



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

# **CONSUMO DE ENERGÍA A NIVEL RESIDENCIAL EN CHILE Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN**

## **MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**NATHALY PATRICIA ROMERO RAMOS**

**PROFESOR GUÍA:  
GABRIEL RODRIGUEZ JAQUE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA  
MAURICIO TOLEDO VILLEGAS**

**SANTIAGO DE CHILE  
MARZO 2011**

## **“CONSUMO DE ENERGÍA A NIVEL RESIDENCIAL EN CHILE Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN”**

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar el consumo de energía en el sector residencial de Chile y, a partir de ello, identificar dónde enfocar las medidas que deben implementarse para generar un mayor ahorro de energía.

En este estudio se utilizaron los datos de la encuesta “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010). Se seleccionó una muestra de 113 encuestas de un total de 3.220, correspondientes a viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción. Se compararon los consumos de energía de acuerdo a: ciudad (zona térmica), tipo de agrupación (casa aislada 1 piso, pareada de 1 y 2 pisos y departamento) y nivel socioeconómico. Resultó que en las zonas con más grados-día el consumo de energía es mayor, influenciado por las necesidades de calefacción. Destaca en Concepción el alto consumo en calefacción. Las casas aisladas son las que más consumen y los departamentos los que menos, cuya ubicación crítica en el edificio, es en una esquina del último piso y la mejor es en el centro de un piso intermedio. El nivel socioeconómico que más consume energía es el ABC1 y el que menos el nivel C2.

Considerando sólo el consumo en electricidad, el refrigerador es el electrodoméstico que más consume (31%), seguido bastante de lejos por la iluminación (15%). Destaca el alto consumo en stand-by (13%). Respecto al consumo total en electricidad y combustibles, predomina el consumo en calefacción (29%) y en agua caliente (30%), sin embargo, la calefacción es más crítica cuando se analiza el consumo estacional de invierno.

Al llevar una vivienda antigua a cumplir la reglamentación térmica, se ahorra cerca de un 6% del consumo total anual de energía. La inversión requerida para ello es alrededor de 25 [UF] que debe ser financiada total o parcialmente por el Gobierno, para que las familias perciban el ahorro a corto plazo. Las medidas aplicadas sobre lo exigido en la reglamentación térmica actual, que generan mayor ahorro en calefacción son: aislar los muros con 4 [cm] más y mejorar las ventanas con un vidrio de menor transmitancia térmica. No se recomienda aislar el piso y ni el techo más allá de la reglamentación, ya que el ahorro es pequeño. En condiciones normales de temperatura y cumpliendo las exigencias de aislación térmica de muros, no se produce condensación superficial en ellos.

## AGRADECIMIENTOS

Este, es uno de los pasos más grandes de mi vida,  
que he podido dar con seguridad y confianza,  
gracias al apoyo incondicional de mis padres.

Ellos me inculcaron, sabiamente, que los estudios  
debían ser mi prioridad, y tenían razón.

Al cumplir esta meta, veo un mundo de posibilidades  
y nuevos proyectos que emprender y disfrutar junto a ellos.

Estaré infinitamente agradecida por todos los esfuerzos  
que han hecho para que esté hoy yo aquí, y por dejarme ésta,  
la más valiosa herencia que pudiera recibir en mi vida.

Les agradezco a mis hermanos, Felipe y Karen, por ser mi guía.

Ellos cruzaron este camino primero que yo  
y me mostraron cómo había que recorrerlo.

Espero, que si alguna vez lo necesitan,  
pueda guiarlos tan bien como ellos lo han hecho conmigo.

Ahora puedo compartir con ellos,  
el orgullo de ser ingenieros.

Quisiera agradecer además, a una persona muy especial,  
C-ba, mi compañero, amigo y amante.

Él me ha acompañado durante toda mi carrera universitaria,  
ha compartido mis triunfos y caídas

y me ha dado el ¡Vamos! cuando he dudado de mi misma.  
Él ha sido un gran apoyo para mí.

No me olvido de mis profesores.

Agradezco y valoro el tiempo que han dedicado en transmitir  
sus conocimientos y experiencia a nuevas generaciones.

Espero llevar aquello, a donde quiera que vaya,  
para así difundir el valor de hacer las cosas bien,  
pensando al hombre en equilibrio con la naturaleza.

Este título no es sólo mío,  
sino que también, de todos ustedes.

---

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

## Contenidos

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    Introducción <sup>□</sup> .....	1
CAPÍTULO 2: CONCEPTOS TEÓRICOS .....	5
2.1    Introducción.....	5
2.2    Términos y definiciones .....	6
2.3    Generalidades de la vivienda y su entorno .....	10
2.4    Reglamentación térmica (RT) .....	13
2.5    Condensaciones superficiales .....	14
2.6    Discusión de resultados y conclusiones.....	19
CAPÍTULO 3: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO HABITACIONAL Y TÉRMICA DE CHILE .....	20
3.1    Introducción.....	20
3.2    Zonificación climática habitacional de Chile.....	21
3.3    Zonificación térmica de Chile .....	22
3.4    Discusión de resultados y conclusiones.....	24
CAPÍTULO 4: DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA.....	25
4.1    Introducción.....	25
4.2    Tipologías de vivienda .....	26
4.3    Antecedentes de las tipologías de viviendas en el país .....	27
4.4    Selección de viviendas .....	35
4.5    Discusión de resultados y conclusiones.....	36
CAPÍTULO 5: CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE CHILE.....	37
5.1    Introducción.....	37
5.2    Consumo anual de energía en una vivienda promedio .....	41
5.3    Consumo anual de electricidad en una vivienda promedio .....	51
5.4    Consumo anual de energía por ciudad (zona térmica).....	53
5.5    Consumo de energía por tipo de agrupación de vivienda .....	56
5.6    Consumo de energía por nivel socio-económico .....	59
5.7    Tipos de energéticos utilizados en la vivienda .....	65

5.8	Discusión de resultados y conclusiones.....	69
CAPÍTULO 6: GASTO ANUAL DE ENERGÍA EN CALEFACCIÓN .....		71
6.1	Introducción.....	71
6.2	Consideraciones para el cálculo del gasto anual de energía en calefacción.....	73
6.3	Cálculo del gasto energético en viviendas .....	76
6.4	Discusión de resultados y conclusiones.....	82
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN .....		83
7.1	Introducción.....	83
7.2	Definición de medidas .....	85
7.3	Aplicación de medidas para cada tipología de vivienda.....	97
7.4	Ahorro en el consumo total de energía .....	103
7.5	Evaluación económica.....	105
7.6	Fichas: Caracterización del consumo de energía en la vivienda y análisis de eficiencia energética en calefacción.....	117
7.7	Discusión de resultados y conclusiones.....	121
CAPÍTULO 8: DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....		122
BIBLIOGRAFÍA.....		126
ANEXOS.....		129
A.1	Anexo 1: Materialidad y características térmicas de los elementos de la envolvente de cada tipología de vivienda .....	129
A.2	Anexo 2: Precio de energéticos .....	145
A.3	Anexo 3: Fichas “Caracterización del consumo de energía en la vivienda y análisis de eficiencia energética en calefacción” .....	150

---

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Introducción<sup>[1]</sup>

El petróleo representaba en el año 2004 cerca del 35% de la energía primaria consumida globalmente, siendo la fuente energética que mueve la mayor parte de la industria, el transporte, los edificios y, en general, todas las actividades relacionadas con el quehacer en la vida de las personas. Como el petróleo se ha ido agotando progresivamente, su extracción se ha hecho cada vez más cara, debido a que aumenta a su vez la dificultad con que se extrae. Ante esta realidad, la preocupación no sólo se centra en el reemplazo de esta fuente de energía por otra, sino que también en la eficiencia con que ésta se utiliza. Es aquí donde surge la idea de eficiencia energética y sustentabilidad, que se resumen en obtener energía al mínimo costo posible y usarla racionalmente, asegurando que las fuentes y usos sean sostenibles en el tiempo, temas que en Chile sólo han cobrado importancia en esta última década.

En Chile, en el año 2006, cerca del 40% del total de energía primaria consumida proviene del petróleo, el 24% del gas natural, el 16% de la leña y otros combustibles, el 12% del carbón y el 8% de la hidroelectricidad. Se destaca el alto consumo de leña, que se acentúa en la zona sur del país debido a la disponibilidad del recurso en los bosques. El consumo final de energía se puede dividir en cuatro grandes sectores económicos: el industrial y minero (35%), el transporte (34%), el comercial, público y residencial (25%), y el sector energético (6%). El rubro donde menos avances se han hecho es en el tercero, es decir, los edificios, pues la eficiencia energética en el uso de éste y el confort de los habitantes, se han visto relegados por el diseño arquitectónico y estructural. El confort de los habitantes debiera ir de la mano con el diseño material, de modo que las condiciones interiores del inmueble sean las adecuadas para que la energía utilizada en calefacción y ventilación sea mínima. En este sentido, la buena aislación de muros, pisos y techos ayuda bastante a reducir el consumo de energía (combustibles y electricidad), lo cual debiera considerarse en las bases de diseño del edificio. Dado el período de reconstrucción en que se encuentra el país, luego del terremoto del 27 de febrero de 2010, debieran tomarse en cuenta estos factores al momento de establecer las bases de diseño de las nuevas viviendas.

La reglamentación térmica nacional, referente a la aislación térmica de viviendas, comenzó a exigirse a partir del año 2000 para la aislación de techumbres y desde el año 2007 se incluyó la exigencia en la aislación de muros perimetrales, ventanas y pisos ventilados (resto de la envolvente térmica de la vivienda) (Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), 2009).

Parte de las exigencias que se han ido desarrollando para incentivar la reducción del consumo de energía, se refieren al consumo de artefactos de uso doméstico, como son los refrigeradores, hornos y luminarias. Actualmente, estos artefactos se clasifican con una letra que indica su clase de eficiencia energética, la cual va desde la A hasta la E, vale decir, desde el menor al mayor consumo de energía. Algo similar se ha elaborado para la certificación energética de viviendas, a través de la cual se pretende que la construcción se enfoque en la eficiencia energética y alcanzar niveles de confort aceptable para las personas.

---

<sup>[1]</sup>Datos estadísticos en base a (Tokman, 2007).

Chile posee una variedad climática bastante pronunciada a lo ancho del país, a pesar de ser muy angosto. Esta variación es incluso mayor que en el sentido longitudinal de norte-sur. A raíz de esto, Chile se ha clasificado en 9 zonas climático-habitacionales, las cuales están estipuladas en la NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008) de acuerdo a factores geográficos y meteorológicos. Por otra parte, el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006) establece sólo con fines de aislamiento térmico, una división del país en 7 zonas térmicas, de acuerdo a la división política-administrativa (comunas) y altitud de cada localidad. Las zonas climático-habitacionales no necesariamente coinciden con las zonas térmicas, por lo que para una misma localidad pueden existir distintos requerimientos térmicos, como es el caso de San Felipe-Los Andes y Santo Domingo, que pertenecen a una misma zona térmica, sin embargo, sus temperaturas en invierno y verano son distintas entre ambas localidades. Entonces cabe la duda de cuál es la situación real del sector y qué se debe considerar para el diseño. Esta diferencia entre la O.G.U.C. y norma NCh 1079 Of.2008, plantea la discusión de realizar una sola zonificación del país. La revisión y mayor desarrollo de las normas térmicas chilenas, permitirá seguir mejorando los requerimientos que permitan alcanzar un nivel de confort mejor para las personas con un uso más eficiente de la energía.

Respecto a lo último, para lograr una reducción en el consumo de energía de las viviendas, se pueden hacer un sinnúmero de intervenciones, tanto físicas como conductuales. En este estudio se pretende determinar el enfoque que debe otorgarse a las políticas gubernamentales, para reducir el consumo energético en el sector residencial de Chile, a partir de mejoramientos en la calidad térmica de la vivienda. Esto, sumado a un cambio en la conducta de las personas respecto al uso eficiente de la energía, permitirá que la familia reduzca considerablemente su consumo y consecuentemente, pague menos en el uso de energía.

El objetivo principal de este estudio es caracterizar el consumo de energía en el sector residencial de Chile, analizando las diferencias que existen entre distintas zonas térmicas, tipos de agrupación de vivienda y niveles socio-económicos de la familia, en base a una encuesta desarrollada para el "Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile" (Ministerio de Energía, 2010) y, a partir de ello, analizar distintas medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda para reducir el consumo de energía en calefacción, que se estima es uno de los principales consumos en el hogar. Como consecuencia de lo anterior, se habrá desarrollado una metodología para evaluar energéticamente la vivienda que servirá de base para futuros estudios.

Se seleccionará una muestra de 113 encuestas de un total de 3.220, correspondientes a casas aisladas, pareadas y departamentos ubicados en las ciudades de Valparaíso (zona térmica 2), Santiago (zona térmica 3) y Concepción (zona térmica 4), que son las ciudades más pobladas del país, según el Censo 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002). Se definirán tipologías de viviendas representativas a nivel nacional y se determinará el gasto anual de energía en calefacción ( $G_{a,c}$ ) para cada una de ellas, considerando las zonas térmicas 2, 3 y 4.

Se determinarán los niveles mínimos de aislación en techo y muros, tal que no se produzca condensación superficial y se verificarán estos valores con los exigidos en la reglamentación térmica actual. A partir de ello, se evaluará la implementación de distintas medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda y se determinará cuánto ahorro generan. Para ello, se modelarán las tipologías en el software Certificación del Comportamiento Térmico para Edificios en Chile (CCTE). Se evaluará el ahorro energético y económico que conlleva el llevar una vivienda antigua a cumplir con las exigencias de la reglamentación térmica actual.

Finalmente, se confeccionarán unas fichas para cada tipología de vivienda, ubicándolas en distintas zonas térmicas del país, en las cuales se resume toda la información obtenida en el estudio respecto al consumo de energía y al análisis de distintas medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de las viviendas. Con la información presentada de esta forma se pretende facilitar la toma de decisiones, respecto a dónde intervenir para reducir el consumo de energía en la vivienda.

A continuación, se expone un esquema general de la memoria, respecto a los cálculos y análisis que se realizarán en los capítulos siguientes, referidos a la caracterización del consumo de energía en el sector residencial de Chile y al análisis de medidas de eficiencia energética en calefacción.



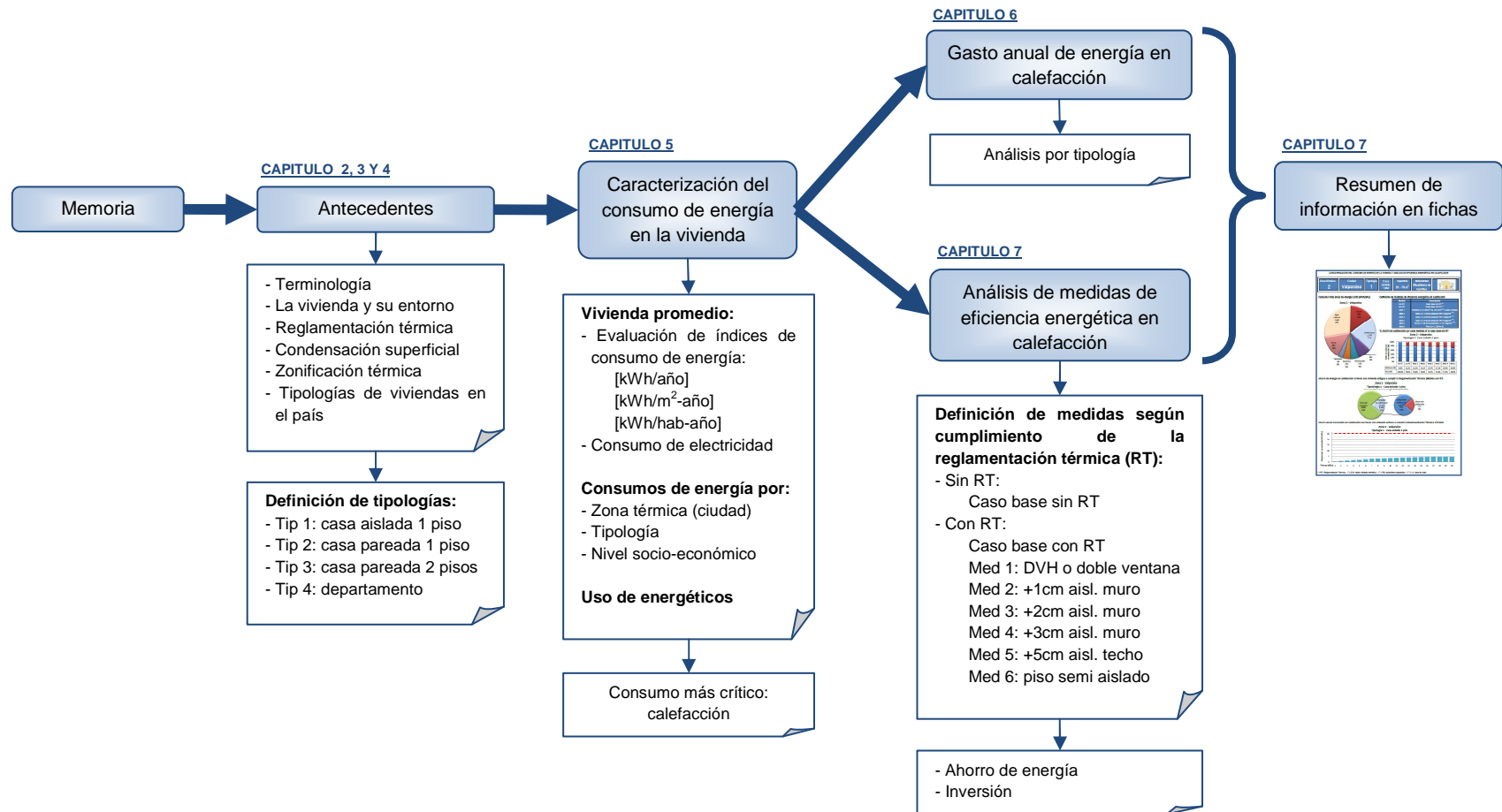


Figura 1.1 Esquema general de la memoria

---

## CAPÍTULO 2: CONCEPTOS TEÓRICOS

---

### 2.1 Introducción

En este capítulo se definirán algunos conceptos teóricos que ayudarán a la comprensión de la terminología utilizada en el desarrollo de este estudio. Estas definiciones están de acuerdo a lo estipulado en la NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007), la NCh 1960 Of.89 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1989) y el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006).

Luego de ello, se expondrán como antecedentes características generales de la reglamentación térmica actual, junto con las exigencias en las propiedades térmicas de los elementos que componen la envolvente térmica de la vivienda, tal como estipula el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C.

Posteriormente, se darán a conocer las distintas formas en que la vivienda gana y pierde energía. Se expondrá la importancia de diseñar una vivienda enfocándose en minimizar el consumo de energía en base a las condiciones climáticas y recursos existentes en el lugar en que se ubique la vivienda.

Finalmente, se analizará el efecto que tiene la condensación superficial en la vivienda. Se calculará el valor máximo de transmitancia térmica, tal que no se produzca condensación superficial en los muros y se compararán los resultados con lo exigido en la reglamentación térmica actual. Para ello, se analizarán las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, ya que al ser las más pobladas de Chile, según el Censo 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002), se estará representando una buena parte de las viviendas existentes en el país. Estas mismas ciudades serán consideradas en el resto del estudio, para el cálculo del consumo de energía, el gasto anual de energía en calefacción y el análisis de medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda.

## 2.2 Términos y definiciones

A continuación, se detallan los conceptos fundamentales a los cuales se hace referencia en el desarrollo de este estudio y que son tomados de NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007), NCh 1960 Of.89 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1989) y del Manual de Aplicación reglamentación térmica, Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006).

- 2.2.1 Aislación térmica:** es la capacidad de oposición al paso de calor de un elemento o conjunto de elementos, y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior.
- 2.2.2 Conductividad térmica,  $\lambda$ :** cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en [W/m K]. Se determina experimentalmente según NCh 850 Of.83 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1983) o NCh 851 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008).
- 2.2.3 Coeficiente superficial de transferencia térmica,  $h$ :** flujo que se transmite por unidad de área desde o hacia una superficie en contacto con el aire cuando éste y la superficie existe una diferencia unitaria de temperaturas. Se expresa en [W/m<sup>2</sup> K].
- 2.2.4 Complejo:** conjunto de elementos constructivos que forman parte de una vivienda o edificio, tales como: complejo de techumbre, complejo de entrepiso, etc.
- 2.2.5 Elemento:** conjunto de materiales que dimensionado y colocados adecuadamente permiten que cumplan una función definida, tales como: muros, tabiques, losas, etc.
- 2.2.6 Material:** componente que por sí solo no cumple una función específica.
- 2.2.7 Resistencia térmica,  $R$ :** oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción. Se expresa en [m<sup>2</sup> K/W]. Se distinguen los siguientes casos:

**2.2.7.1 Resistencia térmica de una capa material,  $R$ :** para una capa de caras planas y paralelas, de espesor  $e$ , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica  $\lambda$ , la resistencia térmica,  $R$ , queda dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

**2.2.7.2 Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada,  $R_g$ :** resistencia térmica que presenta una masa de aire confinado (cámara de aire). Se determina experimentalmente por medio de la NCh 851 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008). Sus valores aparecen en la NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007).

**2.2.7.3 Resistencia térmica total de elementos compuestos por varias capas homogéneas,  $R_T$ :** la resistencia térmica total para un elemento formado por una serie de capas o placas planas y paralelas de elementos de materiales distintos en contacto entre sí, queda dada por el inverso de la transmitancia térmica del elemento, o bien, por la suma de las resistencias de cada capa del elemento:

$$R_T = \frac{1}{U} = \sum_i R_i = \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{si} + R_{se} + \sum_i R_{ai} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

$\sum \frac{e}{\lambda}$  : sumatoria de las resistencias térmicas de las capas de materiales que conforman el elemento.

$R_{si}$  : resistencia superficial interior.

$R_{se}$  : resistencia superficial exterior.

$\sum_i R_{ai}$ : sumatoria de las resistencias de las capas de aire que posee el elemento.

**2.2.7.4 Resistencia térmica de superficie,  $R_s$ :** inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica  $h$ . Sus valores aparecen en la NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007). Se expresa en  $[m^2 \text{ KW}]$ .

$$R_s = \frac{1}{h} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

**2.2.8  $R_{100}$ :** según la norma NCh 2251 Of.94 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1994) es la resistencia térmica que presenta un material o elemento de construcción, multiplicado por 100. Se expresa en  $[m^2 \text{ KW}] \times 100$ .

$$R_{100} = \frac{e}{\lambda} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

**2.2.9 Transmitancia térmica lineal,  $K_L$ :** flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura. Se expresa en  $[W/m \text{ K}]$ .

**2.2.10 Envoltente térmica de un edificio:** serie de elementos constructivos a través de los cuales se produce el flujo térmico entre ambiente interior y el ambiente exterior del edificio. Está constituida básicamente por los complejos de techumbre, muros, pisos y ventanas.

**2.2.11 Grado-día,  $GD$ :** en un período de un día, es la diferencia entre la temperatura fijada como “base”, y la media diaria de la temperatura que está bajo la temperatura de base, igualando a la “base” aquella superior a ésta. Dependiendo del período de tiempo utilizado, se puede hablar de grados-día, grados-hora, grados-año, etc.

**2.2.12 Temperatura base:** es la temperatura que se fija como parámetro para el cálculo de requerimientos de calefacción con los cuales se obtengo confort térmico. Según el uso del edificio, se escoge una temperatura base entre  $12^\circ\text{C}$  y  $18^\circ\text{C}$ .

**2.2.13 Temperatura máxima:** temperatura más elevada que se observa dentro de un lapso dado, generalmente un día, un mes, un año.

**2.2.14 Temperatura mínima:** temperatura más baja que se observa dentro de un lapso dado, generalmente un día, un mes, un año.

**2.2.15 Temperatura media del día:** en general, se expresa como el promedio aritmético entre las temperaturas máxima, mínima y las correspondientes a las 12, 18 y 24 UTC (tiempo universal coordinado).

**2.2.16 Temperatura de bulbo seco:** es la temperatura leída en un termómetro de bulbo seco que mide la temperatura del aire ambiente.

**2.2.17 Pérdidas por renovaciones de aire, n:** pérdida de calor de un recinto que se produce por efecto de la renovación del volumen de aire interior.

**2.2.18 Transmitancia térmica, U:** flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en  $[W/m^2 K]$ . Se determina experimentalmente según NCh 851 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008) o por cálculo según NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007).

**2.2.19 Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente,  $G_{V1}$ :** flujo térmico que se transmite a través de la envolvente de un edificio (o parte de él), referido a la unidad de volumen, impulsado por la diferencia unitaria de temperatura entre el ambiente interior y el ambiente exterior. Se expresa en  $[W/m^3 K]$ .

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L \cdot L}{V} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

$U_i$  : transmitancia térmica de los complejos que conforman la envolvente térmica de la vivienda (muros, techo, ventanas y pisos).

$S_i$  : superficie de los complejos que conforman la envolvente térmica de la vivienda (muros, techo, ventanas y pisos).

$K_L$  : transmitancia térmica lineal.

$L$  : perímetro de la vivienda.

$V$  : volumen total encerrado por la envolvente de la vivienda.

**2.2.20 Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales,  $G_{V2}$ :** flujo térmico total de un edificio (o parte de él), transmitido por la envolvente y por los intercambios de aire, referido a la unidad de volumen y a la diferencia unitaria de temperatura entre el ambiente interior y el ambiente exterior. Se expresa en  $[W/m^3 K]$ .

$$G_{V2} = G_{V1} + 0,35 \cdot n = \frac{\sum U_i \cdot S_i + K_L \cdot L}{V} + 0,35 \cdot n \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

$0,35 \cdot n$ : flujo térmico por ventilación referido a la unidad de volumen y temperatura.

**2.2.21 Gasto anual de energía en calefacción,  $G_{ac}$ :** corresponde al gasto total de energía de una vivienda en el período de un año. Se expresa en  $[kWh/año]$ .

$$G_{ac} = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

$GD$ : grados-día anual  $[K]$ .

**2.2.22 Humedad absoluta, HA:** contenido de vapor de agua que contiene el aire. Se expresa en gramos de agua por metro cúbico de aire.

**2.2.23 Humedad absoluta de saturación,  $HA_{sat}$ :** contenido de vapor de agua máximo que puede admitir el aire para una temperatura dada.

**2.2.24 Humedad relativa, HR:** la humedad relativa del aire se define como la razón entre la cantidad real de vapor de agua que contiene y la máxima cantidad de agua que puede contener un determinado volumen de aire. Cuando el aire está seco, la humedad relativa es 0% y si está saturado, la humedad relativa es de 100%.

$$\%HR = \frac{HA}{HA_{sat}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.8})$$

**2.2.25 Condensación:** cuando la humedad relativa es mayor a 100%, el aire no puede contener más vapor ya que sobresatura, depositándose el exceso en forma de agua líquida sobre las superficies más frías.

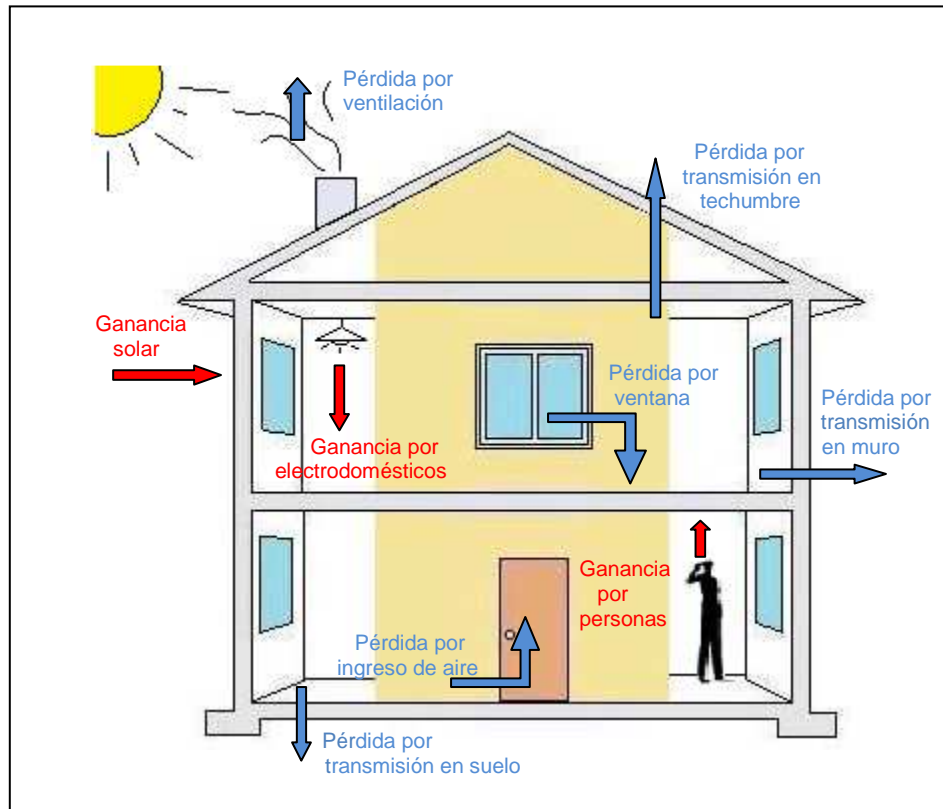
**2.2.26 Poder calorífico, PC:** cantidad de energía generada por la combustión completa de una unidad de combustible (gaseoso, líquido o sólido), obtenida a partir de condiciones de ensayo. El poder calorífico se puede expresar en diferentes unidades, tales como [kcal/m<sup>3</sup>] para gases, [kcal/lt] para líquidos y [kcal/kg] para sólidos (Programa País Eficiencia Energética (PPEE), 2010). El poder calorífico se puede distinguir en:

**2.2.26.1 Poder calorífico superior, PCS:** el proceso de combustión produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Este poder calorífico incluye el total de energía disponible por el combustible, incluyendo la energía de condensación del vapor de agua generado en la combustión. Cuanto más hidrógeno tenga el combustible, más grande es la variación entre el poder calorífico inferior y superior y más conveniente aprovecharlo (gas natural, petróleo, leña).

**2.2.26.2 Poder calorífico inferior, PCI:** este valor no incluye la energía de condensación del vapor de agua generado en la combustión. Se asume que esta energía se pierde. Sin embargo, es posible recuperarla a través de diversos sistemas, de los que se destacan las calderas de condensación. Al utilizar este valor, se obtienen mejores niveles de eficiencia en los equipos.

## 2.3 Generalidades de la vivienda y su entorno

En una vivienda existe transferencia de calor desde y hacia el exterior de ella, dependiendo del gradiente de temperaturas que existan entre el interior de la vivienda y el exterior. Estas transferencias se traducen en ganancias y pérdidas de calor en la vivienda, las cuales se muestran en la Figura 2.1.



**Figura 2.1** Ganancias y pérdidas de calor en una vivienda

Las ganancias y pérdidas de calor dentro de la vivienda se resumen en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Ganancias y pérdidas de calor en una vivienda

<b>Ganancias</b>	<b>Pérdidas</b>
Soleamiento: Muros Ventanas Techo	Conducción: - Muros - Ventanas - Techo - Piso
Artefactos: - Electrodomésticos - Iluminación - Calefacción	Radiación: Muros Ventanas Techo
Ventilación (condición verano)	Ventilación (condición invierno)
Personas y animales	

FUENTE: Física de la construcción. Conceptos térmicos. (Rodríguez, Física de la construcción. Conceptos térmicos, 2009)

De acuerdo a la estación del año, la temperatura varía fuera de la vivienda ( $t_e$ : temperatura exterior) y dentro de ella se procura mantener una temperatura de confort ( $t_i$ : temperatura interior). A partir de ello, se define lo siguiente:

- Condición de invierno :  $t_i > t_e$
- Condición de verano :  $t_i < t_e$

Así, en época invernal la temperatura fuera de la vivienda es inferior a la que hay al interior de ella. En época de verano la situación se invierte, teniendo al interior de la vivienda una temperatura menor a la que hay fuera de ella.

Dadas estas variaciones de temperatura durante el año, cuando se diseña un edificio se debe tener en cuenta el aprovechamiento de las condiciones climáticas y los recursos naturales existentes, en especial la energía solar para minimizar el consumo energético del edificio. Esto es lo que se conoce como arquitectura bioclimática o arquitectura solar pasiva. Ésta se refiere a las aplicaciones en que la energía solar se capta, se guarda y se distribuye de forma directa, es decir, sin mediación de elementos mecánicos. El objetivo es diseñar y aportar soluciones constructivas que permitan que el edificio capte o rechace energía solar, según la época del año, a fin de regularla de acuerdo a las necesidades de calefacción, refrigeración o de iluminación. El aprovechamiento de la radiación que llega al edificio se basa en la optimización de la orientación; la definición de volúmenes y aberturas; la selección de materiales apropiados, y la utilización de elementos de diseño específicos y adecuados. Los principios de la arquitectura bioclimática están en el mismo diseño:

El entorno climático.

La forma, orientación y distribución de los recintos en el edificio.

Los cierres, el aislamiento y la inercia térmica.

El entorno climático, por su influencia directa en el confort térmico, es el primer factor a tener en cuenta a la hora de concebir un proyecto de arquitectura bioclimática.

La forma de un edificio interviene directamente en el aprovechamiento climático del entorno a través de dos elementos básicos: la superficie y el volumen. A mayor superficie, más capacidad para intercambiar calor entre el exterior y el interior. A mayor volumen, más capacidad para almacenar calor. El factor forma del edificio relaciona estas dos variables, siendo el cociente entre la superficie y el volumen del edificio. Para climas fríos conviene un factor forma pequeño, entre 0,5 y 0,8, mientras que para climas cálidos conviene uno grande, superior a 1,2. Por otra parte, la orientación del edificio determina su exposición al sol y a los vientos.

Respecto a la orientación de la vivienda, depende del tipo de agrupación que se trate para determinar cuál es la importancia que tiene este factor respecto a la energía que se requiera para calefaccionar la vivienda. Por ejemplo, las viviendas aisladas pueden recibir la radiación solar por cualquiera de sus fachadas, ya que todas están expuestas al exterior, no así en el caso de los departamentos.

En general, se puede decir que en las casas, ya sean aisladas, pareadas o en fila, la orientación de la vivienda con respecto al sol, no interviene en gran medida en el consumo de energía que se requiere para calefacción, ya que la mayor parte de sus fachadas están expuestas al exterior y por cualquiera de ellas pueden recibir la energía irradiada por el sol. Eso sí, todo dependerá de la configuración de la casa para determinar la incidencia de la orientación de la vivienda. El caso más representativo es el de los departamentos, pues a lo más dos de



sus fachadas están expuestas al exterior y, dependiendo de cómo éstas se orienten, es cuánta energía solar podrá recibir la vivienda directamente. Así, en este caso, la orientación que posea el departamento con respecto al sol es un factor importante que debe tenerse en cuenta respecto al consumo de energía que se requerirá para calefaccionar.

Cuando la vivienda está orientada hacia el norte, recibe directamente los rayos solares, lo que genera una ganancia de energía en el hogar por medio de la radiación, además de recibir luz durante gran parte del día. El caso opuesto es la orientación sur, en que la vivienda recibe sólo radiación difusa y el aporte de energía calórica es menor. En la orientación sur no se recibe luz directa a ninguna hora del día. Para aprovechar de manera óptima la energía solar que ingresa a través de los acristalamientos de la vivienda, se recomienda darle una orientación norte o las relacionadas con ella como noreste y noroeste, a las fachadas que cuenten con mayor porcentaje de superficies vidriadas. Esto ocurre porque estas orientaciones son las únicas que presentan sus mayores valores de radiación en invierno que es cuando se requiere de energía adicional para calefaccionar y los menores valores en verano donde se evita esta energía (Villanueva, 2009).

En cuanto a los cierres del edificio, su función principal es preservar las condiciones interiores, independientemente de las exteriores. Una de las maneras para conseguirlo es a través de la disminución del intercambio de calor entre el interior y el exterior, de forma que los muros ejerzan una función de aislamiento térmico, lo cual se logra por medio de la intervención en:

- El grosor de los elementos de la envolvente térmica de la vivienda.
- Las dimensiones del cierre.
- Las propiedades termofísicas de los materiales que lo componen.

La masa de un edificio tiene la capacidad de almacenar energía en forma de calor. Ésta puede ser liberada nuevamente al ambiente cuando la temperatura del entorno es menor a la temperatura de los materiales, así se consigue evitar las variaciones de temperatura dentro de la vivienda. A esto se le llama inercia térmica. Se mide en base a la capacidad térmica, es decir, a la cantidad de calor que puede almacenar un elemento por unidad de masa al incrementar su temperatura en un grado centígrado. Si es mayor, mejor, pues entre más inercia térmica tengan los elementos del edificio, mayor será su acción aislante y ayudará a reducir las variaciones de temperatura al interior del edificio, respecto al exterior.

## 2.4 Reglamentación térmica (RT)

En el año 2000, entró en vigencia la primera reglamentación térmica que involucraba sólo especificaciones respecto a la aislación de techumbres. La reglamentación térmica actual, comenzó a aplicarse a partir del año 2007, y está referida a todos los elementos de la envolvente térmica. En el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006) se establecen las exigencias mínimas de acondicionamiento térmico para los complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados. El valor mínimo para la resistencia térmica total ( $R_T$ ) y la transmitancia térmica ( $U$ ) de estos complejos depende de la zona térmica que se esté evaluando, tal como se expone en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Exigencias mínimas de resistencia y transmitancia térmica para elementos de la envolvente térmica de viviendas, según zona térmica

Zona térmica	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	U	$R_T$	U	$R_T$	U	$R_T$
	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> K/W]
Zona 1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
Zona 2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
Zona 3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
Zona 4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
Zona 5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
Zona 6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
Zona 7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

FUENTE: Manual de aplicación reglamentación térmica. O.G.U.C. Art. 4.1.10 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2006)

Además, la reglamentación térmica indica los valores máximos de  $R_{100}$  para los complejos de techumbre, muros y pisos ventilados.

**Tabla 2.3** Exigencias mínimas de  $R_{100}$  para elementos de la envolvente térmica de viviendas, según zona térmica

Zona térmica	Techumbre	Muros	Pisos Ventilados
	$R_{100}$	$R_{100}$	$R_{100}$
	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Zona 1	94	23	23
Zona 2	141	23	98
Zona 3	188	40	126
Zona 4	235	46	150
Zona 5	282	50	183
Zona 6	329	78	239
Zona 7	376	154	295

FUENTE: Manual de aplicación reglamentación térmica. O.G.U.C. Art. 4.1.10 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2006)

## 2.5 Condensaciones superficiales

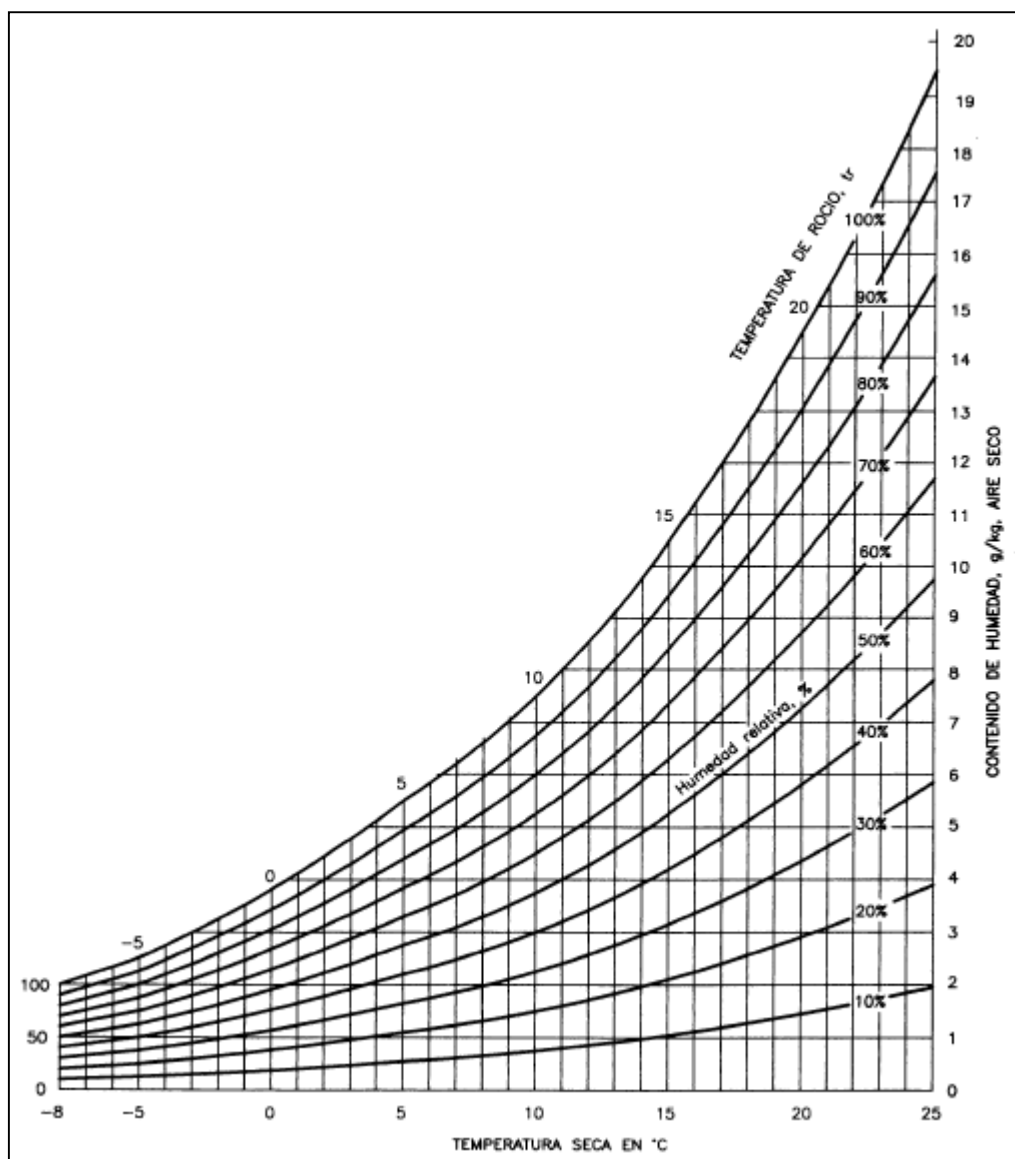
Existen otros factores que deben tomarse en cuenta al momento de diseñar una vivienda, como es el caso de la humedad. La humedad en la construcción genera diversos problemas en la vivienda, uno de los principales es la disminución de la aislación térmica de los materiales que conforman muros y techos. Esto ocurre, pues al humedecerse los materiales, el aire contenido en los orificios se rellena con agua, que posee una conductividad térmica 22 veces mayor que la del aire. El aumento de la conductividad depende del tipo de material y del clima donde se ubique la vivienda.

Por otra parte, la condensación superficial está intrínsecamente relacionada con la humedad, de modo que cuando la humedad relativa del aire es elevada, y la temperatura superficial de muros, losas, ventanas es baja con respecto a la temperatura del aire al interior de la vivienda, se produce condensación.

Algunas causas de la condensación superficial son:

- Bajo aislamiento térmico de los elementos envolventes.
- Existencia de puentes térmicos.
- Temperatura exterior baja.
- Generación exceso de vapor de agua al interior de la vivienda.
- Falta de renovaciones de aire.

Para determinar la temperatura de rocío y hacer un análisis del confort térmico, se utiliza el ábaco psicrométrico que muestra la interdependencia entre la humedad relativa (eje vertical izquierdo), la temperatura de bulbo seco (eje horizontal) y la masa de vapor de agua por masa de aire seco, con su equivalencia en presión de vapor (eje vertical derecho).



FUENTE: NCh 1973 Of.87. Anexo A – Ábaco psicométrico (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1987)

**Figura 2.2** Ábaco psicométrico

El ábaco psicométrico muestra, en términos generales, que a medida que aumenta la temperatura el aire es capaz de contener mayor cantidad de agua antes de llegar al punto de rocío, en el cual se produce condensación.

La reglamentación térmica exige valores mínimos de cumplimiento respecto a las resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente de la vivienda. El cumplimiento de estos valores mínimos no asegura a priori, que no se produzca condensación superficial en tales elementos.

Se quiere determinar el nivel de exigencia que debiera exigirse para la transmitancia térmica de muros, tal que no se produzca condensación y se verificará si estos valores están de acuerdo a lo estipulado en la reglamentación térmica actual. Para ello, se determinará la temperatura superficial interior del muro ( $T_{si}$ ) usando el ábaco psicométrico.

Cuando la temperatura superficial interior es inferior a la temperatura de saturación del aire (o temperatura de rocío), se produce condensación sobre la superficie, ya que el aire no es capaz de contener todo el vapor de agua que hay en el ambiente.

A continuación, se presenta una tabla que resume las temperaturas de saturación del aire para las temperaturas interiores de cálculo más habituales.

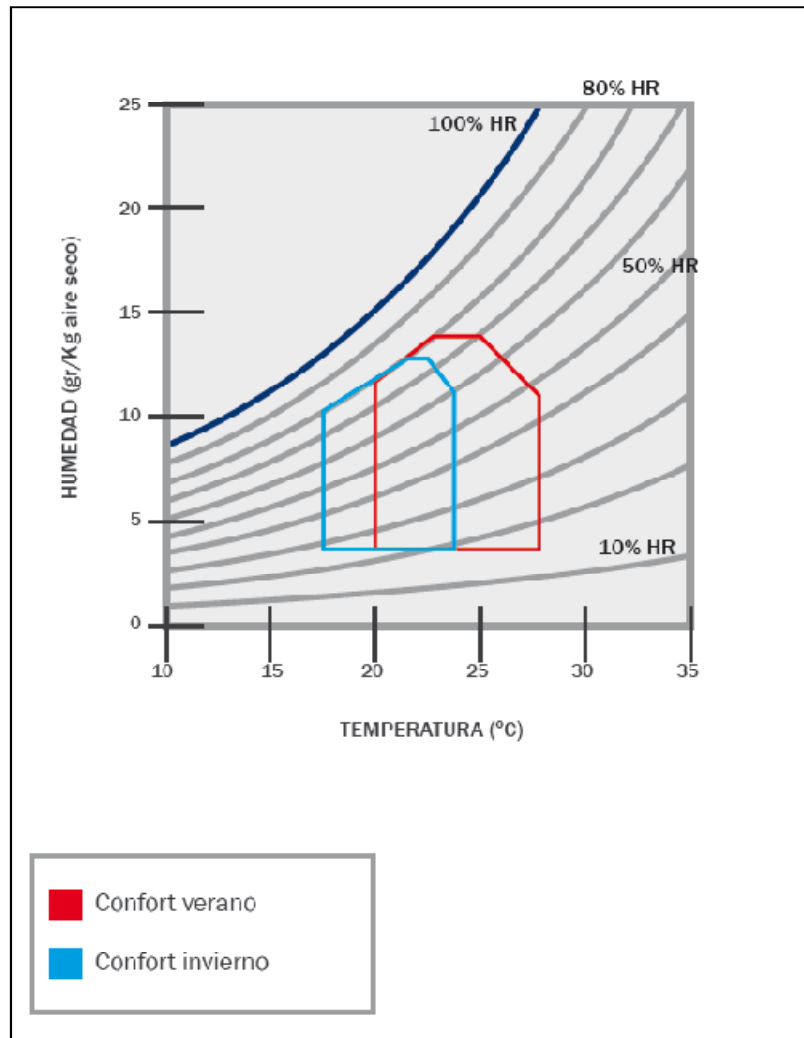
**Tabla 2.4** Temperatura de saturación del aire para ciertas temperaturas interiores, según el ábaco psicrométrico

		Temperatura interior, $T_i$ [°C]		
		18	20	22
Humedad relativa interior [%]		Temperatura de rocío [°C]		
Calefacción seca	30	0	2	3,5
	35	2	4	5,7
	40	4	6	8
	45	5,8	7,5	9,5
	50	7,5	9	11
	55	8,8	10,5	12,5
	60	10	12	14
	65	11,2	12,2	14,2
	70	12,5	14,5	16,5
Calefacción húmeda	75	13,5	15,5	17,5
	80	14,5	16,5	18,5
Local húmedo	85	15,5	17,5	19,5
	90	16,5	18,5	20,5

FUENTE: Neila, F.J; C. Bedoya. (Hernandez, 2009)

De acuerdo a la tabla anterior, si se considera una temperatura interior ( $T_i$ ) de 18 [°C] y un tipo de calefacción húmeda (HR=75%), entonces la temperatura de saturación del aire ( $T_{si}$ ) es de 13,5 [°C].

Las condiciones definidas para la temperatura interior y la humedad de la vivienda, están de acuerdo a las condiciones de confort definidas por B. Givoni, que consisten en que para una actividad dada y suponiendo que las personas se encuentran vestidas de manera razonable para las condiciones existentes, el confort térmico puede ser logrado al encontrarse al interior de una zona de confort, tal como se muestra en el siguiente diagrama (ver Figura 2.3). Esta zona de confort se encuentra definida por la temperatura en [°C] y la cantidad de humedad absoluta, es decir, la cantidad de gramos de agua por cada kilogramo de aire seco, además de considerar una velocidad del aire de 0,2 [m/s]. (Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), 2010)



FUENTE: (Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), 2010)

**Figura 2.3** Diagrama de confort

De acuerdo a la figura anterior, en invierno la temperatura mínima aceptada como confortable es de alrededor de 17 [°C] con una humedad relativa entre el 30% y el 80%. También se puede ver que las condiciones confortables en invierno y verano coinciden en una zona considerable del diagrama, por lo que es conveniente situarse en un punto de intersección de ambas zonas de confort. Se puede definir como una temperatura confortable los 20 [°C] (equivalente a 68 [°F]), valor considerado como aceptable en países desarrollados, con una humedad relativa del aire entre 35% y 75%, y un movimiento del aire de 1 [m/s] (Rodríguez, Temperatura de confort, 2002).

Ahora, para determinar el valor de la transmitancia térmica, de modo que no se produzca condensación superficial, se utiliza lo siguiente:

$$T_{si} = T_i - R_{si} \cdot U \cdot (T_i - T_e) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$U = \frac{T_i - T_{si}}{R_{si} \cdot (T_i - T_e)} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Los datos que se tienen son:

- Temperatura superficial interior  $T_{si} = 13,5$  [°C]
- Temperatura interior  $T_i = 18$  [°C]
- Resistencia superficial interior  $R_{si} = 0,12$  [m<sup>2</sup> K/W]

Falta sólo la temperatura exterior, que depende de cada ciudad en estudio: Valparaíso, Santiago y Concepción. Se considera el período de invierno en el cual es importante calefaccionar, y cuando se presentan las temperaturas más frías del año. En la norma NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008), se expone una tabla con las temperaturas medias mínimas para cada ciudad. De acuerdo a ello, las temperaturas exteriores es muestran en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Temperaturas medias mínimas para el mes más frío anual, según ciudad

Ciudad	Estación	Mes invierno	Temperatura mínima [°C]	Promedio [°C]	Período
Valparaíso	Pta. Ángeles	Jul	9,2	9,2	1961 - 1990
Santiago	Pudahuel	Jul	2,5	3,5	1961 - 1990
	Quinta Normal	Jul	3,9		1961 - 1990
	Tobalaba	Jul	3,8		1961 - 1990
	Los Cerrillos	Jul	3,8		1961 - 1990
Concepción	Carriel Sur	Ago - Sep	5,6	5,6	1961 - 1990

FUENTE: NCh 1079 Of.2008, Tabla C.3 – Valores de temperatura mínima media [°C] (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008)

A partir de los datos anteriores, se determinan los siguientes valores máximos de transmitancia térmica para que no haya condensación superficial.

