



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS: CRITERIOS DE INTERVENCIÓN INTEGRAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

JAVIERA PAZ GUEVARA GARRIDO

PROFESOR GUÍA:

GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA

MARCELO HUENCHUÑIR BUSTOS

SANTIAGO DE CHILE

2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO
DE: INGENIERO CIVIL.

POR: JAVIERA GUEVARA GARRIDO

FECHA: 30/10/2015

PROF. GUIA: SR. GABRIEL RODRÍGUEZ

REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS: CRITERIOS DE INTERVENCIÓN INTEGRAL.

El presente trabajo de título tiene como objetivo la creación de un manual técnico apropiado para que profesionales encargados del reacondicionamiento térmico puedan utilizarlo en su trabajo y hacer éste de forma eficiente, optimizando el ahorro de energía y reduciendo la probabilidad de que la intervención de la vivienda no se realice correctamente, además de dar a conocer el sistema de calificación energética en el país y su aplicación.

En Chile, cerca del 25% de la energía generada se utiliza en el sector residencial, siendo aproximadamente el 56% de ésta usada en calefacción de viviendas. Es por ello que es muy importante reducir el consumo de energía en calefacción, para contribuir así a una disminución en el consumo total de energía en el país. Los principales combustibles utilizados son la leña y la biomasa (lo que corresponde a un 59% del total del consumo de combustibles), seguidos en menor cantidad por el gas licuado (17%), electricidad (15%) y gas natural (7%). Si se logra un correcto reacondicionamiento de la vivienda, es posible disminuir el consumo de estos combustibles, alrededor del 30%-40% según características de la vivienda como la orientación, su nivel de aislación previo, su forma y la zona térmica en que se encuentre, lo que se traduce en una menor contaminación y por ende una mejor calidad de aire dentro y fuera de la vivienda junto con una mejor calidad de vida para los usuarios.

De este trabajo se puede concluir que las medidas óptimas a considerar al aislar una vivienda dependen de diversos factores, tales como la zona térmica en la que se encuentre, la orientación de sus ventanas, su superficie construida, materialidad y el tipo de vivienda (si es aislada, pareada o se trata de un departamento). Conociendo esto, y si la vivienda no presenta ningún tipo de aislación (que es el caso más común en viviendas en Chile), se debe aislar primero el complejo de techumbre (con espesor mínimo exigido por la O.G.U.C.), seguido de muros (idealmente con espesores mayores a los exigidos por la O.G.U.C); mientras que ventanas y pisos ventilados se deben reacondicionar sólo si es necesario y se poseen los recursos, ya que sus aportes al ahorro energético son menores y no necesariamente son rentables. En el caso de pisos no ventilados no se recomienda su intervención, debido a la dificultad que presenta. Por otro lado, si se trata de un departamento, se debe considerar su ubicación dentro del edificio y la superficie de muros y ventanas que posea hacia el exterior para decidir la opción más conveniente de intervención, aunque la opción más económica es aislar muros y posteriormente ver el cambio de ventanas. Una vez que la vivienda esté aislada térmicamente, y solo una vez intervenida, se debe estudiar el cambio del sistema de calefacción utilizado y las medidas de ventilación que puedan ser necesarias.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que han estado conmigo en algún momento de mi vida y han aportado su granito de arena en ella.

A mis padres que han sabido aconsejarme, apoyarme y guiarme siempre, sobre todo que me han soportado y ayudado en esta última etapa. Gracias por darme todas las herramientas para poder llegar a esta instancia, a lo que realmente quiero hacer en la vida. Sé que todo lo que han hecho ha sido lo mejor para mí y gracias a ustedes más que nadie, soy quien soy ahora.

A toda mi familia, que siempre han seguido mis pasos de cerca apoyándome, a mis abuelos, mis tíos y mis primos, cada uno me ha regalado momentos muy valiosos y que soy feliz de tener. Abuelito Sergio, gracias a ti estoy titulándome de la Universidad de Chile y no de otro lugar.

A los amigos de la universidad, los de plan común y de la especialidad, y también a mi pololo. Gracias a todos ustedes por acompañarme en esta etapa, ya sea ayudándome a pasar los ramos o acompañándome en los ratos libres.

A mis amigas del colegio, que ya son amigas de la vida y que a pesar de los años siguen conmigo. Puede pasar mucho rato sin que nos veamos pero siempre siento su apoyo. Nunca dejemos de hablar tonteras ni hacer locuras como lo hemos hecho hasta ahora.

A todos mis profesores, en particular a mi profesor guía, don Gabriel, que aceptó ayudarme con este trabajo y siempre tuvo la mejor disponibilidad para resolver mis dudas y guiarme a completar de forma exitosa esta última etapa.

