosario\\_Arquitectura\\_Sostenible.asp](http://www.miliarium.com/Paginas/Biblio/Glosario_Arquitectura_Sostenible.asp), Madrid, España.

MINVU (2009). “Resolución Exenta N°2070. Aprueba Itemizado Técnico de Construcción para Proyectos del Programa Fondo Solidario de Vivienda, para el Sistema de Subsidio Habitacional Rural y para el Programa de Protección del Patrimonio Familiar”. *www.minvu.cl*, Santiago, Chile.

MINVU (2009). Decreto Supremo N°47, (V. y U.) de 1992. D.O. de 13.04.09. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. *www.minvu.cl*, Santiago, Chile.

MINVU (2009). Decreto Supremo N°174, (V. y U.) de 2005. D.O. de 09.02.06 Reglamenta Programa Fondo Solidario de Vivienda. *www.minvu.cl*, Santiago, Chile.

MINVU (2009). Decreto Supremo N°145, (V. y U.) de 2007. D.O. de 09.10.07 Nuevo Reglamento del Sistema de Subsidio Habitacional Rural. *www.minvu.cl*, Santiago, Chile.

MINVU-DITEC (2009). Resolución Exenta N°0504 (V. y U.). Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. *www.minvu.cl*, Santiago, Chile.

MINVU-DITEC (2009). “Resolución Exenta N°0860 (V. y U.). Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo”. *www.minvu.cl*, Santiago, Chile.

Observatorio de Ciudades, Pontificia Universidad Católica de Chile y Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas (2009). Propuesta Formulación de un Sello de Eficiencia Hídrica. Observatorio de Ciudades UC y DGA- INEH-MOP, Santiago, Chile.

Oliva, Jean-Pierre (2001). L'isolation écologique. Terre Vivante, Mens, Francia.

Piro Patrick (2007). Guide des Énergies Vertes pour la Maison. Terre Vivante, Mens, Francia.

Programa Chile Sustentable (2005). Guía Práctica para el Uso Eficiente de la Energía. Manual para consumidores y usuarios. Programa Chile Sustentable, Santiago, Chile.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2007). Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. pnud, New York, Estados Unidos.

Sánchez, C.; Leonardo Dujovne y C. Poo. (2006). Manual de Aplicación Reglamentación Acústica. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile.

Salomón, Thierry y Claude Aubert (2007). Fraicheur Sans Clim'. Le Guide des Alternatives Écologiques. Terre Vivante, Mens, Francia.

Sánchez R., Jorge (2004). Gran Atlas de Chile. Histórico, Geográfico y Cultural. Editorial turiscom, Santiago, Chile.

Sarmiento, P. (1995). Energía Solar. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, 1995.

Simon, Francy y Jean-Marie Hauglustaine (1996). L'isolation Thermique des Murs Creux. Guide pratique pour les architectes. Université Catholique de Louvain, Louvain la Neuve, Bélgica.

Szokolay, Steven (2004). Introduction to architectural science. The basis of sustainable building. Elsevier, Londres (Inglaterra).

Universidad de Chile et al (2004). Bienestar Habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable. Instituto de la Vivienda (FAU) U. de Chile, Santiago, Chile.

Vélez, Roberto (2007). La Ecología en el Diseño Arquitectónico. Datos prácticos sobre diseño bioclimático y ecotecnias. Trilla, México D.F., México.