**Tabla 2.6** Mínima transmitancia térmica de muros para que no se produzca condensación superficial

Ciudad	$T_{si}$ [°C]	$T_i$ [°C]	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$T_e$ [°C]	$U_{s/condens}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{RT}^{(*)}$ [W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	13,5	18	0,12	9,2	4,26	3,00
Santiago	13,5	18	0,12	3,5	2,59	1,90
Concepción	13,5	18	0,12	5,6	3,02	1,70

(\*) Los valores de U, según la reglamentación térmica (RT), están en la Tabla 2.2

De acuerdo a los resultados anteriores, se puede establecer que en general, al cumplir con la transmitancia térmica máxima impuesta por la reglamentación térmica, se asegura que en las viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, no se producirá condensación superficial en los muros y, por lo tanto, basta cumplir con lo estipulado en la reglamentación térmica. Cabe mencionar que este hecho está condicionado a que se presenten condiciones normales de temperatura en estas ciudades, como se indican en la Tabla 2.5. En consecuencia, si es que la temperatura que se presenta es inferior a la temperatura mínima media, como es el caso de Santiago en que algunos días la temperatura desciende bajo los cero grados celcius, entonces se puede producir condensación superficial.

## 2.6 Discusión de resultados y conclusiones

En una vivienda existe una transferencia de energía entre el interior y el exterior de ella. Las ganancias de energía se producen por el soleamiento a través de muros, ventanas y techo; por el uso de artefactos; por las personas y animales; y por la ventilación en condición de verano. Las pérdidas de energía se producen por conducción a través de muros, ventanas, techo y piso; por radiación a través de muros, ventanas y techo; y por ventilación en condición de invierno.

Teniendo en cuenta este intercambio de calor y las variaciones de temperatura durante el año, el diseño de las viviendas debe hacerse considerando las condiciones climáticas y los recursos naturales del lugar en que se ubique la vivienda, todo ello con el objetivo de minimizar el consumo energético del hogar. La arquitectura bioclimática se enfoca en el aprovechamiento de energías limpias, como la energía solar, a partir del diseño mismo de la vivienda. Un buen diseño permite satisfacer las necesidades de refrigeración y calefacción de la vivienda, según la época del año, sin necesidad de utilizar otros recursos o mecanismos adicionales. Respecto a la orientación del edificio, se recomienda que se haga hacia el norte, ya que así se estará aprovechando de manera óptima la energía solar.

Para lograr un comportamiento térmico adecuado de las viviendas, la reglamentación térmica actual, vigente a partir del año 2007, recoge las exigencias mínimas respecto a la aislación térmica de los elementos que conforman la envolvente térmica de la vivienda: muros, techo y pisos ventilados.

Al analizar la generación de condensación superficial en muros de viviendas ubicadas en Valparaíso, Santiago y Concepción, se obtuvo que al cumplir con los estándares mínimos de la reglamentación térmica, no se producirá condensación en los muros. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para temperaturas inferiores a las temperaturas mínimas medias, existe riesgo de que se produzca condensación superficial.



---

## CAPÍTULO 3: ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO HABITACIONAL Y TÉRMICA DE CHILE

---

### 3.1 Introducción

En este capítulo, se expondrán algunas características generales del clima en el territorio chileno. Se analizará la zonificación climático habitacional, expuesta en la NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008)), y la zonificación térmica de Chile, expuesta en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006), sus características principales y las diferencias que existen entre ellas.

Chile es un país con una gran diversidad climática, debido a su extensión en latitud y accidentes geográficos, que le otorgan características únicas a nivel mundial. A pesar de ser un país angosto, las diferencias climáticas a lo ancho de él son incluso más pronunciadas que en el sentido longitudinal, norte-sur.

Desde norte a sur, las precipitaciones aumentan y las temperaturas medias van en decremento, eso sí, a una tasa más bien baja debido a la presencia del Océano Pacífico y a la corriente fría de Humboldt, que bordea la costa desde la Isla de Chiloé con dirección norte. En el norte, se presentan zonas muy áridas y con escasas precipitaciones, continuando en el centro con zonas de inviernos húmedos y lluviosos, para llegar finalmente al sur donde las precipitaciones son abundantes y la temperatura llega a niveles bajo cero.

Los cambios de clima que se experimentan a lo ancho del país, se deben a la presencia de la Cordillera de Los Andes. A una misma latitud, se tienen condiciones distintas entre la costa (0 m.s.n.m.) y 200 km hacia el interior (3.000 m.s.n.m.): en la primera, las temperaturas son aptas para la habitación y las condiciones son en general normales, y en la segunda, las temperaturas son bastante bajas, llegando a varios grados bajo cero y con condiciones ambientales difíciles para la habitación humana.

Existen dos particularidades del comportamiento antes descrito: primero, en la región altiplánica, las temperaturas son bajas debido a la altura en que se encuentra y presencia de lluvia en los meses de verano; y la segunda, en la zona oriente de las cumbres andinas en el sur del país, donde se presenta una sombra pluviométrica y temperaturas bajas obligadas por la latitud en que se encuentran (Donoso, 2009).

Conocer la temperatura a lo largo del año en distintas zonas del país, es importante para el diseño de la aislación térmica y de sistemas de calefacción y/o aire acondicionado de las viviendas. Cabe destacar que en Chile las necesidades son principalmente de calefacción, pues para que se necesite refrigeración, la temperatura media diaria debe ser superior a 28°C, lo cual ocurre sólo en algunas regiones y por escaso período de tiempo. Además, en Chile las temperaturas altas tienen asociadas humedades bajas, lo que permite que las personas toleren mejor el calor.

Existen diversas sectorizaciones del territorio nacional, vinculadas con el clima y/o con la vivienda. Dos de ellas son la zonificación climático habitacional (NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008)) y la zonificación térmica (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006).

### 3.2 Zonificación climática habitacional de Chile

En la norma NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008), se hace una subdivisión completa del territorio chileno en zonas caracterizadas exclusivamente por agentes climáticos que inciden en la calidad habitable de las viviendas. Su propósito es señalar los rasgos distintivos que caracterizan las diferentes zonas en que se puede dividir el territorio desde esta perspectiva.

La norma identifica nueve zonas climático-habitacionales para Chile:

- NL norte litoral
- ND norte desértica
- NVT norte valle transversal
- CL central litoral
- CI central interior
- SL sur litoral
- SE sur extremo
- An andina

En esta clasificación se excluyen: Isla Sala y Gómez, San Félix, San Ambrosio e Isla de Pascua. La zonificación climático habitacional, tiene por finalidad identificar áreas de condiciones climáticas homogéneas, donde sea posible establecer con precisión los rigores climáticos de los diferentes agentes externos que condicionan y afectan la vivienda. La norma NCh1079 Of.2008 no incluye el factor humano como agente condicionante del ambiente interior de la vivienda, por lo que solamente es considerada desde el punto de vista físico.

Los factores climáticos considerados para realizar esta clasificación son: temperatura, humedad relativa, precipitaciones (lluvias y nieve), vientos predominantes, heladas, altura sobre el nivel del mar, insolación, asoleamiento, nubosidad y salinidad atmosférica.

### 3.3 Zonificación térmica de Chile

Esta zonificación (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006) incorpora disposiciones sobre exigencias de aislación térmica en las viviendas, en concordancia con una zonificación basada exclusivamente en la temperatura necesaria de calefacción para lograr confort habitable en el interior de las viviendas en las diferentes áreas del territorio nacional.

Se distinguen siete zonas térmicas con grados-día (GD) calculados con una temperatura base de 15 [°C]:

- Zona 1            hasta 500 grados-día
- Zona 2            desde 500 a 700 grados-día
- Zona 3            desde 750 a 1.000 grados-día
- Zona 4            desde 1.000 a 1.250 grados-día
- Zona 5            desde 1.250 a 1.500 grados-día
- Zona 6            desde 1.500 a 2.000 grados-día
- Zona 7            sobre 2.000 grados-día

La temperatura base (ver capítulo 2.2.12), se fija para el cálculo de los grados-día de una localidad y no debe confundirse con la temperatura de confort. La temperatura base suele fijarse entre los 12 [°C] y los 18 [°C], según consideraciones de ganancias térmicas por otras circunstancias como pueden ser las ganancias solares, el gasto eléctrico por electrodomésticos, el agrupamiento de unidades de viviendas por pareos, etc. (Rodríguez, Temperatura de confort, 2002). En cambio, la temperatura de confort se considera como 20 [°C] como un valor aceptable.

Los grados-día (GD) de calefacción requeridos para lograr confort térmico, con base 15 [°C], aumentan en la medida que se encuentra en las zonas más frías. Es por ello que en la zona 1, del norte, se requieren hasta 500 GD y en la zona 7, del sector sur, más de 2.000 GD.

La diferencia entre estas zonificaciones es que en la primera, de la NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008), se establece una macrozonificación que trasciende los límites regionales, sin profundizar en características locales, enfocándose en factores geográficos y meteorológicos. En la segunda en cambio, de la O.G.U.C, se establece una zonificación exclusivamente térmica, excluyendo el resto de los factores del clima que inciden en la calidad habitable de las viviendas. Además, la zonificación térmica está hecha en base a la división política-administrativa y la altitud de la localidad, por lo que no necesariamente coinciden las zonas climáticas con las zonas térmicas y así, para una misma localidad, pueden existir distintos requerimientos térmicos.

Cabe destacar, que la zonificación térmica asigna el mismo rango de grados-día a casi la totalidad del territorio de las regiones de Valparaíso y Metropolitana, incluyendo Santo Domingo y San Felipe-Los Andes, siendo que presentan los casos extremos en temperaturas. En San Felipe, se observa la mayor cantidad de heladas anuales, con temperaturas, por lo tanto, menores o iguales a 0°C, mientras que en Santo Domingo, las temperaturas medias de los meses de julio y agosto (meses más fríos), no bajan de los 6,8°C. Similar contraste se observa con las oscilaciones térmicas diarias, en que en los meses de verano, estación en que

se manifiesta con mayor amplitud, se alcanzan 19,2°C en San Felipe-Los Andes, en cambio en Santo Domingo, apenas se alcanzan 11,2°C. El asignar un rango tan amplio de grados-día a cada zona térmica, genera este tipo de conflictos respecto al comportamiento térmico de ciertas localidades, de modo que las necesidades de aislación pueden cambiar bastante entre una ciudad y otra, siendo que según el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006), pertenecen a una misma zona térmica.

### 3.4 Discusión de resultados y conclusiones

Chile posee una gran diversidad climática que se acentúa a lo ancho del país más que a lo largo de él, debido a la presencia de la Cordillera de los Andes.

En general, en Chile las necesidades son principalmente de calefacción, por lo que es necesario aislar la envolvente térmica de la vivienda. De acuerdo a las temperaturas existentes en cada área del país, es el grado de aislación térmica que se necesita para alcanzar una temperatura confortable en la vivienda. Mientras más fría es la zona, mayores serán los requerimientos de aislación térmica.

Desde el punto de vista de las edificaciones, existen dos zonificaciones importantes del territorio nacional, vinculadas con el clima y/o la vivienda: la zonificación climático habitacional (expuesta en la NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008)) y la zonificación térmica (expuesta en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.G (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006)). La primera, considera los agentes climáticos que inciden en la calidad habitable de las viviendas, dividiendo el país en 9 zonas climático-habitacionales. La zonificación térmica, en cambio, se basa únicamente en la temperatura de calefacción necesaria para lograr un confort habitable en las viviendas, de acuerdo a los grados-día y altitud de cada localidad; en ella se definen 7 zonas térmicas, considerando la división político-administrativa de las ciudades para la división.

Cabe destacar que como ambas zonificaciones no coinciden necesariamente, pueden existir distintos requerimientos térmicos para una misma localidad. Además, se plantea la necesidad de realizar una zonificación térmica más precisa en la cual se incluyan las singularidades climáticas en ciertos sectores del país, como es el caso de San Felipe-Los Andes, de modo que los requerimientos térmicos que se exijan sean los adecuados para cada localidad.

### 4.1 Introducción

En este capítulo se definirán las tipologías de vivienda características del país en base al “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010). En tal estudio, se encuestó a viviendas nuevas y antiguas ubicadas a lo largo de todo el país, incluyendo distintos tipos de agrupamiento: casas aisladas, casas pareadas, casas en fila y departamentos. El total de viviendas encuestadas fue de 3.220. Se solicitó al Ministerio de Energía utilizar estas encuestas para realizar el presente estudio. Dado el carácter confidencial de las encuestas y a que el Ministerio consideró que con un número más limitado de datos se podrían obtener de igual forma buenos resultados, se otorgaron los datos de sólo 113 encuestas, concediendo además, la posibilidad de escoger esta muestra.

En vista a lo anterior, se seleccionará una muestra de 113 viviendas que cumplan con las características de las tipologías de viviendas que se definan en este capítulo, y a partir de ellas se caracterizará el consumo de energía del sector residencial. Para ello, se considerarán sólo viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, debido a que son las más pobladas del país, según en el Censo del año 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002). Al limitar el estudio a estas tres ciudades, se podrán obtener mejores resultados estadísticos en vista a que el número de encuestas que se dispone es limitado.




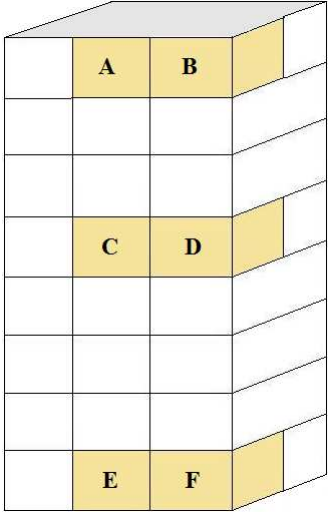
Tomando en consideración los antecedentes de las viviendas existentes en el país, se definirán las tipologías basándose en los siguientes criterios:

- Tipo de agrupamiento
- Año de construcción
- Materialidad
- Número de pisos
- Superficie [m<sup>2</sup>]

## 4.2 Tipologías de vivienda

Las viviendas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de agrupación que posean, lo cual hace referencia a las características generales del edificio. Los tipos de agrupación se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 4.1** Tipos de agrupación de vivienda

Tipo de agrupación de vivienda	Características
<p>Vivienda aislada</p> 	<p>No comparte ninguno de sus lados con otra vivienda Las pérdidas de calor hacia el ambiente, se producen por las caras expuestas al exterior: 4 fachadas de muro, el suelo y el techo.</p>
<p>Vivienda pareada</p> 	<p>Comparte un lado con otra vivienda (no hay pérdida de calor por el pareo). Las pérdidas de calor hacia el ambiente se producen por las caras expuestas al exterior: 3 fachadas de muro, el suelo y el techo.</p>
<p>Vivienda en fila</p> 	<p>Comparte dos lados con otra vivienda (en ambos pareos no se pierde calor hacia el exterior). Las pérdidas de calor hacia el ambiente se producen por las caras expuestas al exterior: 2 fachadas de muro, el suelo y el techo.</p>
<p>Departamento</p> 	<p>Tipo de departamento, de acuerdo al número de fachadas expuestas al exterior, donde se producen las pérdidas de calor hacia el ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A: posee 2 caras expuestas al exterior (techo y un muro).</li> <li>B: posee 3 caras expuestas al exterior (techo y dos muros).</li> <li>C: posee 1 cara expuesta al exterior (un muro).</li> <li>D: posee 2 caras expuestas al exterior (dos muros).</li> <li>E: posee 2 caras expuestas al exterior (piso y un muro).</li> <li>F: posee 3 caras expuestas al exterior (piso y dos muros).</li> </ul>

### 4.3 Antecedentes de las tipologías de viviendas en el país

Las viviendas pueden agruparse de acuerdo a características comunes que poseen entre ellas, tales como: superficie, tipo de agrupación de vivienda (departamentos, casas en fila, pareadas o aisladas), localidad en que se ubica, entre otras. Se pretende identificar aquellas tipologías que, en conjunto, sean representativas del parque de viviendas existentes en Chile. Para ello, se utiliza el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010), en el cual se estudian las características generales de las viviendas del país, en base a una encuesta desarrollada a familias a lo largo de todo el país.

Los ítems que abarca la encuesta son: tipología de vivienda, nivel socioeconómico, datos de consumo de energía de acuerdo a las cuentas de gas, electricidad y leña, equipos consumidores de energía que son utilizados en la vivienda, percepción respecto a las medidas de eficiencia energética y confort térmico.

Se seleccionó una muestra de 113 encuestas de un total de 3.220, conformada por viviendas ubicadas en las tres ciudades más pobladas del país, según el Censo 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002), las cuales son: Valparaíso, Santiago y Concepción. Según la reglamentación térmica, estas ciudades pertenecen a distintas zonas térmicas, tal como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 4.6** Ciudades más pobladas de Chile: población, zona térmica y grados-día

Región	Provincia	Población Provincia	Capital	Zona térmica	GD de la zona térmica
13 Región Metropolitana de Santiago	Santiago	4.668.473	Santiago	Z3	> 750 - ≤ 1000
08 Región del Biobío	Concepción	912.889	Concepción	Z4	> 1000 - ≤ 1250
05 Región de Valparaíso	Valparaíso	876.022	Valparaíso	Z2	> 500 - ≤ 750

FUENTE: Resultados generales Censo 2002, Cuadro 1.1 - Población total, por sexo e índice de masculinidad, según división político administrativa y área urbana-rural (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002) y (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006)

Los siguientes, son parte de los resultados entregados en el estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), los cuales servirán para determinar las tipologías de viviendas que se utilizarán en el presente informe.



### 4.3.1 Ubicación de las viviendas por zona térmica

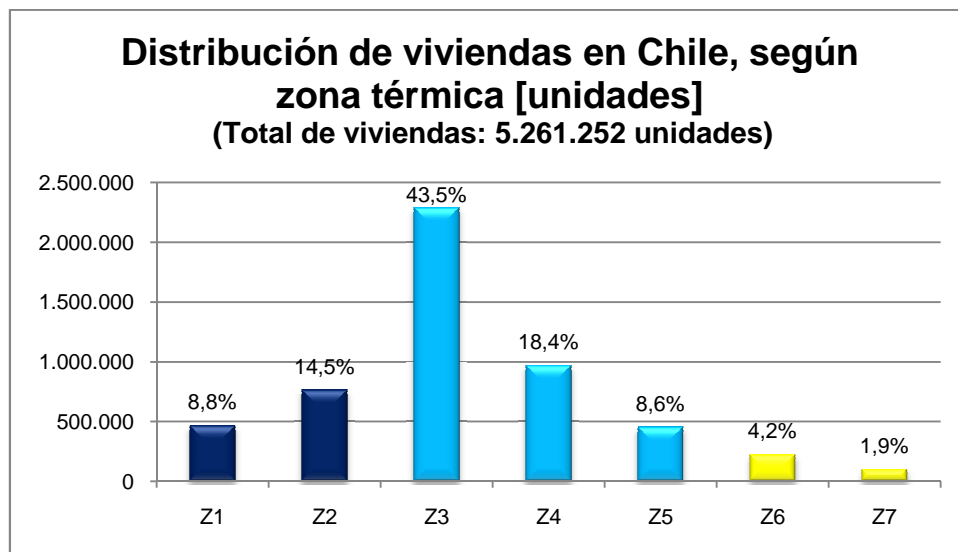
En el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010), al que pertenecen los antecedentes siguientes, se definen grupos de zonas térmicas, tal como se muestra en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7** Grupos de zonas térmicas

Nombre		Simbología	Zona térmica
GTZA	Nacional		-
GTZB	Sector norte del país		Z1 y Z2
GTZC	Sector central del país		Z3, Z4 y Z5
GTZD	Sector sur del país		Z6 y Z7

FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

En base a las encuestas que se realizaron para tal estudio, se determinó que en el país hay construidas 5.261.252 viviendas. La distribución de viviendas por zona térmica, se expone en la siguiente figura:



FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

**Figura 4.1** Distribución del total de viviendas en Chile, según zona térmica

La figura anterior muestra que las zonas térmicas en que existe mayor cantidad de viviendas respecto al total del país, son las tres siguientes:

- Zona 3            43,5% del total de viviendas del país
- Zona 4            18,4% del total de viviendas del país
- Zona 2            14,5% del total de viviendas del país

En el último Censo del año 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002), se determinó que el número total de habitantes en el país era de 15.116.435 [hab]. Se vio además, que las ciudades más pobladas de Chile corresponden justamente a las zonas térmicas en que, según el estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), existe mayor número de viviendas. Estas ciudades son:

-	Santiago	Zona 3	4.668.473 [hab]	31% del total
-	Concepción	Zona 4	912.889 [hab]	6% del total
-	Valparaíso	Zona 2	876.022 [hab]	6% del total

### 4.3.2 Tipo de agrupación de las viviendas

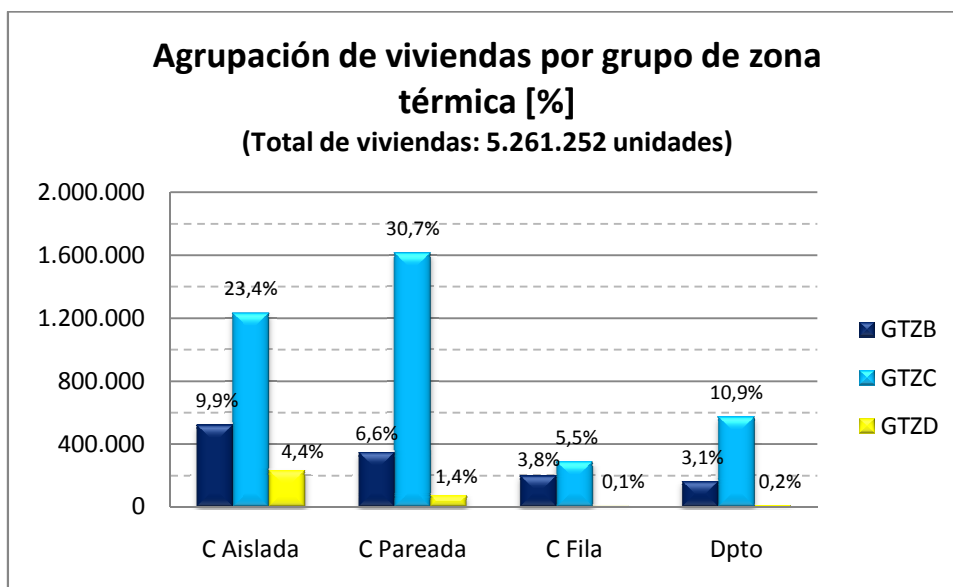
Según la información del estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), el número de viviendas por cada tipo de agrupación es el siguiente:

**Tabla 4.8** Cantidad de viviendas por tipo de agrupación

Tipo de vivienda	Total unidades	Total unidades [%]
Casa aislada	1.986.409	37,8%
Casa pareada	2.038.175	38,7%
Casa en fila	494.938	9,4%
Departamento	741.730	14,1%
<b>Total general</b>	<b>5.261.252</b>	<b>100,0%</b>

FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

En vista de que las casas en fila representan menos del 10% de las viviendas del país, no se considerarán en el análisis de este informe y sólo se tomarán en cuentas las siguientes tipologías: casas aisladas, casas pareadas y departamentos. La Figura 4.2, muestra la distribución de los tipos de agrupación de vivienda, según grupo de zona térmica.



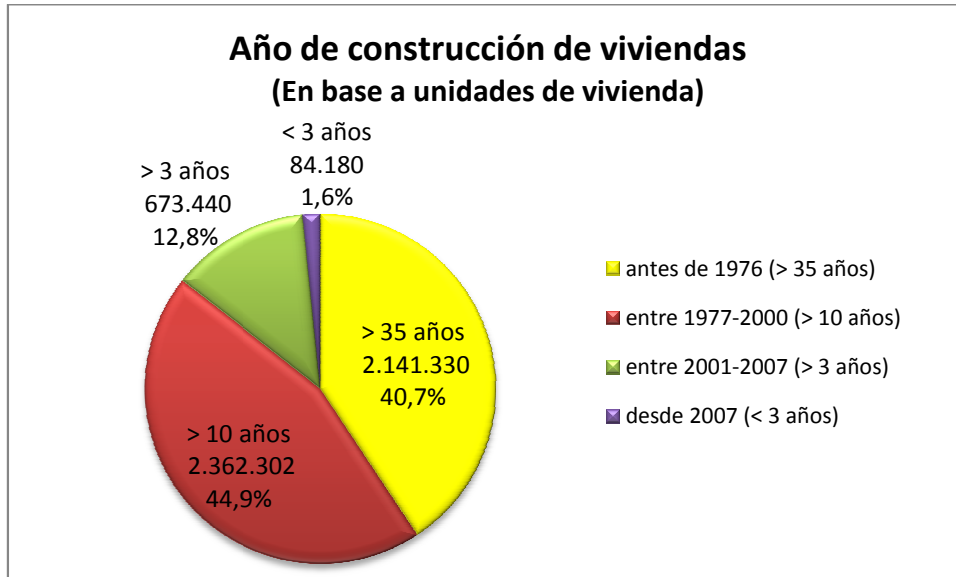
FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

**Figura 4.2** Agrupación de viviendas por grupo de zona térmica

De la Figura 4.2, se analizan los grupos de zonas térmicas GTZB y GTZC, que corresponden a las zonas 2, 3 y 4, que son las más pobladas del país. Se observa que en el grupo térmico GTZB, predominan las viviendas aisladas con un 9,9%, seguidas de las pareadas con un 6,6%. En el grupo térmico GTZC, la mayoría son casas pareadas con un 30,7%, y luego vienen las casas aisladas con un 23,4%. En el caso de los departamentos, su presencia es mayoritariamente en el grupo GTZC, es decir, zona central del país.

### 4.3.3 Año de construcción de las viviendas

Respecto al año de construcción de las viviendas, en el estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010) se entrega la siguiente estadística:



FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

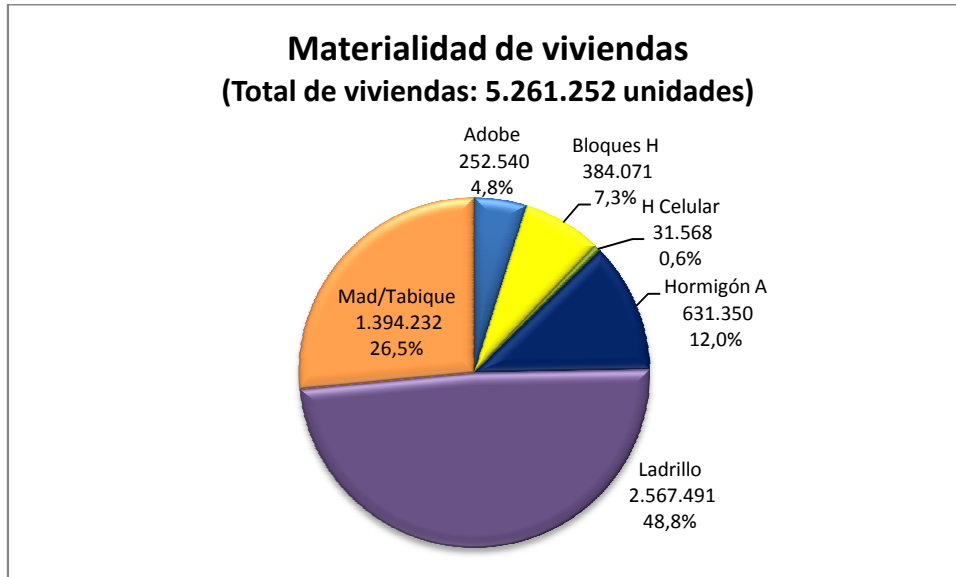
**Figura 4.3** Año de construcción de viviendas

De la figura anterior se desprende que el 86% de las viviendas del país, se construyeron antes de que se implementara la primera reglamentación térmica, que entró en vigencia en el año 2000. De estas viviendas, se considera que las construidas antes del año 1976 ya han cumplido su vida útil y están siendo reemplazadas por nuevas viviendas que cumplen con la reglamentación térmica actual. A raíz de lo anterior, las viviendas cuyo año de construcción se sitúa entre los años 1977 al 2000, son el foco de la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico.

El 13% de las viviendas están construidas entre los años 2001 y 2007, por lo que cuentan con aislación térmica de la techumbre, que entró en vigencia el año 2000. El 2% de las viviendas cuentan con aislación en toda la envolvente térmica: muros, techumbre y pisos ventilados, según la reglamentación térmica que comenzó a regir a partir del año 2008 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2006).

#### 4.3.4 Materialidad de las viviendas

En cuanto a la materialidad de las viviendas, en el estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), se exponen los siguientes resultados:



FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

**Figura 4.4** Materialidad de viviendas

En base a la figura precedente, se establece que las viviendas están construidas mayoritariamente por ladrillo (48,8%), seguidas por las de madera/tabique (26,5%) y, bastante más abajo por las viviendas de hormigón (12%). Estos son los tres principales materiales que se utilizan en las viviendas.

#### 4.3.5 Número de pisos de las viviendas

Según los resultados de la encuesta expuestos en el estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), la cantidad de pisos que posee cada tipo de vivienda es:

**Tabla 4.9** Número de pisos por tipo de agrupación de viviendas

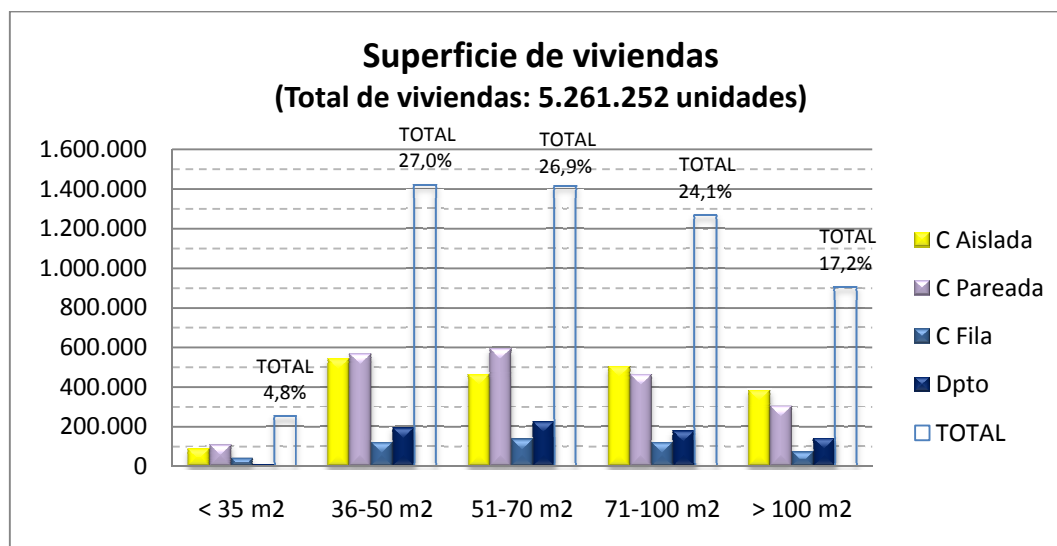
<b>Tipo</b>	<b>1 piso</b>	<b>2 pisos</b>	<b>Total</b>
Casa aislada	29,4%	8,3%	37,8%
Casa pareada	23,9%	14,8%	38,7%
Casa en fila	5,7%	3,8%	9,4%
Departamento	13,4%	0,7%	14,1%
<b>Total</b>	<b>72,5%</b>	<b>27,5%</b>	<b>100,0%</b>

FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

De la tabla anterior se desprende que el 72,5% de las viviendas son de 1 piso y el 27,5% son de 2 pisos. Las casas aisladas son mayoritariamente de 1 piso (29,4%), al igual que los departamentos (13,4%). En relación a las casas en fila y pareadas, no existe una cantidad de pisos predominante. El 23,9% de las casas pareadas poseen 1 piso y el 14,8% son de 2 pisos.

### 4.3.6 Superficie de viviendas

Según los resultados expuestos en el estudio del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), la superficie construida de las viviendas según tipo de agrupación, se expone en la siguiente figura:



FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

**Figura 4.5** Superficie de viviendas

El 78% de las viviendas poseen una superficie entre 36 [m<sup>2</sup>] y 100 [m<sup>2</sup>]. Una parte menor la conforman viviendas de superficies superiores a 100 [m<sup>2</sup>] (17,2%) y otro tanto por viviendas inferiores a 36 [m<sup>2</sup>] (4,8%).

La Tabla 4.10 resume la superficie promedio para cada tipo de agrupación de vivienda.

**Tabla 4.10** Superficie promedio para cada tipo de agrupación de vivienda

Tipo de vivienda	Superficie promedio [m <sup>2</sup> ]
Casa aislada	84
Casa pareada	72
Casa en fila	71
Departamento	76
<b>Total general</b>	<b>77</b>

FUENTE: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Ministerio de Energía, 2010)

El promedio de superficie para las viviendas del país es de 77 [m<sup>2</sup>].

Tomando en cuenta las estadísticas precedentes, se considerará para la selección de tipologías de vivienda, un rango de superficies de 51-100 [m<sup>2</sup>], que representa el 51% de las viviendas de todo el país. La superficie media de este rango está muy cercana a los 77 [m<sup>2</sup>] que se obtuvo como superficie promedio para las viviendas existentes en el país.

## 4.4 Selección de viviendas

Para evaluar medidas de eficiencia energética, se requiere definir tipologías de vivienda que representen el parque de viviendas existentes en Chile. Para ello, se utiliza el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010).

A continuación, se describen cada uno de los filtros para la selección de viviendas.

Las ciudades que se analizarán en este estudio son las siguientes:

- Valparaíso (zona 2)
- Santiago (zona 3)
- Concepción (zona 4)

Se seleccionaron las siguientes tipologías de vivienda:

**Tabla 4.11** Tipologías de vivienda definidas para el estudio

Tipología	Tipo de agrupamiento	N° de pisos	Superficie construida [m <sup>2</sup> ]
Tipología 1	Casa aislada	1	51-70
Tipología 2	Casa pareada	1	51-70
Tipología 3	Casa pareada	2	71-100
Tipología 4	Departamento	1	51-70

Debido a que las casas en fila representan un porcentaje bastante bajo con respecto a las viviendas existentes en el país (9,4% de un total de 5.261.252 viviendas), no se tomarán en consideración en los análisis de los capítulos siguientes.

En cuanto a las características de las viviendas seleccionadas, se tiene lo siguiente:

- Año de construcción      Sin reglamentación térmica (1977-2000)  
  Con reglamentación térmica de techo (2000)  
  Con reglamentación térmica actual (2007)
- Tipo de piso                      En contacto con terreno
- Tipo de localidad              Urbana
- Materialidad                      Albañilería de ladrillo

Se excluyen las viviendas construidas antes del año 1976, bajo el supuesto de que por su antigüedad se irán reemplazando por viviendas nuevas que cuentan con la reglamentación térmica actual (aislación en toda la envolvente térmica). Como representan el 40,7% del total de viviendas en Chile y no se conoce la tasa con la que se irán renovando, el consumo extra que poseen por tener una mala aislación térmica podría generarse por un período de tiempo bastante largo. Por tal motivo, se sugiere analizar este grupo con mayor detalle en otro estudio.



## 4.5 Discusión de resultados y conclusiones

De la encuesta realizada para el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010), se seleccionó una muestra de 113 viviendas, cuya cantidad está de acuerdo a los datos proporcionados por el Ministerio de Energía. Esta muestra corresponde a viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso (zona térmica 2), Santiago (zona térmica 3) y Concepción (zona térmica 4), que fueron escogidas por ser las ciudades más pobladas del país, de acuerdo al Censo del año 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002).

En base al estudio desarrollado por el Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2010), se definieron cuatro tipologías de vivienda. Sus características principales son:

- Tipología 1: Casa aislada, 1 piso. Superficie 51-70 [m<sup>2</sup>].
- Tipología 2: Casa pareada, 1 piso. Superficie 51-70 [m<sup>2</sup>].
- Tipología 3: Casa pareada, 2 pisos. Superficie 71-100 [m<sup>2</sup>].
- Tipología 4: Departamento, 1 piso. Superficie 51-70 [m<sup>2</sup>].

El año de construcción de las viviendas seleccionadas es a partir de 1976. La materialidad es de albañilería de ladrillo. En el caso de las casas (tipologías 1, 2 y 3), el piso inferior está en contacto con el terreno. Las viviendas que se seleccionaron son de una localidad urbana.

En el capítulo siguiente, se caracterizará el consumo de energía en el sector residencial, a partir de los datos de la muestra seleccionada.

---

## CAPÍTULO 5: CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE CHILE

---

### 5.1 Introducción

En este capítulo, se realizará una caracterización del consumo de energía en el sector residencial de Chile, utilizando la selección de viviendas del capítulo anterior, tomadas del “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010). En tal capítulo, se seleccionó una muestra de 113 encuestas de un total de 3.220, consistente en viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso (zona térmica 2), Santiago (zona térmica 3) y Concepción (zona térmica 4).

Utilizando esta muestra de viviendas, se determinará el consumo de energía (electricidad y combustibles) de una vivienda promedio, en base a tres índices:

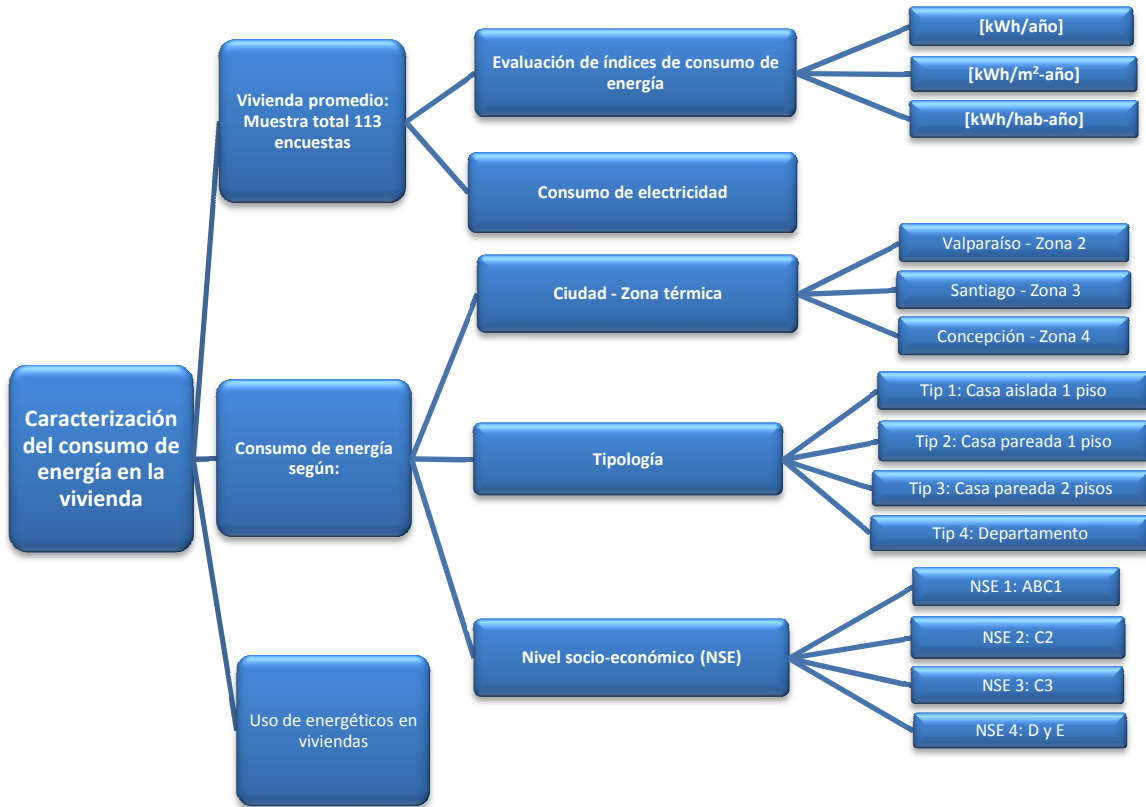
- Consumo total anual de energía [kWh/año].
- Consumo total anual de energía por unidad de superficie [kWh/m<sup>2</sup>-año].
- Consumo total anual de energía por habitante [kWh/hab-año].

Junto con ello, se identificará qué artefacto o sistema que se utiliza en el hogar es el que más energía consume. Luego, considerando sólo la electricidad, se determinará el consumo total anual de electricidad y se comparará con los resultados de otras fuentes.

Posterior a ello, se analizarán y compararán los consumos de energía (electricidad y combustibles) de acuerdo a las siguientes clasificaciones: ciudad (zona térmica), tipología y nivel socio-económico. Estos factores inciden en el consumo de energía en la vivienda, ya sea por ejemplo, si se está en una ciudad con temperaturas muy bajas, los requerimientos en calefacción serán mayores y variarán de acuerdo al tipo de vivienda, es decir, si es un departamento o una casa. También afecta el nivel socio-económico, pues a medida que se tienen más recursos, más dinero puede gastar la familia en energía.

Finalmente, se evaluará qué energéticos (fuentes de energía: electricidad y combustibles) son los más utilizados en las viviendas de las ciudades estudiadas: Valparaíso, Santiago y Concepción.

A continuación, en la Figura 5.1, se esquematiza lo que se desarrollará en este capítulo.



**Figura 5.1** Esquema caracterización del consumo de energía en la vivienda

La muestra de viviendas no permite hacer un cruce entre las clasificaciones de: zona térmica, tipología y nivel socio-económico a la vez, ni tampoco entre dos de ellas, pues la cantidad de encuestas disponibles es reducida (113 encuestas) y en algunos cruces no se tienen datos. Por tal motivo, se analizarán de manera independiente el consumo de energía por cada una de las clasificaciones mencionadas, tal como se muestra en la Figura 5.1.

Antes de realizar cualquier cálculo, se debe tener en cuenta que en una vivienda se utilizan varios tipos de energéticos para el funcionamiento de artefactos y sistemas presentes en el hogar. En este estudio se considerarán para el cálculo de consumo de energía los siguientes energéticos:

- Gas natural
- Gas licuado
- Electricidad
- Leña

Para determinar el consumo total de energía dentro de la vivienda y cómo éste se distribuye entre los distintos artefactos y sistemas, se utilizan dos criterios:

- a) Cálculo del consumo total anual de energía, por medio del detalle de cuentas de consumo de los siguientes energéticos: gas natural, gas licuado, electricidad y leña, obtenidos a partir de la encuesta.
- b) Cálculo del consumo total anual de energía por cada artefacto y/o sistema.

En el criterio a) no se consideró el consumo de carbón, ya que en ninguna de las 113 viviendas seleccionadas en este estudio, se utilizaba tal combustible. En cuanto al kerosene, en el ítem de “cuentas” de la encuesta no se les pregunta a las familias cuánto gastan en este combustible, razón por la cual no se incluye en el consumo dado por el detalle de cuentas definido como criterio a). El uso del kerosene sólo se considera en el criterio b), incorporándolo al consumo en calefacción de las estufas a parafina.

Al realizar el análisis del tipo de energéticos que se utilizan en la vivienda, se considerarán sólo los del criterio a), es decir, aquellos de los que se tiene el detalle de la cuenta de consumo, que son: el gas natural, el gas licuado, la electricidad y la leña.

Dado que las cuentas entregan el consumo real de energía, se ajustan los resultados del criterio b) con el criterio a), obteniendo la distribución del consumo para cada artefacto y sistema utilizado en la vivienda. En la Figura 5.2, se esquematiza este ajuste.

## Ajuste del consumo de energía

### Criterio a)

#### Cuentas

(Consumo real anual en electricidad y combustibles)

Energético	[kWh/año]
Gas Natural	1.421
Gas Licuado	2.394
Electricidad	2.135
Leña	1.602
<b>Total</b>	<b>7.552</b>

Consumo real

### Criterio b)

#### Artefactos y sistemas

(Consumo anual)

Artefacto/sistema	[kWh/año]	%
Agua caliente	2.111	30%
Cocina	844	12%
Calefactores	2.073	29%
Refrigerador	514	7%
Iluminación	249	4%
Stand-by	223	3%
Televisión	207	3%
Otros	899	13%
<b>Total</b>	<b>7.120</b>	<b>100%</b>

Porcentajes de consumo

$\neq$   
Diferencia de 6% en el consumo total

#### **AJUSTE**

Redistribuir el **consumo real**, según los **porcentajes de consumo** de cada artefacto y sistema

Consumo anual de energía de cada artefacto y sistema, ajustado

Artefacto/sistema	[kWh/año]	%
Agua caliente	2.238	30%
Cocina	896	12%
Calefactores	2.198	29%
Refrigerador	545	7%
Iluminación	264	4%
Stand-by	237	3%
Televisión	220	3%
Otros	954	13%
<b>Total</b>	<b>7.552</b>	<b>100%</b>

Figura 5.2 Esquema ajuste del consumo de energía

## 5.2 Consumo anual de energía en una vivienda promedio

Se determina el consumo anual de energía de una vivienda promedio, a partir de la muestra seleccionada. Como estas encuestas corresponden a viviendas ubicadas en las ciudades más pobladas de Chile (Valparaíso, Santiago y Concepción), se puede considerar que los resultados obtenidos son representativos de un hogar urbano promedio de Chile. No obstante lo anterior, debiera calcularse el consumo energético de viviendas ubicadas en todas las zonas térmicas del país para obtener un resultado más preciso y representativo a nivel nacional, ya que el consumo de energía depende del clima. Por lo tanto, cuando se hable en este capítulo de una vivienda promedio, se debe tener en consideración que sólo se han tomado en cuenta las ciudades de: Valparaíso, Santiago y Concepción, representando a las zonas térmicas 2, 3 y 4, y que cualquier otra zona térmica que se trate tendrá variaciones en los resultados.

Se consideran los siguientes artefactos y sistemas en el hogar, para calcular los consumos de energía:

- Agua caliente sanitaria: agua utilizada en higiene personal, es decir, lavado de manos + ducha + tina.
- Cocina.
- Calefactores: Sistemas con abastecimiento de combustible centralizado (como es la calefacción central) + Sistemas de abastecimiento de combustible localizado (como son las estufas).
- Refrigerador.
- Iluminación.
- Stand-by (o cargas muertas/fatasmavampiro).
- Televisión.
- Otros: horno eléctrico, freezer, lavavajillas, lavado de loza a mano, secadora de ropa, plancha, computador, DVD o VHS, consola de videojuegos, equipo de música, celular, horno, hervidor, microondas, aspiradora y lavadora.

Es necesario establecer un índice de consumo de energía dentro del hogar para poder evaluar las diferencias entre cada ciudad, nivel socio-económico y tipo de agrupación de vivienda. Para ello, se establecen los siguientes índices:

- Consumo total anual de energía [kWh/año].
- Consumo total anual de energía por unidad de superficie [kWh/m<sup>2</sup>-año].
- Consumo total anual de energía por habitante [kWh/hab-año].

Es importante destacar que los cálculos se realizan por cada vivienda y luego se calcula el promedio de ellos para realizar las estadísticas, es decir, no se calculan los promedios de consumo y se dividen por el promedio de superficie o habitantes. Con ello, se reduce el error de arrastre en los cálculos.

El consumo de energía se calculará en [kWh], pero como los combustibles y electricidad tienen distintos poderes caloríficos, se requiere hacer una conversión de unidades (para entender qué significa el poder calorífico ver capítulo 2.2.26).

El poder calorífico que interesa como consumidor es el poder calorífico inferior, ya que en el caso de las estufas a combustión, sólo una parte del combustible se convierte en calor útil y el resto se evapora o se pierde en los humos. En el caso de las estufas eléctricas, el 100% de la electricidad se convierte en calor útil.

La siguiente tabla muestra los poderes caloríficos inferiores de los energéticos que se utilizan para calefaccionar y su conversión a [kWh]:

**Tabla 5.1** Poder calorífico inferior de energéticos

Energético	Unidad	Poder calorífico inferior, PCI		Fuente
		[kcal/unidad]	[kWh/unidad]	
Gas natural	m <sup>3</sup>	8.400 [kcal/m <sup>3</sup> ]	9,77 [kWh/m <sup>3</sup> ]	Metrogas
Gas licuado	kg	11.000 [kcal/kg]	12,79 [kWh/kg]	Gasco
Electricidad	kWh		1 [kWh]	
Leña	kg	2.423 [kcal/kg]	2,86 [kWh/kg]	Encuesta Casen
Kerosene	kg	11.100 [kcal/kg]	12,91 [kWh/kg]	PPEE

Con estos valores, se puede calcular el consumo de energía de la vivienda en [kWh], independiente de la fuente energética que se utilice.

A continuación, se exponen los resultados del consumo total anual de energía utilizando los distintos índices definidos anteriormente: [kWh/año], [kWh/m<sup>2</sup>-año] y [kWh/hab-año].

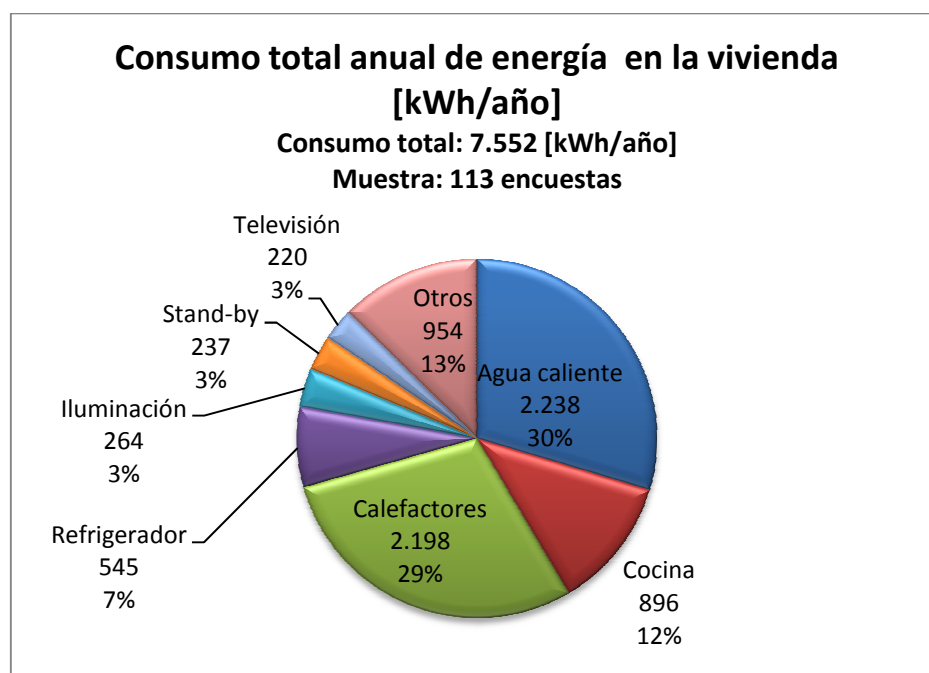
### 5.2.1 Consumo total anual de energía [kWh/año]

El consumo anual de energía de una vivienda promedio, según los resultados de la encuesta es de **7.552 [kWh/año]**. La distribución de este consumo entre los distintos energéticos es el siguiente:

**Tabla 5.2** Uso anual de combustible en una vivienda promedio

Combustible	Consumo anual	[kWh/año]	[%]
Gas natural	145 [m <sup>3</sup> /año]	1.421	18,8
Gas licuado	187 [kg/año]	2.394	31,7
Electricidad	2.135 [kWh/año]	2.135	28,3
Leña	560 [kg/año]	1.602	21,2
	<b>Total</b>	<b>7.552</b>	<b>100</b>

La distribución del consumo anual de energía entre cada artefacto y sistema utilizado en la vivienda, se presenta en la Figura 5.3.



**Figura 5.3** Distribución del consumo de energía en el sector residencial de Chile

En la figura anterior, se puede apreciar que los mayores consumos de energía en la vivienda son: agua caliente sanitaria (ACS), 30% equivalente a 2.238 [kWh/año], y calefactores con un consumo de 2.198 [kWh/año], que representan el 29% del total.

En cuanto a la categoría de “otros”, la cocina figura con un porcentaje importante de la energía consumida, siendo de un 12% del total, mientras que el refrigerador representa un 7%.



## 5.2.2 Consumo total anual de energía por unidad de superficie [kWh/m<sup>2</sup>-año]

El consumo de energía de una vivienda depende de los metros cuadrados interiores que ésta posea, ya que por ejemplo, es necesario iluminar mayores espacios en una casa más grande. De esta manera, mientras más superficie tenga la vivienda, mayor será el consumo.