A la CDT, por permitirme trabajar en este proyecto con ellos, en especial a Paola Yañez, Ximena Berrios y Paula Colonelli, quienes me han enseñado mucho y han sido parte fundamental en el desarrollo de esta memoria.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----|
| Índice de tablas..... | v |
| Índice de ilustraciones..... | vii |
| 1. Introducción | 9 |
| 2. Comportamiento térmico de una vivienda y reglamentación en Chile..... | 12 |
| 2.1. Desempeño energético..... | 12 |
| 2.2. Balance de energía..... | 16 |
| 2.2.1. Demanda de energía (5) (20) (22) | 18 |
| 2.2.2. Consumo de energía (5) (30)..... | 21 |
| 2.3. Reglamentación térmica en Chile (5) (21) (24) (33) | 24 |
| 2.4. Calificación energética (31)..... | 26 |
| 2.5. Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas | 28 |
| 2.5.1. Conductividad térmica (23) (25) | 28 |
| 2.6. Puntos críticos y patologías comunes en la vivienda (12) (13) (14)..... | 41 |
| 3. Sistemas de calefacción (2) (15) (30) | 47 |
| 3.1. Como elegir un sistema de calefacción | 48 |
| 4. Criterios de intervención para el reacondicionamiento térmico | 56 |
| 4.1. Materiales de aislación (1) (3) (14) (23) (36) | 56 |
| 4.1.1. Poliestireno expandido | 56 |
| 4.1.2. Lana mineral..... | 57 |
| 4.1.3. Lana de vidrio..... | 58 |
| 4.1.4. Poliuretano..... | 59 |
| 4.1.5. Tabla comparativa de los distintos materiales aislantes | 60 |
| 4.2. Barreras de vapor y humedad (12) (13) (14) | 61 |
| 4.2.1. Barrera de vapor | 61 |
| 4.2.2. Barrera de humedad (barrera hídrica)..... | 63 |
| 4.3. Precauciones en la instalación de la aislación (12) (13) (17) | 64 |
| 4.3.1. Techumbre..... | 65 |
| 4.3.2. Muros | 70 |
| 4.3.3. Pisos | 75 |
| 4.3.4. Ventanas | 77 |
| 5. Recomendaciones de intervención (29) | 80 |
| 5.1. Situación actual | 83 |
| 5.2. Aumento de aislación térmica respecto a la normativa actual..... | 86 |
| 5.3. Costo de reacondicionar una vivienda..... | 92 |
| 5.4. Orden de reacondicionar una vivienda | 95 |