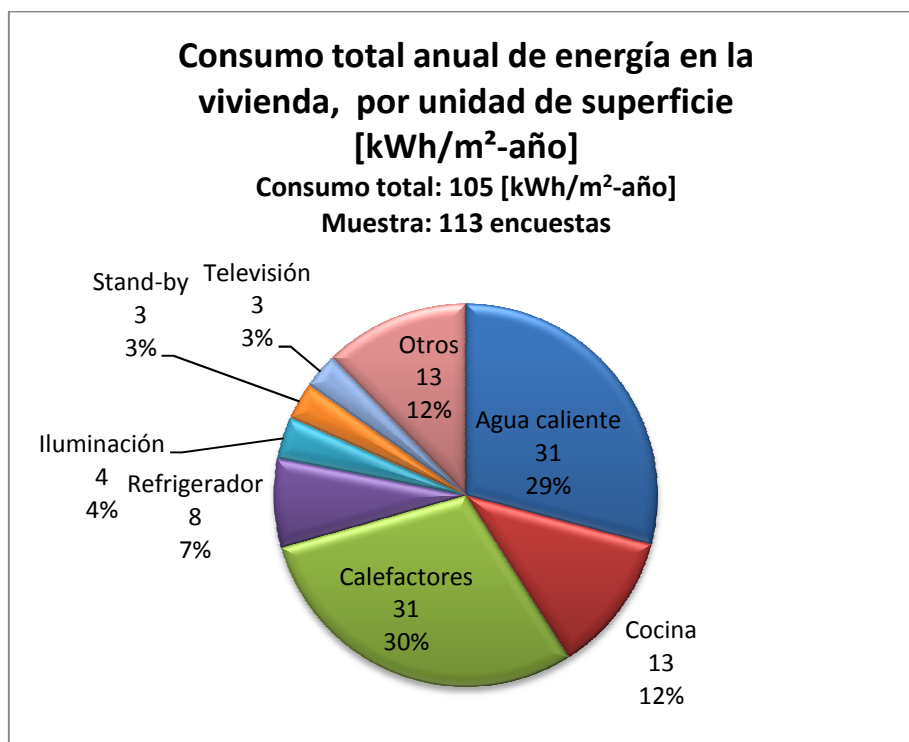
Para poder comparar entonces, de una manera equivalente todas las viviendas, se incorpora el índice [kWh/m<sup>2</sup>-año], en que el consumo ahora no depende de la superficie interior de la casa.

Según los resultados de la encuesta, el consumo anual de energía por metro cuadrado de la vivienda es de **105 [kWh/m<sup>2</sup>-año]**. La distribución de este consumo entre los distintos energéticos se muestra en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3** Uso anual de combustible por unidad de superficie

Combustible	Consumo anual	[kWh/m <sup>2</sup> -año]	[%]
Gas natural	2 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -año]	18	16,7
Gas licuado	3 [kg/m <sup>2</sup> -año]	34	32,2
Electricidad	29 [kWh/m <sup>2</sup> -año]	29	27,4
Leña	9 [kg/m <sup>2</sup> -año]	25	23,7
	<b>Total</b>	<b>105</b>	<b>100</b>

La distribución del consumo anual de energía por metro cuadrado de vivienda, entre los distintos artefactos y sistemas, se presenta en la Figura 5.4.



**Figura 5.4** Consumo anual de energía en la vivienda, por unidad de superficie

Al determinar el consumo energético por unidad de superficie de la vivienda, se observa que se distribuye de igual forma que con el índice anterior, es decir, sin considerar los metros cuadrados interiores de la vivienda. Así, nuevamente se ve un predominio en el consumo de agua caliente sanitaria y de calefactores, que es de 31 [kWh/m<sup>2</sup>-año] en ambos casos. El consumo del resto de los artefactos y sistemas es bastante menor en comparación a los dos anteriores. La cocina y el refrigerador consumen 13 [kWh/m<sup>2</sup>-año] y 8 [kWh/m<sup>2</sup>-año], respectivamente.

Además, a partir de los datos de las 113 encuestas, se obtiene que la superficie de las viviendas es, en promedio, **76 [m<sup>2</sup>]**, bastante similar a los 77 [m<sup>2</sup>] que se obtuvieron con las 3.220 encuestas en el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010) (ver Tabla 4.10).

### 5.2.3 Consumo total anual de energía por habitante [kWh/hab-año]

El consumo de energía efectuado dentro de la vivienda depende también del número de personas que habitan en ella. Así, por ejemplo, el consumo de energía en agua caliente será más grande en aquellas viviendas que poseen un mayor número de habitantes.

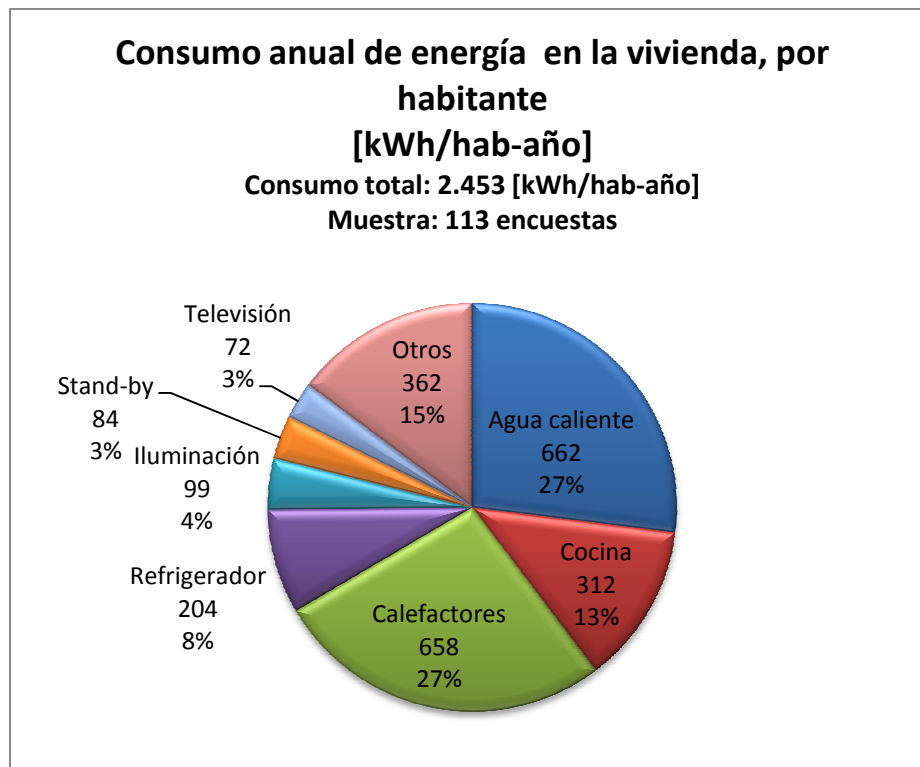
Para poder comparar el consumo de las viviendas, independientemente del número de personas que habitan en ellas, se utiliza este índice [kWh/hab-año].

Según los resultados de las 113 encuestas, el consumo anual de energía por número de habitantes de la vivienda es de **2.453 [kWh/hab-año]**. La distribución de este consumo entre los distintos energéticos es el siguiente:

**Tabla 5.4** Uso anual de combustible por habitante

Combustible	Consumo anual	[kWh/hab-año]	[%]
Gas natural	62 [m <sup>3</sup> /hab-año]	606	24,7
Gas licuado	63 [kg/hab-año]	810	33,0
Electricidad	697 [kWh/hab-año]	697	28,4
Leña	119 [kg/hab-año]	340	13,9
	<b>Total</b>	<b>2.453</b>	<b>100</b>

La distribución del consumo anual de energía por número de habitantes de la vivienda, entre cada artefacto y sistema, se presenta en la Figura 5.5.

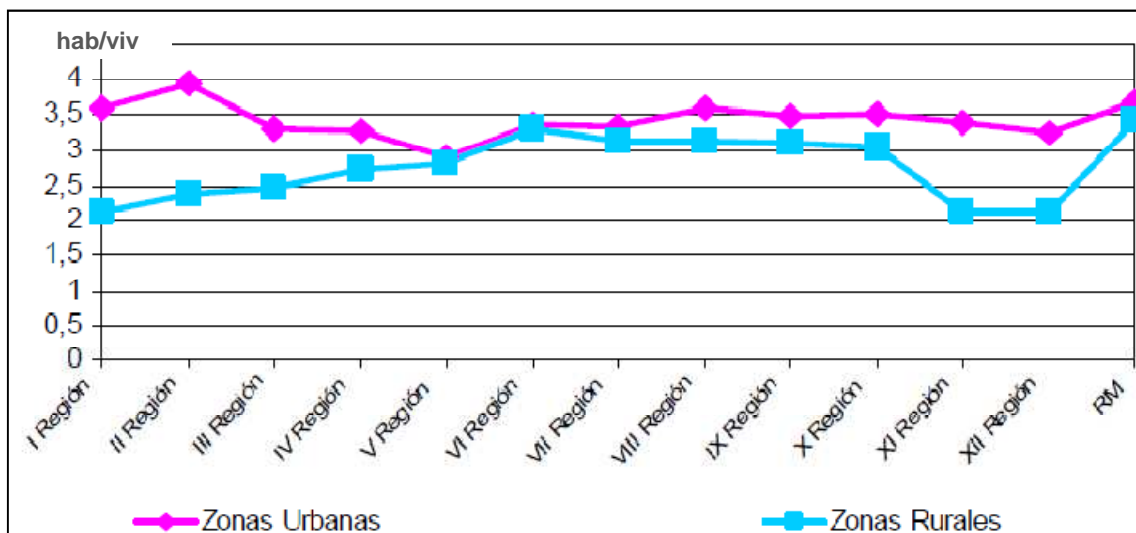


**Figura 5.5** Consumo anual de energía en la vivienda, por habitante

En este índice, se observa una pequeña variación en la distribución del consumo de energía. Aún así, el consumo en agua caliente y en calefacción sigue predominando dentro de la vivienda, ambos con un 27% del consumo total. El consumo de energía en ACS es de 662 [kWh/hab-año] y en calefactores, 658 [kWh/hab-año]. La cocina y el refrigerador suben en un tanto por ciento sus consumos, quedando en un 13% y 8% respectivamente. Se aprecia además, que la iluminación alcanza el 4% del consumo, es decir, 99 [kWh/hab-año].

Por otra parte, la encuesta permite determinar el número de personas promedio que habitan en una vivienda urbana, que es de **3,7 [personas/vivienda]**.

La Figura 5.6 muestra el promedio de población por vivienda urbana y rural para las distintas regiones del país, en el año 2005.



FUENTE: Instituto Nacional de Estadísticas, 2005

**Figura 5.6** Habitantes por vivienda en cada región de Chile

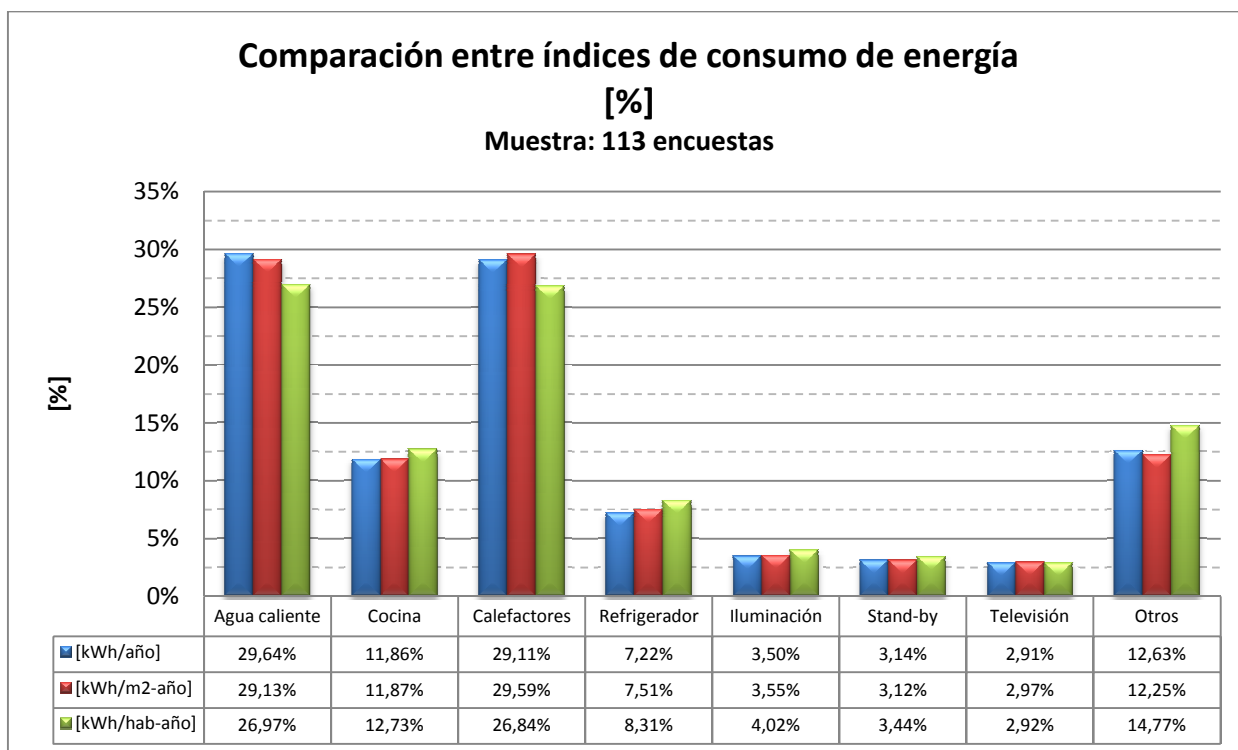
Considerando sólo las zonas urbanas, la figura anterior muestra que en Valparaíso (V Región) son 3 los habitantes por vivienda, mientras que en Santiago (RM) y en Concepción (VIII Región) son 3,5 habitantes por vivienda. En vista de lo anterior, el número de personas que habitan por hogar en las zonas urbanas ha aumentado levemente estos últimos años, desde un promedio de 3,4 [hab/viv] a 3,7 [hab/viv].

En resumen, según los cálculos anteriores, el consumo de energía en la vivienda se puede expresar con los siguientes índices:

**Tabla 5.5** Índices de consumo de energía

Índice	Unidad	Consumo
Consumo total anual de energía	[kWh/año]	7.552
Consumo total anual de energía por unidad de superficie	[kWh/m <sup>2</sup> -año]	105
Consumo total anual de energía por habitante	[kWh/hab-año]	2.453

En la Figura 5.7, se comparan las distribuciones del consumo de energía según cada índice, entre los distintos artefactos y sistemas utilizados en la vivienda. Cabe mencionar que los consumos totales anuales por unidad de superficie [kWh/m<sup>2</sup>-año] y por habitante [kWh/hab-año], no se han calculado dividiendo el consumo total anual [kWh/año] por un escalar, correspondiente a la superficie promedio o al número de habitantes promedio, respectivamente, sino que se han calculado los consumos por cada encuesta y luego se han promediado entre sí para obtener el consumo final. Es por ello, que al comparar los índices se observan diferencias entre los distintos artefactos y/o sistemas.



**Figura 5.7** Comparación entre índices de consumo de energía

La figura anterior permite establecer que no existen grandes variaciones entre los índices que se utilizan para comparar el consumo de energía entre los distintos artefactos y sistemas que se utilizan en la vivienda.

En vista de lo anterior, en adelante se utilizará como índice de comparación el consumo anual de energía, [kWh/año], esto es, no se considerarán las diferencias en superficies ni número de habitantes entre cada una de las viviendas, ya que los resultados comparativos serán bastante similares.

Ahora, es importante hacer un análisis sobre los mayores consumos de energía, que son agua caliente sanitaria y calefacción. Si bien, en ambos se presenta un consumo anual similar (2.200 [kWh/año] aprox.), cabe destacar que el agua caliente se consume durante todo el año, mientras que los calefactores sólo se utilizan en invierno. Esto lleva a que al anualizar los consumos, las diferencias entre ambos se equiparen.

Dependiendo de la ciudad en que se ubique la vivienda, es cuántos meses se considera como época invernal. En la Tabla 5.6, se muestran las condiciones para las ciudades estudiadas: Valparaíso, Santiago y Concepción, según la NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008).

**Tabla 5.6** Meses de invierno para las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción

<b>Ciudad</b>	<b>Zona climático-habitacional</b>	<b>Temporada de invierno</b>
Valparaíso	Central litoral (CL)	4-6 meses de invierno
Santiago	Central interior (CI)	4-5 meses de invierno
Concepción	Sur litoral (SL)	inviernos largos

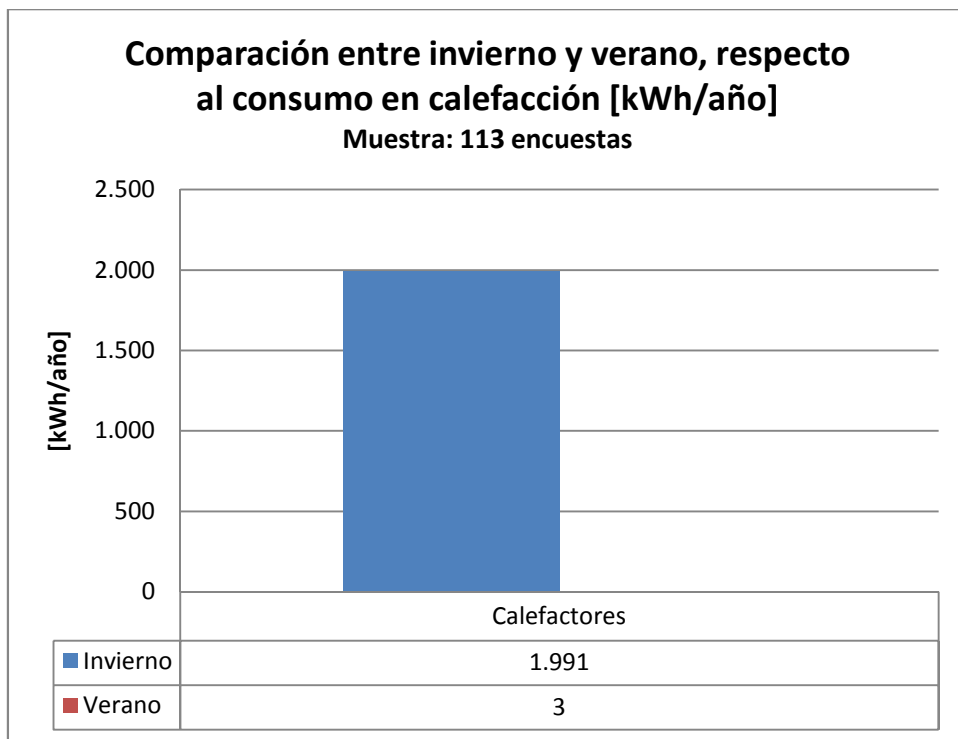
FUENTE: En base a la norma NCh 1079 Of.2008, Capítulo 6, Tabla 2: Localización y descripción del clima por zonas (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008)

Si bien hay que tener en cuenta lo anterior, por simplicidad, se definieron las temporadas de invierno y verano para todas las ciudades igual, es decir, tanto para Valparaíso como para Santiago y Concepción, el año se dividió igualitariamente entre invierno y verano, de modo que cada temporada consta de un período de 6 meses, comprendidos entre:

- Temporada de invierno: abril a septiembre.
- Temporada de verano: octubre a marzo.

De acuerdo a las preguntas que se realizaron en la encuesta, sólo se puede distinguir el consumo de energía entre la época de invierno y verano, para la calefacción y la iluminación. Para el resto de los artefactos y sistemas, se consideró que el consumo de energía en invierno y verano es el mismo, ya que no se hacen preguntas en la encuesta respecto a la estacionalidad de estos consumos.

Interesa analizar el consumo en calefacción, ya que se vio que representa un alto consumo en la vivienda. En la Figura 5.8 se muestra este comportamiento.



**Figura 5.8** Comparación entre invierno y verano, respecto al consumo en calefacción

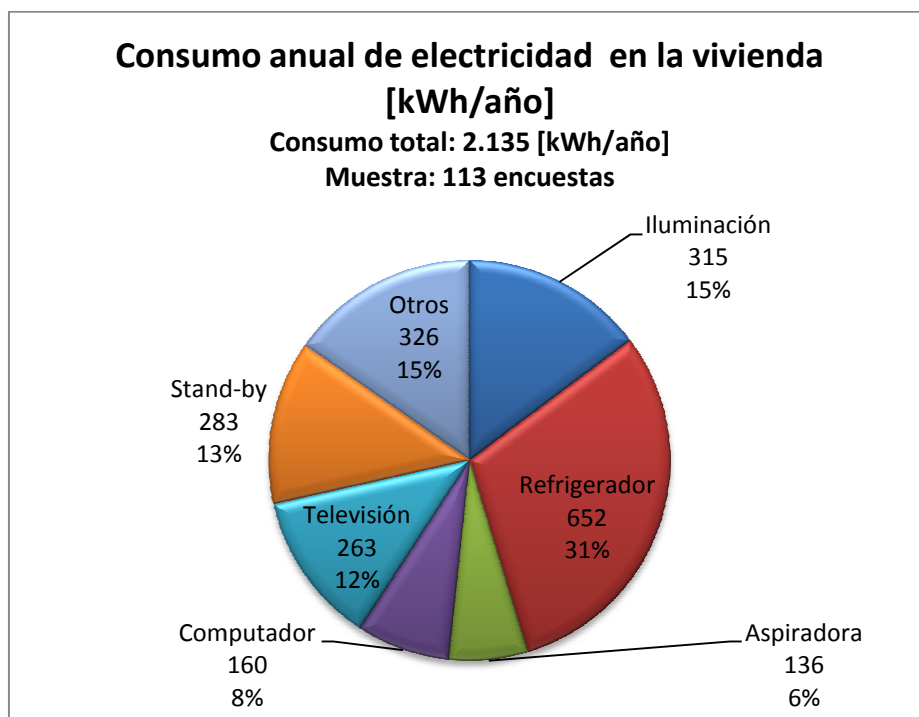
Al observar el consumo estacional de energía en calefacción, se ve claramente que casi todo el consumo se produce en invierno, cuyo valor llega a ser comparable con el consumo anual en agua caliente. Así, se identifica que el consumo más crítico en la vivienda se produce en calefacción durante el período de invierno. Este resultado conduce a poner mayor énfasis en la aplicación de medidas de eficiencia energética en calefacción, ya que un ahorro en este ítem, conlleva una reducción importante en el consumo global de energía dentro del hogar.

Lo anterior implica realizar un análisis detallado de medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda, ya que con ello se reduce la necesidad de calefacción para llegar al estado de confort térmico.

### 5.3 Consumo anual de electricidad en una vivienda promedio

Los análisis previos del consumo de energía en el sector residencial, hacían referencia al gasto dado por la utilización de todo tipo de energía: gas natural, gas licuado, electricidad y leña.

Varios estudios previos acerca del consumo de energía en el sector residencial de Chile, hacen referencia sólo a la electricidad como energía. Por ello, y para tener un índice de comparación con otras fuentes, se expone en la siguiente figura el consumo anual de electricidad en la vivienda, calculado en base a la muestra de encuestas y considerando sólo los artefactos y sistemas que usan electricidad.

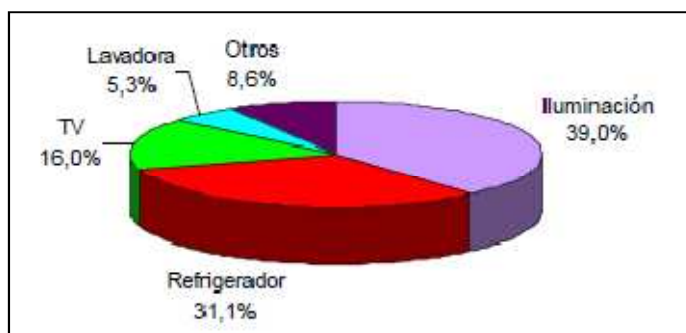


**Figura 5.9** Consumo anual de electricidad en la vivienda

Considerando el consumo sólo en electricidad, el refrigerador surge como el principal artefacto consumidor de energía (652 [kWh/año] equivalente al 31% del total). Le siguen en orden decreciente y, bastante por debajo, la iluminación, stand-by y televisión, los cuales poseen un consumo similar entre sí, equivalente a un 14% del total aproximadamente.

La figura siguiente muestra el consumo eléctrico en los hogares, según un informe elaborado por el Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN), titulado como "Caracterización del consumo y estimación del potencial de ahorro de energía en las distintas regiones de Chile" (Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN), 2008).





FUENTE: Caracterización del consumo y estimación del potencial de ahorro de energía en las distintas regiones de Chile (Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN), 2008)

**Figura 5.10** Distribución del consumo eléctrico en los hogares

Se observa que los consumos de energía predominantes en la vivienda están en iluminación (39%), refrigerador (31,1%) y el televisor (16%). Estos ítems coinciden con los obtenidos a partir de la encuesta, siendo los consumos por refrigerador y televisor bastante similares. Sin embargo, en iluminación, la encuesta arrojó un consumo bastante menor (15%) respecto a los consumos del año 2007, expuestos en la figura del PRIEN. Esto puede deberse al aumento en el recambio de ampolletas incandescentes por otras de bajo consumo, gracias a las campañas del Gobierno por reducir el consumo residencial en iluminación.

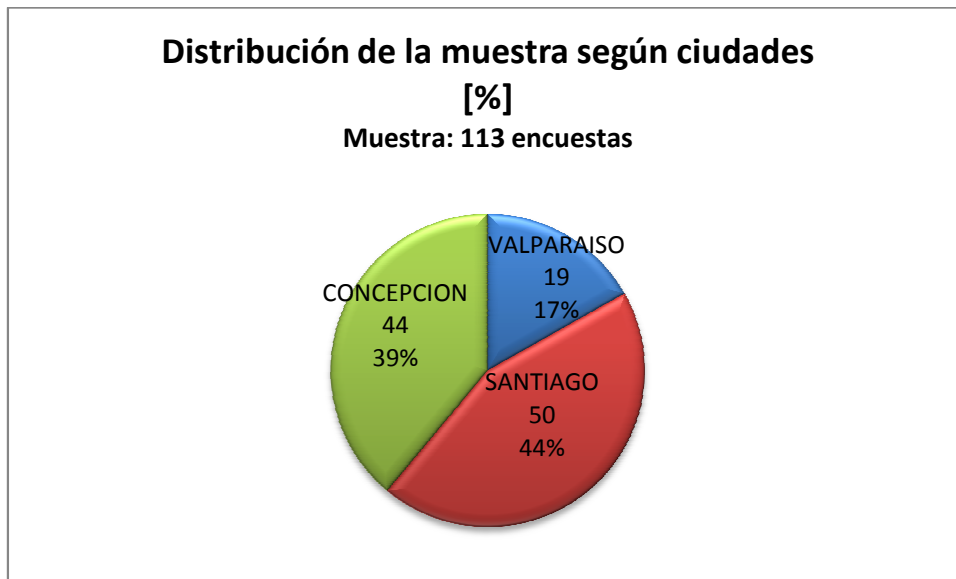
Respecto al consumo stand-by, la encuesta arroja que este ítem representa un 13% del consumo total de la vivienda, llegando a compararse con el consumo en iluminación. Como ya se vio, es justificable que el consumo en iluminación sea tan bajo, pero debe corroborarse el consumo stand-by. Según estudios de la International Energy Agency (International Energy Agency (IEA), 2001), el consumo de aparatos que no se usan representa entre el 5% y el 12% del consumo de cada hogar, dependiendo de los países. De acuerdo a lo anterior, Chile estaría entre los países que más consume energía por efecto del stand-by, comparándose con Australia y Nueva Zelanda. El consumo stan-by es muy variado de acuerdo a cada artefacto, el cual puede llegar a los 10 [W] cada uno y en algunos es un tanto mayor. En sí mismo el consumo no es mucho, pero si se tiene media docena de electrodomésticos en modo stan-by, el consumo que resulta puede ser comparable con el de una lámpara de 60 [W] permanentemente encendida. Así, en todos los rincones de la casa se está desperdiciando energía por tener los artefactos mitad encendido, mitad apagado esperando estar inmediatamente disponible para cuando se necesite, es decir, en modo stand-by.

De acuerdo al análisis anterior y considerando que el refrigerador es el que produce mayor consumo eléctrico en el hogar, para reducir el consumo de las viviendas en electricidad, se deben enfocar las medidas gubernamentales en este ítem.

## 5.4 Consumo anual de energía por ciudad (zona térmica)

Las encuestas seleccionadas en la muestra consideran viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción. En un principio, se pretendía contar con una muestra distribuida equitativamente entre las tres ciudades, pero no pudo ser así ya que en la totalidad de encuestas no había suficientes viviendas de Valparaíso y de Concepción que cumplieran con todas las características definidas para este estudio. A razón de lo anterior, la muestra cuenta con mayor número de viviendas en Santiago que en las otras ciudades que son objeto de estudio.

La Figura 5.11 muestra cómo se distribuye la muestra en las distintas ciudades.



**Figura 5.11** Distribución de la muestra según ciudades

Del total de 113 viviendas, 50 pertenecen a Concepción, 44 a Santiago y 19 a Valparaíso. Esto debe ser considerado al momento de evaluar los consumos de energía, ya que cada ciudad pertenece a distintas zonas térmicas que pueden diferenciar los hábitos de consumo energético.

La pertenencia a zonas térmicas de estas ciudades es:

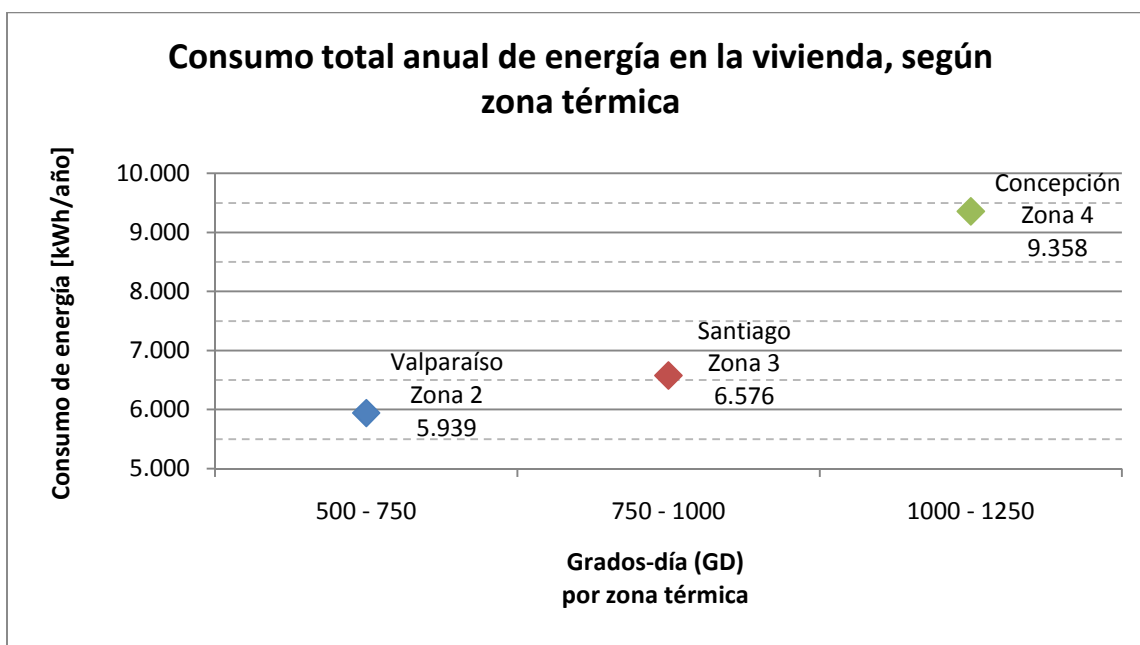
- Valparaíso Zona 2 GD: 500 - 750
- Santiago Zona 3 GD: 750 - 1.000
- Concepción Zona 4 GD: 1.000 - 1.250

Según los datos de la encuesta, el consumo total anual de energía para una vivienda promedio, según ciudad es:

**Tabla 5.6** Consumo total anual de energía en la vivienda, según ciudad

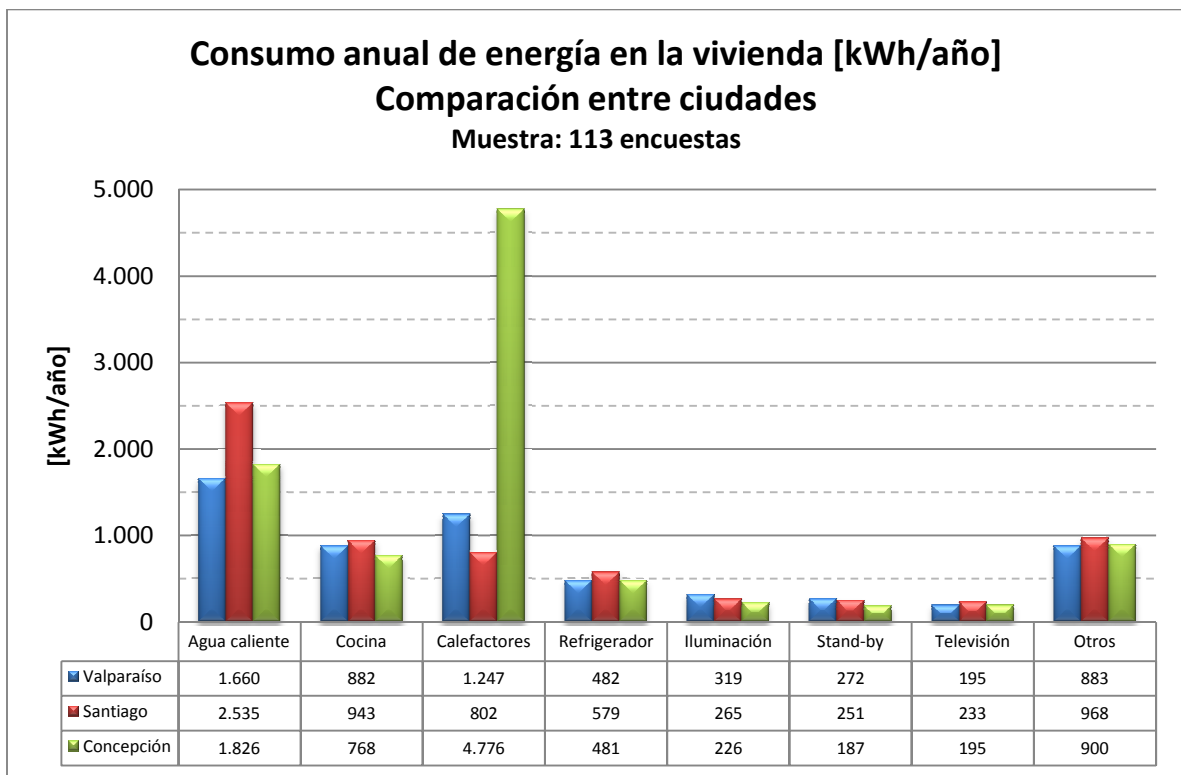
Ciudad	Zona térmica	Consumo de energía [kWh/año]
Valparaíso	Zona 2	5.939
Santiago	Zona 3	6.576
Concepción	Zona 4	9.358

Se ve que el consumo total de energía de una vivienda aumenta según ésta se ubique en zonas térmicas más frías (hacia el sur de Chile), donde los grados-día son mayores. Esta relación se observa claramente en la siguiente figura:



**Figura 5.12** Consumo total anual de energía en la vivienda, según zona térmica

A continuación, se expone en la Figura 5.13 la distribución del consumo energético entre los distintos artefactos y sistemas que se utilizan en la vivienda. En esta figura se pueden apreciar las diferencias de consumo entre cada ciudad en estudio.



**Figura 5.13** Consumo anual de energía en la vivienda. Comparación entre ciudades

De la Figura 5.13, se desprende inmediatamente que en Concepción existe una clara acentuación en el consumo de energía por efecto de calefactores (4.776 [kWh/año]), superando cualquier otro consumo tanto en Valparaíso como en Santiago. Así, en Concepción, más de la mitad del consumo total de energía de una vivienda (9.358 [kWh/año]) es exclusivamente en calefacción.

Para las tres ciudades, existe un gasto importante de energía en la obtención de agua caliente sanitaria, destacándose Santiago con 2.535 [kWh/año]. El resto de los consumos son similares entre las 3 ciudades, lo cual puede explicarse porque son artefactos básicos de un hogar promedio y no dependen de la zona térmica en que esté ubicada la vivienda. Entre estos artefactos y sistemas, destacan la cocina y el refrigerador. Se aprecia que existe un alto consumo en la categoría de "Otros", destacando en esta categoría: el lavado de loza a mano (no con lavavajilla), que consume bastante energía por el agua caliente que se utiliza, el consumo por el computador, el horno y la aspiradora.

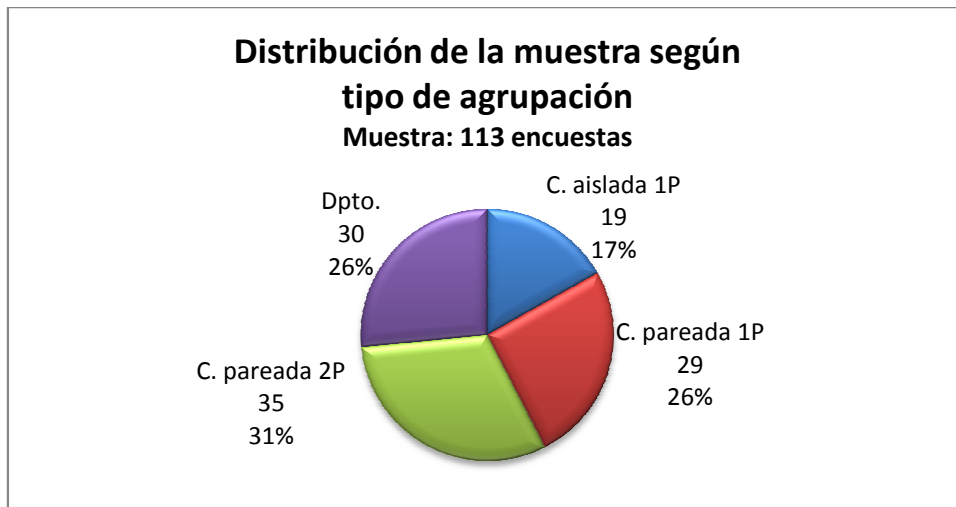
## 5.5 Consumo de energía por tipo de agrupación de vivienda

Las viviendas se pueden distinguir en base al tipo de agrupación que éstas poseen, que según la clasificación realizada en este estudio (ver Tabla 4.1), se distinguen en:

- Casa aislada
- Casa pareada
- Casa en fila
- Departamento (en sus distintas ubicaciones dentro del edificio)

En relación a los departamentos, se considerará un departamento promedio respecto a su ubicación dentro del edificio, debido a que la muestra es limitada en cuanto al número de encuestas y no permite hacer un cálculo más detallado. En los capítulos 6 y 7 se estudiarán los departamentos de acuerdo a su ubicación dentro del edificio y se determinará cuál es la posición más perjudicial de acuerdo a las pérdidas de energía.

La figura que continúa muestra la distribución de la muestra de encuestas entre los distintos tipos de agrupación:



**Figura 5.14** Distribución de la muestra según tipos de agrupación de vivienda

De las 113 encuestas en estudio, el 57% corresponde a casas pareadas, correspondiendo 35 de ellas a casas pareadas de 2 pisos (31%) y 29 a casas pareadas de 1 piso (26%). El 26% son departamentos y el 17% casas aisladas.

Dado que las superficies en contacto con el exterior varían de acuerdo al tipo de agrupación y número de pisos que posea la vivienda, las pérdidas de energía en calefacción serán diferentes para cada una de ellas. Por consiguiente, el consumo total de energía en el sector residencial se ve condicionado al tipo de agrupación de la vivienda.

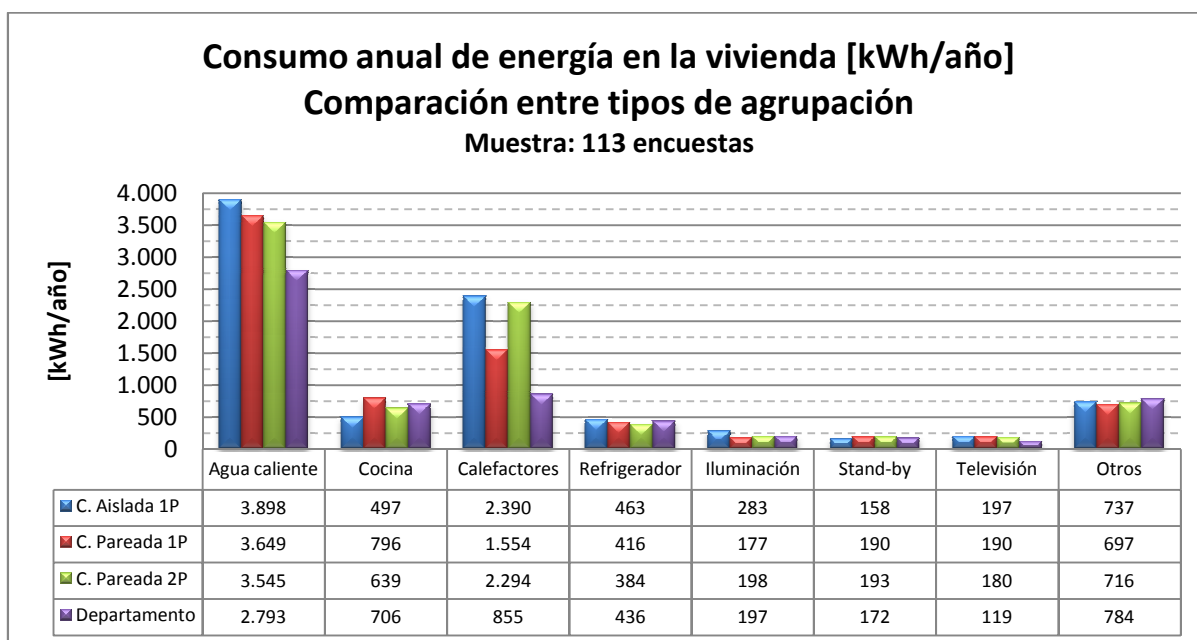
Según los datos de la encuesta, en la Tabla 5.7, se expone el consumo total anual de energía para una vivienda promedio, por tipo de agrupación.

**Tabla 5.7** Consumo total anual de energía en la vivienda, según tipo de agrupación

Tipología de vivienda		Consumo de energía [kWh/año]
Tipología 1	Casa aislada 1 piso	8.623
Tipología 2	Casa pareada 1 piso	7.671
Tipología 3	Casa pareada 2 pisos	8.150
Tipología 4	Departamento	6.062

De acuerdo a los datos de la encuesta, el consumo de energía de las viviendas aisladas es mayor que el del resto de las tipologías. Así, si se compara una vivienda aislada con una pareada, ambas de 1 piso, el consumo de la primera es en promedio un 11% más alto que el de esta última. Lo anterior, se puede justificar en que la casa pareada posee una cara de muro en contacto con otra vivienda colindante, a través de la cual no se pierde energía hacia el exterior, reduciendo el consumo en calefacción. En cuanto a las casas pareadas, las de 2 pisos consumen más energía que las de 1 piso (6% más). Los departamentos son los que consumen menor cantidad de energía entre todos los tipos de agrupación de vivienda analizados (6.062 [kWh/año]), lo cual puede deberse a que tienen una menor superficie expuesta al exterior y, por lo tanto, las pérdidas de energía son menores.

A continuación, en la Figura 5.15, se muestra la distribución del consumo de energía entre los distintos artefactos y sistemas utilizados en la vivienda.



**Figura 5.15** Comparación del consumo de energía entre tipos de agrupación de vivienda

La figura anterior es importante para deducir dónde se producen las diferencias de consumo entre las distintas tipologías de vivienda. En ella se muestra que los departamentos son los que consumen menos energía en calefactores (entre la mitad o menos, del consumo de cualquier otra casa). Por otra parte, para un mismo número de pisos, las casas pareadas consumen menos energía en calefacción que las casas aisladas. Además, las casas pareadas de 2 pisos gastan más en calefacción que las de 1 piso. En este sentido, hay que tener en cuenta que las pérdidas dependen de las superficies expuestas al exterior y del factor forma de la vivienda (ver capítulo 2.3), por lo que dependiendo de las condiciones, es posible que una vivienda pareada de 1 piso consuma más que una de 2 pisos.

Estas diferencias de consumo en calefacción entre las distintas agrupaciones, se deben a las pérdidas de energía que se producen a través de la envolvente térmica de la vivienda. Los departamentos en general, poseen 1 ó 2 muros expuestos al exterior por donde pierden energía y sólo los departamentos ubicados en el último o en el primer piso, tienen pérdidas por la techumbre y el suelo, para el resto (departamentos intermedios), se considera que las pérdidas de energía por el cielo y el techo son nulas. En cuanto a las casas pareadas, éstas tienen la ventaja respecto a las casas aisladas de poseer una cara de muro en contacto con una vivienda contigua, por medio de la cual no se pierde energía. Además, mientras más pisos tenga una vivienda, mayor área de muro se tendrá, y en consecuencia, se incrementan las superficies por donde se pierde energía.

El consumo de energía en agua caliente sanitaria es importante en la vivienda, decreciendo desde las casas aisladas, casas pareadas de 1 piso y 2 pisos, hasta los departamentos. Si bien este ítem es uno de los que más energía se consume anualmente (30% del un total de 7.552 [kWh/año], ver Figura 5.3), se debe tener en cuenta que su uso es durante todo el año, por lo que si se evalúa estacionalmente el consumo de energía, en invierno aparecerá como punto crítico la calefacción, ya que toda la energía que se utiliza en el año para este ítem (2.198 [kWh/año], representando un 29% del consumo total, similar al agua caliente sanitaria, ver Figura 5.3), está concentrada en esta época.

En cuanto al uso de la cocina, las casas pareadas de un piso y los departamentos consumen cerca de un 11% del total, mientras que las casas aisladas y las pareadas de dos pisos consumen un tanto menos de energía, 6% y 8%, respectivamente.

El resto de los artefactos y sistemas poseen consumos similares entre todas las tipologías de vivienda estudiadas.

## 5.6 Consumo de energía por nivel socio-económico

El consumo de energía también depende del nivel socio-económico (NSE) al que pertenezca la vivienda, ya que si en ésta se perciben mayores ingresos, existe mayor disponibilidad de dinero para gastarlo en energía para darle funcionalidad a los distintos artefactos y sistemas que se utilizan en el hogar. Los niveles socio-económicos ayudan a definir los patrones de consumo y a estimar la demanda potencial en diferentes productos y servicios.

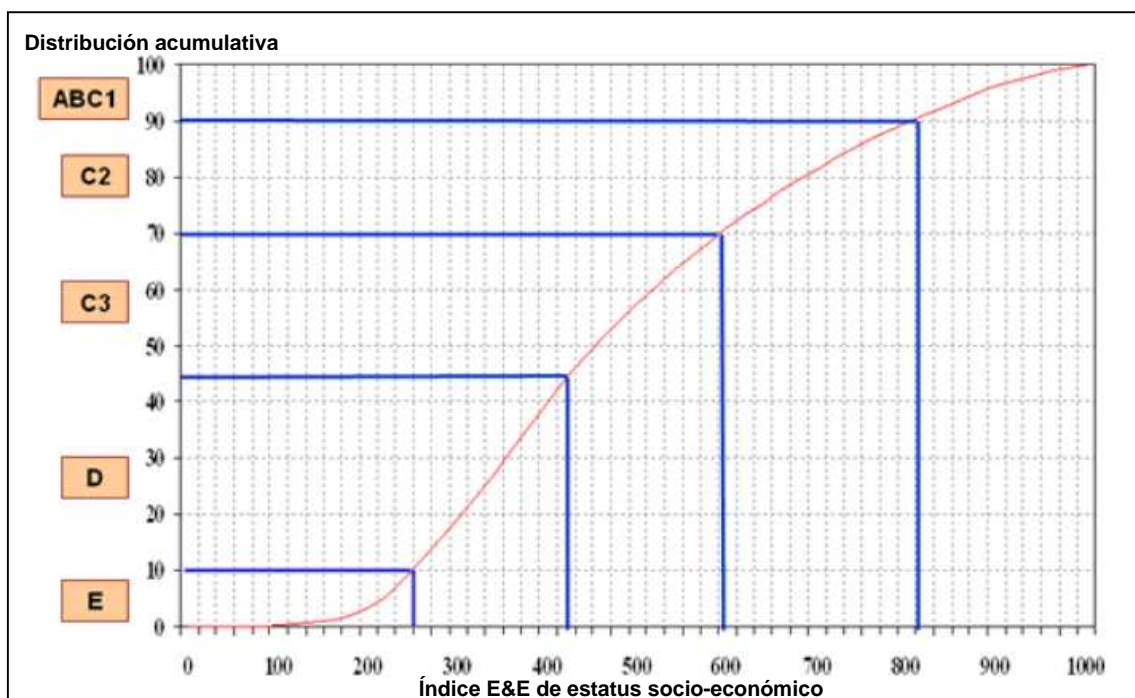
La clasificación socio-económica no se puede medir directamente, pues no es una variable observable. Sólo se puede determinar a través de ciertas características como: nivel educacional, nivel de ocupación, ingreso total del hogar, bienes, vivienda, entre otros, cada uno con un peso distinto. La Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM), desarrolló un índice de clasificación socio-económica, denominado Índice E&E. Este índice se construyó a partir de las variables “equipamiento del hogar” y de la “educación” alcanzada por el principal sostén del hogar. En base a lo anterior, se definen los siguientes niveles socio-económicos: ABC1, C2, C3, D y E (Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM), 2010).

En la encuesta, los niveles socio-económicos se clasifican en 4 grupos correspondientes a:

- NSE 1: ABC1
- NSE 2: C2
- NSE 3: C3
- NSE 4: D y E

De acuerdo a la AIM, los criterios de corte entre un nivel socio-económico y otro, se establecen a partir de una curva acumulativa de puntajes del Índice E&E para todos los hogares del Gran Santiago. Los cortes se hacen en los cuantiles: 10, 45, 70 y 90, con los cuales se determinan los valores límites del Índice E&E para clasificar los hogares en cierto estrato. En la Figura 5.16 se visualiza este proceso.





FUENTE: (Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM), 2010)

**Figura 5.16** Índice de estatus socio-económico - distribución acumulativa (Gran Santiago). Criterios de corte para identificar los niveles socio-económicos

En la siguiente tabla se indican los límites exactos de puntajes entre un estrato y otro.

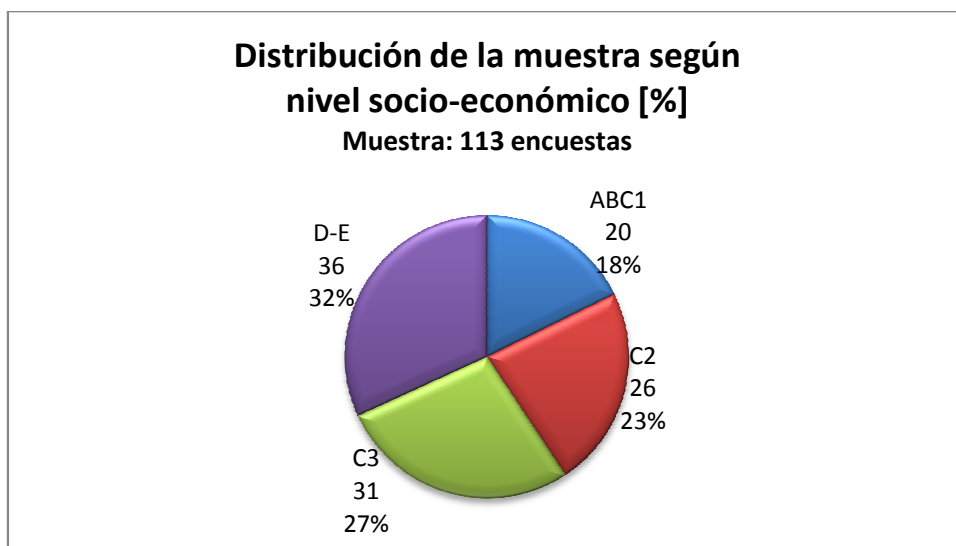
**Tabla 5.8** Distribución acumulativa (Gran Santiago) y criterios de corte para identificar los niveles socio-económicos

GSE	Peso [%] Gran Santiago	Cuantil	Índice E&E	
			Valor mínimo	Valor máximo
ABC1	0,1	100%	> 814	1000
C2	0,2	90%	> 602	814
C3	0,25	70%	> 434	602
D	0,35	45%	> 257	434
E	0,1	10%	0	257

FUENTE: (Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM), 2010)

Con ello, es posible determinar la distribución socio-económica de cualquier lugar de Chile utilizando la base censal del INE (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002).

En relación a la encuesta, la Figura 5.17 muestra cómo se distribuye la muestra entre los distintos estratos socio-económicos.



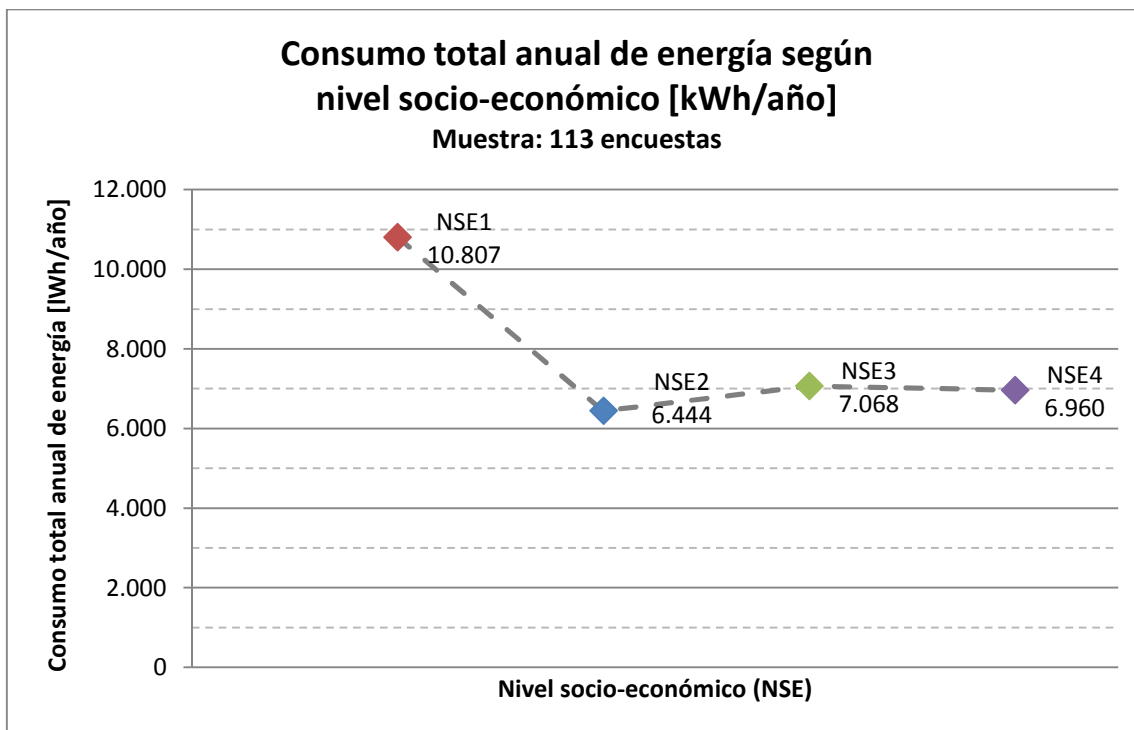
**Figura 5.17** Distribución de la muestra de acuerdo al nivel socio-económico

Se ve que si bien, hay un aumento en la cantidad de encuestas a medida que baja en nivel socio-económico, la muestra está bastante bien distribuida. De las 113 encuestas seleccionadas para este estudio, 20 pertenecen al nivel 1 (18%), 26 al nivel 2 (23%), 31 al nivel 3 (27%) y 36 al nivel 4 (32%).

Según los datos de la encuesta, el consumo total anual de energía para una vivienda promedio, según nivel socio-económico, es:

**Tabla 5.9** Consumo total anual de energía en la vivienda, según nivel socio-económico

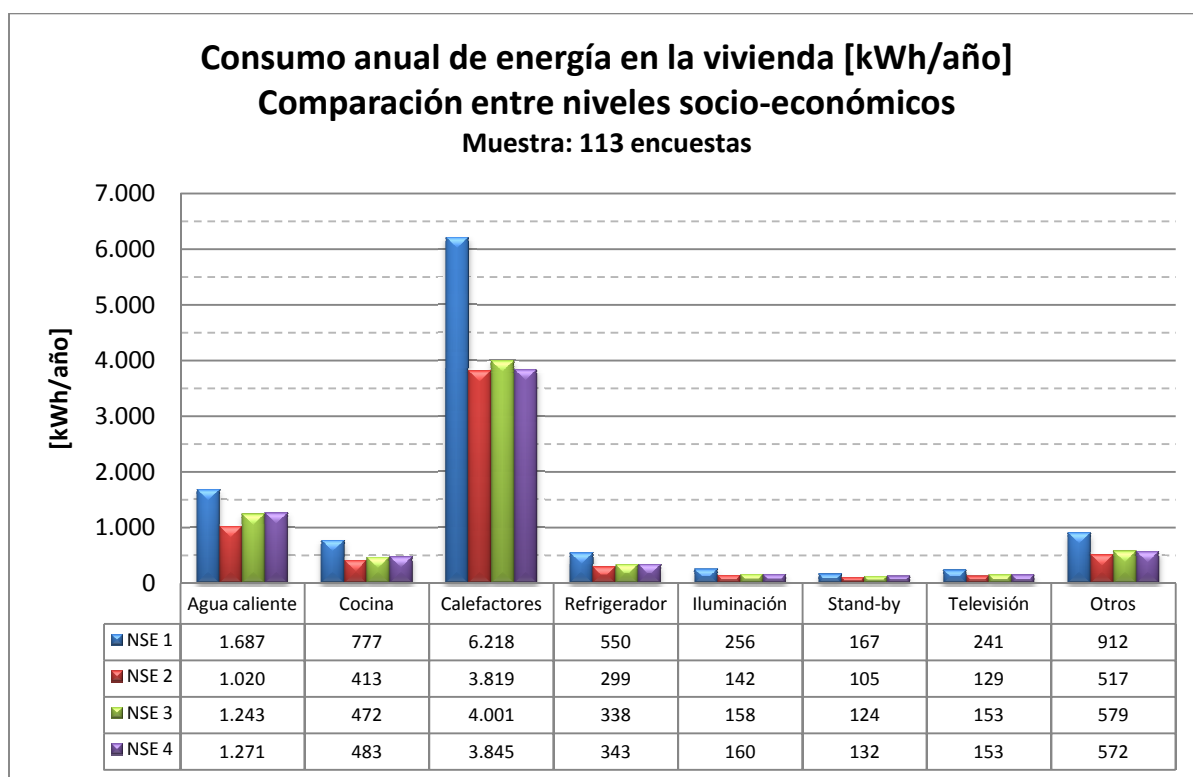
Nivel Socio-económico		Consumo de energía [kWh/año]
NSE 1	ABC1	10.807
NSE 2	C2	6.444
NSE 3	C3	7.068
NSE 4	D y E	6.960



**Figura 5.18** Consumo total anual de energía, según nivel socio-económico

De acuerdo a los resultados anteriores, el consumo energético disminuye en general, a medida que desciende el nivel socio-económico de la vivienda, sin embargo, para el NSE 2, el consumo de energía es menor en relación a los demás estratos, lo cual será analizado más adelante.

Cómo se distribuye el consumo de energía de acuerdo a los distintos niveles socio-económicos, se expone en la Figura 5.19.



**Figura 5.19** Comparación del consumo de energía por nivel socio-económico

En general, para todos los artefactos y sistemas analizados, se observa un consumo similar de energía entre los niveles 2, 3 y 4, siendo un tanto menor en el nivel socio-económico 2, manteniendo la tendencia del consumo total de energía mostrada en la Figura 5.18.

En el nivel 1 se distingue un incremento en el consumo de energía, respecto al resto de los niveles socio-económicos, para todos los artefactos y sistemas utilizados en la vivienda. Este incremento se acentúa en el caso de los calefactores con un 37% más de consumo energético (6.218 [kWh/año] contra 3.900 [kWh/año] aproximadamente para el resto de los niveles socio-económicos). El mayor consumo en calefacción puede tener varias causas, dentro de las cuales está: el número de habitantes, el tipo de combustible usado para calefaccionar, la superficie de la vivienda y la zona en la que se ubica. No será analizado el tipo de combustible utilizado por nivel-socioeconómico en calefacción, ya que los datos de las encuestas no lo permiten.

En cuanto al número de habitantes, en el NSE 1 es de 3 personas por vivienda, mientras que para el resto de los estratos, es 4 personas. Así, para las viviendas seleccionadas en el estudio, no se puede establecer una relación del aumento del consumo en calefacción con el número de personas que habitan el hogar.

Las tablas que continúan exponen la información de superficie interior y ubicación de las viviendas según nivel socio-económico.

**Tabla 5.10** Superficie interior promedio de la vivienda, según nivel socio-económico

Nivel socio-económico		Superficie promedio [m <sup>2</sup> ]
NSE 1	ABC1	89
NSE 2	C2	83
NSE 3	C3	69
NSE 4	D y E	70

**Tabla 5.11** Ubicación de las viviendas en las distintas ciudades, según nivel socio-económico

Nivel socio-económico		Valparaíso	Santiago	Concepción	Total Viviendas
NSE 1	ABC1	8	7	5	20
NSE 2	C2	6	13	7	26
NSE 3	C3	2	13	16	31
NSE 4	D y E	3	17	16	36

De las tablas precedentes, se puede ver que las viviendas del NSE 1 poseen una superficie mayor respecto al resto de los niveles, lo que justifica el incremento del consumo de energía en calefacción, ya que para alcanzar una temperatura confortable en la casa se debe temperar un área mayor.

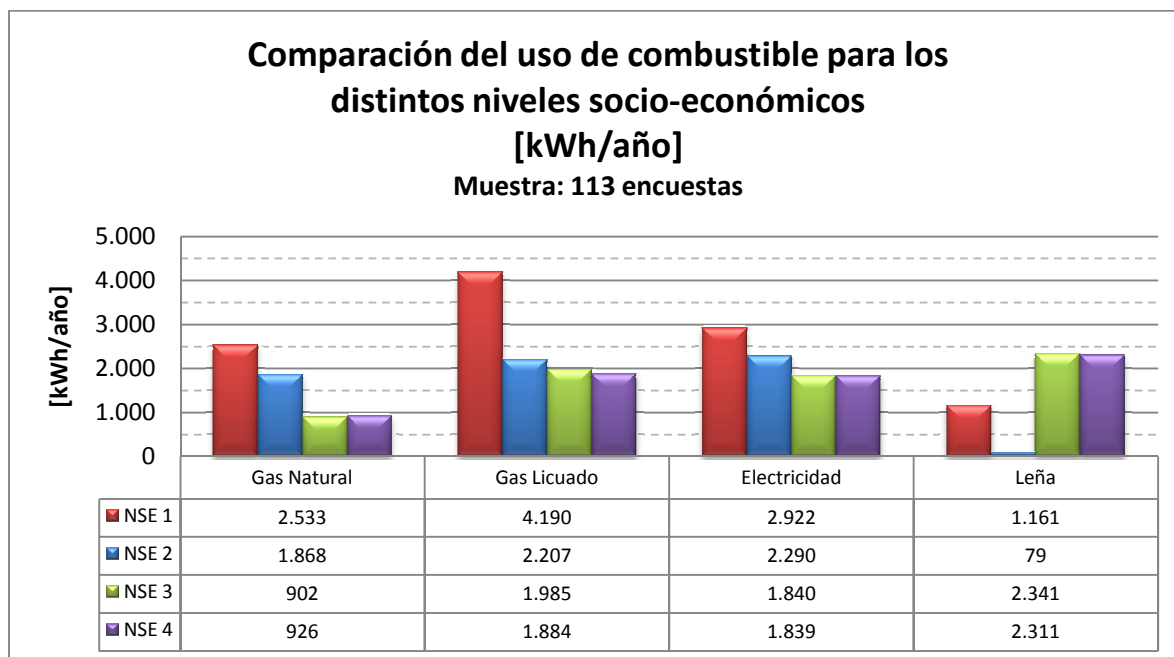
En cuanto a la ubicación de las viviendas, gran parte de las viviendas de los estratos socio-económico más bajos se encuentran en Santiago y Concepción, mientras que las del nivel 1, la mayoría se encuentra en Santiago y Valparaíso. Con estos resultados, no se puede establecer una relación clara entre el alto consumo en calefacción para el nivel socio-económico alto con la ubicación de las viviendas dentro del país.

## 5.7 Tipos de energéticos utilizados en la vivienda

En esta parte se analizarán los distintos tipos de energéticos (fuentes de energía) utilizados en las viviendas, en base a la muestra de 113 encuestas seleccionadas del “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010).

Como se mencionó anteriormente, los energéticos que serán evaluados en esta parte son: gas natural, gas licuado, electricidad y leña, pues sólo de ellos se tiene el detalle de las cuentas de consumo. Tanto el carbón, como el kerosene, quedan fuera de este análisis. El carbón no se utilizaba en ninguna de las viviendas seleccionadas y el kerosene sólo se consideró al calcular el consumo de energía en calefacción debido a las estufas a parafina.

En cuanto al tipo de energéticos utilizado en la vivienda, es interesante analizar las diferencias existentes entre cada estrato social, la cuales se muestran en la Figura 5.20.

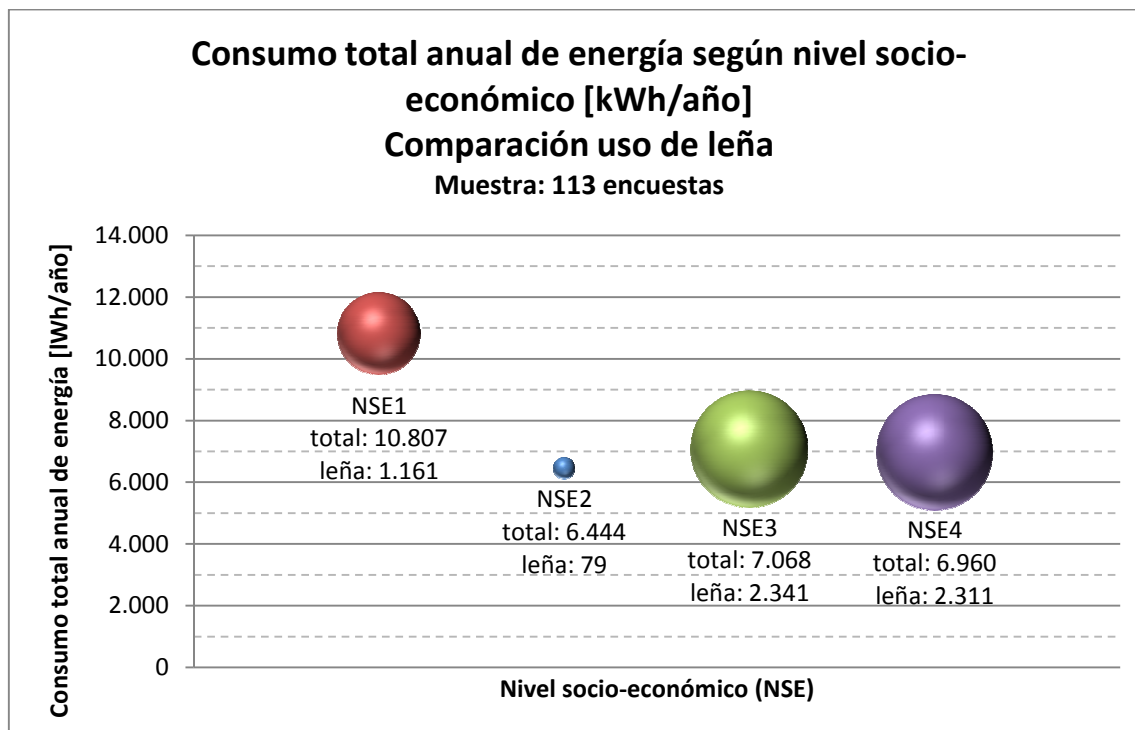


**Figura 5.20** Comparación del uso de energéticos para los distintos niveles socio-económicos

Se distingue un mayor consumo en combustible en el nivel socio-económico 1, tanto en gas natural, como en gas licuado y electricidad. Así, como era de esperarse, de acuerdo a la tendencia del consumo total de energía vista en la Figura 5.18, el consumo entre los diversos tipos de combustible disminuye a medida que baja el nivel socio-económico de las viviendas, exceptuando el caso de la leña en que se presenta un comportamiento distinto.

El uso de leña es mayor en los estratos 3 y 4 que son los más bajos, lo cual se debe al bajo precio que tiene este combustible en el mercado en comparación al gas y a la electricidad. Como el consumo en calefacción es el mayor dentro de la vivienda, las familias de bajos ingresos prefieren optar por un combustible más económico aún cuando su poder calorífico es inferior al resto y la eficiencia de la combustión es baja. Se ve que en el estrato alto también se usa leña, pero en menor cantidad (aproximadamente la mitad de la utilizada en los NSE 3 y 4). Destaca el nivel socio-económico 2, en que el consumo de leña es mínimo respecto al resto de los estratos.

El menor consumo de leña en el NSE 2 y que esta diferencia no se compense con la utilización de algún otro combustible, podría justificar que en este estrato se presente una disminución en el consumo total de energía, respecto a los otros niveles socio-económicos (ver Figura 5.18). En la Figura 5.21 se muestra el consumo total de energía, tal como se hizo en la Figura 5.18, pero incorporando una nueva variable, que es el uso de leña (representado gráficamente por el tamaño de la burbuja).

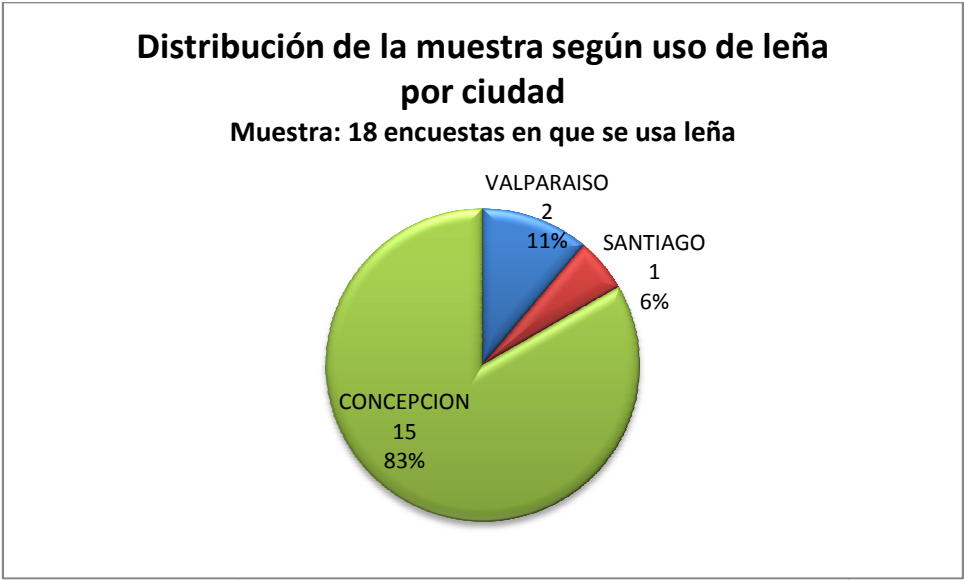


**Figura 5.21** Consumo total anual de energía, según nivel socio-económico. Comparación uso de leña

En los estratos socio-económicos más altos la leña se destina principalmente a calefacción, mientras que en los sectores pobres este uso se complementa con la cocción de alimentos, el horneado de pan y el calentamiento de agua para el lavado de ropa. Notar que en los niveles socio-económicos superiores, el consumo de leña para calefacción presenta un comportamiento de bien superior, cuya utilización se ha desincentivado en los últimos años debido a las restricciones ambientales establecidas, como ocurre en el caso de la Región Metropolitana (D.S. 811/93 del Ministerio de Salud) (Ábalos, 1997).

La información que se dispone no permite justificar de una mejor manera el comportamiento del NSE 2, respecto al bajo consumo de energía frente al resto de los estratos, y sólo de manera preliminar se podría atribuir aquello al bajo consumo de leña que existe en este nivel socio-económico y que no es compensado con la utilización de otros combustibles. Se sugiere realizar un estudio al respecto que permita obtener una justificación mejor fundamentada.

Respecto al uso de leña entre las distintas ciudades, en la Figura 5.22 se expone la distribución del consumo de leña por ciudad en que se ubique la vivienda. Cabe destacar que del total de 113 encuestas, sólo en 18 se usa leña (16%).



**Figura 5.22** Distribución de la muestra según uso de leña por ciudad

En la figura anterior, se ve que el uso de leña es predominante en Concepción (83%), lo cual es lógico por ser una zona más fría y con más bosques de donde extraer el recurso de la leña, que las otras ciudades estudiadas. Además, otro factor importante a considerar, es la restricción del uso de leña en ciertas ciudades debido al impacto que implica en la calidad del aire. De hecho, en todas las comunas de la Región Metropolitana está prohibido de manera permanente el uso de chimeneas a leña que no posean doble cámara de combustión y las que sí la posean, sólo pueden utilizarse los días en que no exista alerta, preemergencia o emergencia ambiental (Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), 2010).

En síntesis, el consumo de leña en el sector residencial nacional presenta diferencias geográficas, estacionales, según población (urbana o rural), por estrato socio-económico y según la disponibilidad de recursos leñosos. No obstante lo anterior, se pretende obtener un valor promedio del consumo de leña a partir de los datos de la encuesta, con el cual se tenga una referencia del actual consumo residencial de leña.

Según los datos de las cuentas recogidas en la encuesta, se puede calcular el consumo de leña de una vivienda promedio. Calculándolo se llega al siguiente resultado:

**Tabla 5.12** Índices de consumo de leña en una vivienda promedio

<b>Consumo promedio de leña</b>	
<b>Muestra:18 encuestas en que se usa leña</b>	
[kg/año]	[m <sup>3</sup> /hab/año] <sup>(*)</sup>
3.516	1,47

<sup>(\*)</sup>Considerando la densidad de la leña como 600 [kg/m<sup>3</sup>] (Lobos, 2001). Se considera además, una cantidad de 4 habitantes por vivienda.

El consumo de 1,47 [m<sup>3</sup>/hab/año] representa esencialmente a las viviendas de Concepción, ya que la mayor parte de la muestra son casas ubicadas en esta ciudad (zona térmica 4).

Según otras fuentes, el consumo de leña en una vivienda promedio en Temuco (zona térmica 5), se muestra en la Tabla 5.13.



**Tabla 5.13** Consumo per cápita de leña en la ciudad de Temuco, determinado por diversos autores

<b>Consumo per cápita promedio de leña [m<sup>3</sup>/hab/año]</b>	<b>Autor</b>
1,92	De la Jara, 1987 (sector rural IX Región)
1,21	De la Jara, 1987
1,03	Ávalos, 1997
2,04	Lobos, 2000

FUENTE: Estudio Preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco (Lobos, 2001)

Los datos anteriores sirven para validar el consumo de leña calculado para una vivienda promedio, según los datos de la encuesta. Por lo tanto, es adecuado considerar un consumo aproximado de 1,47 [m<sup>3</sup>/hab/año].

Sin embargo, debe tenerse en consideración los problemas a la hora de estimar los consumos de leña en el sector residencial, dada la informalidad de este comercio. Esto induce a una gran diversidad en características de la leña, tales como la humedad y los poderes caloríficos de este energético. Cabe destacar, que no existen estadísticas oficiales al respecto, sobre las cuales verificar más fehacientemente los resultados obtenidos.

## 5.8 Discusión de resultados y conclusiones

De acuerdo a los resultados de la encuesta para las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, se determinó que una vivienda consume en promedio 7.552 [kWh/año], del cual destaca el uso de agua caliente sanitaria, con un 30%, y el uso de calefactores, con un 29%, que son los más altos consumos en el hogar. Le siguen la cocina, con un 12%, el refrigerador, con un 7%, y posteriormente la iluminación, con un 3%, al igual que el televisor.

El consumo total anual por unidad de superficie de una vivienda promedio es de 105 [kWh/m<sup>2</sup>-año]. El consumo total anual por habitante es en promedio 2.453 [kWh/hab-año]. Al comparar los tres índices de consumo entre los distintos artefactos y sistemas que se utilizan en el hogar, se observó que las diferencias entre ellos no eran significativas. En vista de lo anterior, se decidió utilizar el índice de consumo total anual de energía [kWh/año], sin normalizarlo por unidad de superficie o por habitantes de la vivienda, ya que los resultados comparativos de cómo se distribuye el consumo entre los distintos artefactos y sistemas, serán prácticamente los mismos.

Se determinó que el consumo anual de electricidad de una vivienda promedio, es de 2.135 [kWh/año], del cual el mayor consumo corresponde al refrigerador, con un 31%. Le sigue la iluminación, con un 15%, el stand-by, con un 13%, y la televisión, con un 12% del total. Se destaca el bajo consumo en iluminación, que puede deberse a la campaña de recambio de ampolletas incandescentes por unas de bajo consumo.

Según el análisis por ciudad (zona térmica), se tiene que a medida que la vivienda se ubica en zonas térmicas más frías, el consumo anual de energía aumenta. En Concepción, más de la mitad del consumo total anual de energía se debe a la calefacción, superando con creces el consumo de calefactores en Valparaíso y Santiago. El agua caliente también tiene un consumo anual bastante considerable, aunque cabe destacar en este punto, que el agua caliente se utiliza durante todo el año, mientras que los calefactores sólo en época invernal. Por lo tanto, si se analiza el consumo estacionalmente, la calefacción resulta ser el punto más crítico en el consumo de energía en la vivienda. Entre Valparaíso (zona térmica 2), Santiago (zona térmica 3) y Concepción (zona térmica 4), se aprecian diferencias en el consumo de energía en calefacción y agua caliente. Para el resto de los ítems, estas diferencias son prácticamente despreciables.

Al analizar el consumo de energía por nivel socio-económico (NSE), se observó que a medida que se desciende en estatus, el consumo se va haciendo cada vez menor, a excepción del NSE 2 (C2), que tiene un consumo un tanto menor a los niveles más bajos: NSE 3 (C3) y NSE 4 (D y E). Esto se justificaría, en una primera instancia, porque en el NSE 2 se consume menos leña que en el resto de los estratos, sin compensar esta diferencia con la utilización de otro combustible. Sin embargo, se requiere un estudio más detallado para justificar mejor este comportamiento. Destaca además, el consumo de energía en calefacción para el NSE 1 (ABC1), que es un 37% mayor que el resto de los niveles socio-económicos.

En relación al tipo de agrupación de vivienda, para un mismo número de pisos, las casas aisladas consumen más energía al año que las pareadas. En cuanto a las casas pareadas, las de 2 pisos consumen más anualmente que las de 1 piso. No obstante lo anterior, hay que tener en cuenta que el factor forma de la vivienda es fundamental en la energía que requiere la vivienda para calefaccionar, lo cual puede invertir esta relación y que una casa de 1 piso consuma más que una de 2 pisos. Los departamentos son los que menos energía consumen al año. Esta tendencia del consumo total anual entre las distintas tipologías de vivienda, se mantiene en el uso de energía en calefactores, en que coincide que haya un consumo mayor en

calefacción cuando las superficies expuestas al exterior de la vivienda son grandes, pues a través de ellas se producen las pérdidas de energía.

Al analizar los tipos de energéticos utilizados en la vivienda, se observa que, tanto el gas natural, como el gas licuado y la electricidad, se consumen más a medida que sube el nivel socio-económico de la familia. En el caso de la leña, los estratos más bajos (NSE 2 y NSE 3) son los que consumen más de este combustible, seguidos más de lejos por el NSE 1. Concepción es la ciudad estudiada en que más leña se consume respecto a Valparaíso y Santiago, lo cual va acorde a la presencia de más bosques y a que la temperatura en tal zona es más baja. En base a los resultados de la encuesta, se estima un consumo promedio de leña de 1,47 [m<sup>3</sup>/hab/año].

### 6.1 Introducción

En este capítulo, se determina el gasto de energía de cada una de las tipologías definidas en el estudio y se comparan entre sí. Este gasto energético, está referido a la cantidad de energía que es necesario utilizar para mantener una temperatura confortable dentro de la vivienda. Involucra los elementos que conforman la envolvente térmica de la vivienda, sus superficies y propiedades térmicas, además de las pérdidas por ventilación, y no toma en consideración los aportes calóricos de las personas ni de los artefactos que se utilizan en el hogar. El gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) (ver Ec. 2.7, capítulo 2.2.21), se calcula a partir del coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales ( $G_{V2}$ ) (ver Ec. 2.6, capítulo 2.2.19), que depende a su vez del coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente ( $G_{V1}$ ) (ver Ec. 2.5, capítulo 2.2.19).

Cabe mencionar, que el coeficiente volumétrico global de pérdidas por transmisión de la envolvente,  $G_{V1}$ , es propio de cada vivienda, por lo que los resultados que se obtengan variarán según se escoja una vivienda con mayor superficie de muro o cantidad de ventanas, etc. Por lo tanto, los resultados que se obtengan de la comparación entre las distintas tipologías de vivienda, son aplicables sólo a viviendas con características similares a las que se han definido en este estudio.

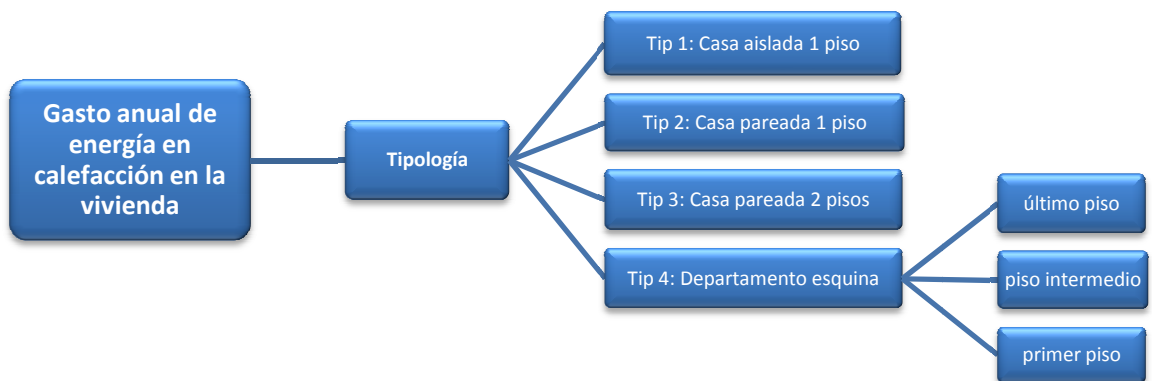
Se calculará el coeficiente gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) para cada tipología de vivienda, en condiciones de no cumplimiento y cumplimiento de la reglamentación térmica actual, es decir, para viviendas construidas antes del 2007 y después de ese año, cuando comenzó a exigirse la aislación en muros, pisos ventilados y techumbre. Con ello, se puede determinar el ahorro producto de la reducción de las pérdidas de energía, al llevar las viviendas antiguas a cumplir la reglamentación térmica actual.

En cuanto al cálculo, para los elementos que no están en contacto con el exterior, como son los muros de pareo, o la losa de entrepiso, se considera que no existen pérdidas por esa superficie, ya que la temperatura a ambos lados del elemento es la misma (condición adiabática). Así, al calcular el  $G_{V1}$  de la vivienda, sólo se tomarán en cuenta los elementos que están en contacto con el exterior. En el caso de departamentos (tipología 4), los requerimientos energéticos dependen de la ubicación de éste dentro del edificio (ver Figura 4.1), ya que de acuerdo a ello es cuántas superficies están en contacto con el exterior. Para analizar el caso más desfavorable, se tomará como muestra un departamento ubicado en la esquina del piso, en vez de uno ubicado en un sector central del piso, ya que el primero posee mayor superficie de muros por donde se pierde energía. En este capítulo, se analizan tres escenarios para los departamentos:

- Departamento esquina ubicado en el último piso
- Departamento esquina ubicado en un piso intermedio
- Departamento esquina ubicado en el primer piso

Con los resultados de estos tres tipos de departamentos, se pueden analizar las diferencias en pérdidas de energía, por efecto del número y tipo de superficies en contacto con el exterior (piso, techo) e identificar el caso más crítico. Se considerará este caso en el capítulo 7 para analizar las medidas de eficiencia energética en calefacción.

A continuación se esquematiza en qué tipo de viviendas se calculará el gasto anual de energía en calefacción.



**Figura 6.1** Esquema gasto anual de energía en calefacción en la vivienda

## 6.2 Consideraciones para el cálculo del gasto anual de energía en calefacción

El gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) depende de una serie de factores que involucran, tanto las características de la vivienda como su ubicación (ver capítulo 2.2.21). Además de los ya mencionados, superficies y características de los materiales que conforman la envolvente, también interviene el número de renovaciones de aire por hora, la velocidad del viento y los grados-día (GD) de la zona térmica donde se ubica la vivienda.

### 6.2.1 Renovaciones de aire y velocidad del viento

Las renovaciones de aire por hora,  $n$ , dependen de las costumbres de los habitantes de la vivienda, en cada espacio de ella. Los factores que influyen en el valor de la tasa de renovación de aire son los siguientes:

- Infiltraciones por rendijas, juntas de puertas y ventanas, debidas al gradiente de presión existente entre el interior de la vivienda y la atmósfera, además de una cierta permeabilidad en muros y techos.
- Ventilaciones a través de ductos de calefones, campanas de cocina, celosías, etc.
- Ventilación natural o movimientos internos y externos producidos por la apertura y cierre de ventanas y puertas.
- Ventilación mecánica provocada por la convección de aparatos de aire acondicionado (ventilación activa).

El valor de las renovaciones de aire es difícil de determinar, ya que depende principalmente de la costumbre de los moradores dentro de la vivienda, la calidad de las terminaciones de la vivienda y las condiciones climáticas de la zona donde se ubica la vivienda, especialmente el viento.

La velocidad del viento influye en las pérdidas de calor por intercambios de aire. A continuación se presentan las velocidades del viento para cada una de las ciudades en estudio:

**Tabla 6.1** Velocidad y dirección del viento para las ciudades en estudio

Ciudad	Estación	Velocidad media del viento, anual [m/s]	Velocidad media del viento, anual [km/h]	Dirección predominante del viento	Meses de calma
Valparaíso	Pta. Ángeles	6,2	22,32	SW	1 mes Jul
Santiago	Pudahuel	3,6	12,96	S	4 meses May-Jun-Jul-Ago
Santiago	Quinta Normal	2,1	7,56	SW	6 meses Abr-May-Jun-Jul-Ago-Sep
Concepción	Carriel Sur	6,7	24,12	SW	Sin calmas

FUENTE: En base a la norma NCh 1079 Of.2008, Anexo C, Tabla C.9: Normal de la dirección predominante e intensidad media del viento en m/s – Período 1961 - 1990 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008)

La dirección del viento se determina como la predominante de todos los registros de viento disponibles. La velocidad es la intensidad medida de todos registros de viento en la dirección predominante, sin considerar las calmas. En la tabla anterior, se exponen los meses de calma para cada una de las ciudades en estudio: Valparaíso, Santiago y Concepción. De las tres ciudades, Santiago es la que tiene mayor número de calmas, producidas en los meses de invierno. Durante tales meses, el viento es prácticamente inexistente, por lo que no interviene en las pérdidas de energía en la vivienda.

Mientras mayor es la velocidad del viento, mayores son las pérdidas de energía por ventilación en la vivienda. Así, para establecer un orden entre las ciudades por efecto de las pérdidas de energía por ventilación, basta ordenarlas según las velocidades del viento que éstas posean. Se tiene entonces que:

$$n_{\text{Santiago}} < n_{\text{Valparaíso}} < n_{\text{Concepción}}$$

La tabla anterior sirve además, para evaluar la resistencia superficial exterior ( $R_{se}$ ) de la vivienda. En ella se ve que en Valparaíso y Concepción la velocidad del viento es superior a 10 [km/h], mientras que en Santiago, el promedio de velocidades de las dos estaciones de medición, es aproximadamente 10 [km/h].

En la norma NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007), se indica que el valor de la resistencia superficial exterior es cero ( $R_{se}=0$  [ $m^2$  K/W]) a partir de los 10 [km/h], por lo tanto, para las ciudades de Valparaíso y Concepción, no se considera la resistencia superficial exterior ( $R_{se}= 0$  [ $m^2$ K/W]) en el cálculo de la resistencia térmica total ( $R_T$ ) de la vivienda (ver Ec. 2.2, capítulo 2.2.7.3).

Algunos valores de  $n$  recomendados por el “Manual técnico de aislación térmica exterior – Manual de diseño para soluciones en edificaciones” (Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), 2008), se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 6.2** Valores recomendados para las renovaciones de aire en recintos

<b>Espacio</b>	<b>Renovaciones de aire, n [1/h]</b>
Dormitorio	0,5 – 1
Living	3 – 5
Comedor	3 – 5
Cocina	5 – 10
Baño de casa	5 – 10

FUENTE: Manual técnico de aislación térmica exterior – Manual de diseño para soluciones en edificaciones (Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), 2008)

Por otra parte, en la norma NCh 1960 Of.89 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1989), se propone una tabla informativa para calcular las renovaciones de aire cuando existe ventilación pasiva, la cual se detalla en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3** Valores recomendados para las renovaciones de aire en recintos

<b>Espacio</b>	<b>Renovaciones de aire, n [1/h]</b>
Baño con WC	2 – 3
Baño con ducha	5 – 8
Cocina	3 – 4
Lavado y secado de ropa	6 – 8
Estar, comedor	1 – 1,5
Dormitorio (1 cama)	1
Dormitorio (2 camas)	1,5 – 2
Dormitorio (3 y 4 camas)	1,5 – 2
Otros recintos habituales	1 – 1,5

FUENTE: NCh 1960 Of.89, Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1989)

En el software CCTE (Certificación de Comportamiento Térmico para Edificios en Chile), utilizado para determinar el comportamiento térmico de las viviendas, se considera de manera predeterminada una tasa de 1 renovación de aire por hora, suponiendo que la ventilación es pasiva. Como en tal software no se diferencia el uso que se le da a cada recinto, es decir, si es dormitorio, baño, cocina, etc., no es posible distinguir la tasa de renovación de aire entre los distintos espacios que conforman la vivienda. Sin embargo, en el CCTE se puede especificar en qué ciudad está ubicada la vivienda, por lo cual debiera considerarse una variación en la renovación de aire, por efecto de los vientos que existen en cada ciudad.

Para simplificar el cálculo de pérdidas de energía, se considerará un valor de renovación de aire representativo para la vivienda, según cada ciudad, incorporando en tal valor el efecto del uso de los distintos recintos que conforman la vivienda. De acuerdo a lo mencionado, en la Tabla 6.4, se definen los valores para las renovaciones de aire por hora.

**Tabla 6.4** Valores utilizados para las renovaciones de aire, según ciudad

<b>Ciudad</b>	<b>Renovaciones de aire por hora</b>
	<b>n [1/h]</b>
Valparaíso	1,5
Santiago	1
Concepción	2

Se ha diferenciado la tasa de renovación de aire entre las ciudades, por efecto de la velocidad del viento que existe en cada una.

Cabe mencionar que según el ASHRAE Handbook, 1997 Fundamentals (Donoso, 2009), el valor de  $n$  se considera en promedio como 0,5 renovaciones de aire por hora, suponiendo que existe ventilación forzada. Este valor es bastante menor a los recomendados en Chile por la NCh 1960 Of.89 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 1989), lo cual se explica porque gran parte de las viviendas del país poseen una calidad deficiente en las juntas de puertas y ventanas, y es a través de ellas por donde se producen infiltraciones de aire y pérdidas de energía.



## 6.3 Cálculo del gasto energético en viviendas

El gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) se determina a partir del coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales ( $G_{V2}$ ), que considera tanto las pérdidas por la envolvente como el efecto de la ventilación (ver Ec. 2.7, capítulo 2.2.21).

### 6.3.1 Propiedades térmicas de los materiales de cada elemento de la envolvente

La mayor parte de las viviendas de Chile, han sido construidas antes de que comenzara a aplicarse la reglamentación térmica actual (año 2007). Debido a ello, se calcularán las pérdidas térmicas totales de las tipologías de vivienda definidas, considerando dos escenarios:

- **Sin reglamentación térmica:** viviendas construidas antes del año 2007, cuyos elementos no cuentan con la aislación térmica exigida actualmente. Para todas las ciudades en estudio se considera que, tanto los muros como el piso no poseen aislación y el techo posee sólo el 50% menos de la aislación que se exige en la reglamentación térmica.
- **Con reglamentación térmica:** viviendas construidas desde el año 2007 en adelante, que cumplen con las exigencias de aislación térmica en todos los elementos de la envolvente (ver Tabla 2.2 y Tabla 2.3).

En el Anexo 1, se presenta la materialidad y las características térmicas de los elementos de la envolvente: muros, ventanas, puertas, techo y piso, según ciudad, para viviendas construidas sin reglamentación térmica y con reglamentación térmica. La resistencia y transmitancia térmica se calculan de acuerdo a las ecuaciones del capítulo 2.2, Términos y Definiciones.

Para el piso (en contacto con terreno), se consideran pérdidas perimetrales de calor a través de los cimientos de la vivienda, con un valor de transmitancia térmica lineal  $K_L = 1,4$  [W/m K], correspondiente a un piso corriente según la NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007). Esta condición se considera tanto para el escenario sin reglamentación térmica como para el escenario en que se cumple con ella.

**Tabla 6.5** Transmitancia térmica lineal, según aislación del piso considerado

Aislación del piso o radier	Resistencia térmica total, $R_T$ [ $m^2K/W$ ]	Transmitancia térmica lineal, $K_L$ [W/m K]
Piso corriente	0,15 - 0,25	1,4
Piso medianamente aislado	0,26 - 0,60	1,2
Piso aislado	> 0,60	1,0

FUENTE: NCh 853 Of.2007, Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007)

### 6.3.2 Cálculo de pérdidas de energía para cada tipología de vivienda, según ciudad

A continuación se exponen los valores de  $G_{V1}$  y  $G_{V2}$  (ver definiciones en los capítulos 2.2.19 y 2.2.20) para cada tipología de vivienda seleccionada, considerando las propiedades térmicas de los elementos de la envolvente de cada vivienda expuestos en el Anexo 1. A partir de esos valores se determina el gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) (ver definición en el capítulo 2.2.21), de acuerdo a los grados-día anuales (GD) de cada ciudad. En este último punto, es importante destacar que el rango de GD para cada zona térmica es muy amplio e influye en las condiciones de pérdidas térmicas de la vivienda. Es por ello que se considera el caso más crítico para calcular las pérdidas térmicas de cada tipología, es decir, el valor máximo de GD para cada zona térmica en estudio:

- Valparaíso Zona 2 GD: 750
- Santiago Zona 3 GD: 1.000
- Concepción Zona 4 GD: 1.250

Estos cálculos se realizan para viviendas construidas sin y con reglamentación térmica.

### 6.3.2.1 Sin reglamentación térmica

**Tabla 6.6** Gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) para cada tipología de vivienda sin reglamentación térmica, según ciudad

**Valparaíso** (GD: 750)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{V1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,85	2,25	2,37	2,34	1,94	2,23
n [1/h]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
$G_{V2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	3,37	2,78	2,90	2,86	2,46	2,76
$G_{ac}$ [kWh/año]	7.669	8.974	11.711	7.752	6.680	7.476

**Santiago** (GD: 1000)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{V1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,40	1,95	2,03	1,91	1,57	1,86
n [1/h]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$G_{V2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,75	2,30	2,38	2,26	1,92	2,21
$G_{ac}$ [kWh/año]	8.338	9.892	12.852	8.159	6.936	7.998

**Concepción** (GD: 1250)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{V1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,74	2,16	2,32	2,21	1,94	2,23
n [1/h]	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
$G_{V2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	3,44	2,86	3,02	2,91	2,64	2,93
$G_{ac}$ [kWh/año]	13.059	15.386	20.327	13.132	11.923	13.251

### 6.3.2.2 Con reglamentación térmica

**Tabla 6.7** Gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) para cada tipología de vivienda con reglamentación térmica, según ciudad

**Valparaíso** (GD: 750)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{V1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,27	1,69	1,77	1,79	1,57	1,87
n [1/h]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
$G_{V2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,79	2,21	2,29	2,31	2,10	2,39
$G_{ac}$ [kWh/año]	6.349	7.142	9.280	6.268	5.684	6.481

**Santiago** (GD: 1000)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{V1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	1,75	1,31	1,33	1,30	1,11	1,41
n [1/h]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$G_{V2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,10	1,66	1,68	1,65	1,46	1,76
$G_{ac}$ [kWh/año]	6.378	7.157	9.039	5.957	5.285	6.347

**Concepción** (GD: 1250)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{V1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,03	1,45	1,51	1,54	1,40	1,69
n [1/h]	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
$G_{V2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,73	2,15	2,21	2,24	2,10	2,39
$G_{ac}$ [kWh/año]	10.341	11.583	14.872	10.129	9.490	10.817

Como ya se mencionó, las pérdidas energéticas calculadas son exclusivas de las tipologías de vivienda seleccionadas en este estudio, ya que el cálculo involucra las propiedades geométricas y térmicas de los elementos de la envolvente. Por lo tanto, existirán variaciones en los resultados según se cambie alguna propiedad de cierto elemento de la vivienda. Sin embargo, para que estos resultados representaran de alguna forma al parque de viviendas actual, las tipologías se seleccionaron de modo que su superficie estuviera entre 36 [m<sup>2</sup>] y 100 [m<sup>2</sup>], que representa al 78% de las viviendas en Chile (ver capítulo 4.3.6). Esto supone una cierta similitud en la superficie de muros, piso y techumbre. La materialidad de muros se escogió de albañilería de ladrillo, pues representa el 48,8% del total de viviendas en Chile, según se muestra en el capítulo 4.3.4.

En base a las consideraciones anteriores, se resume en las siguientes tablas, las pérdidas anuales de energía para cada tipología, según ciudad, considerando el escenario sin reglamentación térmica y con reglamentación térmica.

**Tabla 6.8** Resumen del gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) para cada tipología de vivienda, sin reglamentación térmica

		Gasto anual de energía en calefacción, $G_{ac}$ [kWh/año]					
		Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
Ciudad	GD	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
Valparaíso	750	7.669	8.974	11.711	7.752	6.680	7.476
Santiago	1000	8.338	9.892	12.852	8.159	6.936	7.998
Concepción	1250	13.059	15.386	20.327	13.132	11.923	13.251

**Tabla 6.9** Resumen del gasto anual de energía en calefacción ( $G_{ac}$ ) para cada tipología de vivienda, con reglamentación térmica

		Gasto anual de energía en calefacción, $G_{ac}$ [kWh/año]					
		Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
Ciudad	GD	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
Valparaíso	750	6.349	7.142	9.280	6.268	5.684	6.481
Santiago	1000	6.378	7.157	9.039	5.957	5.285	6.347
Concepción	1250	10.341	11.583	14.872	10.129	9.490	10.817

En la Tabla 6.8, referida a viviendas sin reglamentación térmica, se observa el efecto de los grados-día (GD) de la ciudad en que se ubique la vivienda sobre el gasto anual de energía en calefacción: mientras mayores sean los grados-día (correspondientes a las zonas térmicas más frías – sur de Chile), mayor será el gasto energético de la vivienda. Ahora, si se cumplen las condiciones de aislación exigidas por la reglamentación térmica actual, Tabla 6.9, el gasto de energía en calefacción disminuye considerablemente en todas las ciudades en estudio, resultando ser bastante similares entre Valparaíso y Santiago, manteniéndose Concepción como la ciudad en que se pierde más energía entre las tres estudiadas.

A continuación, se expone una tabla que resume el ahorro de energía de llevar una vivienda antigua a cumplir con los estándares de aislación térmica exigidos en la reglamentación térmica actual.

**Tabla 6.10** Resumen de ahorros de energía al llevar viviendas antiguas a cumplir con la reglamentación térmica actual

Gasto anual de energía en calefacción, $G_{ac}$ [kWh/año]		Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
		C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
Valparaíso	sin RT	7.669	8.974	11.711	7.752	6.680	7.476
	con RT	6.349	7.142	9.280	6.268	5.684	6.481
	% ahorro	17%	20%	21%	19%	15%	13%
Santiago	sin RT	8.338	9.892	12.852	8.159	6.936	7.998
	con RT	6.378	7.157	9.039	5.957	5.285	6.347
	% ahorro	24%	28%	30%	27%	24%	21%
Concepción	sin RT	13.059	15.386	20.327	13.132	11.923	13.251
	con RT	10.341	11.583	14.872	10.129	9.490	10.817
	% ahorro	21%	25%	27%	23%	20%	18%

En la tabla anterior, se muestra que el ahorro de energía anual producto de implementar las exigencias mínimas que estipula la reglamentación térmica con respecto a la aislación en los elementos de la envolvente térmica, es alrededor de 20% del consumo total en calefacción.

En cuanto a la incidencia de la ubicación de un departamento en el edificio, sobre el gasto de energía en calefacción, se ve que los departamentos ubicados en una esquina del último piso son el caso más desfavorable, seguidos por aquellos situados en el primer piso y luego por los ubicados en un piso intermedio.

Cuando el departamento se encuentra en un piso intermedio, se considera que la diferencia de temperaturas entre un departamento y otro es despreciable, por lo que no se pierde energía a través del piso y el techo. Los resultados indican que se pierde más energía por la techumbre que por el piso. Esto se explica, porque el flujo de calor entre la vivienda y el ambiente se produce en un área mayor en el caso de la techumbre, mientras que en el piso, las pérdidas sólo son a través del perímetro de la vivienda. Lo anterior va de acuerdo a las exigencias de la reglamentación térmica que son bastante más estrictas para el complejo de techumbre que para el piso (ver Tabla 2.2 y Tabla 2.3.).

De acuerdo a estos resultados, en el capítulo siguiente se analizarán las medidas de eficiencia energética en calefacción para un departamento esquina del último piso, definido como Tipología 4, por ser el caso más crítico. Si bien este caso no es muy representativo del total de departamentos del país, pues la mayoría están ubicados en un piso intermedio y no necesariamente en la esquina del piso, las pérdidas de energía que se producen en ellos son menores que el caso crítico. Por eso mismo, no es tan relevante intervenir en ellos para reducir las pérdidas de energía como es el caso de departamentos esquina en el último piso del edificio. En sí, el objetivo es identificar los casos en que se producen mayores pérdidas de energía e intervenir en ellos para que las condiciones térmicas de las viviendas sean confortables para las personas que habitan en ellas.

## 6.4 Discusión de resultados y conclusiones

Al determinar el gasto anual de energía en calefacción para las tipologías de vivienda seleccionadas en este estudio, se obtuvo que a medida que la vivienda se ubica en zonas térmicas más frías, con grados-día mayores, el gasto energético aumentará. Así, en Valparaíso (zona térmica 2) se gasta menos que en Santiago (zona térmica 3) y éste a su vez, menos que en Concepción (zona térmica 4).

Al llevar viviendas antiguas a cumplir con la reglamentación térmica actual, el gasto anual de energía se reduce en un 20% aproximadamente, con variaciones de acuerdo a la zona térmica o ciudad en que se ubique la vivienda y a la tipología que se trate.