| | | |
|----|---|-----|
| 6. | Comentarios | 97 |
| 7. | Conclusiones | 99 |
| 8. | Glosario..... | 102 |
| | Bibliografía | 105 |
| | Anexos | 108 |
| A. | Determinación de ganancias solares (6) | 108 |
| B. | Determinación de ganancias internas (6)..... | 117 |
| C. | Cálculo de transmitancia térmica ventanas (23)..... | 119 |
| D. | Costos de las medidas de aislación estudiadas | 121 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Elementos de la envolvente en contacto con el exterior para vivienda aislada, pareada y departamento | 17 |
| Tabla 2.2: Volumen y superficie vivienda ejemplo..... | 19 |
| Tabla 2.3: Transmitancia térmica y superficie de cada elemento de la envolvente, vivienda ejemplo | 20 |
| Tabla 2.4: Transmitancia térmica lineal y perímetro piso, vivienda ejemplo..... | 20 |
| Tabla 2.5: Propiedades consideradas para la vivienda ejemplo | 20 |
| Tabla 2.6: Precio y poder calorífico del kerosene y el gas natural | 21 |
| Tabla 2.7: Cálculo del precio por kWh para kerosene y gas natural | 22 |
| Tabla 2.8: Ejemplo de consumo de energía para distintos tipos de calefacción..... | 22 |
| Tabla 2.9: Grados/día por zona (21) (37) | 24 |
| Tabla 2.10: Valores de transmitancia térmica (U) máximos y resistencias térmicas (Rt) mínimas para techumbre, muros y pisos ventilados por zona térmica..... | 25 |
| Tabla 2.11: Porcentaje máximo de superficie vidriada en una vivienda | 25 |
| Tabla 2.12: Zonificación climática y sus ciudades referenciales | 26 |
| Tabla 2.13: Valores máximos recomendados de transmitancia térmica de la envolvente, en [W/m ² K] | 26 |
| Tabla 2.14: Conductividad térmica de algunos materiales | 29 |
| Tabla 2.15: Espesores equivalentes a aislación de 3 cm de poliestireno expandido para distintos materiales..... | 29 |
| Tabla 2.16: Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire verticales, flujo térmico horizontal..... | 31 |
| Tabla 2.17: Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire horizontales, flujo térmico ascendente | 32 |
| Tabla 2.18: Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire horizontales, flujo térmico descendente | 32 |
| Tabla 2.19 Resistencias térmicas de superficie interior y exterior Rse y Rsi | 33 |
| Tabla 2.20: Materiales utilizados y sus conductividades..... | 36 |
| Tabla 2.21: Propiedades cámara de aire utilizada | 36 |
| Tabla 2.22: Transmitancia térmica marco de aluminio | 36 |
| Tabla 2.23: Cálculo transmitancia térmica muro de hormigón sin y con aislación | 37 |
| Tabla 2.24: Cálculo transmitancia térmica ventana simple y termopanel | 38 |
| Tabla 2.25: Cálculo transmitancia térmica muro de albañilería sin y con aislación | 39 |
| Tabla 2.26: Temperatura de rocío según humedad relativa y temperatura de uso | 43 |
| Tabla 2.27: Temperaturas en muro de hormigón armado sin aislación..... | 44 |
| Tabla 2.28: Temperaturas en muro de hormigón armado con 2 cm de aislación | 44 |
| Tabla 3.1: Precios y costo de la energía para distintos combustibles en Santiago y Concepción | 49 |
| Tabla 3.2: Precios para sistemas de calefacción..... | 50 |
| Tabla 3.3: Ventajas y desventajas de los distintos combustibles..... | 53 |
| Tabla 3.4: Costos y consideraciones de los distintos equipos | 54 |
| Tabla 3.5: Clasificación usada para el costo de operación | 55 |
| Tabla 3.6: Clasificación usada para el costo de inversión | 55 |
| Tabla 4.1: Propiedades físicas del poliestireno expandido..... | 57 |
| Tabla 4.2: Propiedades físicas de la lana mineral..... | 58 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.3: Propiedades físicas de la lana de vidrio..... | 59 |
| Tabla 4.4: Propiedades físicas del poliuretano | 60 |
| Tabla 4.5: Comparación de los distintos materiales aislantes | 60 |
| Tabla 4.6: Valores de resistencia a la difusión del vapor de distintas barreras de vapor..... | 63 |
| Tabla 5.1: Espesores de aislante para los distintos casos estudiados..... | 87 |
| Tabla 5.2: Ahorro de energía para las distintas medidas por zona y tipología de vivienda..... | 91 |
| Tabla 5.3: Costos unitarios de los distintos materiales utilizados | 92 |
| Tabla 5.4: Costos ventanas termopanel con marco de aluminio disponibles en el mercado | 92 |
| Tabla 5.5: Costo de las ventanas según tipología de vivienda | 93 |
| Tabla A.1: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m ²] de abertura para 20° de latitud sur | 108 |
| Tabla A.2: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m ²] de abertura para 30° de latitud sur | 110 |
| Tabla A.3: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m ²] de abertura para 40° de latitud sur | 112 |
| Tabla A.4: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m ²] de abertura para 50° de latitud sur | 114 |
| Tabla A.5: Correcciones para las ganancias solares | 116 |
| Tabla A.6: Ganancias máximas por insolación para el ejemplo, en [kcal/(h m ²)]..... | 117 |
| Tabla B.1: Ganancias internas debido a los ocupantes..... | 118 |
| Tabla B.2: Ganancias debidas a iluminación artificial | 119 |
| Tabla C.1: Propiedades de los elementos utilizados..... | 119 |
| Tabla C.2: Valores de Rsi y Rse para ambos ejemplos | 119 |
| Tabla C.3: Transmitancias térmicas consideradas para marcos de aluminio y de PVC | 119 |