De acuerdo a los resultados de las tipologías estudiadas, se obtuvo que el gasto anual de energía en calefacción es mayor en las casas pareadas de 2 pisos, seguidas por las casas pareadas de 1 piso y luego por las casas aisladas, también de 1 piso. En el caso de los departamentos, se analizó uno ubicado en una esquina, respecto a cierto piso del edificio y se situó en distintos niveles: en el último piso, en un piso intermedio y en el primer piso. Resultó que el ahorro de energía al llevar el departamento a cumplir con la reglamentación térmica actual, es mayor en aquellos que se ubican en el último piso, seguidos por los de un piso intermedio y luego por los del primer piso. De acuerdo a lo anterior, se escogió como caso más crítico un departamento esquina ubicado en el último piso, el cual se definirá como tipología 4 en el capítulo 7, al analizar la implementación de medidas de eficiencia energética en calefacción.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en este capítulo son exclusivos para las tipologías de vivienda estudiadas, por lo que pueden haber variaciones de acuerdo a si se cambia alguna propiedad geométrica o térmica de los elementos que componen la envolvente térmica de la vivienda.

---

## CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

---

### 7.1 Introducción

En el capítulo 5, se analizó el consumo de energía entre los distintos artefactos y sistemas que se utilizan en el hogar, resultando ser la calefacción el punto más crítico, con un 29% del consumo total anual. Cabe destacar, que este porcentaje resultó de analizar el consumo en calefactores, siendo que sólo se utilizan en época invernal. Así, si se analiza el consumo estacionalmente, la preponderancia del gasto en calefacción se incrementa considerablemente. Debido a lo anterior, para reducir el consumo energético en el sector residencial, es fundamental intervenir en este ítem.

En este capítulo, se analizará la implementación de medidas de eficiencia energética en calefacción, referidas al mejoramiento de la aislación térmica de la envolvente de la vivienda. Para ello, se considerarán las viviendas que correspondan a las tipologías seleccionadas en este estudio, que estén ubicadas en las ciudades de Valparaíso (zona térmica 2), Santiago (zona térmica 3) y Concepción (zona térmica 4).

Para las viviendas ubicadas en las zonas térmicas 2, 3 y 4, representadas en este estudio por las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, se determinarán los espesores mínimos de material aislante que se requieren en los muros y la techumbre, tal que se cumplan las exigencias mínimas de transmitancia térmica y  $R_{100}$  que estipula la reglamentación térmica actual.

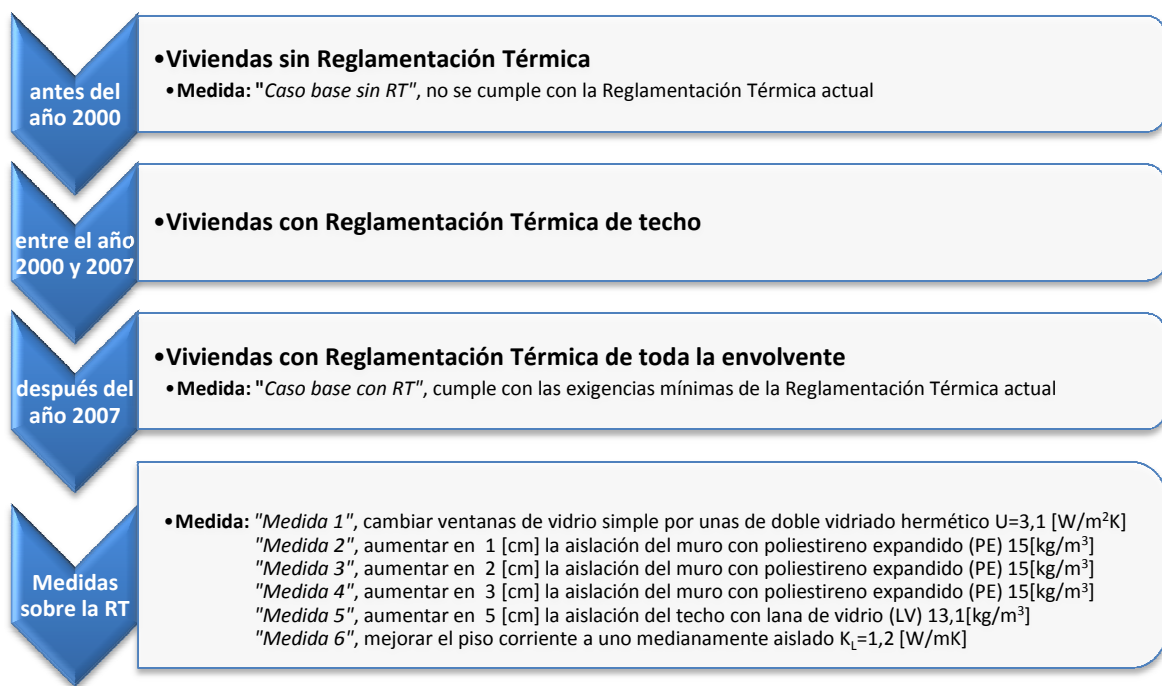
Posterior a ello, se evaluará la reducción de la demanda de energía, según tipología y zona térmica, al aplicar medidas que consisten primero, en llevar las viviendas construidas antes del 2007 a cumplir con la reglamentación térmica actual y luego de ello, evaluar otras medidas que mejoren aún más la aislación térmica de la envolvente de la vivienda. Estas medidas, que están sobre lo exigido en la reglamentación térmica, consisten en mejorar la aislación de los muros, el techo o el piso, o bien, mejorar las ventanas.

Una vez evaluadas las medidas y tomando los resultados del consumo total anual de energía del capítulo 5, se determinará cuánto representa el ahorro de energía en calefacción, al llevar una vivienda antigua a cumplir con las exigencias mínimas de la reglamentación térmica actual, respecto al consumo total de la vivienda. Luego, para esta misma medida, se realizará una evaluación económica de la inversión requerida, el ahorro en dinero que se produce por la reducción del consumo de energía en calefacción y con ello, se estimará el período de recuperación del capital invertido.

Finalmente, se confeccionarán unas fichas, por cada zona térmica y tipología de vivienda, que resuman los resultados del consumo total anual de energía y la evaluación de las distintas medidas de eficiencia energética en calefacción. Con estas fichas se pretende mostrar de manera sencilla y directa, toda la información respecto al consumo de energía en la vivienda en una sola página, de modo de facilitar la toma de decisiones al momento de definir dónde hay que intervenir para reducir el consumo de energía en el sector residencial. Otra de las ventajas de estas fichas, es que son ajustables a cualquier otro tipo de vivienda y zona térmica, por lo que pueden ser tomadas como modelo para evaluar otros casos.



El parque de viviendas actual de Chile posee distintas características de acuerdo al año de construcción de éstas, pues la reglamentación térmica ha ido evolucionando a partir del año 2000 hasta llegar a la actual reglamentación el año 2007. A continuación se expone un esquema con la evolución de la reglamentación térmica y se mencionan las medidas de eficiencia energética en calefacción que se evaluarán más adelante en este capítulo.



**Figura 7.1** Esquema de la evolución de la reglamentación térmica de viviendas. Medidas de eficiencia energética en calefacción.

De acuerdo con el World Energy Council (WEC), el término eficiencia energética se refiere a todos los cambios que se traducen en la disminución de la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad económica (por ejemplo, energía utilizada por unidad de PIB o valor agregado) o para satisfacer las necesidades energéticas residenciales manteniendo un determinado nivel de confort. Por lo tanto, la eficiencia energética está asociada con la eficiencia económica e incluye cambios tecnológicos, económicos y en el comportamiento de la población (Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN), 2008).

En el capítulo 5, se identificó que el principal gasto de energía en el hogar se produce en calefacción (29% del total del consumo anual de energía). Es por ello que, las políticas que se implementen para reducir el consumo de energía en el sector residencial, deben enfocarse primeramente en este ítem.

## 7.2 Definición de medidas

En este capítulo se evalúan distintas medidas para reducir la demanda energética en calefacción de una vivienda promedio. Como se están evaluando viviendas construidas antes del año 2007, es decir, que no cumple con la reglamentación térmica actual, la primera medida que se analiza es llevar las viviendas a los estándares exigidos actualmente respecto a la aislación de la envolvente térmica. Luego, sobre la base que la vivienda ya cumple con la reglamentación térmica, se analizan medidas para mejorar aún más la aislación térmica de distintos elementos de la envolvente y se calcula cuál es el ahorro adicional producto de la implementación de estas medidas.

Se analiza una mayor aislación en los muros, techo y piso, y en el caso de las ventanas el reemplazo de vidrios simples por unos de doble vidriado hermético (DVH), disminuyendo la transmitancia térmica de cada uno de estos elementos.

Como se vio en el capítulo 2.5, al cumplir con la reglamentación térmica, se asegura que no se produzca condensación superficial, por lo tanto, al momento de definir el espesor de la aislación, basta tomar en consideración lo estipulado en la reglamentación para que no se produzca condensación superficial. La reglamentación térmica plantea dos criterios determinar el espesor mínimo del aislante (ver capítulo 2.4), estos son:

- a través de la transmitancia o resistencia térmica total del elemento, o
- por medio del  $R_{100}$  del material aislante.

Ahora bien, una mayor aislación genera un mayor ahorro de energía, pues se reducen las pérdidas a través de la envolvente térmica de la vivienda. Por ello es importante determinar hasta qué punto es adecuado aislar muros, techo y piso, considerando el ahorro energético que producen.

A continuación se analiza cuánto varía la transmitancia térmica a medida que se coloca mayor aislación en los muros y el techo y se determina a partir de qué punto las diferencias son tan pequeñas que no conviene seguir aislando, pues la inversión será mayor al ahorro potencial que resulte de ello. Desde el punto de vista de la transmitancia térmica del complejo de muros, no hay diferencia en aislar por dentro o por fuera de él, ya que la transmitancia térmica es independiente de la posición que tengan las capas de elementos, en este caso, del aislante. En esta parte, hay que tener en consideración que si el material aislante se instala en la cara del muro que da al interior del recinto, la superficie de la vivienda se verá reducida considerablemente si el espesor del aislante es grande, lo cual no es deseado por quienes habitan en ella.

## 7.2.1 Aislación muros

Aplicable a todas las tipologías de viviendas.

El complejo de muro es de albañilería armada, compuesta por ladrillos hechos a máquina de 140 [mm] de espesor y poliestireno expandido de 15 [Kg/m<sup>3</sup>] como aislante.

Primero se determina el espesor mínimo de material aislante (poliestireno expandido 15 [kg/m<sup>3</sup>]), a partir de los valores máximos que la NCh 853 Of.2007 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2007) permite para la transmitancia térmica de muros, según zona térmica. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$e_{aisl} = \lambda_{aisl} \cdot \left( \frac{1}{U} - R_{si} - R_{se} - \frac{e_{ladrillo}}{\lambda_{ladrillo}} \right) \quad (\text{Ec. 7.1})$$

**Tabla 7.1** Espesor de aislación mínima de muro para cumplir con la máxima transmitancia térmica

Ciudad	Elemento	Materiales	e	$\lambda$	R = e/ $\lambda$	R <sub>si</sub>	R <sub>se</sub>	R <sub>T</sub>	U	U <sub>RT</sub> <sup>(*)</sup>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,33	3,0	3,0
		Poliestireno expandido	0,00	0,0413	0,00					
Santiago	Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0,05	0,53	1,9	1,9
		Poliestireno expandido	0,002	0,0413	0,05					
Concepción	Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,59	1,7	1,7
		Poliestireno expandido	0,007	0,0413	0,16					

<sup>(\*)</sup>Los valores de U, según la reglamentación térmica (RT), están en la Tabla 2.2

Los espesores comerciales del poliestireno expandido son 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 [mm]. De acuerdo a ellos, los valores de transmitancia térmica máxima se modifican tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7.2** Espesor de aislación mínima de muro para cumplir con la máxima transmitancia térmica, según espesores comerciales

Ciudad	Elemento	Materiales	e <sub>comercial</sub>	$\lambda$	R = e/ $\lambda$	R <sub>si</sub>	R <sub>se</sub>	R <sub>T</sub>	U	U <sub>RT</sub> <sup>(*)</sup>
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,42	2,4	3,0
		Poliestireno expandido	0,000	0,0413	0,00					
Santiago	Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0,05	0,60	1,7	1,9
		Poliestireno expandido	0,005	0,0413	0,12					
Concepción	Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,67	1,5	1,7
		Poliestireno expandido	0,010	0,0413	0,24					

<sup>(\*)</sup>Los valores de U, según la reglamentación térmica (RT), están en la Tabla 2.2

Ahora bien, la segunda forma para calcular el espesor del aislante térmico, aplica la siguiente expresión:

$$e_{aisl} = \frac{R_{100} \cdot \lambda}{100} \quad (\text{Ec. 7.2})$$

A continuación se exponen los valores de  $R_{100}$  mínimos para el complejo de muros, según ciudad:

**Tabla 7.3** Espesor de aislación térmica de muro para cumplir con el mínimo  $R_{100}$

Ciudad	Aislante	$\lambda$	$e_{req}$	$R_{100}$	$R_{100 RT}^{(*)}$
		[W/mK]	[m]	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Valparaíso	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,009	23	23
Santiago	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,017	40	40
Concepción	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,019	46	46

(\*) Los valores de  $R_{100}$ , según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.3

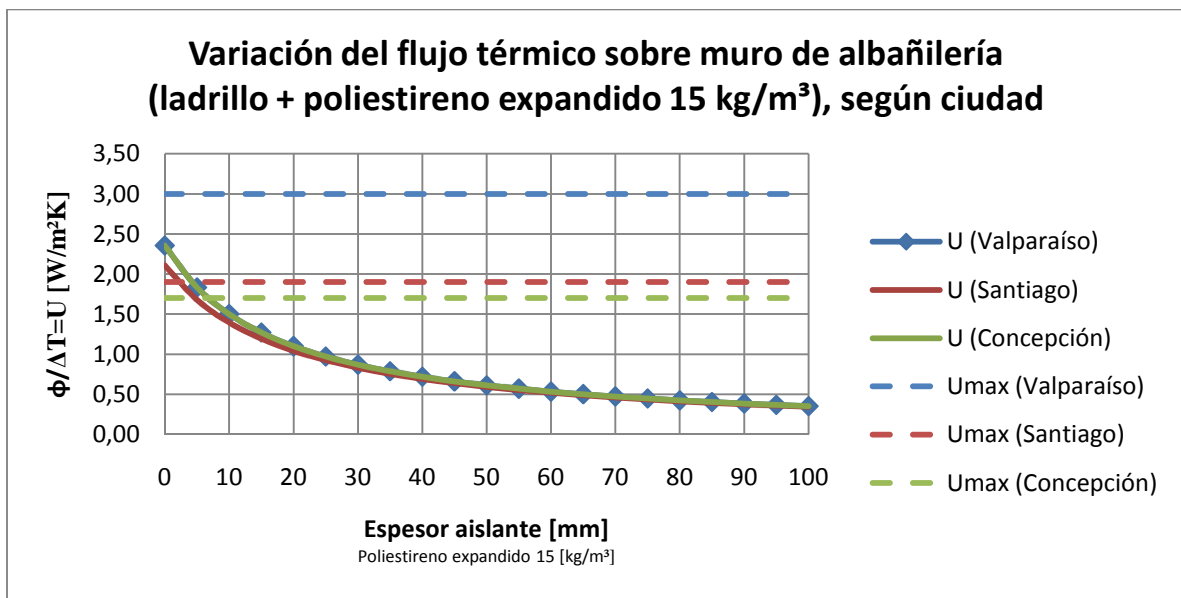
Según los espesores comerciales del poliestireno expandido, el factor  $R_{100}$  se modifica a lo siguiente:

**Tabla 7.4** Espesor de aislación térmica de muro para cumplir con el mínimo  $R_{100}$ , según espesores comerciales

Ciudad	Aislante	$\lambda$	$e_{comercial}$	$R_{100}$	$R_{100 RT}^{(*)}$
		[W/mK]	[m]	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Valparaíso	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,010	24	23
Santiago	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,020	48	40
Concepción	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,020	48	46

(\*) Los valores de  $R_{100}$ , según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.3

Resulta que los espesores mínimos de aislante, según ciudad, son más restrictivos considerando el  $R_{100}$  del material. Por consiguiente, para cumplir con la reglamentación térmica, en **Valparaíso** una opción es aislar los muros con **10 [mm]** de poliestireno de 15 [kg/m<sup>3</sup>], mientras que en **Santiago** y **Concepción**, el espesor de tal material debe ser como mínimo **20 [mm]**.



**Figura 7.2** Variación del flujo térmico sobre muro de albañilería ante distintos espesores de aislante térmico, según ciudad

Según la figura anterior, los espesores mínimos de aislante especificados para las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, cumplen con la reglamentación térmica. Se observa además, que no es conveniente aislar más allá de los 40 [mm], ya que las variaciones de flujo térmico no disminuyen considerablemente, de modo que no se genera una mejora importante al aislar con un espesor mayor de poliestireno expandido.

La curva de variación de flujo térmico a través del muro, es idéntica para las ciudades de Valparaíso y Concepción, ya que se consideran las mismas resistencias para el complejo de muro. Existe una pequeña diferencia entre éstas y la curva para Santiago, que radica en considerar la resistencia superficial exterior ( $R_{se}$ ) en esas ciudades igual a cero, debido a que la velocidades del viento son superiores a los 10 [km/h].

## 7.2.2 Aislación techumbre

Este punto es similar al anterior aunque, según las tipologías de viviendas, se deben analizar dos casos: techo casas, para las tipologías 1, 2 y 3, y techo edificio de departamentos, para la tipología 4.

### 7.2.2.1 Techo casas

Aplicable a las tipologías 1, 2 y 3, referidas a casas aisladas y pareadas.

El complejo de techumbre para estas tipologías se compone por una placa de yeso-cartón de 12 [mm] de espesor y lana de vidrio de 13,1 [kg/m<sup>3</sup>] como aislante.

El espesor mínimo de aislante (lana de vidrio) para ese tipo de techumbre, de modo de cumplir con las exigencias de la reglamentación térmica, se expone en la siguiente tabla:

**Tabla 7.5** Espesor de aislación mínima de techumbre de casas para cumplir con la máxima transmitancia térmica

Ciudad	Elemento	Materiales	e	$\lambda$	$R = e/\lambda$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_T$	U	$U_{RT}^{(*)}$
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	Techo casas	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05	0,09	0	1,67	0,60	0,60
		Lana de vidrio	0,067	0,044	1,53					
Santiago	Techo casas	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05	0,09	0,05	2,13	0,47	0,47
		Lana de vidrio	0,085	0,044	1,94					
Concepción	Techo casas	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05	0,09	0	2,63	0,38	0,38
		Lana de vidrio	0,110	0,044	2,49					

(\*) Los valores de U, según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.2

Los espesores comerciales de la lana de vidrio son 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140 y 160 [mm]. De acuerdo a ellos, los valores de transmitancia térmica máxima se modifican tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7.6** Espesor de aislación mínima de techumbre de casas para cumplir con la máxima transmitancia térmica, según espesores comerciales

Ciudad	Elemento	Materiales	$e_{comercial}$	$\lambda$	$R = e/\lambda$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_T$	U	$U_{RT}^{(*)}$
			[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	Techo casas	Lana de vidrio	0,012	0,24	0,05	0,09	0	1,73	0,58	0,60
		Yeso cartón	0,070	0,044	1,59					
Santiago	Techo casas	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05	0,09	0,05	2,24	0,45	0,47
		Lana de vidrio	0,090	0,044	2,05					
Concepción	Techo casas	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05	0,09	0	2,64	0,38	0,38
		Lana de vidrio	0,110	0,044	2,50					

(\*) Los valores de U, según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.2

Calculando los espesores de aislante necesarios, según los valores de  $R_{100}$  mínimos estipulados en la reglamentación térmica, se tiene lo siguiente:

**Tabla 7.7** Espesor de aislación térmica de techumbre de casas para cumplir con el mínimo  $R_{100}$

Ciudad	Aislante	$\lambda$	$e_{req}$	$R_{100}$	$R_{100 RT}^{(*)}$
		[W/mK]	[m]	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Valparaíso	Lana de vidrio 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,044	0,062	1,41	141
Santiago	Lana de vidrio 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,044	0,083	1,88	188
Concepción	Lana de vidrio 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,044	0,103	2,35	235

(\*) Los valores de  $R_{100}$ , según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.3

Según los espesores comerciales de la lana de vidrio, el factor  $R_{100}$  se modifica a lo siguiente:

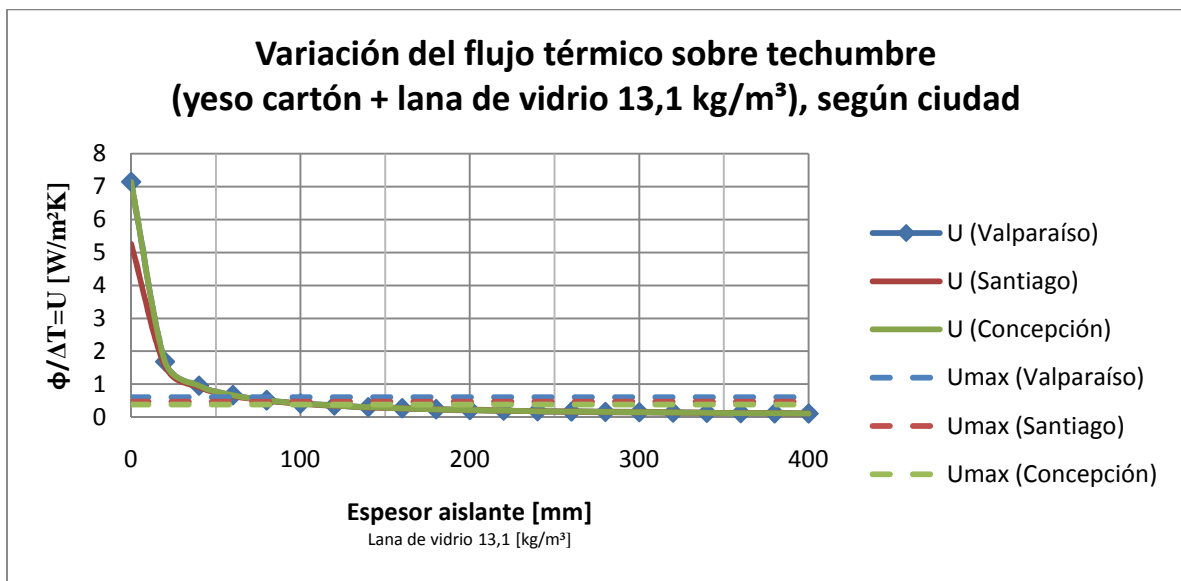
**Tabla 7.8** Espesor de aislación térmica de techumbre de casas para cumplir con el mínimo  $R_{100}$ , según espesores comerciales

Ciudad	Aislante	$\lambda$	$e_{comercial}$	$R_{100}$	$R_{100 RT}^{(*)}$
		[W/mK]	[m]	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Valparaíso	Lana de vidrio 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,044	0,070	159	141
Santiago	Lana de vidrio 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,044	0,090	205	188
Concepción	Lana de vidrio 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,044	0,110	250	235

(\*) Los valores de  $R_{100}$ , según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.3

Para cumplir con los espesores de aislante requeridos, se pueden superponer dos materiales con ciertos espesores, con tal que la suma de ellos sea mayor o igual a los requerimientos mínimos. De esta forma, se pueden unir dos aislantes para alcanzar los 110 [mm] de espesor, uno de 50 [mm] y otro de 60 [mm], y así con el resto.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el complejo de techumbre de casas, compuesto por una placa de yeso-cartón y lana de vidrio 13,1 [kg/m<sup>3</sup>] como aislante, se tiene que para **Valparaíso** se requieren **70 [mm]** de aislación, para **Santiago 90 [mm]** y para **Concepción 110 [mm]**.



**Figura 7.3** Variación del flujo térmico sobre techumbre de casas ante distintos espesores de aislante térmico, según ciudad

La figura anterior muestra claramente la necesidad de aislar el techo en una mayor medida que los muros, ya que el flujo térmico a través de él es mayor. Existe una gran variación en el flujo térmico en los primeros 50 [mm] de aislación, tendiendo a mantenerse constante a partir de este valor. La reglamentación térmica exige un valor de aislación en techumbre, que asegura un flujo térmico pequeño a través de este complejo.



### 7.2.2.2 Techo edificio de departamentos

Aplicable a la tipología 4, referida a departamentos esquina, ubicados en el último piso del edificio.

El complejo de techumbre para esta tipología se compone por una losa de hormigón armado normal de 120 [mm] de espesor y poliestireno expandido de 15 [Kg/m<sup>3</sup>] como aislante.

El espesor mínimo de aislante (poliestireno expandido) para este tipo de techumbre, se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 7.9** Espesor de aislación mínima de techumbre de edificio de departamentos para cumplir con la máxima transmitancia térmica

			e	$\lambda$	$R = e/\lambda$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_T$	U	$U_{RT}^{(*)}$
Ciudad	Elemento	Materiales	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0	1,67	0,60	0,60
		Poliestireno expandido	0,062	0,0413	1,50					
Santiago	Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0,05	2,13	0,47	0,47
		Poliestireno expandido	0,079	0,0413	1,91					
Concepción	Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0	2,63	0,38	0,38
		Poliestireno expandido	0,102	0,0413	2,47					

(\*) Los valores de U, según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.2

Los espesores comerciales del poliestireno expandido son 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 [mm]. De acuerdo a ellos, los valores de transmitancia térmica máxima se modifican tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7.10** Espesor de aislación mínima de techumbre de edificio de departamentos para cumplir con la máxima transmitancia térmica, según espesores comerciales

			$e_{comercial}$	$\lambda$	$R = e/\lambda$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_T$	U	$U_{RT}^{(*)}$
Ciudad	Elemento	Materiales	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
Valparaíso	Techo dpto.	Poliestireno expandido	0,12	1,63	0,07	0,09	0	1,86	0,54	0,60
		Hormigón armado normal	0,070	0,0413	1,69					
Santiago	Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0,05	2,15	0,46	0,47
		Poliestireno expandido	0,080	0,0413	1,94					
Concepción	Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0	2,83	0,35	0,38
		Poliestireno expandido	0,110	0,0413	2,66					

(\*) Los valores de U, según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.2

Calculando los espesores de aislante necesarios, según los valores de  $R_{100}$  mínimos estipulados en la reglamentación térmica, se tiene lo siguiente:

**Tabla 7.11** Espesor de aislación térmica de techumbre de edificio de departamentos para cumplir con el mínimo  $R_{100}$

Ciudad	Aislante	$\lambda$	$e_{req}$	$R_{100}$	$R_{100 RT}^{(*)}$
		[W/mK]	[m]	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Valparaíso	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,058	141	141
Santiago	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,078	188	188
Concepción	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,097	235	235

(\*) Los valores de  $R_{100}$ , según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.3

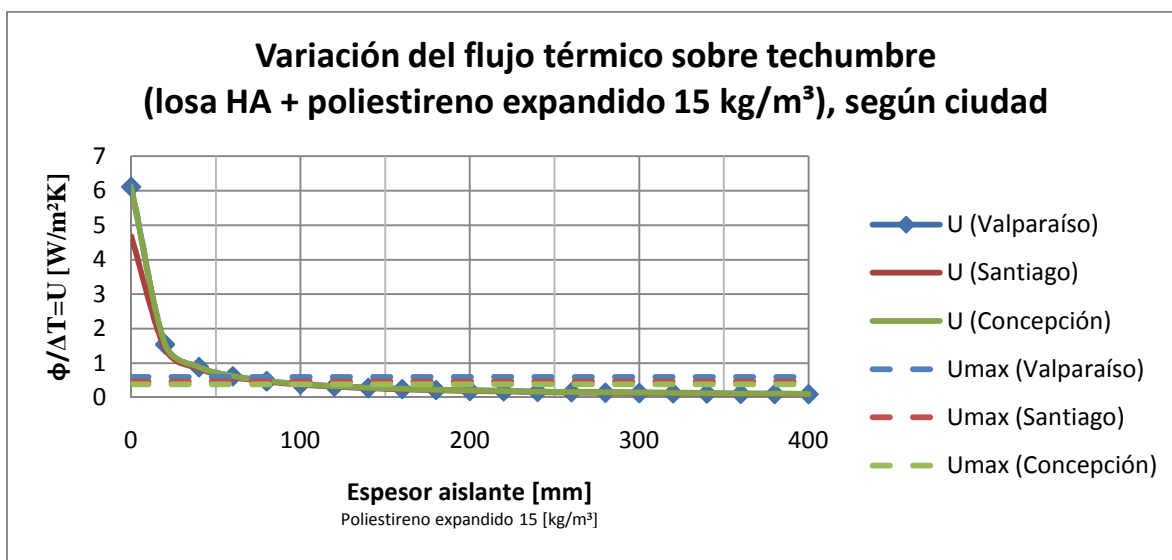
Según los espesores comerciales de la lana de vidrio, el factor  $R_{100}$  se modifica a:

**Tabla 7.12** Espesor de aislación térmica de techumbre de edificio de departamentos para cumplir con el mínimo  $R_{100}$ , según espesores comerciales

Ciudad	Aislante	$\lambda$	$e_{comercial}$	$R_{100}$	$R_{100 RT}^{(*)}$
		[W/mK]	[m]	[m <sup>2</sup> K/W]x100	[m <sup>2</sup> K/W]x100
Valparaíso	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,060	145	141
Santiago	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,080	194	188
Concepción	Poliestireno expandido 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0413	0,100	242	235

(\*) Los valores de  $R_{100}$ , según la reglamentación térmica, están en la Tabla 2.3

Al igual que en el caso de la lana de vidrio, se pueden superponer distintos espesores de aislante con tal de que la suma de ellos sea mayor o igual al mínima espesor calculado para cumplir con la reglamentación térmica. En este caso, la exigencia de cumplir con un valor mínimo de transmitancia térmica, es más restrictiva respecto al espesor del material aislante que el cumplimiento del  $R_{100}$ . Así, en **Valparaíso** se requiere un espesor de aislante de **70 [mm]**, en **Santiago** de **80 [mm]** y en **Concepción**, **110 [mm]**.



**Figura 7.4** Variación del flujo térmico sobre techumbre de departamentos ante distintos espesores de aislante térmico, según ciudad

El comportamiento del flujo térmico para este tipo de complejo de techumbre es bastante similar al de las casas, mostrando una gran variación en los primeros milímetros de aislación. Esto indica que se genera un gran ahorro en energía cuando en una vivienda sin aislación en el techo, se instala un aislante en tal sector, de modo que las pérdidas de energía se reducen al haber una transmitancia térmica menor en la techumbre. Tal importancia, motivó a que la reglamentación térmica de techumbre comenzara a aplicarse antes (año 2000) que para el resto de los elementos de la envolvente térmica (año 2007).

Para el análisis de medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de viviendas, se define dos casos base de acuerdo al cumplimiento de la reglamentación térmica. Estos casos base son:

- **Caso base sin reglamentación térmica (sin RT):** los elementos no cumplen con la aislación mínima exigida en la reglamentación térmica actual. Se considera que los muros y piso no están aislados y el techo posee sólo el 50% del mínimo exigido en el reglamentación.
- **Caso base con reglamentación térmica (con RT):** es aquel en que se cumplen las disposiciones de la reglamentación térmica, indicadas en la Tabla 2.2 y Tabla 2.3. Para ello, se utiliza una aislación de acuerdo a los espesores mínimos de material aislante calculados anteriormente para cada elemento de la envolvente (muros y techo).

Una vez definidos estos casos base, se determinan las medidas con las cuales se cuantificará la reducción de las pérdidas de energía en la vivienda. Estas medidas están referidas al mejoramiento de la envolvente térmica, disminuyendo la transmitancia térmica de las ventanas, muros, techo y piso. En la Tabla 7.13, se resumen las distintas medidas que serán evaluadas.

**Tabla 7.13** Definición de medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin reglamentación térmica
con RT	Caso base con reglamentación térmica
Med 1	Ventana $U=3,1$ [ $W/m^2 K$ ], con DVH <sup>(*)</sup> o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE <sup>(**)</sup> 15 [ $kg/m^3$ ]
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE <sup>(**)</sup> 15 [ $kg/m^3$ ]
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE <sup>(**)</sup> 15 [ $kg/m^3$ ]
Med 5	Techo (+) 60 [mm] aislación LV <sup>(***)</sup> 13,1 [ $kg/m^3$ ]
Med 6	Piso $K_L=1,2$ [ $W/m K$ ]

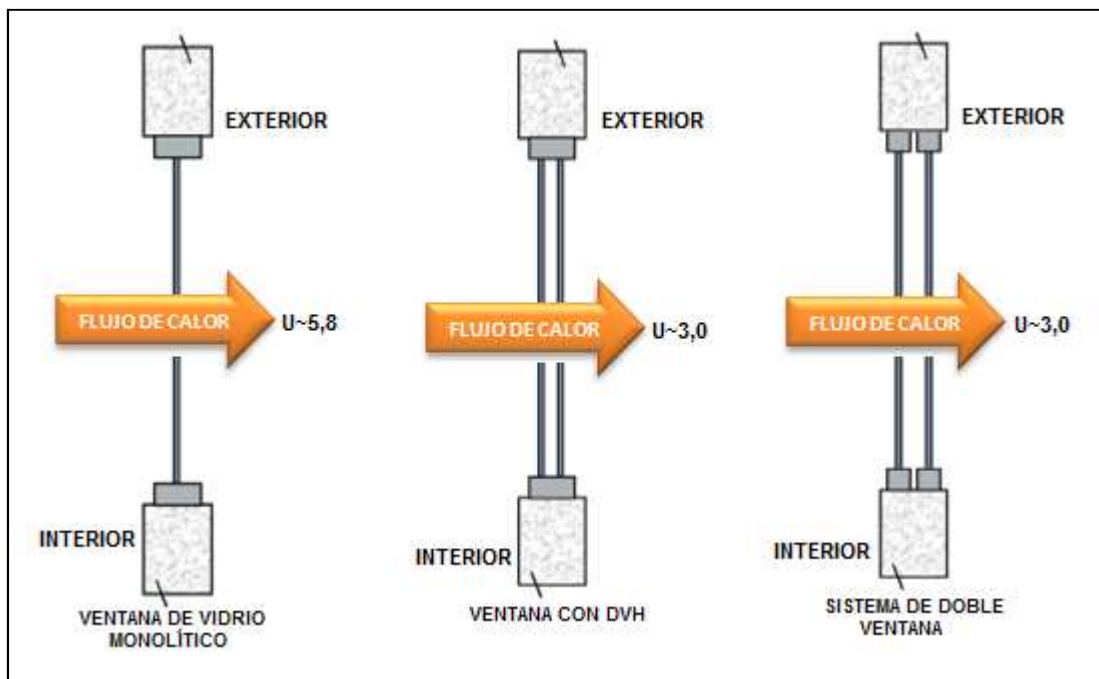
(\*)DVH: doble vidriado hermético; (\*\*)PE: poliestireno expandido; (\*\*\*)LV: lana de vidrio

Notar que en los casos base se han considerado vidrios simples monolíticos de 3 [mm] de espesor, puertas de madera de pino insigne y piso corriente ( $K_L=1,4$  [ $W/mK$ ]) (ver valores de  $K_L$ , según aislación en la Tabla 6.5).

Cabe destacar además, que en la medida 1, relacionada con el mejoramiento de ventanas a una transmitancia térmica de  $U=3,1$  [ $W/m^2K$ ], se sugiere cambiar los vidrios simples monolíticos por unos de doble vidriado hermético (DVH) o una doble ventana. Cuando hay una capa de aire entre los vidrios (DVH y doble ventana) la transmitancia térmica es menor, ya que la capa de aire es la que aporta la mayor parte de la aislación térmica de la superficie vidriada, mientras que el aporte de los vidrios es despreciable. Respecto a las ventanas DVH, hay que tener cuidado con la orientación que se les dé en relación al sol, pues una radiación excesiva

puede provocar el efecto invernadero en la vivienda. En verano, las orientaciones este y oeste, son las que más reciben radiación solar en el país, quedando atrapado el calor al interior de la vivienda, por lo tanto, se debe evitar tener una superficie vidriada muy extensa en estas direcciones y proteger estas fachadas con sombreaderos, aleros en ventanas, persianas, etc (Villanueva, 2009).

En la Figura 7.5, se muestra cómo se produce el flujo de calor a través de los sistemas de vidrio mencionados.



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

**Figura 7.5** Transmitancia en vidrio monolítico, en DVH y en sistema de doble ventana (vistas corte vertical)

Para analizar las medidas de eficiencia energética se modelan las tipologías en el software CCTE (Certificación de Comportamiento Térmico para Edificios en Chile), desarrollado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Es un instrumento completo, actualizado a mayo del 2009 (última versión), que permite, junto a un acreditador, el cumplimiento de la reglamentación térmica vigente (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006), estimar el nivel de demanda y consumo energético en calefacción y refrigeración para las viviendas en Chile. Este software es una de las herramientas que se utiliza actualmente para la “Certificación Energética de Viviendas”.

La modelación de viviendas en el software CCTE, permite obtener la demanda de energía en calefacción y refrigeración [ $\text{kWh/m}^2$  año] para cada uno de los escenarios definidos en la Tabla 7.13 que cumplan con la reglamentación térmica, es decir, caso base con RT y aquellos que resultan luego de aplicar cada una de las medidas anteriormente mencionadas (medidas 1 a la 6). Para asociar el ahorro entre el caso base sin RT y el resto de las medidas, se utiliza el porcentaje de ahorro obtenido en el capítulo 6.3.2, Tabla 6.10.

Con estos resultados, es posible comparar los efectos de la aislación en relación al ahorro que generan en el uso de energía en calefacción.

Para analizar los resultados de la modelación en el software CCTE, se define el **Índice de Demanda de Energía**, o coeficiente **C**, como el cociente entre la demanda de la vivienda en estudio y la demanda de la vivienda de referencia.

$$C [\%] = \frac{\text{Demanda de Energía}_{\text{vivienda en estudio}}[\text{kWh/año}]}{\text{Demanda de Energía}_{\text{vivienda de referencia}}[\text{kWh/año}]} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 7.3})$$

Al respecto, la vivienda de referencia que considera el software CCTE, está constituida por una construcción con las mismas características geométricas y de uso que el proyecto en estudio y donde su envolvente ha sido ajustada a las exigencias establecidas en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006) para la zona térmica que le corresponda. La envolvente se modifica, por lo tanto, de acuerdo a los valores máximos admisibles de transmitancia térmica para muros, techumbres y pisos ventilados y a la superficie vidriada máxima permitida con respecto a los paramentos verticales de la envolvente, para el caso del vidriado simple. El CCTE, considera referencias distintas de acuerdo a la orientación de la vivienda y tipo de vidrio que posee. Considera además, el porcentaje de ventanas cuyo valor máximo está estipulado en la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006).

Para efectos de este estudio, se define un nuevo índice para relacionar directamente cuánto es el ahorro de energía respecto al caso base sin RT, al aplicar cada medida. Se denominará  $C_0$  y se calcula como el cociente entre el índice de demanda de energía de cierta medida y el del caso base sin RT.

$$C_0 [\%] = \frac{C_{\text{medida en estudio}}[\%]}{C_{\text{caso base sin RT}}[\%]} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 7.4})$$

De esta forma, el caso base sin RT tendrá un  $C_0$  igual a 100%, siendo menor o igual a ese valor para el resto de las medidas.

Para determinar el ahorro de energía en calefacción, respecto al caso base, basta con utilizar la siguiente expresión:

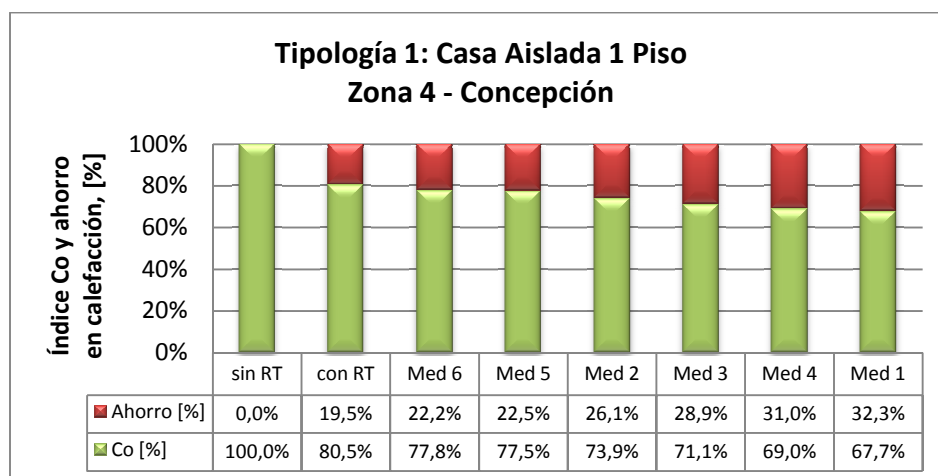
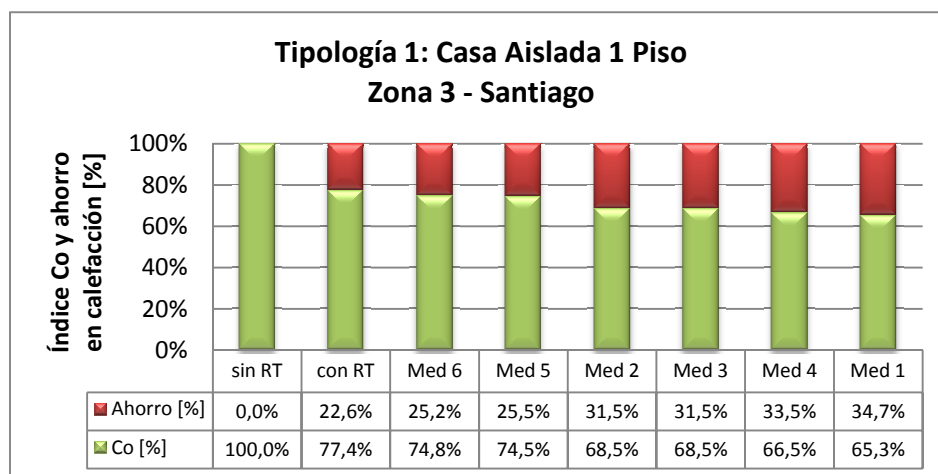
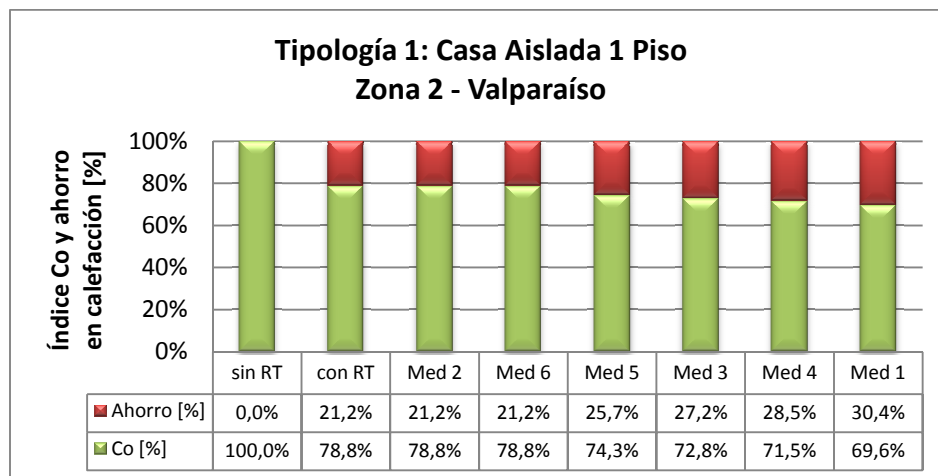
$$\text{Ahorro} = 100 [\%] - C_0 \quad (\text{Ec. 7.5})$$

### 7.3 Aplicación de medidas para cada tipología de vivienda

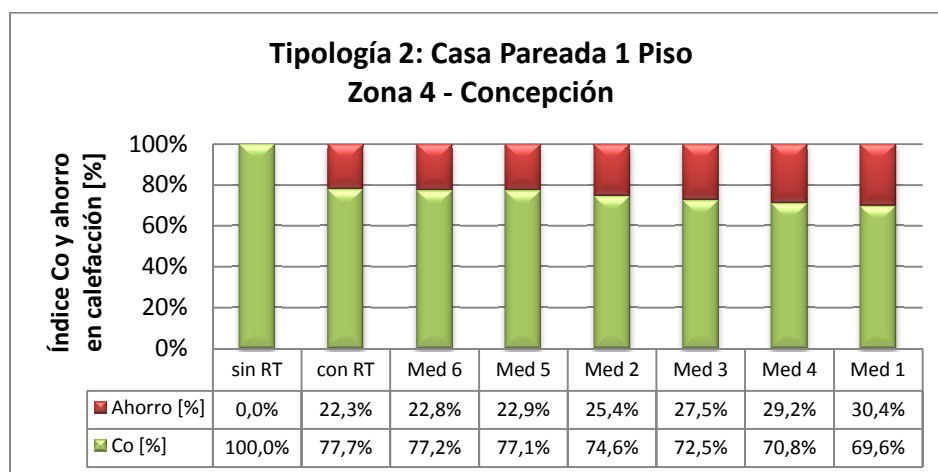
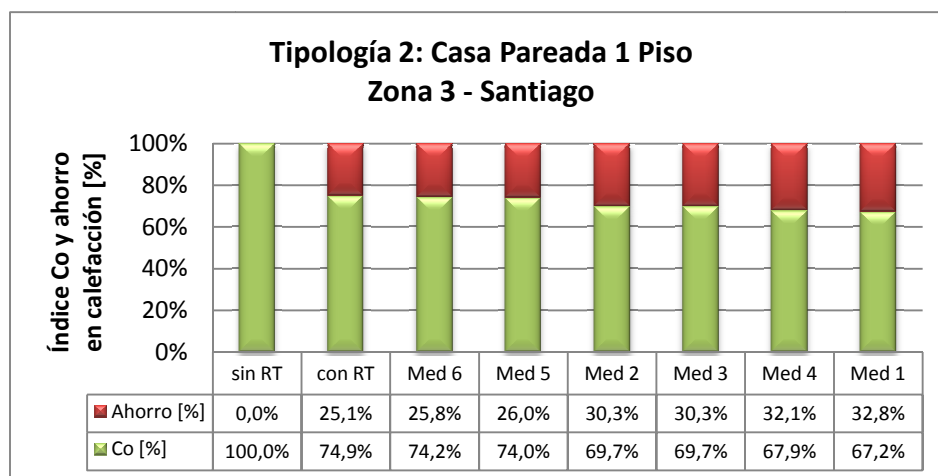
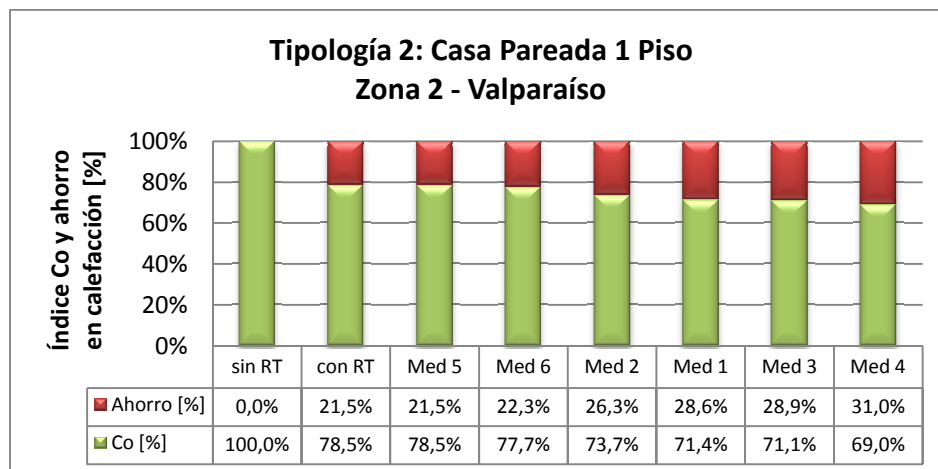
A continuación, se exponen los resultados de la aplicación de las medidas de mejoramiento de la envolvente térmica para cada tipología definida en el estudio. La primera medida que se evalúa es hacer que una vivienda construida antes del año 2007, cumpla con la reglamentación térmica actual. Para ello, se debe incorporar aislación en los muros y techo según las exigencias mínimas que se estipulan en la reglamentación (ver Tabla 2.2 y Tabla 2.3).

Se ordenan decrecientemente las medidas, de acuerdo al valor del Índice  $C_0$ . Así, a medida que decrece la altura de las barras, el ahorro en calefacción se va haciendo cada vez más importante, ya que las pérdidas de energía disminuyen.

Cabe destacar que las medidas 1 a la 6 son aumentos en la aislación térmica en cierto elemento de la envolvente, por sobre lo estipulado en la reglamentación térmica. De este modo, el caso base con reglamentación térmica (con RT) posee la mínima aislación térmica exigida por la reglamentación térmica y, el resto de los escenarios, muestra cómo mejora el comportamiento térmico de la vivienda al aplicar una aislación mayor a ese valor mínimo.

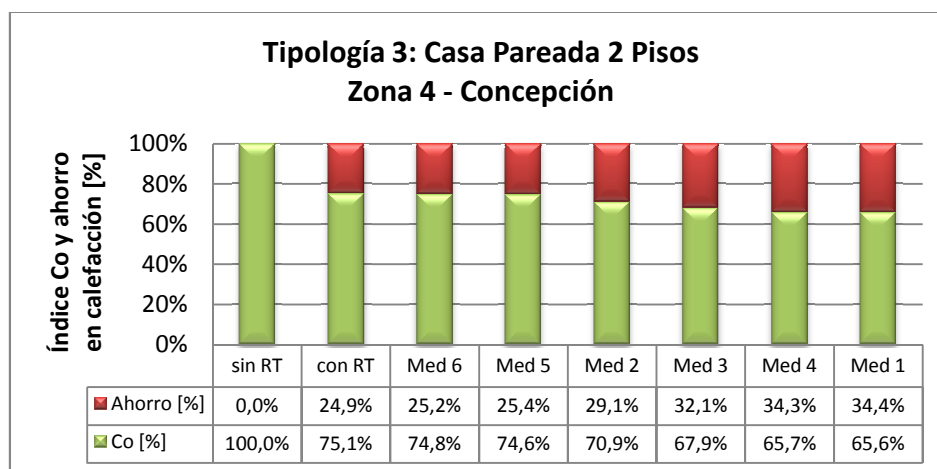
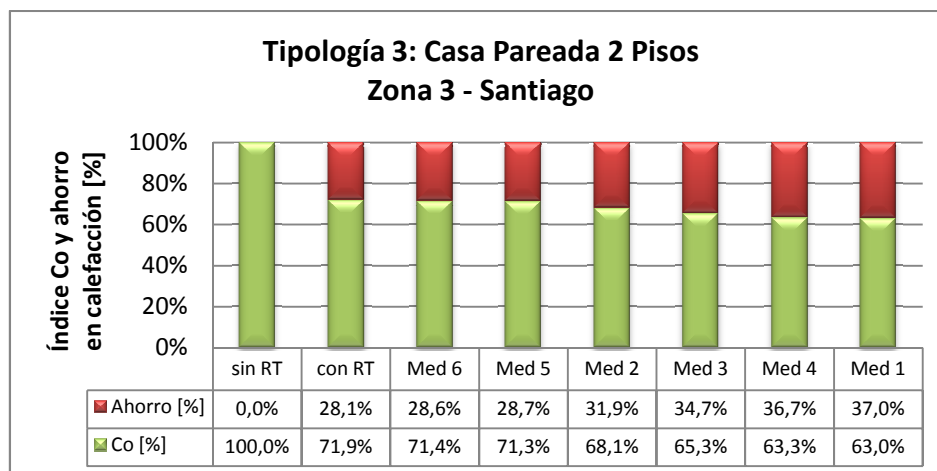
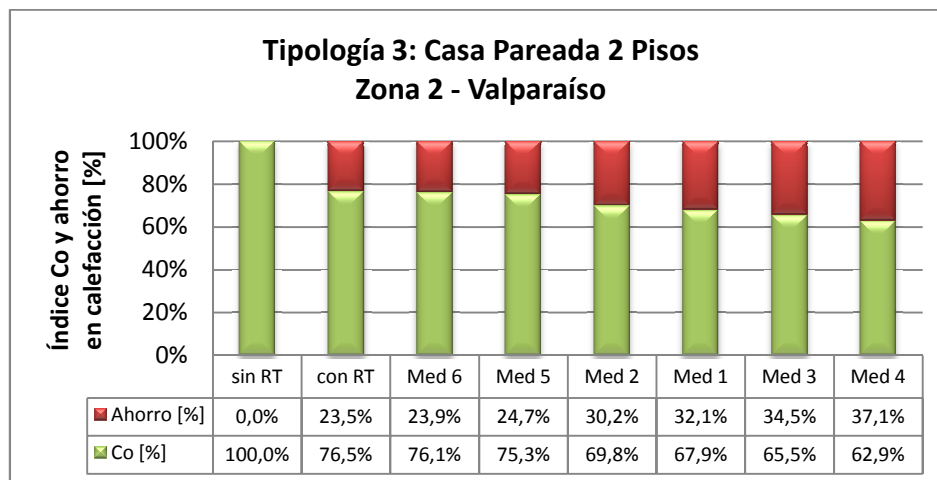


**Figura 7.5** Tipología 1 - Índice  $C_0$  y ahorro en calefacción con cada medida, según zona térmica

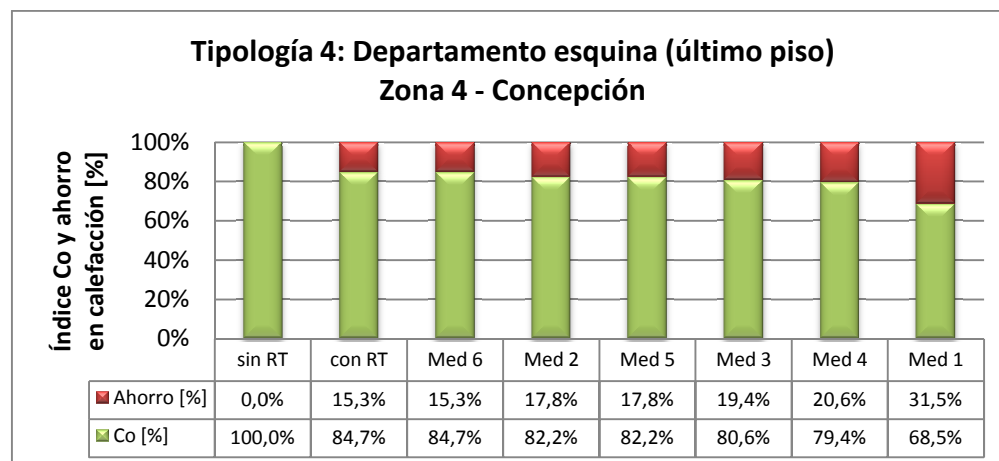
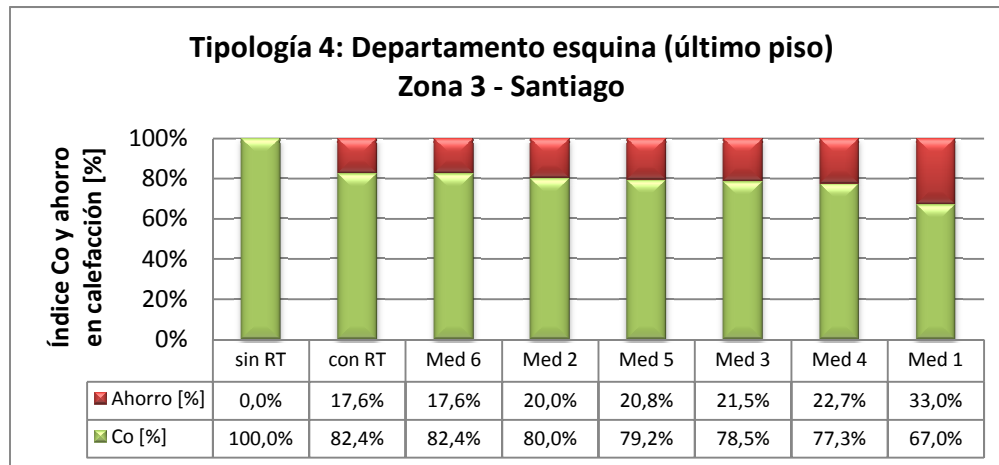
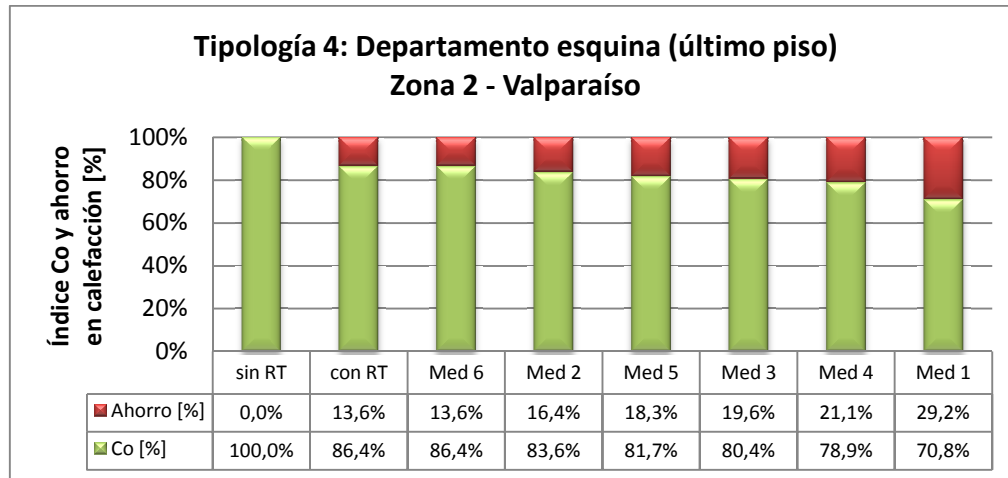


**Figura 7.6** Tipología 2 - Índice  $C_0$  y ahorro en calefacción con cada medida, según zona térmica





**Figura 7.7** Tipología 3 - Índice  $C_0$  y ahorro en calefacción con cada medida, según zona térmica



**Figura 7.8** Tipología 4 - Índice  $C_0$  y ahorro en calefacción con cada medida, según zona térmica

Las figuras anteriores muestran con mayor claridad lo que se había mencionado anteriormente respecto a llevar una vivienda antigua a cumplir las exigencias de la actual reglamentación térmica. El ahorro que se produce por ello es alrededor del 20% del consumo total de energía en calefacción, variando según zona térmica y tipología de vivienda. Si se toma en cuenta que la calefacción representa el 29% de la energía total anual consumida en un hogar urbano promedio de Chile (ver Figura 5.3), el consumo total de energía en la vivienda se verá reducido en cerca de un 6% al año.

Respecto a las medidas aplicadas sobre el cumplimiento de la reglamentación térmica (medida 1 a la 6), las figuras anteriores muestran que las tres medidas que generan mayor ahorro de energía en calefacción son:

- Medida 1: cambio de ventanas simples de 3 [mm] de espesor por ventanas DVH con  $U=3,1$  [ $W/m^2K$ ].
- Medida 3: muro (+) 20 [mm] de aislación con poliestireno expandido de 15 [ $kg/m^3$ ].
- Medida 4: muro (+) 30 [mm] de aislación con poliestireno expandido de 15 [ $kg/m^3$ ].

En casi todas las tipologías y zonas térmicas analizadas, el mejoramiento de la transmitancia térmica de ventanas (medida 1), permite una reducción mayor de pérdidas de energía a través de la envolvente, en comparación a otras medidas de aislación. Se exceptúan de lo anterior, las tipologías 2 y 3, casas pareadas de 1 y 2 pisos, ubicadas en la zona 2, en que la aislación de muros entre 2 [cm] y 3 [cm] más de lo exigido en la reglamentación, es mejor en cuanto a la energía ahorrada.

La aislación de techo y piso por sobre lo exigido en la reglamentación térmica no genera un ahorro considerable de energía en calefacción, de hecho, en algunos casos, el ahorro es prácticamente nulo. De acuerdo a estos resultados, se recomienda aislar el techo y el piso sólo lo indicado en la reglamentación térmica. Cabe destacar, que estos resultados son específicos para las tipologías de viviendas seleccionadas en este estudio. En caso que la vivienda posea una superficie extensa de piso y techumbre, puede que mejorar la aislación de estos elementos sea la opción más recomendable en cuanto al ahorro de energía en calefacción, por lo que deberá analizarse cada vivienda en particular.

## 7.4 Ahorro en el consumo total de energía

Para tener una visión de cuál es el ahorro total de energía en la vivienda, se requiere tener una referencia de cuánto representa el consumo en calefacción respecto al consumo total. En esta parte se utilizarán los resultados de las encuestas expuestos en el capítulo 5, en que se calcularon los consumos totales anuales para las viviendas según zona térmica, tipología y nivel socio-económico. Interesa conocer el consumo por tipología y zona térmica al mismo tiempo, sin embargo, no se pueden generar tales estadísticas, pues la muestra de encuestas no lo permite (en algunos casos no existen encuestas que respondan a ambas clasificaciones a la vez y en otros casos, el número de encuestas es demasiado reducido como para obtener resultados representativos de tal tipo de vivienda). Dado lo anterior, se debe decidir si se tomarán en cuenta los consumos por zona térmica o por tipología de vivienda. Basta calcular la desviación estándar para darse cuenta que los consumos de energía se diferencian más por zona térmica que por tipología de vivienda, por lo que se tomarán los resultados de consumo según zona térmica.

A continuación se resumen los resultados más importantes respecto al consumo en calefacción:

**Tabla 7.14** Consumo anual de energía en calefacción y total en la vivienda

	<b>Valparaíso</b> Zona 2	<b>Santiago</b> Zona 3	<b>Concepción</b> Zona 4
Consumo total anual de energía [kWh/año]	5.939	6.576	9.358
% Consumo de energía en calefacción	21,0%	12,2%	51,0%
Consumo anual de energía en calefacción [kWh/año]	1.247	802	4.776

Para determinar el ahorro que produce en el consumo total del hogar al implementar cierta medida, se decide evaluar la medida de pasar del caso base sin reglamentación térmica (sin RT) al caso base con reglamentación térmica (con RT), ya que la mayoría de las viviendas fueron construidas antes de que entrara en vigencia la reglamentación térmica actual, año 2007, y el primer paso que debe darse en cuanto al mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda es aislarla según los estándares mínimos que exige la reglamentación. A partir de ello, puede analizarse la implementación de alguna otra medida.

Las tablas siguientes muestran los consumos en calefacción antes y después de cumplir con la reglamentación térmica y el ahorro de energía que ello conlleva.

**Tabla 7.15** Variación del consumo anual de energía en calefacción al cumplir con la reglamentación térmica actual

	Tipología 1			Tipología 2		
	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 2	Zona 3	Zona 4
<b>Medidas</b>	Valparaíso	Santiago	Concepción	Valparaíso	Santiago	Concepción
Consumo total de energía [kWh/año]	5.939	6.576	9.358	5.939	6.576	9.358
Consumo en calefacción sin RT [kWh/año]	1.247	802	4.776	1.247	802	4.776
Consumo en calefacción con RT [kWh/año]	982	621	3.842	979	601	3.711
Ahorro en calefacción [kWh/año]	265	181	933	268	201	1.064

	Tipología 3			Tipología 4		
	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 2	Zona 3	Zona 4
<b>Medidas</b>	Valparaíso	Santiago	Concepción	Valparaíso	Santiago	Concepción
Consumo total de energía [kWh/año]	5.939	6.576	9.358	5.939	6.576	9.358
Consumo en calefacción sin RT [kWh/año]	1.247	802	4.776	1.247	802	4.776
Consumo en calefacción con RT [kWh/año]	954	577	3.586	1.014	626	3.892
Ahorro en calefacción [kWh/año]	292	225	1.190	232	176	883

En las fichas de “Análisis de eficiencia energética en calefacción” para cada tipología y zona térmica analizada, que se encuentran en el Anexo 3, se expone gráficamente cómo varía el consumo total anual de energía al incorporar la aislación mínima que exige la reglamentación térmica para la vivienda. Esta información se muestra en el punto 4 de la ficha, según se indica en la Figura 7.12.

Estas fichas resumen los resultados obtenidos en el presente estudio para el consumo de energía en las viviendas y los ahorros que conlleva la implementación de distintas medidas de mejoramiento de la envolvente térmica, según la zona térmica en que se ubique la vivienda (Valparaíso-zona térmica 2, Santiago-zona térmica 3 ó Concepción-zona térmica 4) y el tipo de agrupación que se trate (casa aislada 1 piso, casa pareada 1 piso, casa pareada 2 pisos o departamento).

## 7.5 Evaluación económica

A continuación, se realizará una evaluación económica de implementar la medida en que se lleva una vivienda construida antes del año 2007, a cumplir con las exigencias mínimas que fija la reglamentación térmica actual.

El ahorro de energía que produce la implementación de tal medida, se traduce en un ahorro económico para la familia, ya que se gasta menos en energía para alcanzar el mismo grado de confort térmico que poseía la vivienda antes de cualquier intervención en su envolvente térmica.

Esta evaluación económica es más bien gruesa respecto a los valores de la inversión requerida, ya que el objetivo de esta parte es dar una idea general del rango de dinero que se está hablando al referirse a ahorros económicos anuales e inversión anual. Con esto se pueden estimar los flujos de dinero a lo largo del tiempo y determinar el período de recuperación de capital.

### 7.5.1 Precio de combustibles y electricidad

Primero, hay que tener en cuenta que en una vivienda se utilizan distintos energéticos para calefaccionar, cuyos poderes caloríficos varían entre uno y otro. En la Tabla 5.1 se exponen los poderes caloríficos inferiores de los energéticos que se utilizan para calefaccionar: gas natural, gas licuado, electricidad, leña y kerosene.

Para determinar cuánto se gasta en calefacción, se deben conocer los precios de cada uno de estos energéticos. Al respecto, es importante mencionar que como el precio de la electricidad y combustibles varía de acuerdo a cada ciudad, debiera hacerse un análisis más detallado incorporando esta variable a los cálculos. Sin embargo, se simplificará el análisis en este estudio considerando para cualquier ciudad, un único precio. El precio del gas natural, gas licuado, electricidad y kerosene, se determinará en base a los precios fijados para la Región Metropolitana. En el caso de la leña, cuya valorización es más compleja debido a la diversidad de productores que existe en cada localidad, se considerará el precio promedio que tiene la leña en las ciudades de Temuco y Padre Las Casas, según un estudio realizado por la Universidad de Concepción (Universidad de Concepción, 2002).

Es importante destacar, que el precio de la energía varía con el tiempo debido a la inflación. A modo de simplificar los cálculos, sólo se considerará el precio actual de los energéticos y para ajustar estas tarifas a cualquier otro año, debieran pasarse los valores a UF, que considera el efecto de la inflación.

El detalle de los precios de cada energético se detalla en el Anexo 2. En la Tabla 7.17, se resumen estos valores.

**Tabla 7.17** Precio de energéticos (combustibles y electricidad)

Energético	Fuente	Año	Localidad	Unidad	Precio energético [\$/uni]
Gas natural <sup>(*)</sup>	(Metrogas S.A., 2010)	2010	RM <sup>(**)</sup>	[m <sup>3</sup> ]	\$ 889
Gas licuado	(Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010)	2010	RM <sup>(**)</sup>	[kg]	\$ 882
Electricidad <sup>(*)</sup>	(Chilectra S.A., 2010)	2010	RM <sup>(**)</sup>	[kWh]	\$ 108
Leña	(Universidad de Concepción, 2002)	2002, actualizado a 09 Dic. 2010	Temuco y Padre Las Casas	[m <sup>3</sup> ]	\$ 11.090
Kerosene	(Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010)	2010	RM <sup>(**)</sup>	[lt]	\$ 475

<sup>(\*)</sup>Precio equivalente de energético

<sup>(\*\*)</sup>RM: Región Metropolitana

## 7.5.2 Costo del consumo energético en calefacción

Para determinar cuánto dinero se gasta mensualmente en calefacción, en una vivienda promedio, se debe desglosar el consumo de energía en cada energético, pues cada uno posee un precio distinto. Al respecto, se considerará el precio actual de ellos, por lo que el costo del consumo energético en calefacción corresponderá al del año 2010, debiendo ajustarse por el IPC, que considera la inflación, para obtenerlo en cualquier otro año.

En base a los resultados de la encuesta del consumo total anual de energía en el sector residencial de Chile (ver Figura 5.3), se tiene lo siguiente:

**Tabla 7.18** Consumo total anual de energía por hogar y consumo anual en calefacción

Consumo total anual de energía [kWh/año]	7.552
% Consumo en calefacción	29,11%
Consumo anual de energía en calefacción [kWh/año]	2.198

El desglose del consumo de energía en calefacción entre los distintos energéticos se hace en base a los resultados de la encuesta, obteniendo lo siguiente:

**Tabla 7.19** Consumo anual de energéticos (combustibles y electricidad) en calefacción para un hogar promedio

Energético	% Consumo en calefacción por energético	Consumo anual por energético [kWh]	Consumo anual por energético [uni]
Gas natural	6,1%	133	14 [m <sup>3</sup> ]
Gas licuado	25,9%	569	44 [kg]
Electricidad	6,4%	142	142 [kWh]
Leña	59,8%	1.314	459 [kg]
Kerosene	1,8%	40	3 [lt]
	<b>Total</b>	<b>2.198</b>	

Con estos consumos y el precio de cada energético, se puede calcular el costo total anual de energía en calefacción.



**Tabla 7.20** Costo total anual de energía en calefacción para un hogar promedio

Energético	Unidad	Precio energético [\$/uni]	CALEFACCIÓN	
			Consumo anual por energético [uni/año]	Costo anual por energético [\$/año]
Gas natural	[m <sup>3</sup> ]	\$ 889	14 [m <sup>3</sup> /año]	\$ 12.135
Gas licuado	[kg]	\$ 882	44 [kg/año]	\$ 39.231
Electricidad	[kWh]	\$ 108	142 [kWh/año]	\$ 15.265
Leña	[m <sup>3</sup> ]	\$ 11.090	0,77 [m <sup>3</sup> /año] <sup>(*)</sup>	\$ 8.566
Kerosene	[lt]	\$ 475	3 [lt/año]	\$ 1.489
			<b>Total [\$/año]</b>	<b>\$ 76.686</b>
			<b>Total [\$/mes invierno] <sup>(**)</sup></b>	<b>\$ 12.781</b>

<sup>(\*)</sup> Considerando 600 kg/m<sup>3</sup> estéreo de leña (FUENTE: Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco (Lobos, 2001))

<sup>(\*\*)</sup> Se consideran 6 meses de calefacción por año

Teniendo el consumo y gasto mensual en calefacción (2.198 [kWh/año] y \$12.781/mes, respectivamente), se puede determinar un precio de energía equivalente, que permite calcular cuánto se gasta en calefacción cuando se tiene el consumo medido en una única medida, [kWh]. Este precio de energía equivalente considera al mismo tiempo los precios de los distintos energéticos, es decir, tanto el de la electricidad como el de los distintos combustibles. El precio de energía equivalente resultó ser 34,89 [\$/kWh].

Se requiere corroborar el resultado de **\$12.781/mes** invierno, como el **gasto promedio mensual de una familia en calefacción** en el año 2010, para lo cual se recurre a otras fuentes en que se haya estudiado el consumo de energía en el hogar.

La Cámara Chilena de la Construcción, desarrolló un estudio acerca de la reglamentación térmica en Chile (Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Fundamenta N°10, 2003), donde expone que el gasto promedio anual por familia en los diferentes combustibles y electricidad, era de \$40.000, según la Encuesta Nacional de Presupuestos de 1997, que se realiza cada 10 años. Si se consideran 6 meses de calefacción, como se ha hecho en este estudio<sup>2</sup>, el consumo mensual en ello, en el año 1997, era de \$6.667/mes.

En la encuesta del año 2007, disponible en el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2009), se expone el siguiente gasto mensual promedio en combustibles y electricidad por hogar.

**Tabla 7.21** Gasto mensual promedio en energéticos (combustibles y electricidad) por hogar

	Gasto mensual promedio (pesos abril 2007)				
	Grupo quintil (Hogares ordenados de acuerdo al ingreso del hogar)				
	1	2	3	4	5
Número de viviendas	326.475	326.475	326.475	326.475	326.475
Gasto energéticos (combustibles y electricidad)	\$ 19.219	\$ 25.410	\$ 29.703	\$ 37.757	\$ 56.633

FUENTE: En base a la VI Encuesta de presupuestos familiares, noviembre 2006 - octubre 2007, Volumen I, Cuadros 1 y 2 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2009)

<sup>2</sup> Los meses de calefacción varían de acuerdo a cada ciudad (ver Tabla 5.6). Por simplicidad, se han considerado en este estudio 6 meses de calefacción, independientemente de la ciudad.

El gasto mensual en calefacción se calcula considerando que el 29,11% de la energía de combustibles y electricidad se utiliza para calefaccionar la vivienda, de acuerdo a los resultados de la encuesta (ver Tabla 7.18).

**Tabla 7.22** Gasto mensual promedio en calefacción por hogar

	Gasto mensual promedio (pesos abril 2007)				
	Grupo quintil (Hogares ordenados de acuerdo al ingreso del hogar)				
	1	2	3	4	5
Número de viviendas	326.475	326.475	326.475	326.475	326.475
Gasto mensual en calefacción	\$ 5.594	\$ 7.396	\$ 8.646	\$ 10.990	\$ 16.484

FUENTE: En base a la VI Encuesta de presupuestos familiares, noviembre 2006 - octubre 2007, Volumen I, Cuadros 1 y 2 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2009)

A partir de la tabla anterior, se calcula el promedio ponderado del gasto mensual en calefacción, que resulta ser de \$ 9.822/mes para el año 2007.

Los valores calculados para el gasto mensual en calefacción, dependen del valor del peso al año 1997 y 2007. Para determinar el gasto mensual en calefacción para el año 2010, se debe incluir el efecto de la inflación, para lo cual se actualizan los resultados mediante el valor de la UF.

**Tabla 7.23** Actualización del gasto mensual en calefacción por hogar, al año 2010

Fuente	Gasto mensual en calefacción	Valor UF	
		[\$]	año
Encuesta de presupuestos familiares 1997 <sup>(*)</sup>	\$ 6.667	\$ 13.648	promedio 1997
Encuesta de presupuestos familiares 2007 <sup>(**)</sup>	\$ 9.822	\$ 18.787	promedio 2007
Gasto actualizado al 2010, en base al valor promedio de la UF al 2007	\$ 11.209	\$ 21.440	09-dic-10

FUENTE: <sup>(\*)</sup> (Cámara Chilena de la Construcción (CChC), Fundamenta N°10, 2003)  
<sup>(\*\*)</sup> (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2009)

El gasto mensual en calefacción actualizado al año 2010, resulta ser de \$11.209/mes.

En base al consumo obtenido de la encuesta que trata el presente estudio, y a los precios de combustibles y electricidad expuestos, se determinó que el gasto mensual promedio en calefacción es de \$12.781, cuyo valor está en el rango del gasto determinado a partir de la Encuesta de presupuestos familiares del año 2007 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2009), que resultó ser de \$11.209/mes. Con esto se valida el resultado del gasto mensual en calefacción por hogar, obtenido de la encuesta que es objeto de estudio en este informe.

### 7.5.3 Inversión requerida

Se realiza una estimación de la inversión que se requiere para llevar una casa que no cumple con la reglamentación térmica (caso base sin RT) a un estado en que se cumplen los estándares mínimos exigidos por la reglamentación (caso base con RT). Esta medida se analizó en el capítulo 6.3.2 y se determinó cuál es el ahorro de energía que produce respecto al caso base sin RT.

Como en esta parte se realizará una evaluación de la inversión y la recuperación del capital en el tiempo, gracias al ahorro de energía, se debe considerar el efecto de la inflación. Es por ello que todos los valores que se estiman a continuación, tanto para la inversión como para los ahorros, serán evaluados en UF que varía con el IPC (Índice de Precios al Consumidor). El IPC mide la variación de los precios de una canasta de bienes y servicios, consumida por un hogar urbano del Gran Santiago. Su propósito es estimar la inflación (o deflación según sea el caso) doméstica. La inflación es el alza sostenida de los precios. Al estar considerando los valores en UF, se está incorporando el efecto de la inflación en los precios. Tanto las tarifas de la electricidad, como la del agua y otras, se reajustan por el IPC. Por otro lado, los ahorros de los hogares también se reajustan por el IPC (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2010).

En este punto, es importante mencionar qué pasa actualmente con la inflación y el precio de la energía. Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el IPC en enero 2011 subió un 0,3% respecto al año anterior. Con esta cifra, la inflación a doce meses se situó en el 2,7%. Parte de esta alza se debe al incremento en los precios de la electricidad y combustibles (1,3%) (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2011). El encarecimiento de la energía se explica por las subidas del dólar, además de la dependencia y preponderancia de la hidroelectricidad en el país, ya que ante sequías debe ser reemplazada por generación a diesel. El alza en los precios de la energía tiene un impacto directo en la economía del hogar, ya que debe pagar más aún cuando mantenga constante su consumo de energía. En vista de lo anterior, si la familia invierte en ahorrar energía, entonces el efecto a largo plazo será aún más importante, si continúa el alza en las tarifas de electricidad y combustibles.

Para determinar la inversión que se requiere para llevar una vivienda a cumplir con la reglamentación térmica actual, se hace una estimación más bien gruesa que permita tener una idea del orden de magnitud del monto en dinero que debe gastarse para mejorar la aislación de la envolvente térmica de la vivienda. Si se requiere hacer un presupuesto más preciso de la inversión que debe hacerse, se debe cubicar la superficie en la que cual se va a instalar el material aislante y multiplicarla por el costo unitario del material y, en el caso de ventanas, determinar el número de vidrios que deben cambiarse y evaluarlos según el costo de cada uno, el cual puede variar de acuerdo al tamaño del vidrio, como es el caso de los ventanales.

Según un estudio preparado por la Cámara Chilena de la Construcción acerca de la reglamentación térmica en Chile (Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Fundamenta N°10, 2003), el costo de inversión por cada vivienda social que debiera hacerse para cumplir con la reglamentación térmica, sería del orden de 20 UF a 30 UF. Para efectos de este estudio, se considera una inversión promedio de 25 UF por vivienda, tomando en cuenta que las tipologías seleccionadas poseen distintas características y superficies que pudiesen aumentar o disminuir un tanto este valor. Por otra parte, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), otorga un subsidio por familia para poder mejorar su vivienda (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2010). El monto máximo de este subsidio es de 55 UF y requiere un ahorro mínimo de la familia de 3 UF. Por lo tanto, la inversión necesaria para que la vivienda cumpla con la reglamentación térmica (25 UF), puede ser financiada completa o parcialmente por este subsidio del Ministerio.

Tomando en cuenta que la inversión que realice la familia no puede recuperarse en un período mayor a 20 años (Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Fundamenta N°10, 2003), se determinan los subsidios mínimos requeridos para cada tipo vivienda. Para ello, se deben conocer los flujos anuales, además de la inversión en el período cero. Los flujos están dados por el ahorro económico producto de la disminución en el consumo de energía en calefacción, al aplicar la medida de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda tal que se cumplan las exigencias de la reglamentación térmica. Se considera además, una tasa de descuento de 7,8%, de acuerdo al estudio mencionado de la reglamentación térmica preparado por la CChC (Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Fundamenta N°10, 2003).

A continuación se expone un resumen con el subsidio mínimo necesario para que la inversión que haga la familia, pueda recuperarse en un período no mayor a 20 años.

**Tabla 7.24** Subsidio mínimo requerido para recuperar la inversión familiar en 20 años, según tipología y zona térmica

Tipología	Zona térmica	Medida	Inversión total	Inversión familia	Subsidio requerido
			[UF]	[UF]	[UF]
Tipología 1	Zona 2	Caso base con RT	25,0	4,3	20,7
	Zona 3	Caso base con RT	25,0	2,9	22,1
	Zona 4	Caso base con RT	25,0	15,1	9,9
Tipología 2	Zona 2	Caso base con RT	25,0	4,3	20,7
	Zona 3	Caso base con RT	25,0	3,3	21,7
	Zona 4	Caso base con RT	25,0	17,3	7,7
Tipología 3	Zona 2	Caso base con RT	25,0	4,7	20,3
	Zona 3	Caso base con RT	25,0	3,7	21,3
	Zona 4	Caso base con RT	25,0	19,3	5,7
Tipología 4	Zona 2	Caso base con RT	25,0	3,8	21,2
	Zona 3	Caso base con RT	25,0	2,9	22,1
	Zona 4	Caso base con RT	25,0	14,3	10,7

Los subsidios mínimos que se necesitan para viviendas ubicadas en las zonas térmicas 2 y 3 son elevados, superiores a 20 [UF], lo cual significa un 80% de la inversión total, mientras que en el zona 4 el subsidio requerido es bastante menor, va desde las 5 [UF] a las 10 [UF], de acuerdo a la tipología de vivienda que se trate. En las viviendas ubicadas en la zona 4, el capital invertido se recupera más rápido en el tiempo, ya que el ahorro anual de energía al llevar la casa a los estándares mínimos exigidos por la reglamentación térmica, es mayor en esta zona.

La entrega de subsidios por parte del Gobierno es un gasto social que realiza en pos del bienestar de la ciudadanía. El ahorro de energía que deriva de la implementación de medidas de eficiencia energética en calefacción, lo perciben directamente las personas en sus cuentas de energía, e indirectamente el país, a través de la energía que se deja de producir o que se puede reutilizar en otras funciones. Si se mejorara la aislación térmica en todas las viviendas del país, entonces el ahorro de energía a nivel nacional sería considerable.

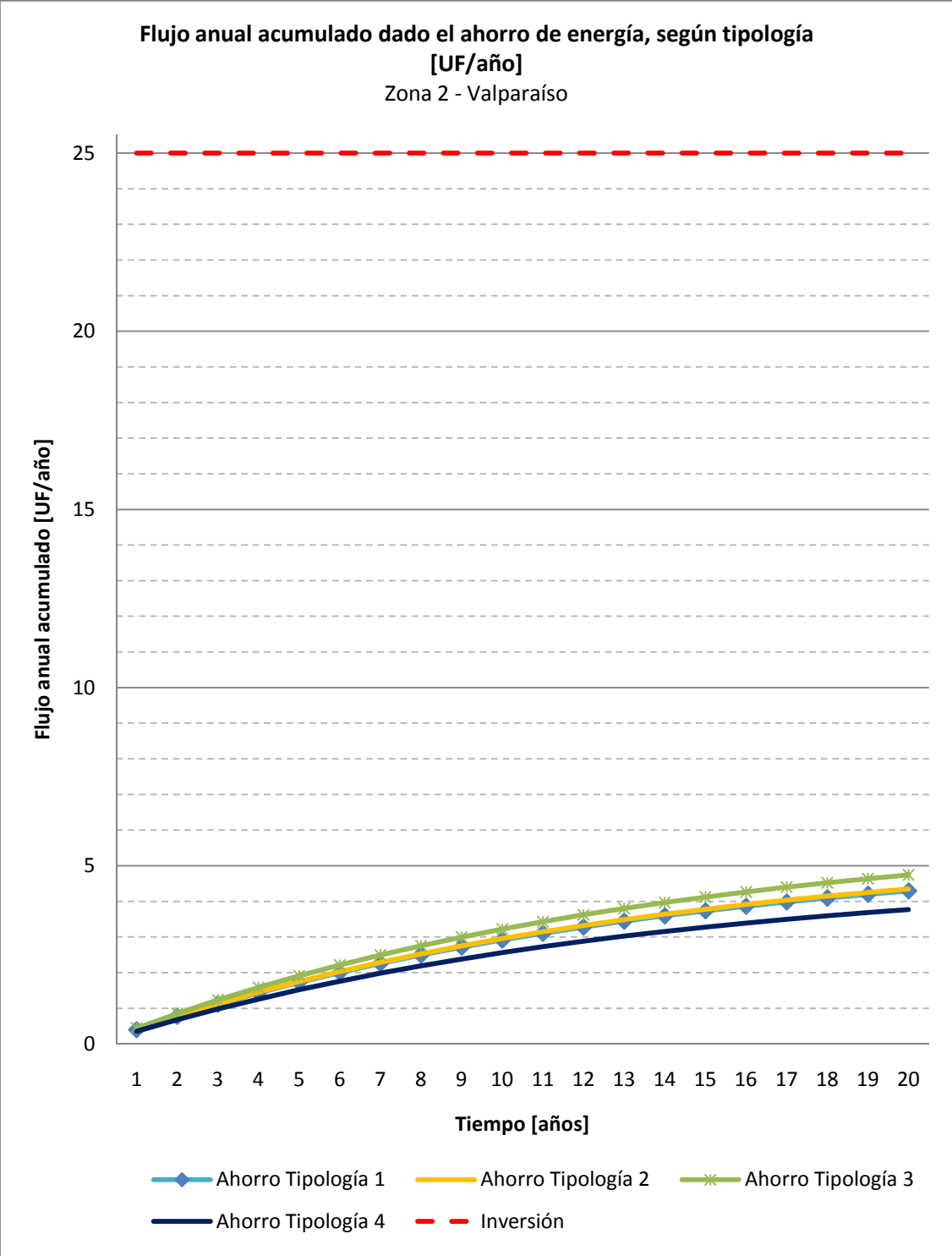
Independientemente de las fuentes de financiamiento, subsidio o familia, interesa determinar en cuanto tiempo se recuperará la inversión realizada (Inversión total: 25 [UF]) gracias al ahorro de energía de llevar una vivienda antigua (su aislación no cumple la reglamentación térmica actual) a cumplir con la reglamentación térmica. Para ello se utiliza el período de recuperación del capital descontado o payback descontado.

El payback se obtiene contando el número de períodos que toma igualar los flujos de caja acumulados con la inversión inicial. Si el payback es menor que el máximo período definido por las personas que invierten, entonces se acepta el proyecto. Como se mencionó previamente, el período máximo que se considera para que las personas recuperen su capital, es de 20 años. Este indicador tiene la ventaja de ser un método muy simple en cuanto al cálculo y la fácil comprensión por parte de las personas. Además, tiene una consideración básica respecto al riesgo: a menor payback, menor es el riesgo.

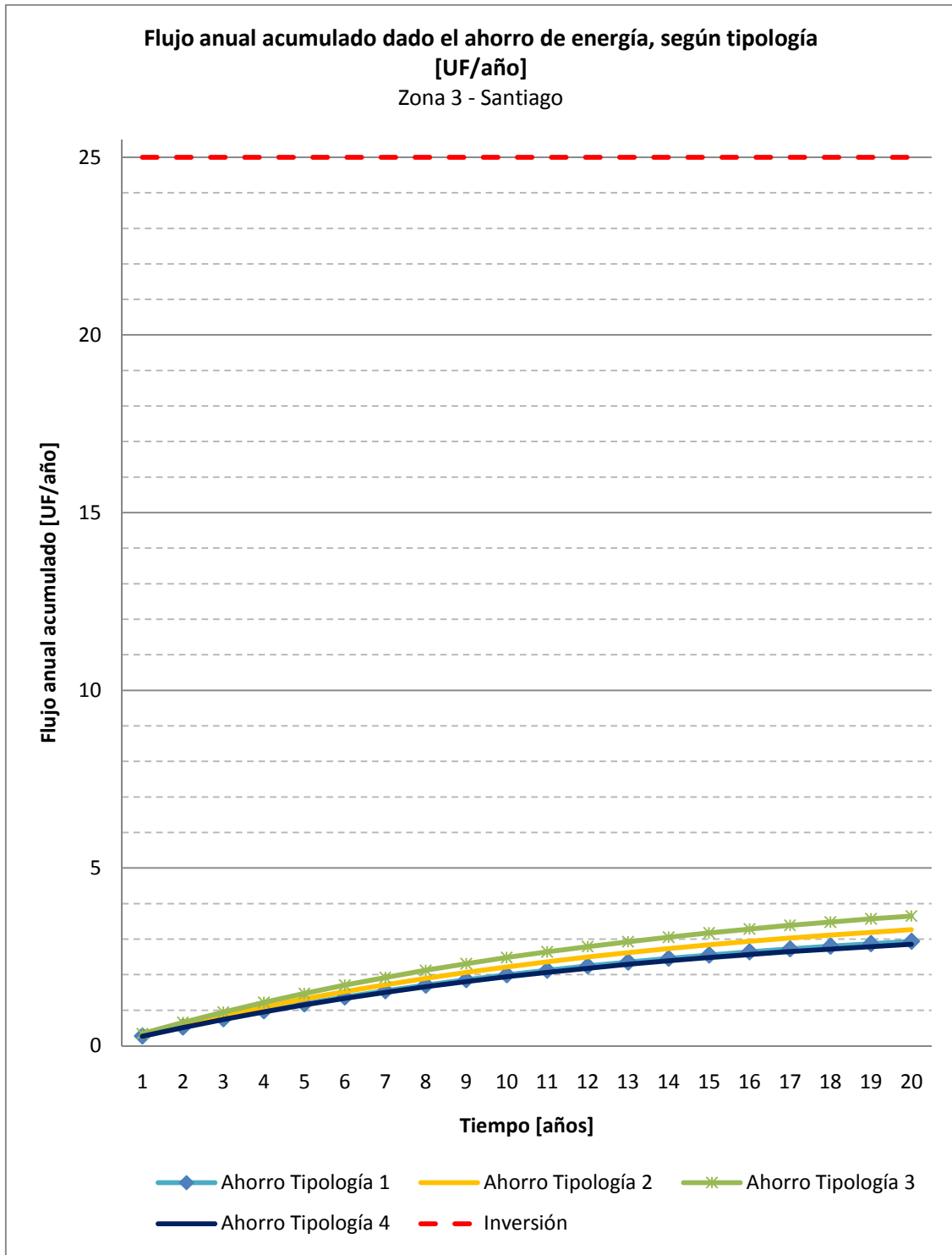
El payback descontado es un indicador mejorado que a diferencia del payback, toma en cuenta el efecto del tiempo en los flujos. Tiene la ventaja de considerar un descuento por tiempo y riesgo.

El período de recuperación de capital descontado depende del nivel de ahorro que genere la implementación de cierta medida, lo cual varía de acuerdo a la zona térmica y a la tipología de vivienda que se esté hablando (ver Tabla 7.24).

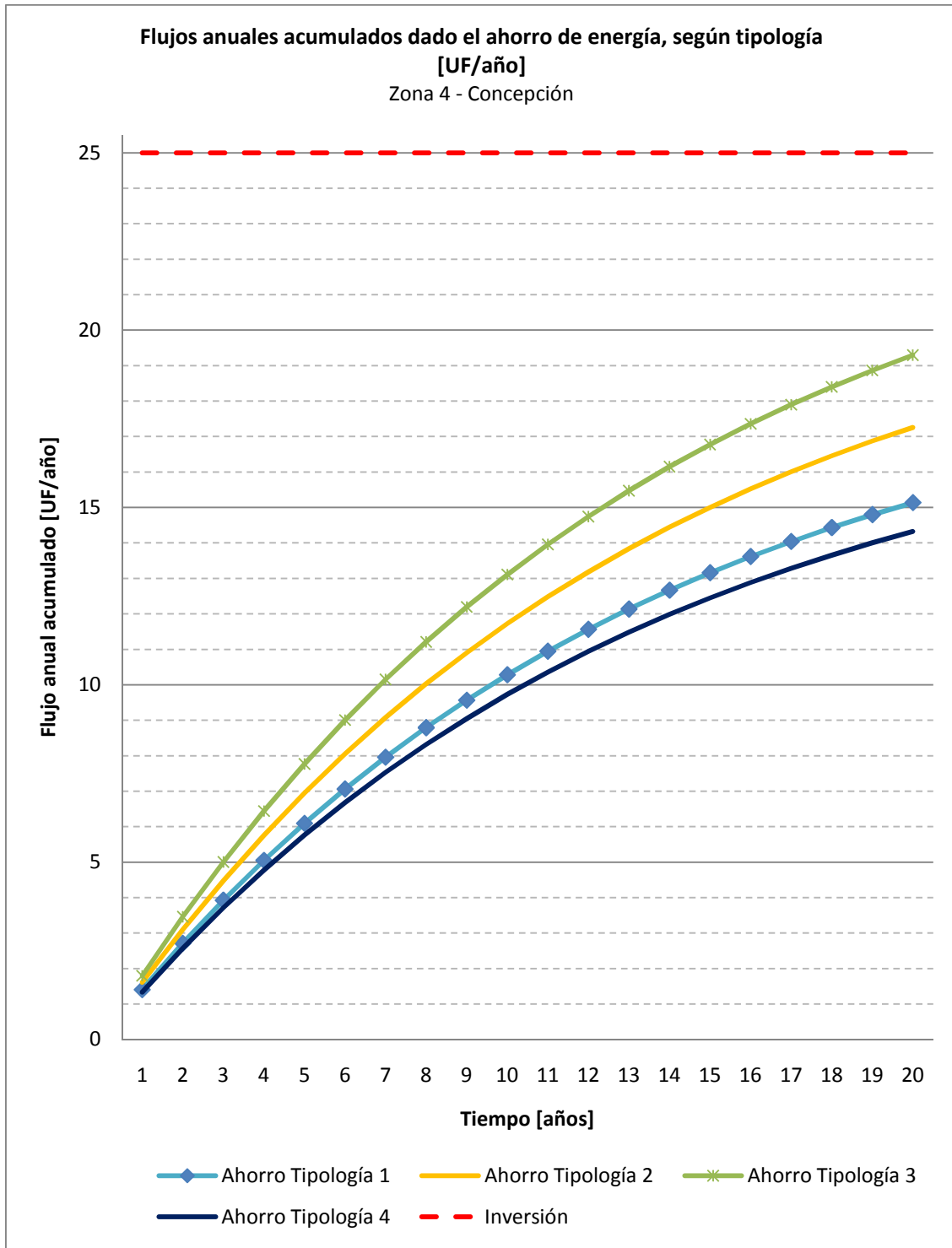
A continuación, se exponen los flujos positivos acumulados debido al ahorro anual de energía, según zona térmica y tipología, con un horizonte de evaluación de 20 años. En las mismas figuras se indica la inversión total realizada (25 [UF]) para estimar el período de recuperación de capital descontado. Se analiza sólo la medida de llevar una vivienda antigua (caso base sin RT) a cumplir los estándares mínimos exigidos por la reglamentación térmica (caso base con RT).



**Figura 7.9** Flujo anual acumulado para las tipologías de vivienda seleccionadas ubicadas en Valparaíso



**Figura 7.10** Flujo anual acumulado para las tipologías de vivienda seleccionadas ubicadas en Santiago



**Figura 7.11** Flujo anual acumulado para las tipologías de vivienda seleccionadas ubicadas en Concepción



Lo primero que hay que hacer notar de las figuras anteriores, es que el comportamiento de las curvas es bastante diferente entre la zona 4, representada por la ciudad de Concepción, con el resto de las zonas, 2 y 3, representadas por Valparaíso y Santiago respectivamente. Como se vio anteriormente, las viviendas intervenidas que están ubicadas en la ciudad de Concepción, generan un mayor nivel de ahorro de energía que el del resto, por lo que el período de recuperación de capital será bastante menor. No obstante lo anterior, a los 20 años de realizada la inversión, aún no se ha recuperado completamente el capital. Este caso es más crítico para viviendas ubicadas en las ciudades de Valparaíso y Santiago, ya que a los 20 años se habrá recuperado recién un 20% de la inversión inicial (cerca de 5 [UF]). La tendencia de la curva en tal año se mantiene casi constante, pues al llevar los flujos anuales de períodos muy lejanos a valor presente resultan ser muy pequeños y no aportan mayormente al flujo anual acumulado.

En orden decreciente, las tipologías de vivienda que recuperan más rápido el capital invertido para cumplir con la reglamentación térmica, son: tipología 3, tipología 2, tipología 1 y tipología 4. Esto está directamente relacionado con el ahorro anual de energía que se produce al mejorar la envolvente térmica de la vivienda, tal como se especifica en la reglamentación.

## 7.6 Fichas: Caracterización del consumo de energía en la vivienda y análisis de eficiencia energética en calefacción

En el presente estudio se han desarrollado una serie de cálculos respecto al consumo de energía en la vivienda. También se han evaluado distintas medidas para reducir el consumo de energía en calefacción, a partir de la intervención y el mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda. Estos temas se han analizado considerando distintos casos, que se definen en base a: la ciudad en que se ubique la vivienda (zona térmica) y al tipo de agrupación que ésta posea.

Dada esta cantidad de información, surge la necesidad de resumirla en un solo documento, de modo que si se quiere evaluar una determinada vivienda, se pueda recurrir a tal documento y así contar con toda la información necesaria en un solo lugar, para poder hacer un buen diagnóstico del consumo energético de la vivienda y las posibles intervenciones que se pueden realizar para poder reducir tal consumo. Al presentar la información de tal manera, el acceso a la información es más sencillo y directo, permitiendo que la toma de decisiones, tanto por parte de la familia como por el Gobierno, sea más fácil.

En vista a tal necesidad, se confeccionaron unas fichas que identifican cada caso analizado en este estudio, sintetizando en una página la información y resultados que se tienen para cada uno de ellos. Estas fichas pueden ser tomadas como modelo para analizar otros casos de viviendas, ya que el carácter de la información presentada es ajustable a cualquier otro tipo de vivienda.

En las fichas se muestran los resultados del consumo anual de energía, obtenidos a partir de la encuesta (capítulo 5), y la evaluación realizada, respecto a la implementación de medidas de eficiencia energética en calefacción (capítulo 7).

A continuación se expone un ejemplo de las fichas y se explica qué información se presenta en cada uno de los sectores que la componen.

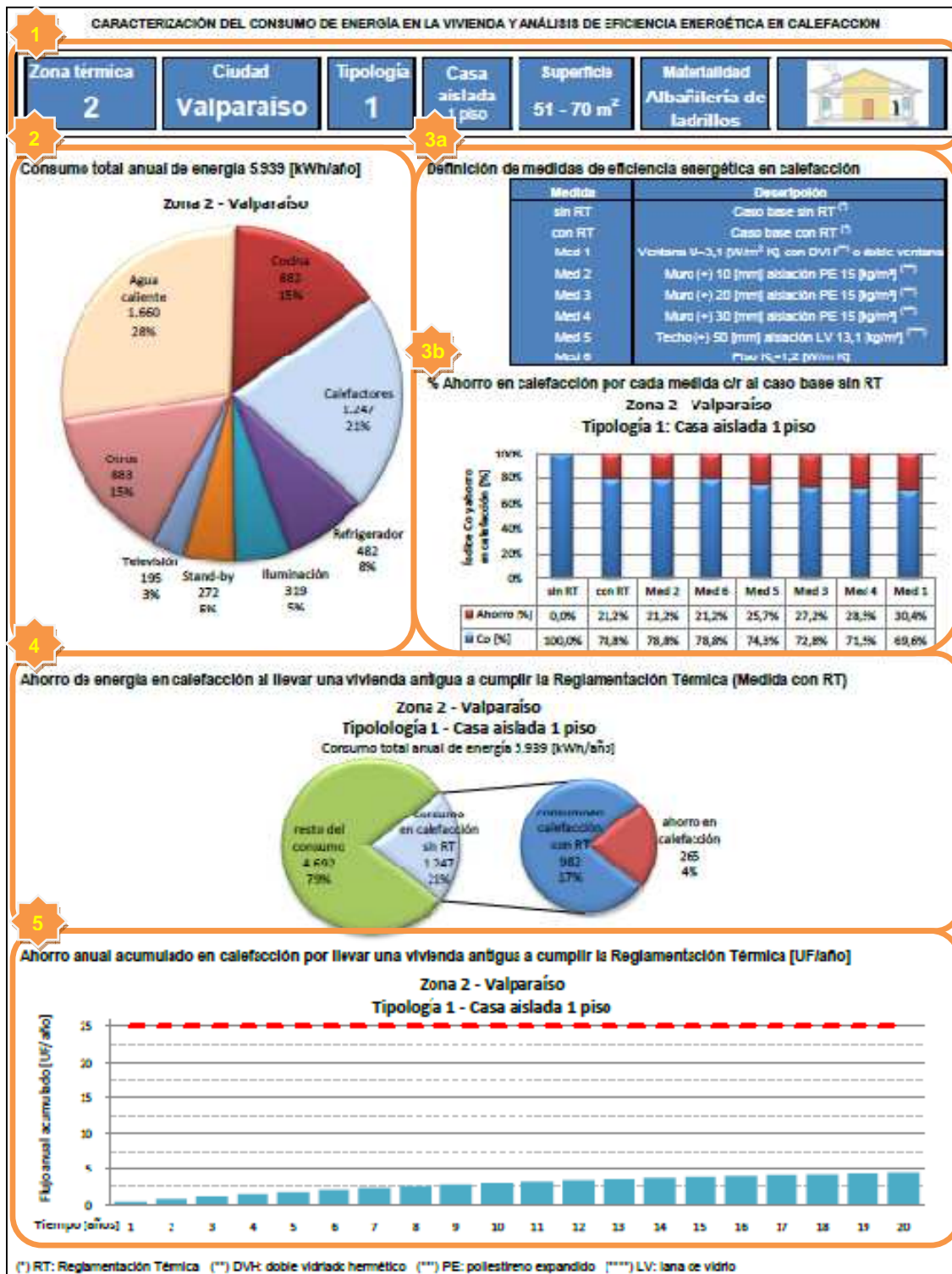


Figura 7.12 Ejemplo ficha: Caracterización del consumo de energía en la vivienda y análisis de eficiencia energética en calefacción



## Identificación de la vivienda

En esta parte se indican las características generales de la vivienda:

- Zona térmica (según la zonificación térmica de la O.G.U.C. Art. 4.1.10)
- Ciudad (ubicación de la vivienda)
- Clasificación de tipología de vivienda (número de la tipología de vivienda, según la clasificación hecha en este estudio)
- Descripción de tipología de vivienda (casa aislada, pareada o departamento; número de pisos)
- Superficie (en m<sup>2</sup>)
- Materialidad (material principal con el que está construida la vivienda)
- Imagen (representación gráfica de la tipología de vivienda)



## Consumo total anual de energía

En el título se expone el consumo total anual de energía [kWh/año] de una vivienda promedio. Se identifica el consumo por zona térmica y ciudad en que se ubique la vivienda.

Se muestran los consumos anuales de energía [kWh/año] por cada artefacto y sistema que se utilice en el hogar y cuánto representan respecto del consumo total de energía [%]. Se consideran:

- Agua caliente
- Cocina
- Calefactores
- Refrigerador
- Iluminación
- Stand-by
- Televisión
- Otros



## Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Se identifican las medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda y se especifica brevemente de qué se trata cada una.

El caso base sin RT se define como una vivienda que no cumple con la reglamentación térmica (RT) actual, es decir, construida antes del año 2007 (caso base sin RT).

El caso base con RT, se define como una vivienda que cumple con las exigencias mínimas para la envolvente térmica.



## % Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

En este sector de la ficha se muestra el ahorro de energía en calefacción (rojo) generado por la aplicación de cada una de las medidas definidas anteriormente y como complemento a ello, la reducción en la demanda de energía en calefacción (azul). El índice C<sub>0</sub>, o demanda de energía en calefacción, se define en el capítulo 7.2. Tanto la demanda como el ahorro se miden con respecto al caso base sin RT.



#### **Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la reglamentación térmica (Medida con RT)**

En esta parte se muestra el consumo en calefacción de una vivienda sin RT y con RT. Se muestra cuánto representa el ahorro de energía en calefacción al cumplir con la reglamentación térmica, con respecto al consumo total anual de energía de la vivienda.



#### **Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir con la reglamentación térmica [UF/año]**

Este gráfico muestra los flujos anuales acumulados, que resultan del ahorro de energía en calefacción cuando a una vivienda que no cuenta con la aislación mínima que estipula la reglamentación térmica actual, se le mejora la aislación de la envolvente térmica para así cumplir con las disposiciones de la reglamentación. Se muestra además, la inversión requerida para implementar tal medida, que es aproximadamente 25 [UF].

Este gráfico es importante tanto para la familia, como para el Estado, ya que permite evaluar económicamente cuánto se debe gastar para ahorrar una cierta cantidad de energía en la vivienda. Como la inversión requerida para esta medida no se recupera en un período de tiempo corto, el Estado debería otorgar un subsidio para financiar parcial o totalmente la inversión. Este gráfico puede ser aplicado a otras medidas de eficiencia energética en calefacción.

El detalle de cada una de las fichas está en el Anexo 3: Fichas: Caracterización del consumo de energía en la vivienda y análisis de eficiencia energética en calefacción.

## 7.7 Discusión de resultados y conclusiones

Para cumplir con las exigencias mínimas de transmitancia térmica y  $R_{100}$  que estipula la reglamentación térmica actual, se determinó que para muros de ladrillo de 14 [mm] de espesor, aislados con poliestireno expandido de 15 [kg/m<sup>3</sup>], se debe colocar como mínimo 10 [mm] de este material aislante en la ciudad de Valparaíso (zona térmica 2) y con 20 [mm] en las ciudades de Santiago (zona térmica 3) y Concepción (zona térmica 4). No se recomienda aislar los muros más allá de 40 [mm] de poliestireno expandido, ya que a partir de tal espesor las variaciones del flujo térmico a través del muro son demasiado pequeñas como para generar una mejora importante en la calidad térmica del muro.

Respecto a la techumbre de casas, compuesta por lana de vidrio de 13,1 [kg/m<sup>3</sup>] como aislante y una placa de yeso-cartón, se recomienda aislar con 70 [mm] en la ciudad de Valparaíso, 90 [mm] en Santiago y 110 [mm] en Concepción, de modo que se cumpla con la reglamentación térmica actual. Para la techumbre de un edificio de departamentos, compuesto por poliestireno expandido de 15 [kg/m<sup>3</sup>] como material aislante y una losa de hormigón de 120 [mm] de espesor, se requiere aislar con 70 [mm] en Valparaíso, 80 [mm] en Santiago y 110 [mm] en Concepción.

En el análisis de medidas de eficiencia energética en calefacción, referidas al mejoramiento de la aislación térmica, se obtuvo que al llevar una vivienda a cumplir con la reglamentación térmica actual, se ahorra cerca de un 20% de la energía consumida en calefacción, variando según zona térmica y tipología de vivienda. Este ahorro representa alrededor de un 6% del total de energía consumida al año, considerando que los calefactores consumen el 29% del total.

Las medidas aplicadas sobre el cumplimiento de las exigencias mínimas de la reglamentación térmica actual, que generan mayor ahorro de energía son: el cambio de ventanas simples monolíticas por unas de doble vidriado hermético (DVH) o un sistema de doble ventana; y aislar los muros con 20 [mm] ó 30 [mm] más de los exigido por la reglamentación térmica. En cuanto al piso y la techumbre, se recomienda aislar sólo con lo indicado en la reglamentación, pues el ahorro que genera una aislación mayor, es bajo. Tales resultados pueden variar de acuerdo a las características particulares de cada vivienda.

Se determinó que el gasto mensual promedio en calefacción en una vivienda promedio es de \$12.781/mes. La inversión requerida para llevar una vivienda antigua a cumplir con la reglamentación térmica actual es de aproximadamente 25 UF/vivienda. El ahorro de energía producto de la implementación de esta medida, varía de acuerdo a la tipología de vivienda y, sobre todo, a la zona térmica en que se ubique. En general, en Concepción es donde se producen los mayores ahorros de energía en comparación a las ciudades de Valparaíso y Santiago, por lo que la inversión realizada se recuperaría en un período de tiempo menor que estas últimas ciudades. Sin embargo, en ningún caso se recupera el capital antes de los 20 años. Es por ello, que se requiere un subsidio por parte del Gobierno que financie el mejoramiento térmico de las viviendas, tal que cumplan con la reglamentación térmica actual.

---

## CAPÍTULO 8: DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

---

Este estudio se enfocó en caracterizar el consumo de energía a nivel residencial en Chile y, a partir de ello, identificar dónde hay que intervenir para reducir el consumo energético en las viviendas.

Los datos de la encuesta realizada para el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (Ministerio de Energía, 2010), permitieron hacer variadas estadísticas respecto al consumo de energía en la vivienda. Se seleccionó una muestra de 113 encuestas, a partir de un total de 3.220, que consistió en viviendas se ubican en las ciudades de Valparaíso, Santiago y Concepción, que son las más pobladas del país, según el Censo del año 2002 (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2002). Estas ciudades pertenecen a distintas zonas térmicas de acuerdo a la clasificación del Art. 4.1.10. de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006). De acuerdo a ello, Valparaíso pertenece a la zona térmica 2, Santiago a la zona térmica 3 y Concepción a la zona térmica 4.

La materialidad de las tipologías de viviendas que se analizaron fue albañilería de ladrillos, que es el material principal de construcción para cerca del 50% de las viviendas del país. En relación al tipo de agrupación de vivienda, se estudiaron las casas aisladas de 1 piso, las pareadas de 1 y 2 pisos y los departamentos en general. No se tomaron en cuenta las casas en fila, ya que representaban un porcentaje muy bajo del parque de viviendas actual del país (9,4%). En el caso de los departamentos, se determinó que los que se ubican en el último piso del edificio, es decir, en contacto con la techumbre, pierden más energía a través de este elemento que aquellos ubicados en el primer piso o algún piso intermedio. Así, se pierde más energía por el techo que por el piso, ya que en este caso, las pérdidas sólo se producen a través del perímetro de la vivienda, teniendo en consideración que el suelo (en el centro) posee una temperatura similar a la de la vivienda. Dado lo anterior, se determinó que el caso más favorable en cuanto a la ubicación de un departamento, es en un piso intermedio, pues como hay departamentos arriba y abajo y las temperaturas de éstos son similares, la transferencia de calor es nula y sólo se pierde energía por la fachada de muro expuesta al exterior.

Se analizó el consumo de energía de una vivienda, considerando tres factores: la ciudad en que se ubica (zona térmica), la tipología de vivienda que ésta posee y el nivel socio-económico de la familia que habita en ella.

En relación a la ubicación, se determinó que las viviendas ubicadas en Concepción, la zona más fría de las tres, consumen bastante más energía en calefacción que las ubicadas en Valparaíso y Santiago, llegando el consumo en calefactores a representar el 51% del consumo total anual de energía.

Al comparar el consumo anual de energía entre las distintas tipologías de viviendas, se determinó que las casas aisladas consumen más en calefacción que las pareadas, ambas de 1 piso. Además, las casas pareadas de 1 piso consumen menos en calefacción que las casas de 2 pisos. No obstante a lo anterior, el factor forma de la vivienda pudiera hacer que esta relación cambie, por lo que se debe analizar cada vivienda en particular. Los departamentos son los que requieren el menor consumo de energía en calefacción, respecto a los demás tipos de vivienda. Estas relaciones son lógicas desde el punto de vista del número de superficies expuestas al exterior, pues a través de ellas es donde se producen las pérdidas térmicas de energía. Así, una vivienda aislada pierde energía por todas sus fachadas de muro, mientras que las pareadas

poseen una cara en contacto con otra vivienda (pareo) por medio de la cual no se produce un flujo de calor importante, y lo mismo ocurre en el caso de los departamentos. Estos resultados, obtenidos a partir de la encuesta, se verificaron con el cálculo del gasto anual de energía en calefacción [kWh/año] para cada tipología, según zona térmica, considerando el factor  $G_{V2}$  de pérdidas térmicas totales y los grados-día de la zona que se trate.

Por otro lado, se determinó que las viviendas correspondientes a niveles socio-económicos más altos consumen más energía que las de estratos más bajos. Esta tendencia se acentúa en los calefactores, llegando a ser un 50% más alto en el nivel socio-económico 1 (ABC1), respecto a los otros niveles.

En cuanto al consumo total anual de electricidad, se observó que el refrigerador es el artefacto de mayor consumo eléctrico en la vivienda. Dado que ya se ha implementado el etiquetado para certificar el consumo de energía de los refrigeradores, se propone realizar una campaña educativa respecto a una conducta del buen uso de este artefacto, de modo de reducir las pérdidas de energía producto de mantener el refrigerador abierto por largo tiempo o colocar recipientes calientes en el interior. Se determinó que el consumo de los electrodomésticos en estado stand-by, es decir, en modo espera de ser utilizado, es comparable al consumo en iluminación. Si bien el consumo stand-by por cada artefacto es pequeño, si se tienen varios electrodomésticos en el hogar y todos se mantienen enchufados aún cuando no están siendo utilizados, el consumo total que resulte de ello será considerable. Respecto a lo anterior, se recomienda desenchufar todos los artefactos que no están siendo utilizados, pues sólo así se elimina el consumo stand-by. De acuerdo a los resultados de la encuesta, el consumo anual en iluminación para una vivienda promedio resultó ser bastante bajo (3%), lo cual puede explicarse por las distintas campañas que se han realizado en este último tiempo para reemplazar las ampollitas incandescentes por las de bajo consumo. Si bien éstas últimas son más caras, su vida útil es mayor y consumen un 20% menos de energía. Así, la inversión realizada se compensa con el ahorro de energía que éstas producen durante su vida útil.

Se determinó que el consumo de una vivienda promedio es de 7.552 [kWh/año], del cual los consumos más preponderantes se producen en calefacción (29% del total, 2.198 [kWh/año]) y en agua caliente sanitaria (30% del total, 2.238 [kWh/año]). El consumo anual de energía en agua caliente se reparte casi equitativamente en todos los meses del año, mientras que la calefacción se consume casi únicamente en la temporada de invierno (abril a septiembre). Es por ello que se seleccionó la calefacción como el caso más crítico, respecto al consumo de energía en el hogar y en él se analizó la implementación de distintas medidas de eficiencia energética. Estas medidas están referidas al mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda, aumentando la aislación en muros, techo o piso, o bien, cambiando los vidrios simples monolíticos de las ventanas por unos de doble vidriado hermético (DVH) o por un sistema de doble ventana. Al mejorar la aislación, disminuye la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente, reduciendo el flujo de energía a través de ellos y así, se reducen las pérdidas térmicas de la vivienda.

La mayor parte de las viviendas de Chile (98%) fueron construidas antes de que comenzara a regir la reglamentación térmica actual y, por lo tanto, no cumplen con las exigencias mínimas que se estipulan en la reglamentación para los elementos de la envolvente térmica. Se vio que la medida de llevar viviendas antiguas a cumplir con la reglamentación térmica actual, produce un ahorro aproximado del 20% de la energía consumida en calefacción, lo cual se traduce en cerca de un 6% de menor gasto en el consumo total anual de energía, con variaciones de acuerdo a la zona térmica y tipología que se esté evaluando. Este ahorro beneficia directamente a las personas que conforman el núcleo familiar, al ver reducido el monto que deben pagar en sus cuentas de electricidad y combustibles. Conjuntamente a lo anterior, el país también se beneficia de esta reducción en el consumo de energía en el sector



residencial, pues si todas las viviendas del país (5.261.252 unidades) se reacondicionaran para que cumplieran con la reglamentación térmica actual, el ahorro de energía a nivel nacional sería considerable (alrededor de 2.300 [GWh/año]). Es por ello, que se propone enfocar las medidas gubernamentales en mejorar la calidad térmica de las viviendas, ya que con ello, se reduce la demanda de energía y la energía que se ahorre puede destinarse a otros sectores energéticos, tales como la industria, el transporte, entre otros. Lo atractivo de esta medida es que beneficia directamente a las personas e incrementa el confort térmico que perciben en sus viviendas. Si se desea potenciar estos beneficios, aislando los elementos más allá de lo exigido por la reglamentación térmica actual, entonces se recomienda mejorar los vidrios simples monolíticos por unos de doble vidriado hermético (DVH) o un sistema de doble ventana, o bien, aumentar la aislación de los muros en 30 [mm] por sobre el espesor mínimo exigido en la reglamentación. Estas dos medidas son las que generan mayor ahorro de energía en calefacción, respecto al caso base de una vivienda sin la aislación que exige la reglamentación térmica actual. De acuerdo a los resultados de este análisis, no se recomienda aislar el techo ni el piso más allá de lo exigido en la reglamentación térmica, pues el ahorro que conlleva una mayor aislación es bajo. En base a la inversión requerida, si es que se debe escoger una de las medidas, se recomienda aislar los muros, ya que es más económico, aunque claramente depende de las superficies que se estén hablando. Además, en el caso de las ventanas DVH, hay que hacer una evaluación adicional de la orientación que éstas posean con respecto al sol, pues en verano pudiesen ser contraproducentes si con ellas se produce efecto invernadero en la vivienda por una radicación excesiva.

La reglamentación térmica actual fija los requerimientos térmicos mínimos de los elementos que conforman la envolvente térmica de la vivienda. Se verificó que al cumplir con estas exigencias mínimas, no se producirá condensación superficial en los muros, por lo que no se requiere en este sentido aumentar la aislación. No obstante lo anterior, se determinó hasta qué punto es conveniente aislar cada elemento de la envolvente para reducir el consumo de energía en calefacción. Considerando que los muros son de ladrillo de 14 [mm] de espesor, en Valparaíso se recomienda aislar con 10 [mm] de poliestireno expandido de 15 [kg/m<sup>3</sup>], y en Santiago y Concepción con 20 [mm] de tal aislante. En los muros de ladrillo, no se recomienda aislar más allá de 40 [mm] de poliestireno expandido de 15 [kg/m<sup>3</sup>], ya que el flujo térmico a partir de ese valor varía poco y las pérdidas de energía no se reducen significativamente. En consecuencia, la inversión necesaria para colocar más de 40 [mm] de espesor de aislante, podría ser mayor al ahorro que genere tal medida. En cuanto al techo de casas, conformado por una placa de yeso-cartón y lana de vidrio de 13,1 [kg/m<sup>3</sup>] como aislante, se recomienda aislar con 70 [mm] en la ciudad de Valparaíso, con 90 [mm] en Santiago y con 110 [mm] en Concepción. Lo importante es no aislar menos que 50 [mm], ya que el flujo térmico aumenta desventajosamente. El techo de departamentos se evaluó como una losa de hormigón armado normal y un aislante de poliestireno expandido de 15 [kg/m<sup>3</sup>]. Como resultado de este análisis, se llegó a que en Valparaíso se debe aislar con 70 [mm], en Santiago con 80 [mm] y en Concepción con 110 [mm].

Uno de los aportes más significativos de este estudio es que se ha desarrollado una metodología para el análisis del consumo de energía en las viviendas, lo cual permite evaluar el comportamiento de éstas e identificar dónde es más conveniente intervenir para reducir el consumo de energía. El método se resume en: caracterizar su consumo energético a través de la información que brindan las cuentas y a los datos recogidos directamente de los artefactos y sistemas que se utilizan en el hogar; identificar los puntos críticos en que se utiliza más energía; y finalmente, evaluar distintas medidas para reducir y hacer más eficiente el consumo energético. Como en el caso residencial, es probable que la calefacción resulte ser donde más se gasta energía, se propone evaluar medidas de mejoramiento de la envolvente térmica de la vivienda, a través del siguiente procedimiento: primero, identificar la zona térmica y ciudad en que se ubica la vivienda, junto con determinar su tipología (tipo de agrupación, año de

construcción, superficie, nº de pisos, materiales de construcción, nivel de aislación, etc.); luego, definir las medidas que serán evaluadas, de acuerdo a distintos niveles de aislación en cada uno de los elementos que conforman la envolvente térmica de la vivienda (muros, ventanas, techo y pisos); posteriormente, se procede a calcular la reducción de la demanda de energía al aplicar cada una de las medidas ya definidas, haciendo uso de un software adecuado o de manera manual, e identificar cuál de ellas es la que genera mayor ahorro de energía; finalmente, se calcula la inversión necesaria para implementar esta medida y, en base al ahorro que genera, se determina en cuánto tiempo se recuperará el capital.

La información recogida al aplicar esta evaluación del consumo energético en viviendas, se puede resumir en una ficha que se ha diseñado en el presente estudio, la cual engloba, tanto la caracterización del consumo de energía, como el análisis de eficiencia energética en calefacción. Al tener la información resumida de esta manera, con los datos mostrados de manera sencilla y directa, se facilita la evaluación de la vivienda y la toma de decisiones, respecto a intervenir para reducir el consumo de energía.

Por último, se plantea la necesidad de contar con una zonificación térmica más precisa en cuanto a la delimitación de las localidades por zonas térmicas, incorporando las singularidades climáticas que se presentan en ciertas localidades, como San Felipe-Los Andes. Junto con ello, es necesario establecer un rango menos amplio de grados-día para cada zona térmica, ya que la diferencia entre el valor máximo y mínimo de aquel rango, incide directamente en los requerimientos térmicos de los edificios. Se plantea realizar una correlación entre las delimitaciones territoriales de la zonificación climático-habitacional, NCh 1079 Of.2008 (Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), 2008), y la zonificación térmica de Chile, (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10, 2006) de modo que, independientemente de qué zonificación se esté hablando, se puedan definir claramente cuáles son las necesidades de aislación térmica de cada vivienda.

En conclusión, este estudio permitió identificar que la calefacción es el punto más crítico en el consumo de energía en el hogar para la temporada de invierno y es en ella donde se debieran enfocar las medidas como primera instancia de intervención. La inversión aproximada de llevar una vivienda antigua a cumplir con la reglamentación térmica actual es de 25 [UF], lo que debiera ser subsidiado por el Estado parcial o totalmente para que las familias puedan percibir prontamente el ahorro que conlleva la implementación de esta medida. Es importante también analizar, qué es lo que ocurre con el agua caliente sanitaria e intentar reducir su consumo, ya que representa un porcentaje alto del consumo total anual de energía en la vivienda. Se propone estudiar este ítem con mayor detalle en algún otro informe. Es necesario además, evaluar cuál es la situación de las viviendas construidas antes del año 1976, que quedaron fuera de este estudio, y representan el 40,7% del parque actual de viviendas del país. Si estas viviendas no se reacondicionan o renuevan prontamente por unas que cumplan con la reglamentación térmica actual, seguirán consumiendo una cantidad importante de energía en calefacción, que como ya se vio, representa uno de los principales consumos en la vivienda. Finalmente, cabe destacar el aporte metodológico que se desarrolló en este estudio para la evaluación del consumo energético en las viviendas, y cómo toda la información que deriva de este análisis se resume en una sola ficha, cuyo formato permite facilitar la toma de decisiones al momento de intervenir para reducir el consumo de energía.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Bibliografía

1. Ábalos, M. (1997). *Estimación del consumo de leña en las regiones V, IX y X*. Memoria, Universidad de Chile, Departamento Manejo de Recursos Naturales, Santiago.
2. Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM). (2010). *Metodología de clasificación de niveles socio-económicos. Método usado por AIM Chile*. Recuperado el 25 de noviembre de 2010, de [www.aimchile.cl/gse.ppt](http://www.aimchile.cl/gse.ppt)
3. Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Fundamenta N°10. (2003). *Reglamentación Térmica*. Recuperado el 12 de noviembre de 2010, de [http://www.cchc.cl/DATA/Fotos\\_Link/Fundamenta10.pdf](http://www.cchc.cl/DATA/Fotos_Link/Fundamenta10.pdf)
4. Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Revista BIT N°61. (2008). *Estudio técnico. Confort térmico en las viviendas*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2010, de <http://www.cchc.cl/kwldg/databank/21264.pdf>
5. Chilectra S.A. (2010). *Tarifas de suministro eléctrico para clientes sujetos a regulación de precios*. Recuperado el 20 de noviembre de 2010, de [http://206.49.219.54/medios/ggcc/animacion\\_principal/Tarifas\\_Suministro\\_ClientesRegulados\\_2010\\_10.pdf](http://206.49.219.54/medios/ggcc/animacion_principal/Tarifas_Suministro_ClientesRegulados_2010_10.pdf)
6. Comisión Nacional de Energía (CNE). (2010). *Precio de combustibles en estaciones de servicio para el 11 de noviembre de 2010*. Recuperado el 20 de noviembre de 2010, de [http://www.cne.cl/cnewww/opencms/02\\_Noticias/noticia\\_detalle.jsp?noticia=/02\\_Noticias/10.0.1.1.energia/10.0.1.1.2.hidrocarburo/f\\_noti\\_10\\_11\\_2010](http://www.cne.cl/cnewww/opencms/02_Noticias/noticia_detalle.jsp?noticia=/02_Noticias/10.0.1.1.energia/10.0.1.1.2.hidrocarburo/f_noti_10_11_2010)
7. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC). (2008). *Aislación térmica exterior - Manual de diseño para soluciones en edificaciones*. Cámara Chilena de la Construcción.
8. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC). (2010). *Manual técnico - Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso*. Recuperado el 10 de diciembre de 2010, de [http://www.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05\\_Public\\_Estudios/descargas/Reacondicionamiento\\_termico\\_viviendas.pdf](http://www.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/Reacondicionamiento_termico_viviendas.pdf)
9. Donoso, N. (2009). *Análisis técnico-económico en mejoras de eficiencia energética para viviendas de precio entre 1000-3000 UF*. Memoria, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago.
10. Hernandez, D. (2009). *Implementación de soluciones constructivas para el mejoramiento de la envolvente térmica, y otros aspectos que influyen en la calidad y habitabilidad de la vivienda*. Memoria, Universidad Austral de Chile, Construcción Civil, Valdivia.
11. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2011). *IPC de enero registró variación de 0,3%*. Recuperado el 05 de marzo de 2011, de <http://www.ine.cl/noticia.php?opc=news&id=225&lang=esp>

12. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2010). *Preguntas frecuentes - IPC diciembre base 2008=100*. Recuperado el 20 de enero de 2011, de [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_precios/ipc/nuevo\\_ipc/preguntas\\_frecuentes.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_precios/ipc/nuevo_ipc/preguntas_frecuentes.php)
13. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2002). *Resultados generales Censo 2002*. Recuperado el 13 de octubre de 2010, de [http://www.ine.cl/cd2002/cuadros/1/C1\\_00000.pdf](http://www.ine.cl/cd2002/cuadros/1/C1_00000.pdf)
14. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2009). *VI Encuesta de presupuestos familiares. Noviembre 2006 - octubre 2007. Volumen I*. Recuperado el 23 de noviembre de 2010, de [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/encuestas\\_presupuestos\\_familiares/vencuest\\_a.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/encuestas_presupuestos_familiares/vencuest_a.php)
15. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2008). *NCh 1079 Of.2008*. Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
16. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1989). *NCh 1960 Of.1989*. Aislación térmica - Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas.
17. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1987). *NCh 1973 Of.1987*. Aislación térmica - Cálculo del aislamiento térmico para disminuir o eliminar el riesgo de condensación superficial.
18. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1994). *NCh 2251 Of.1994*. Aislación térmica - Resistencia térmica de materiales y elementos de construcción.
19. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1983). *NCh 850 Of.1983*. Aislación térmica - Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda.
20. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2008). *NCh 851 Of.2008*. Aislación térmica - Determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Cámara térmica calibrada y de guarda.
21. Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2007). *NCh 853 Of.2007*. Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
22. International Energy Agency (IEA). (2001). *Things that go blip in the night. Stanby power and how yo limit it*. Organisation for Economic Co-operation an Development (EECD), Francia.
23. Lobos, M. (2001). *Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco*. WWF, Temuco.
24. Metrogas S.A. (2010). *Listado de tipos de gas y servicios afines prestados por Metrogas S.A*. Recuperado el 20 de noviembre de 2010, de <http://w3.metrogas.cl/empresa/files/pdf/tarifas.pdf>
25. Ministerio de Energía. (2010). *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile*. Santiago.
26. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2006). *Manual de aplicación reglamentación térmica*. Santiago.

27. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2010). *Programa de protección del patrimonio familiar (PPPF), Título II, Proyecto de mejoramiento de la vivienda*. Recuperado el 12 de noviembre de 2010, de [http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls\\_cod\\_nodo=20090514200826&hdd\\_nom\\_archivo=PPPF-Marchihue%20y%20Navidad.pdf](http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?gls_cod_nodo=20090514200826&hdd_nom_archivo=PPPF-Marchihue%20y%20Navidad.pdf)
28. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2009). *Sistema de certificación energética de viviendas*. Recuperado el 25 de noviembre de 2010, de [http://www.buenaenergia.cl/576/articles-59076\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.buenaenergia.cl/576/articles-59076_doc_pdf.pdf)
29. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). *Manual de aplicación reglamentación térmica*. Santiago.
30. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) Art. 4.1.10. (2006). *Reglamentación Térmica*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
31. Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN). (2008). *Caracterización del consumo y estimación del potencial de ahorro de energía en las distintas regiones de Chile*. Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos.
32. Programa País de Eficiencia Energética (PPEE). (2009). *Acciones y proyecciones de eficiencia energética en edificación*. Recuperado el 25 de noviembre de 2010, de <http://rvconsultores.com/PPEECIVA.pdf>
33. Programa País Eficiencia Energética (PPEE). (2010). *Manual de eficiencia energética para la industria gráfica*. Recuperado el 26 de octubre de 2010, de [http://www.ppee.cl/576/articles-61928\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.ppee.cl/576/articles-61928_doc_pdf.pdf)
34. Rodríguez, G. (2009). *Física de la construcción. Conceptos térmicos*.
35. Rodríguez, G. (2002). *Temperatura de confort*. Recuperado el 12 de diciembre de 2010, de <http://www.revistabit.cl/revistabit/Uploads/27/961612435876341930025-27.pdf>
36. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2010). *Uso de calefactores a leña - ¿Está prohibido en forma permanente el uso de chimeneas de hogar abierto?* Recuperado el 20 de enero de 2011, de <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-49864.html>
37. Tokman, M. (2007). *Situación actual y política energética: ERNC*. Recuperado el 25 de noviembre de 2010, de [http://www.innovamineriacoquimbo.cl/archivos/Politica\\_Energetica\\_-\\_ERNC.pdf](http://www.innovamineriacoquimbo.cl/archivos/Politica_Energetica_-_ERNC.pdf)
38. Universidad de Concepción. (2002). *Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas*. Recuperado el 20 de noviembre de 2010, de <http://www.infolena.cl/educ/pub1.html>
39. Villanueva, J. (2009). *Estudio de aprovechamiento energético en viviendas habitacionales DFL-2 para tres zonas climáticas de Chile*. Memoria, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago.

## ANEXOS

### A.1 Anexo 1: Materialidad y características térmicas de los elementos de la envolvente de cada tipología de vivienda

#### A.1.1 Viviendas sin reglamentación térmica

**Tabla A.1** Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica de viviendas sin reglamentación térmica, ciudad Valparaíso

**Elementos**

Elemento	Materiales	e [m]	$\lambda$ [W/mK]	$R_i = e/\lambda$ [m²K/W]	$R_{si}$ [m²K/W]	$R_{se}$ [m²K/W]	$R_T$ [m²K/W]	U [W/m²K]
Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,42	2,36
	Poliestireno expandido	0	0,0413	0,00				
Ventanas	Marco: Aluminio	0,004	210	0,00	0,12	0	0,12	8,16
	Vidrio	0,003	1,2	0,00				
Puertas	Marco: Pino insigne	0,025	0,104	0,24	0,12	0	0,60	1,66
	Puerta: Pino insigne	0,025	0,104	0,24				
Techo casas	Lana de vidrio	0,04	0,044	0,91	0,09	0	1,05	0,95
	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05				
Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0,00	1,01	0,99
	Poliestireno expandido	0,035	0,0413	0,85				
Piso	Hormigón armado normal	0,12	1,63				$K_L$ [W/m K]	1,40

**Tabla A.2** Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica de vivienda sin reglamentación térmica, ciudad Santiago

**Elementos**

Elemento	Materiales	e [m]	$\lambda$ [W/mK]	$R = e/\lambda$ [m²K/W]	$R_{si}$ [m²K/W]	$R_{se}$ [m²K/W]	$R_T$ [m²K/W]	U [W/m²K]
Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0,05	0,47	2,11
	Poliestireno expandido	0	0,0413	0,00				
Ventanas	Marco: Aluminio	0,004	210	0,0000	0,12	0,05	0,17	5,80
	Vidrio	0,003	1,2	0,0025				
Puertas	Marco: Pino insigne	0,025	0,104	0,24	0,12	0,05	0,65	1,54
	Puerta: Pino insigne	0,025	0,104	0,24				
Techo casas	Lana de vidrio	0,045	0,044	1,02	0,09	0,05	1,21	0,82
	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05				
Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0,05	1,18	0,85
	Poliestireno expandido	0,04	0,0413	0,97				
Piso	Hormigón armado normal	0,12	1,63				$K_L$ [W/m K]	1,40

**Tabla A.3** Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica de viviendas sin reglamentación térmica, ciudad Concepción

**Elementos**

		<b>e</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>R_i = e/\lambda</math></b>	<b><math>R_{si}</math></b>	<b><math>R_{se}</math></b>	<b><math>R_T</math></b>	<b>U</b>
<b>Elemento</b>	<b>Materiales</b>	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]
Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,42	2,36
	Poliestireno expandido	0	0,0413	0,00				
Ventanas	Marco: Aluminio	0,004	210	0,00	0,12	0	0,12	8,16
	Vidrio	0,003	1,2	0,00				
Puertas	Marco: Pino insigne	0,025	0,104	0,24	0,12	0	0,60	1,66
	Puerta: Pino insigne	0,025	0,104	0,24				
Techo casas	Lana de vidrio	0,055	0,044	1,25	0,09	0	1,39	0,72
	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05				
Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0	1,50	0,67
	Poliestireno expandido	0,055	0,0413	1,33				
Piso	Hormigón armado normal	0,12	1,63				<b><math>K_L</math> [W/m K]</b>	1,40

Notar que las resistencias superficiales exteriores ( $R_{se}$ ) son cero para las ciudades de Valparaíso y Concepción, debido a que la velocidad del viento en estas localidades es superior a los 10 [km/h].

En las tablas siguientes, se expone un resumen de las propiedades de los elementos de la envolvente térmica y se añaden las superficies de éstos, según tipología y ciudad.

**Tabla A.4** Tipología 1 (casa aislada 1 piso) sin reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 126,39

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	57,23	134,86
Ventanas	0,12	8,16	14,67	119,73
Puertas	0,60	1,66	3,93	6,55
Techo casas	1,05	0,95	54,95	52,38
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	32,97	46,16

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 126,39

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,47	2,11	57,23	120,65
Ventanas	0,17	5,80	14,67	85,03
Puertas	0,65	1,54	3,93	6,04
Techo casas	1,21	0,82	54,95	45,31
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	32,97	46,16

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 126,39

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	57,23	134,86
Ventanas	0,12	8,16	14,67	119,73
Puertas	0,60	1,66	3,93	6,55
Techo casas	1,39	0,72	54,95	39,53
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	32,97	46,16



**Tabla A.5** Tipología 2 (casa pareada 1 piso) sin reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 179,37

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	81,18	191,30
Ventanas	0,12	8,16	10,65	86,96
Puertas	0,60	1,66	1,94	3,23
Techo casas	1,05	0,95	72,92	69,50
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	38,12	53,37

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 179,37

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,47	2,11	81,18	171,13
Ventanas	0,17	5,80	10,65	61,76
Puertas	0,65	1,54	1,94	2,99
Techo casas	1,21	0,82	72,92	60,13
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	38,12	53,37

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 179,37

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	81,18	191,30
Ventanas	0,12	8,16	10,65	86,96
Puertas	0,60	1,66	1,94	3,23
Techo casas	1,39	0,72	72,92	52,46
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	38,12	53,37

**Tabla A.6** Tipología 3 (casa pareada 2 pisos) sin reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 224,68

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	130,37	307,23
Ventanas	0,12	8,16	15,29	124,80
Puertas	0,60	1,66	3,50	5,83
Techo casas	1,05	0,95	53,05	50,57
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 224,68

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,47	2,11	130,37	274,85
Ventanas	0,17	5,80	15,29	88,63
Puertas	0,65	1,54	3,50	5,38
Techo casas	1,21	0,82	53,05	43,74
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 224,68

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	130,37	307,23
Ventanas	0,12	8,16	15,29	124,80
Puertas	0,60	1,66	3,50	5,83
Techo casas	1,39	0,72	53,05	38,17
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Tabla A.7** Tipología 4 (departamento-último piso) sin reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	64,59	152,21
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
Techo dpto.	1,01	0,99	60,23	59,57

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,47	2,11	64,59	136,17
Ventanas	0,17	5,80	16,66	96,55
Puertas	0,65	1,54	2,33	3,58
Techo dpto.	1,18	0,85	60,23	50,95

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	64,59	152,21
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
Techo dpto.	1,50	0,67	60,23	40,28

**Tabla A.8** Tipología 4 (departamento-piso intermedio) sin reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	64,59	152,21
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,47	2,11	64,59	136,17
Ventanas	0,17	5,80	16,66	96,55
Puertas	0,65	1,54	2,33	3,58

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	64,59	152,21
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87

**Tabla A.9** Tipología 4 (departamento-primer piso) sin reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	64,59	152,21
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,47	2,11	64,59	136,17
Ventanas	0,17	5,80	16,66	96,55
Puertas	0,65	1,54	2,33	3,58
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,42	2,36	64,59	152,21
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

## A.1.2 Viviendas con reglamentación térmica

**Tabla A.10** Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica de viviendas con reglamentación térmica, ciudad Valparaíso

Elementos		e	$\lambda$	$R_i = e/\lambda$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_T$	U
Elemento	Materiales	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]
Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,67	1,50
	Poliestireno expandido	0,01	0,0413	0,24				
Ventanas	Marco: Aluminio	0,004	210	0,00	0,12	0	0,12	8,16
	Vidrio	0,003	1,2	0,00				
Puertas	Marco: Pino insigne	0,025	0,104	0,24	0,12	0	0,60	1,66
	Puerta: Pino insigne	0,025	0,104	0,24				
Techo casas	Lana de vidrio	0,08	0,044	1,82	0,09	0	1,96	0,51
	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05				
Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0,00	1,86	0,54
	Poliestireno expandido	0,07	0,0413	1,69				
Piso	Hormigón armado normal	0,12	1,63				$K_L$ [W/m K]	1,40

**Tabla A.11** Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica de vivienda con reglamentación térmica, ciudad Santiago

Elementos		e	$\lambda$	$R = e/\lambda$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_T$	U
Elemento	Materiales	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[m <sup>2</sup> K/W]	[W/m <sup>2</sup> K]
Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0,05	0,96	1,04
	Poliestireno expandido	0,02	0,0413	0,48				
Ventanas	Marco: Aluminio	0,004	210	0,0000	0,12	0,05	0,17	5,80
	Vidrio	0,003	1,2	0,0025				
Puertas	Marco: Pino insigne	0,025	0,104	0,24	0,12	0,05	0,65	1,54
	Puerta: Pino insigne	0,025	0,104	0,24				
Techo casas	Lana de vidrio	0,09	0,044	2,05	0,09	0,05	2,24	0,45
	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05				
Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0,05	2,15	0,46
	Poliestireno expandido	0,08	0,0413	1,94				
Piso	Hormigón armado normal	0,12	1,63				$K_L$ [W/m K]	1,40

**Tabla A.12** Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica de viviendas con reglamentación térmica, ciudad Concepción

**Elementos**

<b>Elemento</b>	<b>Materiales</b>	<b>e</b> [m]	<b><math>\lambda</math></b> [W/mK]	<b><math>R_i = e/\lambda</math></b> [m <sup>2</sup> K/W]	<b>R<sub>si</sub></b> [m <sup>2</sup> K/W]	<b>R<sub>se</sub></b> [m <sup>2</sup> K/W]	<b>R<sub>T</sub></b> [m <sup>2</sup> K/W]	<b>U</b> [W/m <sup>2</sup> K]
Muro ladrillo	Ladrillo a máquina	0,14	0,46	0,30	0,12	0	0,91	1,10
	Poliestireno expandido	0,02	0,0413	0,48				
Ventanas	Marco: Aluminio	0,004	210	0,00	0,12	0	0,12	8,16
	Vidrio	0,003	1,2	0,00				
Puertas	Marco: Pino insigne	0,025	0,104	0,24	0,12	0	0,60	1,66
	Puerta: Pino insigne	0,025	0,104	0,24				
Techo casas	Lana de vidrio	0,11	0,044	2,50	0,09	0	2,64	0,38
	Yeso cartón	0,012	0,24	0,05				
Techo dpto.	Hormigón armado normal	0,12	1,63	0,07	0,09	0	2,83	0,35
	Poliestireno expandido	0,11	0,0413	2,66				
Piso	Hormigón armado normal	0,12	1,63				<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	1,40

**Tabla A.13** Tipología 1 (casa aislada 1 piso) con reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m³]** 126,39

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m²K/W]</b>	<b>[W/m²K]</b>	<b>[m²]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,67	1,50	57,23	85,87
Ventanas	0,12	8,16	14,67	119,73
Puertas	0,60	1,66	3,93	6,55
Techo casas	1,96	0,51	54,95	28,06
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	32,97	46,16

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m³]** 126,39

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m²K/W]</b>	<b>[W/m²K]</b>	<b>[m²]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,96	1,04	57,23	59,70
Ventanas	0,17	5,80	14,67	85,03
Puertas	0,65	1,54	3,93	6,04
Techo casas	2,24	0,45	54,95	24,58
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	32,97	46,16

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m³]** 126,39

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m²K/W]</b>	<b>[W/m²K]</b>	<b>[m²]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,91	1,10	57,23	62,99
Ventanas	0,12	8,16	14,67	119,73
Puertas	0,60	1,66	3,93	6,55
Techo casas	2,64	0,38	54,95	20,82
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	32,97	46,16



**Tabla A.14** Tipología 2 (casa pareada 1 piso) con reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 179,37

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,67	1,50	81,18	121,80
Ventanas	0,12	8,16	10,65	86,96
Puertas	0,60	1,66	1,94	3,23
Techo casas	1,96	0,51	72,92	37,24
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	38,12	53,37

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 179,37

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,96	1,04	81,18	84,68
Ventanas	0,17	5,80	10,65	61,76
Puertas	0,65	1,54	1,94	2,99
Techo casas	2,24	0,45	72,92	32,62
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	38,12	53,37

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 179,37

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,91	1,10	81,18	89,34
Ventanas	0,12	8,16	10,65	86,96
Puertas	0,60	1,66	1,94	3,23
Techo casas	2,64	0,38	72,92	27,62
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	38,12	53,37

**Tabla A.15** Tipología 3 (casa pareada 2 pisos) con reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 224,68

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,67	1,50	130,37	195,62
Ventanas	0,12	8,16	15,29	124,80
Puertas	0,60	1,66	3,50	5,83
Techo casas	1,96	0,51	53,05	27,09
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 224,68

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,96	1,04	130,37	136,00
Ventanas	0,17	5,80	15,29	88,63
Puertas	0,65	1,54	3,50	5,38
Techo casas	2,24	0,45	53,05	23,73
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 224,68

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,91	1,10	130,37	143,49
Ventanas	0,12	8,16	15,29	124,80
Puertas	0,60	1,66	3,50	5,83
Techo casas	2,64	0,38	53,05	20,09
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Tabla A.16** Tipología 4 (departamento-último piso) con reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,67	1,50	64,59	96,91
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
Techo dpto.	1,86	0,54	60,23	32,41

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,96	1,04	64,59	67,38
Ventanas	0,17	5,80	16,66	96,55
Puertas	0,65	1,54	2,33	3,58
Techo dpto.	2,15	0,46	60,23	28,01

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,91	1,10	64,59	71,09
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
Techo dpto.	2,83	0,35	60,23	21,31

**Tabla A.17** Tipología 4 (departamento piso intermedio) con reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,67	1,50	64,59	96,91
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,96	1,04	64,59	67,38
Ventanas	0,17	5,80	16,66	96,55
Puertas	0,65	1,54	2,33	3,58

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m<sup>3</sup>]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,91	1,10	64,59	71,09
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87

**Tabla A.18** Tipología 4 (departamento primer piso) con reglamentación térmica.  
Resistencias y transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, según ciudad

**Ciudad:** Valparaíso

**Volumen [m³]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m²K/W]</b>	<b>[W/m²K]</b>	<b>[m²]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,67	1,50	64,59	96,91
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Santiago

**Volumen [m³]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m²K/W]</b>	<b>[W/m²K]</b>	<b>[m²]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,96	1,04	64,59	67,38
Ventanas	0,17	5,80	16,66	96,55
Puertas	0,65	1,54	2,33	3,58
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

**Ciudad:** Concepción

**Volumen [m³]** 150,58

	<b>R<sub>T</sub></b>	<b>U</b>	<b>S</b>	<b>U*S</b>
<b>Elemento</b>	<b>[m²K/W]</b>	<b>[W/m²K]</b>	<b>[m²]</b>	<b>[W/K]</b>
Muro ladrillo	0,91	1,10	64,59	71,09
Ventanas	0,12	8,16	16,66	135,96
Puertas	0,60	1,66	2,33	3,87
		<b>K<sub>L</sub> [W/m K]</b>	<b>L [m]</b>	<b>K<sub>L</sub>*L [W/K]</b>
Piso		1,40	31,61	44,25

## A.2 Anexo 2: Precio de energéticos

El precio de los energéticos se obtuvo a partir de distintas fuentes:

- Gas natural: (Metrogas S.A., 2010)
- Gas licuado: (Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010)
- Electricidad: (Chilectra S.A., 2010)
- Leña: (Universidad de Concepción, 2002)
- Kerosene: (Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010)

A continuación se detallan los precios de cada uno de ellos:

## A.2.1 Gas natural

Para determinar el precio del gas natural, se utiliza como fuente las tarifas de la empresa Metrogas S.A. para la Región Metropolitana (RM) (Metrogas S.A., 2010). La tarifa vigente a partir del 04 de noviembre de 2010, para el segmento de servicio de gas natural, bajo consumo residencial, se expone en la siguiente tabla:

**Tabla A.19** Tarifas por tramos del gas natural

Tarifas por tramos		
Tramos en m <sup>3</sup> /30 días		Tarifas [\$/m <sup>3</sup> ]
Mayor que	Hasta	c/IVA
0	5	1.117
5	10	705
10	25	786
25	40	785
40	60	199
60	130	611
130	170	611
170	700	571
700	900	217
900	y más	500

FUENTE: Listado de tipos de gas y servicios afines prestados por Metrogas S.A., para el 04 de noviembre de 2010 (Metrogas S.A., 2010)

Como el precio del gas natural, varía de acuerdo al tramo en que esté el consumo, se requiere conocer en promedio, cuántos m<sup>3</sup> de gas natural se utilizan mensualmente en el hogar. En la Tabla 5.2 se expone el consumo total anual de gas natural que, de acuerdo a los resultados de la encuesta, son 145 [m<sup>3</sup>/año], equivalente a un consumo mensual de 12,12 [m<sup>3</sup>/mes]. Con este valor se determina el consumo mensual de gas natural en pesos. Según la Tabla A.19, el tramo en que se está es entre los 10 [m<sup>3</sup>/mes] y los 25 [m<sup>3</sup>/mes], resultando un costo total mensual de \$10.777 en gas natural.

En base a los consumos, se calcula proporcionalmente cuánto se gasta mensualmente en gas natural por motivos de calefacción. Considerando que el consumo anual de gas natural en calefacción es de 14 [m<sup>3</sup>/año] (Tabla 7.19), traducido a 1,14 [m<sup>3</sup>/mes], el gasto anual de gas natural en calefacción es de \$12.135 (\$1.011/mes).

Por lo tanto, el precio del **gas natural** se considera como **\$889/m<sup>3</sup>**.

## A.2.2 Gas licuado y kerosene

Según la lista de precios de combustibles en estaciones de servicio para el 11 de noviembre de 2010, publicado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) (Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010), el precio a público promedio estimado para la Región Metropolitana es:

**Tabla A.20** Precio del gas licuado y el kerosene

	<b>Precio público anterior encuestado</b>	<b>Variación estimada</b>	<b>Precio público nuevo estimado</b>
	08-11-2010		11-11-2010
Kerosene [\$/lt]	482	-7	475
Gas licuado [\$/kg]	890	-8	882

FUENTE: Precio de combustibles en estaciones de servicio, para el 11 de noviembre de 2010 (Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010)

Por lo tanto, el precio del **gas licuado** se considera como **\$882/kg** y el del **kerosene** como **\$475/lt**.



### A.2.3 Electricidad

La Comisión Nacional de Energía (CNE) ha dictado una serie de leyes referentes a las tarifas eléctricas. De acuerdo a la clasificación de tarifas, se encuentran las de alta y baja tensión. Dentro de esta última, está la tarifa BT-1, que es para clientes con medidor simple de energía (opción tarifa simple) y se compone de un cargo fijo mensual, un cargo por energía base y otro por energía adicional de invierno.

Chilectra tiene las siguientes tarifas de suministro eléctrico para clientes de la Región Metropolitana (RM) sujetos a regulación de precios, para el 01 de octubre de 2010 (Chilectra S.A., 2010):

**Tabla A.21** Precio de la electricidad

Valores netos y c/IVA		Área 1A (a)		
Tarifas de suministro		\$ Neto	\$ c/IVA	
BT-1	Cargo fijo	(\$/cliente)	535,9579	637,79
	Energía base	(\$/kWh)	86,8226	103,319
	E. adicional de invierno	(\$/kWh)	115,8579	137,871

FUENTE: Tarifas de suministro eléctrico para clientes sujetos a regulación de precios, para el 01 de octubre de 2010 (Chilectra S.A., 2010)

Chilectra S.A. fija como límite de consumo de energía en invierno, 350 [kWh/mes] para que no haya recargo. El consumo anual de electricidad en una vivienda promedio resultó ser de 2.135 [kWh/año] (ver Tabla 5.2), traducido mensualmente en 178 [kWh/mes]. Como este consumo mensual está por debajo de los 350 [kWh/mes], el recargo por energía adicional en invierno no se aplica.

Considerando un consumo anual de electricidad en calefacción de 142 [kWh] (ver Tabla 7.19), se tiene que el costo anual en electricidad para este uso es de \$15.265.

Por lo tanto, el precio de la **electricidad** se considera como **\$108/kWh**.

## A.2.4 Leña

Determinar cuál es el precio de la leña es complejo, ya que existen distintos productores y distribuidores del producto, quienes utilizan distintas unidades de venta y precios. En el estudio “Presurización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas”, desarrollado por la Universidad de Concepción, año 2002, (Universidad de Concepción, 2002), se realizó un análisis de la cadena de origen, producción, comercialización y consumo de leña, en base a una encuesta que realizaron a productores, distribuidores (picadurías y camiones) y consumidores de leña.

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en tal estudio, se exponen los siguientes precios de la leña, para distintas unidades de venta.

**Tabla A.22** Precios normalizados de la leña

Unidad de venta	Temuco	Padre Las Casas
m <sup>3</sup> estéreo <sup>(*)</sup>	\$ 9.318	\$ 7.780
Triciclo	\$ 12.000	-
Sacos	\$ 22.000	\$ 20.500
Canasto	\$ 17.000	\$ 21.600

<sup>(\*)</sup>Un metro cúbico estéreo corresponde a una ruma de leña de un metro de alto por uno de largo y uno de fondo.

FUENTE: Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas (Parte 2), Tabla 5.1.9 – Precios normalizados de la leña (1 m<sup>3</sup>), en pesos (Universidad de Concepción, 2002)

Se considera como medida estándar de la leña, el metro cúbico estéreo, cuyo valor promedio al año 2002, fue alrededor de \$8.549 (el valor promedio de la UF en el año 2002, fue de \$16.381). Actualizando este precio al año 2010, resulta ser de \$11.079 (valor de la UF al 09 de diciembre de 2010, es de \$21.440).

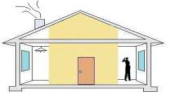
Por lo tanto, el precio de la **leña** se considera como **\$11.090/m<sup>3</sup>estéreo**.

### **A.3 Anexo 3: Fichas “Caracterización del consumo de energía en la vivienda y análisis de eficiencia energética en calefacción”**

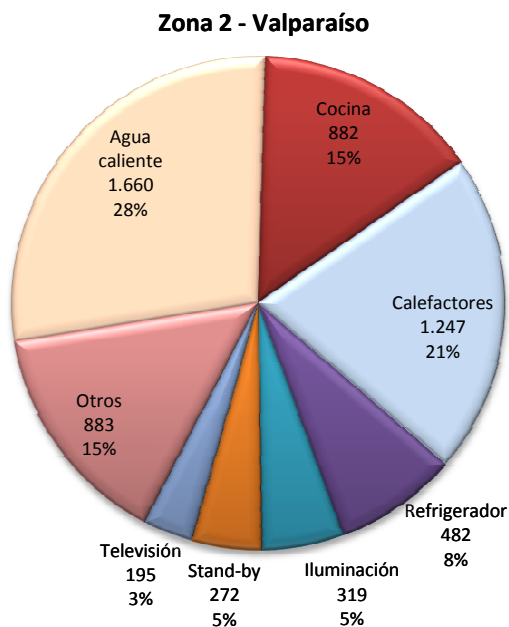
El listado de fichas que resumen la información obtenida para cada tipología de vivienda en las distintas zonas térmicas, es el siguiente:

- Ficha 1: Zona térmica 2 (Valparaíso). Tipología 1: casa aislada 1 piso.
- Ficha 2: Zona térmica 2 (Valparaíso). Tipología 2: casa pareada 1 piso.
- Ficha 3: Zona térmica 2 (Valparaíso). Tipología 3: casa pareada 2 pisos.
- Ficha 4: Zona térmica 2 (Valparaíso). Tipología 4: departamento.
- Ficha 5: Zona térmica 3 (Santiago). Tipología 1: casa aislada 1 piso.
- Ficha 6: Zona térmica 3 (Santiago). Tipología 2: casa pareada 1 piso.
- Ficha 7: Zona térmica 3 (Santiago). Tipología 3: casa pareada 2 pisos.
- Ficha 8: Zona térmica 3 (Santiago). Tipología 4: departamento.
- Ficha 9: Zona térmica 4 (Concepción). Tipología 1: casa aislada 1 piso.
- Ficha 10: Zona térmica 4 (Concepción). Tipología 2: casa pareada 1 piso.
- Ficha 11: Zona térmica 4 (Concepción). Tipología 3: casa pareada 2 pisos.
- Ficha 12: Zona térmica 4 (Concepción). Tipología 4: departamento.

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>2</b>	<b>Ciudad</b> <b>Valparaíso</b>	<b>Tipología</b> <b>1</b>	<b>Casa aislada</b> 1 piso	<b>Superficie</b> 51 - 70 m <sup>2</sup>	<b>Materialidad</b> Albañilería de ladrillos	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	-------------------------------	---	---	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

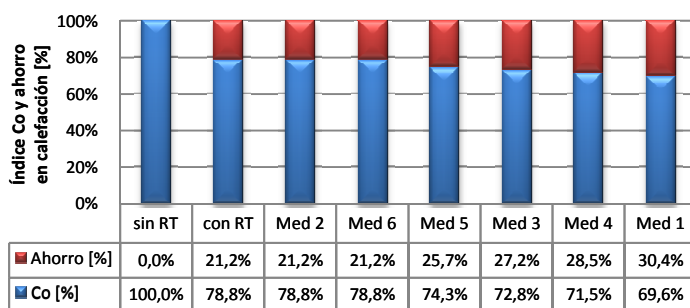


Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(***) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

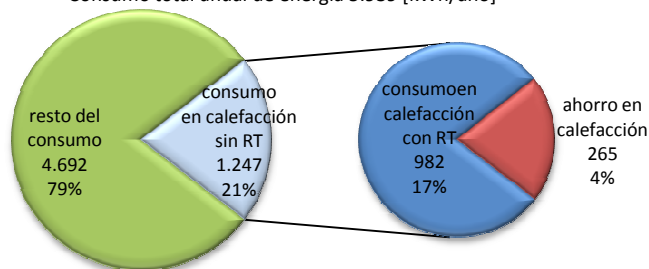
% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 1: Casa aislada 1 piso**



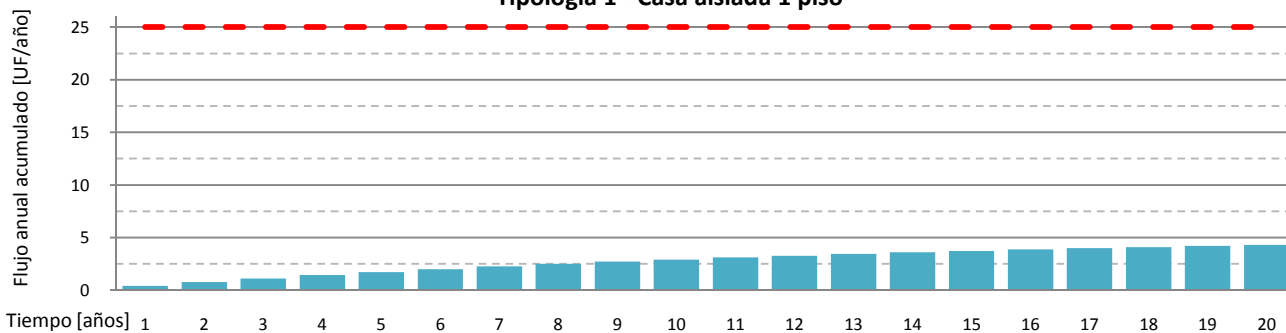
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 1 - Casa aislada 1 piso**  
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 1 - Casa aislada 1 piso**

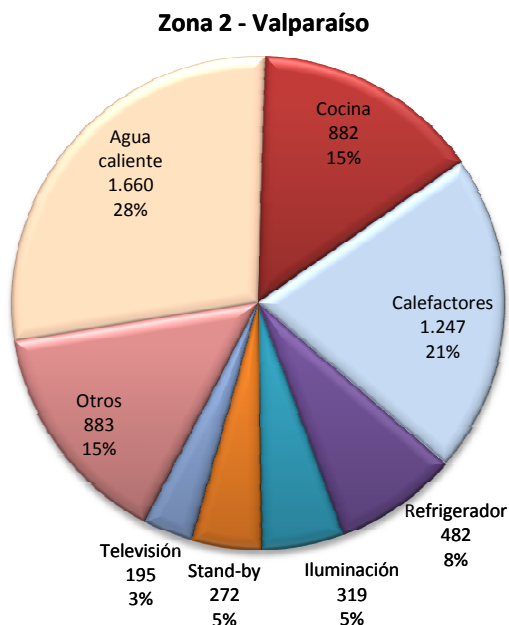


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrio hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>2</b>	<b>Ciudad</b> <b>Valparaíso</b>	<b>Tipología</b> <b>2</b>	<b>Casa</b> <b>pareada</b> 1 piso	<b>Superficie</b> <b>51 - 70 m<sup>2</sup></b>	<b>Materialidad</b> <b>Albañilería de ladrillos</b>	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	---	---	--	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

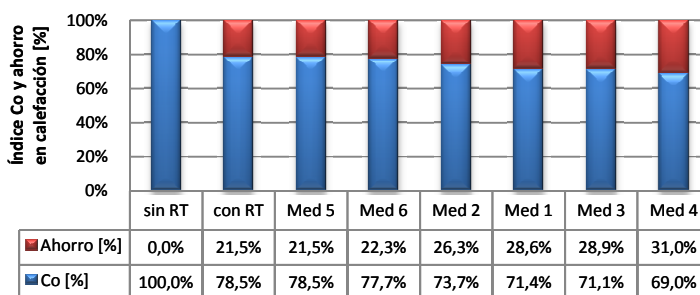


Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(**) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 2: Casa Pareada 1 Piso**

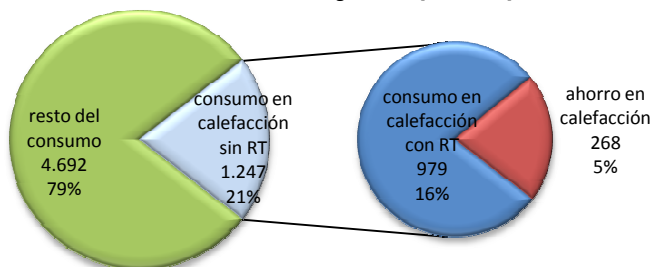


Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 2 - Valparaíso**

**Tipología 2 - Casa pareada 1 piso**

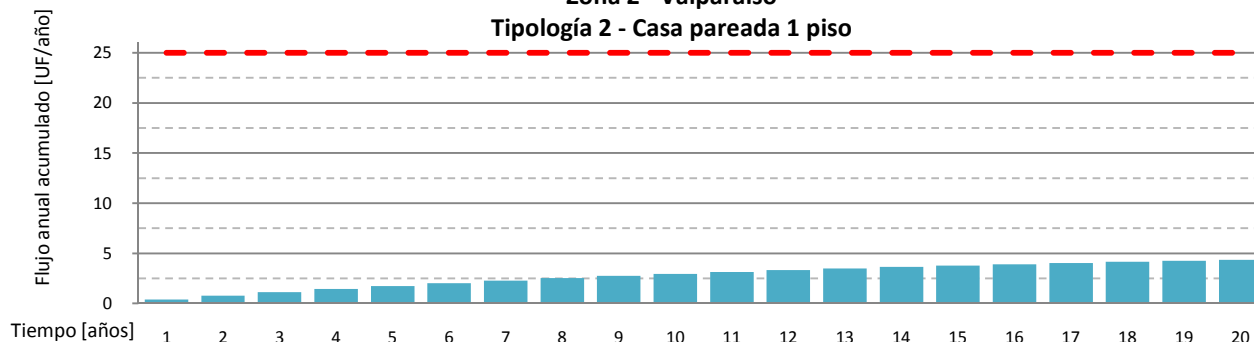
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 2 - Valparaíso**

**Tipología 2 - Casa pareada 1 piso**

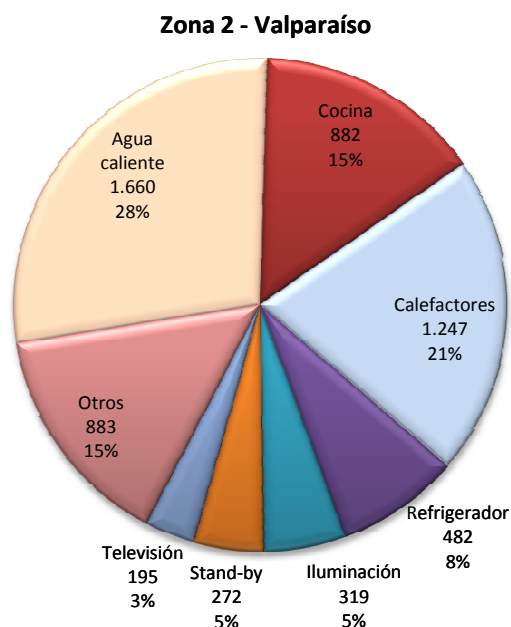


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrio hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>2</b>	<b>Ciudad</b> <b>Valparaíso</b>	<b>Tipología</b> <b>3</b>	<b>Casa</b> <b>pareada</b> 2 pisos	<b>Superficie</b> <b>71 - 100 m<sup>2</sup></b>	<b>Materialidad</b> <b>Albañilería de ladrillos</b>	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--	--	--	---

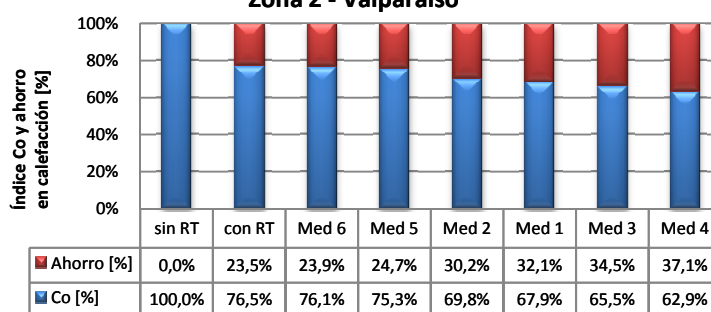
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

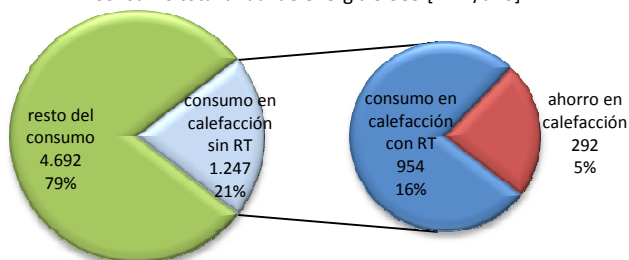
Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(***) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT  
**Tipología 3: Casa Pareada 2 Pisos**  
**Zona 2 - Valparaíso**



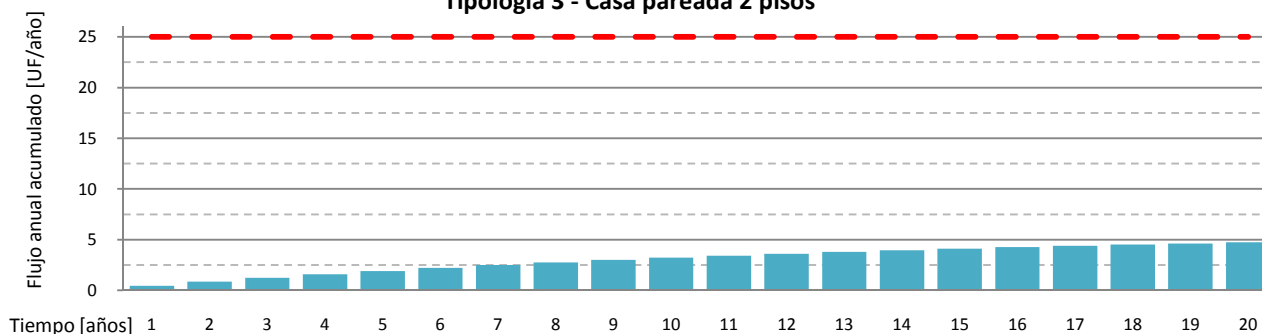
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 3 - Casa pareada 2 pisos**  
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



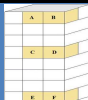
Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 3 - Casa pareada 2 pisos**

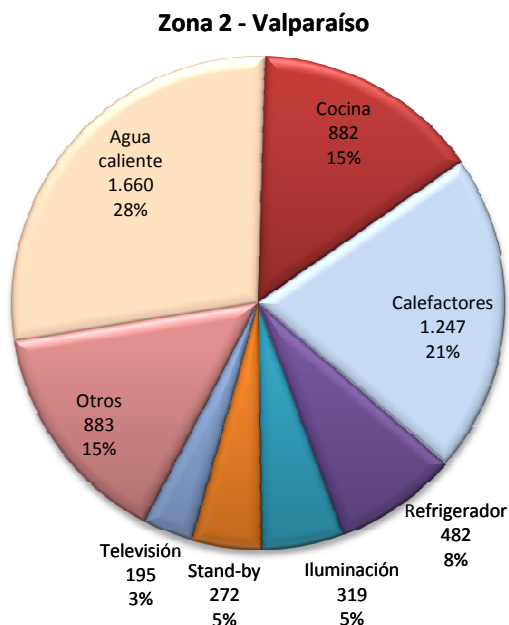


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrioado hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>2</b>	<b>Ciudad</b> <b>Valparaíso</b>	<b>Tipología</b> <b>4</b>	<b>Dpto.</b> esquina último piso	<b>Superficie</b> 51 - 70 m <sup>2</sup>	<b>Materialidad</b> Albañilería de ladrillos	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--	---	--	---

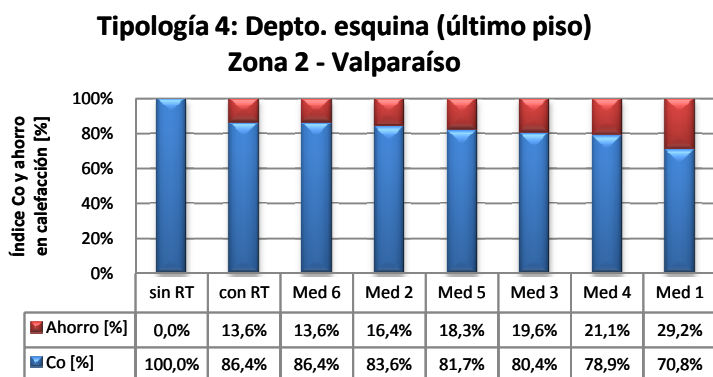
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

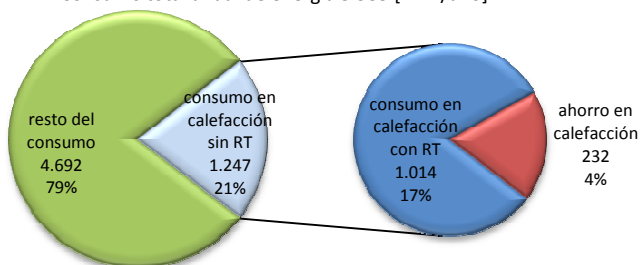
Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(***) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT



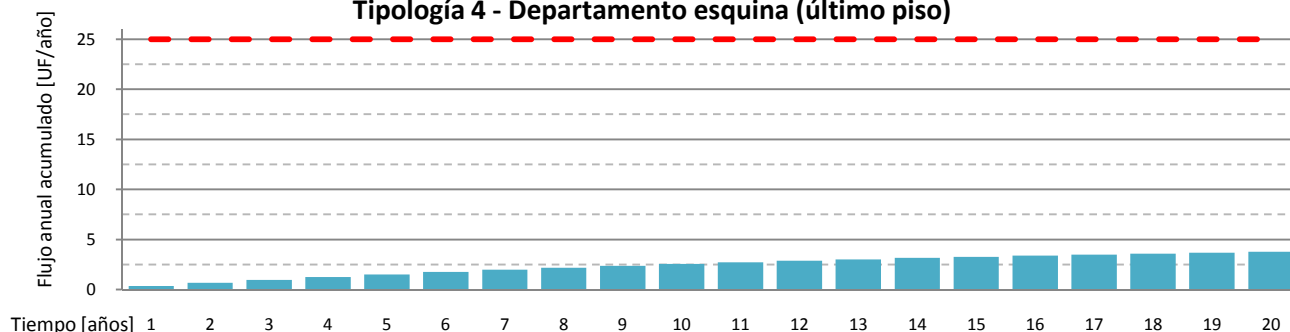
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 4 - Departamento esquina (último piso)**  
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]




Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 2 - Valparaíso**  
**Tipología 4 - Departamento esquina (último piso)**



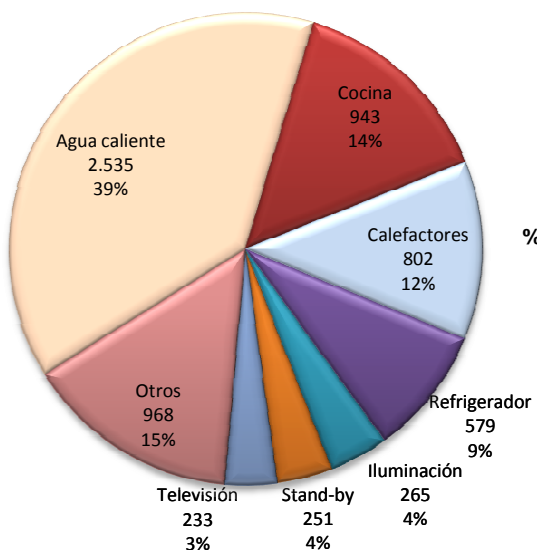
(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrioado hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>3</b>	<b>Ciudad</b> <b>Santiago</b>	<b>Tipología</b> <b>1</b>	<b>Casa aislada</b> 1 piso	<b>Superficie</b> 51 - 70 m <sup>2</sup>	<b>Materialidad</b> Albañilería de ladrillos	
---------------------------------	----------------------------------	------------------------------	-------------------------------	---	---	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

**Zona 3 - Santiago**

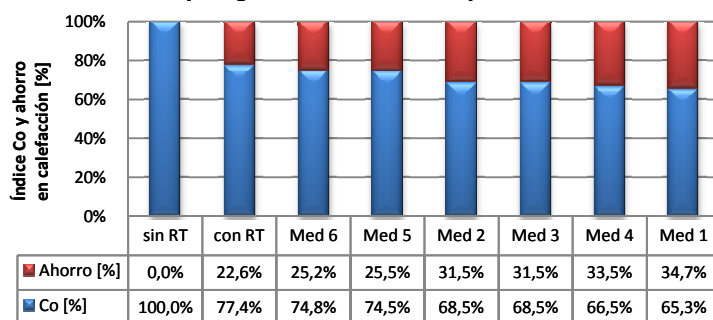


Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (*)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(**) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

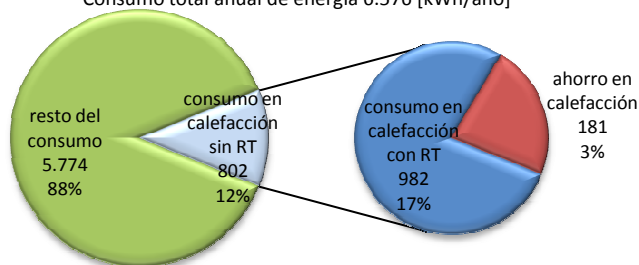
% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

**Zona 3 - Santiago**  
**Tipología 1 - Casa aislada 1 piso**



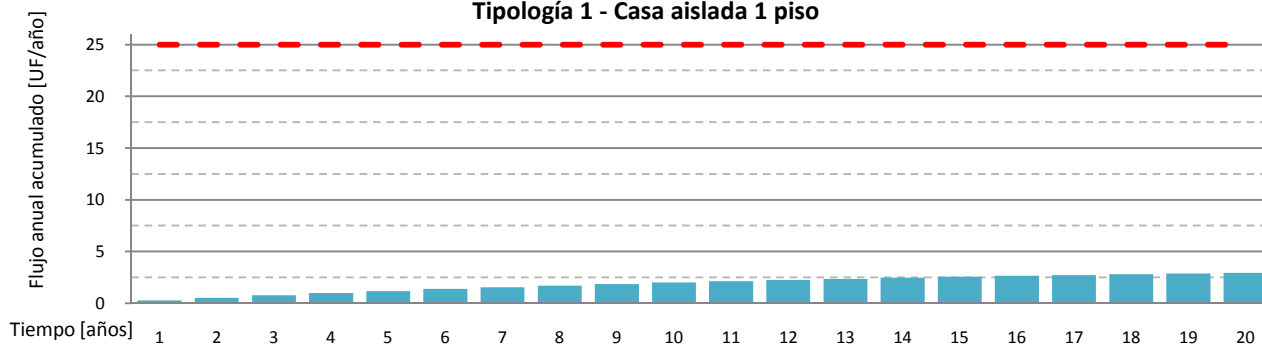
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 3 - Santiago**  
**Tipología 1 - Casa aislada 1 piso**  
Consumo total anual de energía 6.576 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 3 - Santiago**  
**Tipología 1 - Casa aislada 1 piso**



(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrio hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

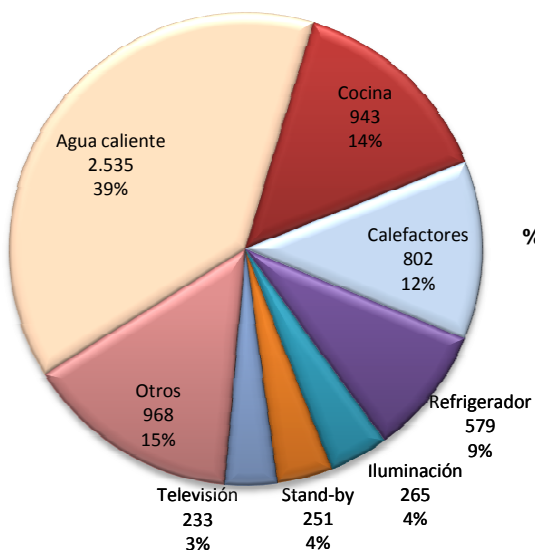


CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>3</b>	<b>Ciudad</b> <b>Santiago</b>	<b>Tipología</b> <b>2</b>	<b>Casa</b> <b>pareada</b> 1 piso	<b>Superficie</b> <b>51 - 70 m<sup>2</sup></b>	<b>Materialidad</b> <b>Albañilería de ladrillos</b>	
---------------------------------	----------------------------------	------------------------------	---	---	--	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

**Zona 3 - Santiago**



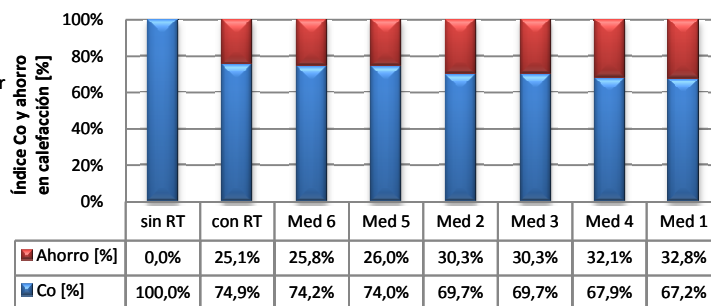
Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (*)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(**) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

**Zona 3 - Santiago**

**Tipología 2: Casa pareada 1 piso**

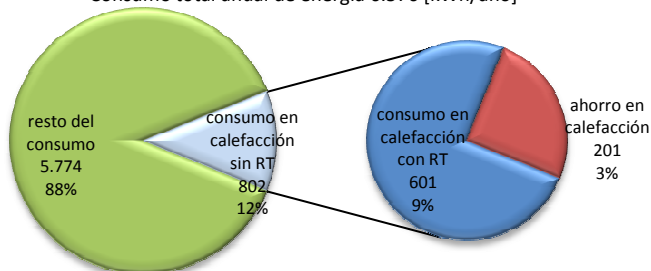


Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 3 - Santiago**

**Tipología 2 - Casa pareada 1 piso**

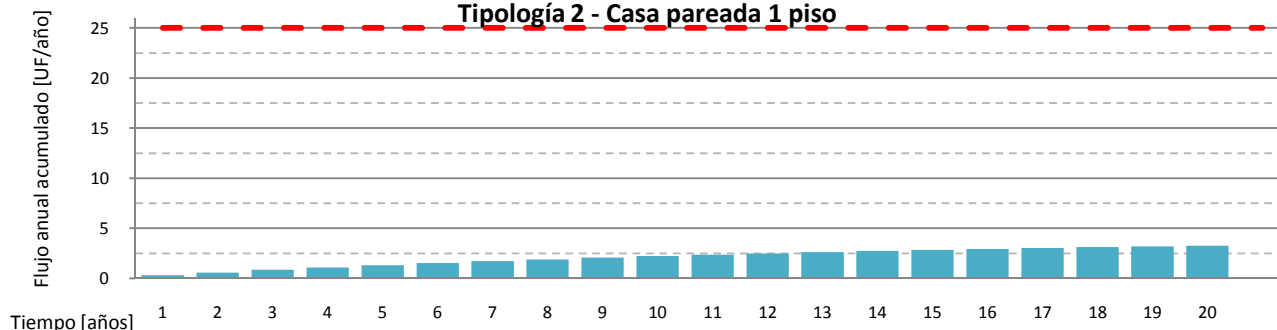
Consumo total anual de energía 6.576 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 3 - Santiago**

**Tipología 2 - Casa pareada 1 piso**



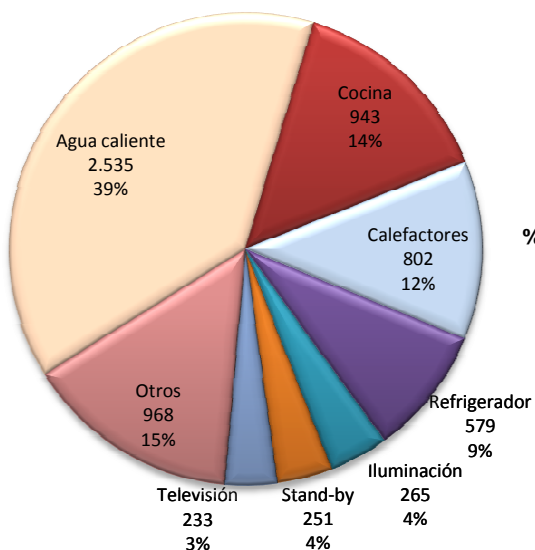
(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrio hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>3</b>	<b>Ciudad</b> <b>Santiago</b>	<b>Tipología</b> <b>3</b>	<b>Casa</b> <b>pareada</b> 2 pisos	<b>Superficie</b> <b>71 - 100 m<sup>2</sup></b>	<b>Materialidad</b> <b>Albañilería de ladrillos</b>	
---------------------------------	----------------------------------	------------------------------	--	--	--	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

**Zona 3 - Santiago**

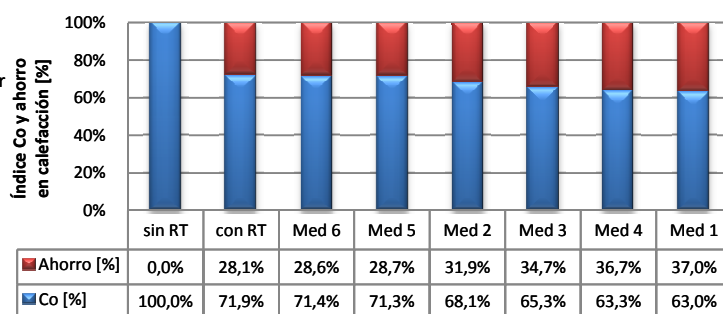


Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (*)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(**) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

**Tipología 3: Casa pareada 2 pisos**  
**Zona 3 - Santiago**

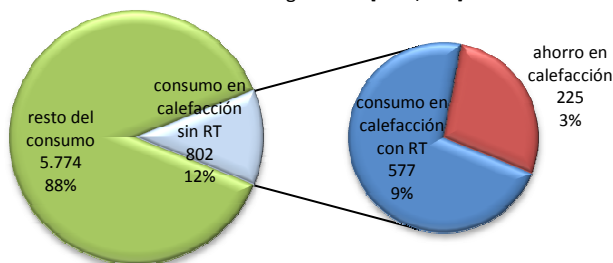


Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 3 - Santiago**

**Tipología 3 - Casa pareada 2 pisos**

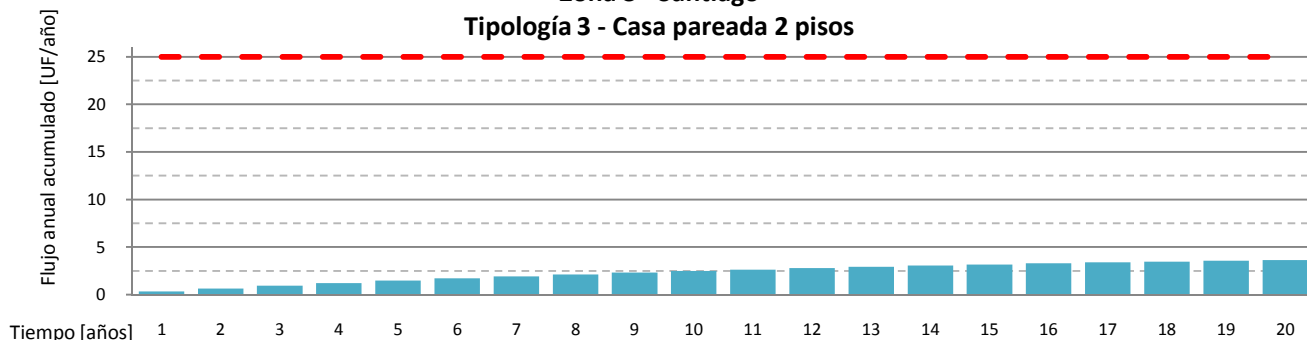
Consumo total anual de energía 6.576 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]


**Zona 3 - Santiago**

**Tipología 3 - Casa pareada 2 pisos**



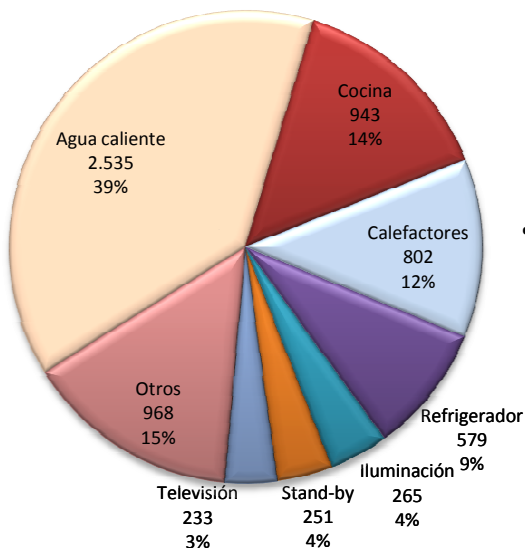
(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrioado hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>3</b>	<b>Ciudad</b> <b>Santiago</b>	<b>Tipología</b> <b>4</b>	<b>Dpto.</b> esquina último piso	<b>Superficie</b> 51 - 70 m <sup>2</sup>	<b>Materialidad</b> Albañilería de ladrillos	
---------------------------------	----------------------------------	------------------------------	--	---	--	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

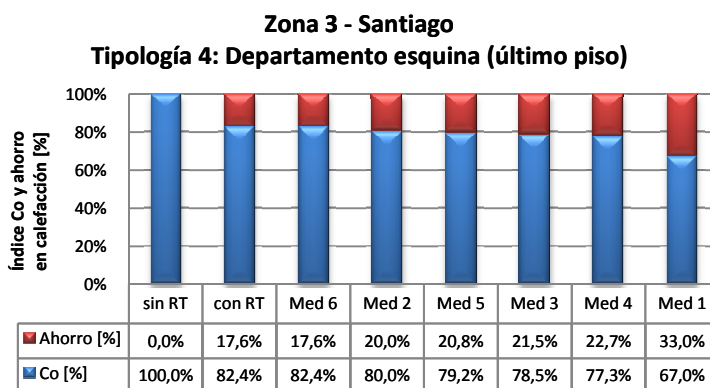
**Zona 3 - Santiago**



Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

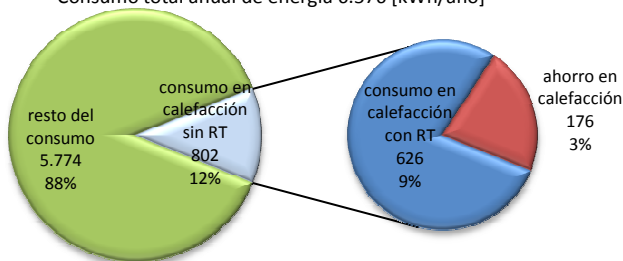
Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (*)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(**) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT



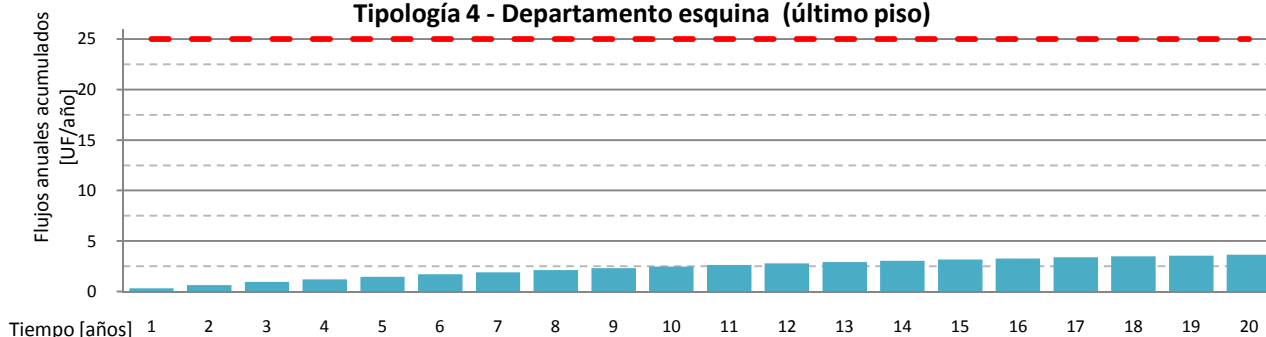
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 3 - Santiago**  
**Tipología 4 - Departamento esquina (último piso)**  
Consumo total anual de energía 6.576 [kWh/año]




Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 3 - Santiago**  
**Tipología 4 - Departamento esquina (último piso)**

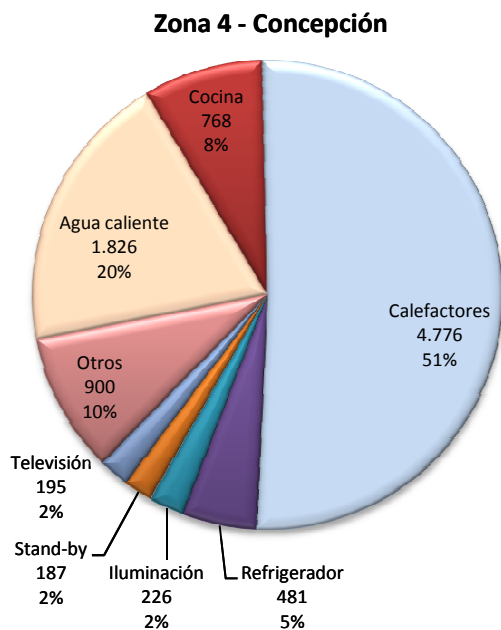


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrioado hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>4</b>	<b>Ciudad</b> <b>Concepción</b>	<b>Tipología</b> <b>1</b>	<b>Casa aislada</b> 1 piso	<b>Superficie</b> 51 - 70 m <sup>2</sup>	<b>Materialidad</b> Albañilería de ladrillos	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	-------------------------------	---	---	---

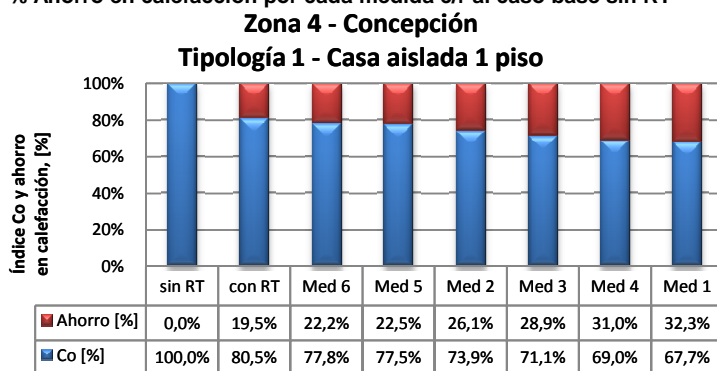
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

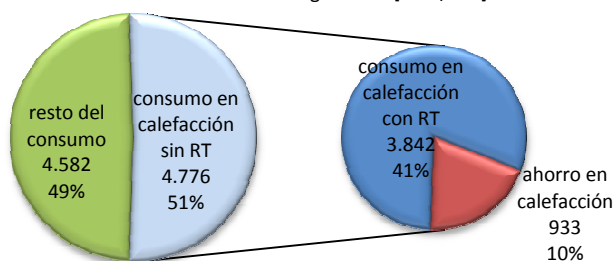
Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(***) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

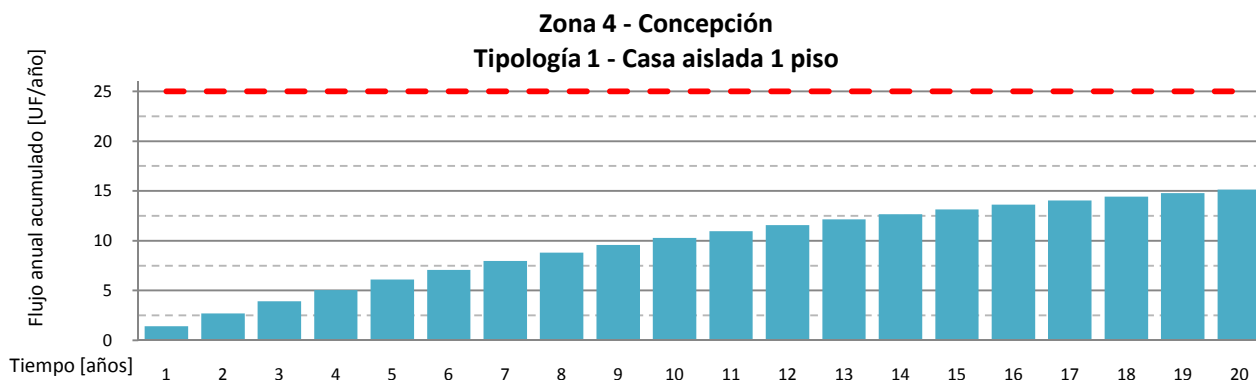


Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 4 - Concepción**  
**Tipología 1 - Casa aislada 1 piso**  
Consumo total anual de energía 9.358 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

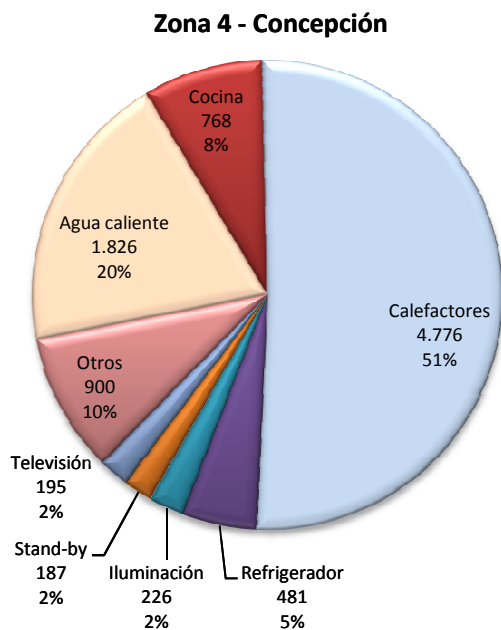


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrio hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>4</b>	<b>Ciudad</b> <b>Concepción</b>	<b>Tipología</b> <b>2</b>	<b>Casa</b> <b>pareada</b> 1 piso	<b>Superficie</b> <b>51 - 70 m<sup>2</sup></b>	<b>Materialidad</b> <b>Albañilería de ladrillos</b>	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	---	---	--	---

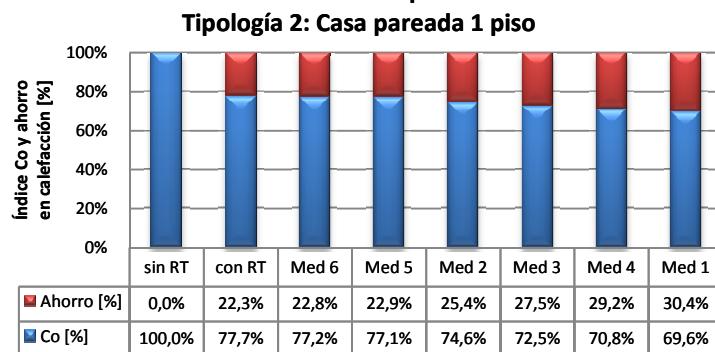
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

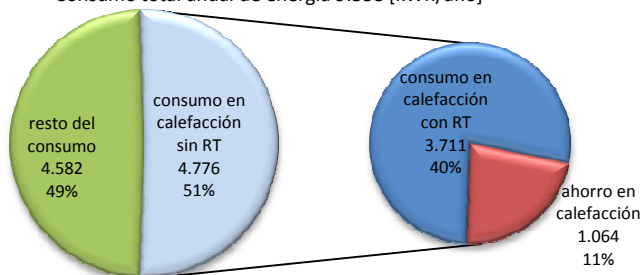
Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(***) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT  
Zona 4 - Concepción

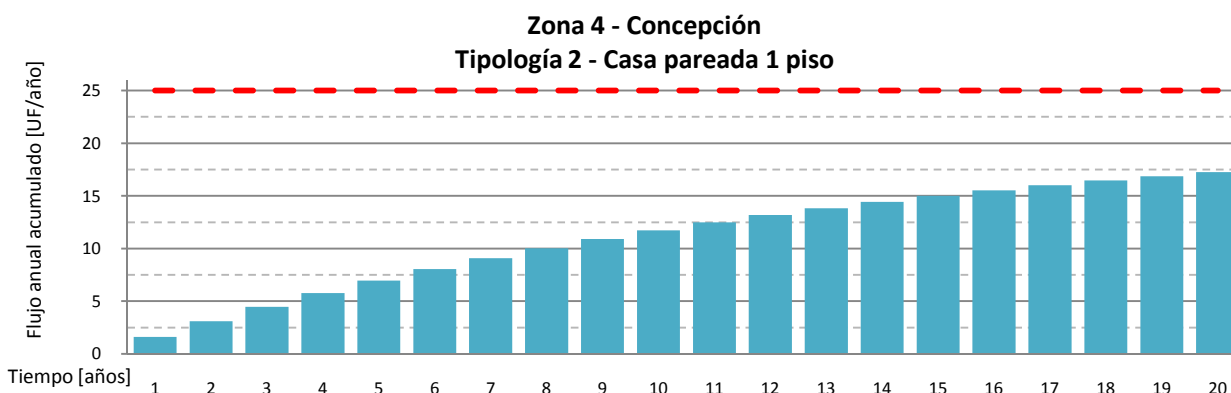


Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 4 - Concepción**  
**Tipología 2 - Casa pareada 1 piso**  
Consumo total anual de energía 9.358 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

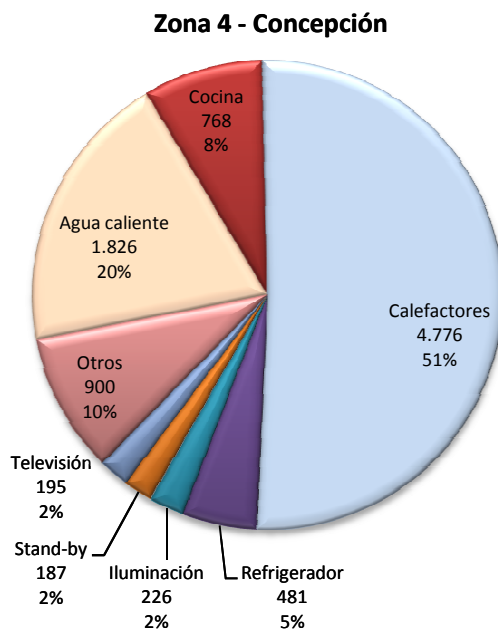


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrio hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>4</b>	<b>Ciudad</b> <b>Concepción</b>	<b>Tipología</b> <b>3</b>	<b>Casa</b> <b>pareada</b> 2 pisos	<b>Superficie</b> <b>71 - 100 m<sup>2</sup></b>	<b>Materialidad</b> <b>Albañilería de ladrillos</b>	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--	--	--	---

Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]

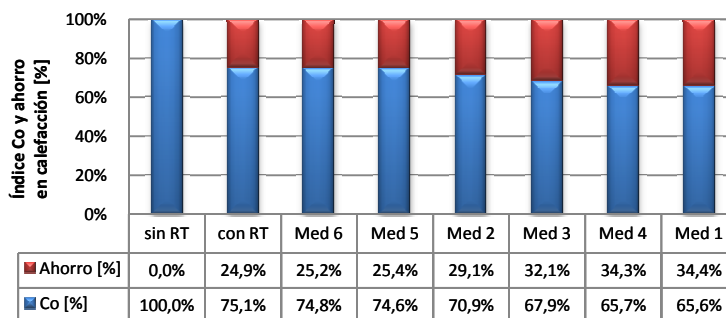


Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (**)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(***) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

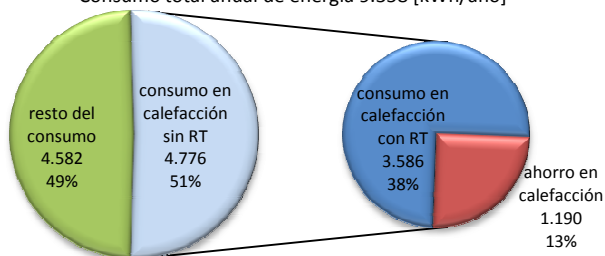
% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT

**Tipología 3: Casa pareada 2 pisos**  
**Zona 4 - Concepción**



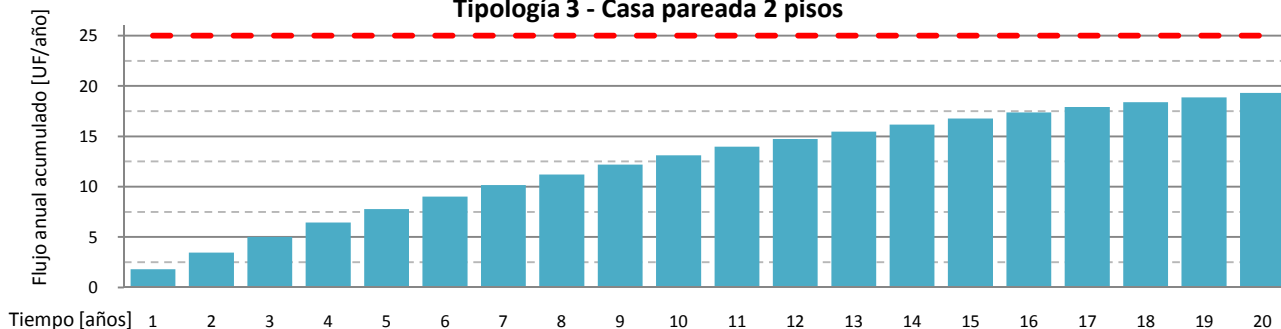
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 4 - Concepción**  
**Tipología 3 - Casa pareada 2 pisos**  
Consumo total anual de energía 9.358 [kWh/año]




Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]

**Zona 4 - Concepción**  
**Tipología 3 - Casa pareada 2 pisos**

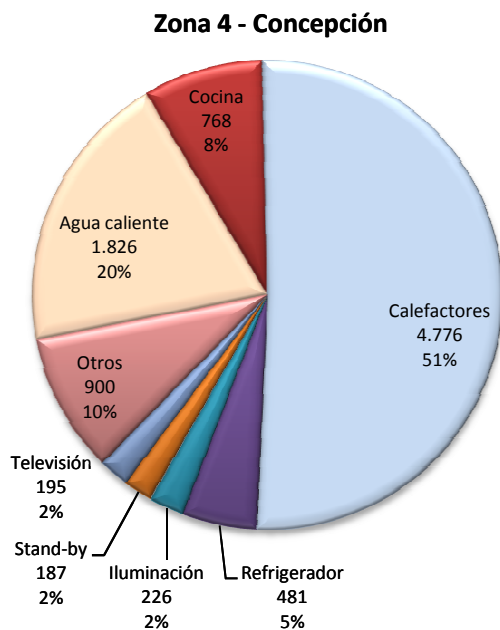


(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrioado hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CALEFACCIÓN

<b>Zona térmica</b> <b>4</b>	<b>Ciudad</b> <b>Concepción</b>	<b>Tipología</b> <b>4</b>	<b>Dpto.</b> esquina último piso	<b>Superficie</b> 51 - 70 m <sup>2</sup>	<b>Materialidad</b> Albañilería de ladrillos	
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--	---	--	---

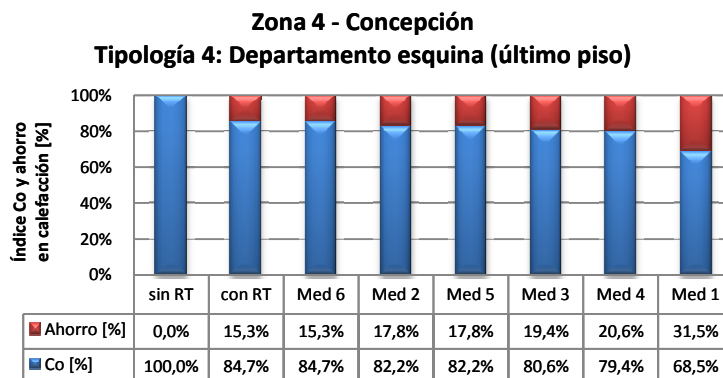
Consumo total anual de energía 5.939 [kWh/año]



Definición de medidas de eficiencia energética en calefacción

Medida	Descripción
sin RT	Caso base sin RT (*)
con RT	Caso base con RT (*)
Med 1	Ventana U=3,1 [W/m <sup>2</sup> K], con DVH(**) o doble ventana
Med 2	Muro (+) 10 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 3	Muro (+) 20 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 4	Muro (+) 30 [mm] aislación PE 15 [kg/m <sup>3</sup> ] (***)
Med 5	Techo (+) 50 [mm] aislación LV 13,1 [kg/m <sup>3</sup> ] (****)
Med 6	Piso K <sub>L</sub> =1,2 [W/m K]

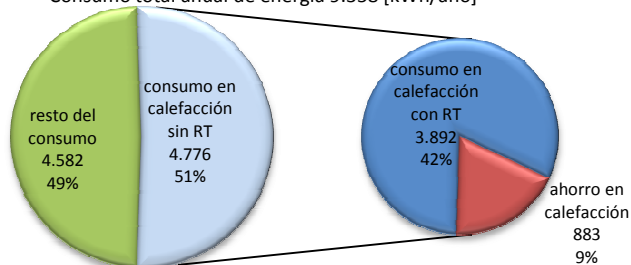
% Ahorro en calefacción por cada medida c/r al caso base sin RT



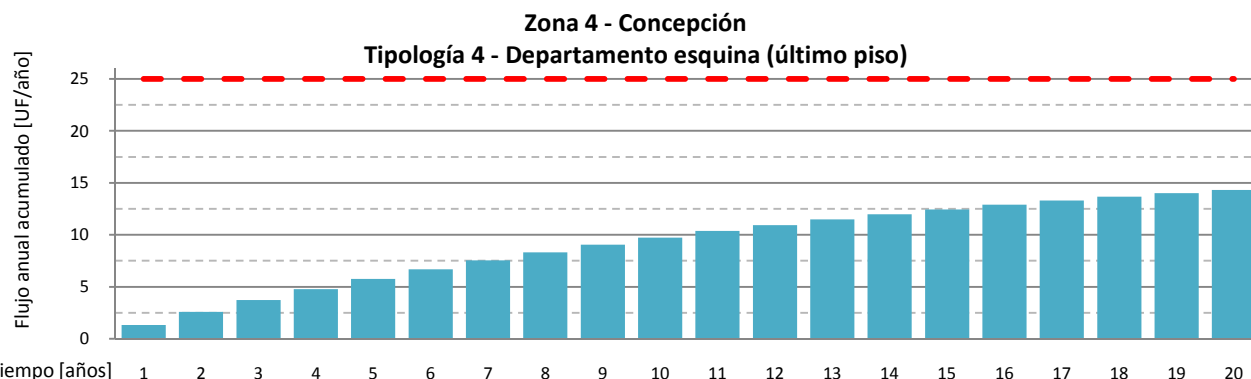
Ahorro de energía en calefacción al llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica (Medida con RT)

**Zona 4 - Concepción**  
**Tipología 4 - Departamento esquina (último piso)**

Consumo total anual de energía 9.358 [kWh/año]



Ahorro anual acumulado en calefacción por llevar una vivienda antigua a cumplir la Reglamentación Térmica [UF/año]



(\*) RT: Reglamentación Térmica (\*\*) DVH: doble vidrioado hermético (\*\*\*) PE: poliestireno expandido (\*\*\*\*) LV: lana de vidrio