| Tabla C.4: Porcentaje de superficie de cada elemento con respecto al total de la ventana | 120 |
| Tabla D.1: Costos según espesor para poliestireno expandido..... | 121 |
| Tabla D.2: Costo según espesor para lana de vidrio..... | 121 |
| Tabla D.3: Costo total para el departamento según los distintos casos | 121 |
| Tabla D.4: Costo total para la vivienda pareada según los distintos casos..... | 122 |
| Tabla D.5: Costo total para la vivienda aislada según los distintos casos | 123 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Línea de tiempo de la reglamentación térmica en Chile | 10 |
| Figura 1.2: Proceso de reacondicionamiento de una vivienda y actores involucrados..... | 10 |
| Figura 2.1: Factores que influyen en el desempeño energético de una vivienda..... | 12 |
| Figura 2.2: Procesos de transferencia de calor en una vivienda | 13 |
| Figura 2.3: Conducción de calor en una vivienda en verano (izquierda) y en invierno (derecha) | 14 |
| Figura 2.4: Ventilación (A) y filtraciones (B) en una vivienda..... | 14 |
| Figura 2.5: Radiación absorbida, reflejada y transmitida a través de una ventana..... | 15 |
| Figura 2.6: Ganancias y pérdidas de energía en verano (A) e invierno (B) | 16 |
| Figura 2.7: Demanda vs. Superficie expuesta según tipología de vivienda | 17 |
| Figura 2.8: Pérdidas en una vivienda aislada ubicada en zona 3 y con una superficie de 68 m ² | 18 |
| Figura 2.9: Zonificación térmica según O.G.U.C..... | 24 |
| Figura 2.10: Etiqueta de Pre calificación energética | 28 |
| Figura 2.11: Etiqueta de Calificación energética..... | 28 |
| Figura 2.12: Espesor equivalente de algunos materiales | 30 |
| Figura 2.13: Tipos de muro para determinar resistencias superficiales..... | 34 |
| Figura 2.14: Elemento heterogéneo (ladrillo y cantería)..... | 35 |
| Figura 2.15: Muro de hormigón armado | 37 |
| Figura 2.16: Muro de hormigón armado con lana mineral | 37 |
| Figura 2.17: Ventana simple..... | 38 |
| Figura 2.18: Termopanel | 38 |
| Figura 2.19: Muro de albañilería | 39 |
| Figura 2.20: Muro de albañilería con aislación | 39 |
| Figura 2.21: Esquema de ladrillo y cantería | 40 |
| Figura 2.22: Gráfico psicrométrico para determinar condensaciones | 41 |
| Figura 2.23: Tipos de condensación en un muro con aislación..... | 42 |
| Figura 2.24: Condensación en techumbre | 42 |
| Figura 2.25: Condensación superficial en ventana..... | 42 |
| Figura 2.26: Temperaturas a través de un muro con aislación | 43 |
| Figura 2.27: Puente térmico en unión muro exterior y tabique | 45 |
| Figura 2.28: Flujo de calor puente térmico en esquina de muro | 45 |
| Figura 2.29: Termografía unión muro hormigón con tabique. Puente térmico en aislación interior | 45 |
| Figura 2.30: Termografía unión muro hormigón con tabiquería. No hay puente térmico con aislación exterior . | 46 |
| Figura 4.1: Poliestireno expandido..... | 56 |
| Figura 4.2: Lana mineral | 57 |
| Figura 4.3: Lana de vidrio | 58 |
| Figura 4.4: Poliuretano | 59 |
| Figura 4.5: Variación de la conductividad térmica en función del contenido de humedad..... | 62 |
| Figura 4.6: Ubicación de las barreras de vapor y humedad en un elemento con aislación interior..... | 64 |
| Figura 4.7: A) Ubicación de las barreras de vapor y humedad, caso viga de techumbre oculta; B) Ubicación de las barreras de vapor y humedad, caso vigas a la vista..... | 64 |
| Figura 4.8: Esquema de los elementos de la techumbre..... | 65 |
| Figura 4.9: A) Techumbre fría; B) Techumbre caliente | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.10: Instalación aislante proyectado | 66 |
| Figura 4.11: Correcta instalación del aislante sin dejar espacios semi ventilados, techumbre caliente | 67 |
| Figura 4.12: Correcta instalación del aislante sobre el cielo, techumbre caliente | 67 |
| Figura 4.13: Correcta instalación del aislante sobre el cielo, techumbre fría | 67 |
| Figura 4.14: Aislante en techumbre fría con cámara de aire. | 68 |
| Figura 4.15: Aislante en techumbre caliente con vigas ocultas..... | 68 |
| Figura 4.16: Aislante rígido en techumbre fría..... | 68 |
| Figura 4.17: Aislante flexible en techumbre fría. | 68 |
| Figura 4.18: Aislante en losa de hormigón armado..... | 69 |
| Figura 4.19: Aislación en encuentro de techumbre con: muro de albañilería (izquierda) y muro de madera (derecha)..... | 69 |
| Figura 4.20: Instalación de aislante entre (izquierda) y debajo de las vigas (derecha) | 70 |
| Figura 4.21: Muros perimetrales y pareados en una vivienda | 70 |
| Figura 4.22: Muro con aislación por el exterior | 71 |
| Figura 4.23: Sistema EIFS..... | 72 |
| Figura 4.24: Colocación del adhesivo en la plancha aislante | 72 |
| Figura 4.25: Aislación por el interior del muro | 73 |
| Figura 4.26: Instalación del aislante en tabique interior..... | 74 |
| Figura 4.27: Asentamiento del material aislante en un muro | 75 |
| Figura 4.28: A) Losa en contacto con el terreno; B, C, D) Losas ventiladas | 76 |
| Figura 4.29: Aislación térmica del piso por el exterior de la vivienda (losa de hormigón armado)..... | 76 |
| Figura 4.30: Componentes de la ventana..... | 78 |
| Figura 5.1: Vivienda aislada a evaluar | 81 |
| Figura 5.2: Vivienda pareada a evaluar | 81 |
| Figura 5.3: Departamento a evaluar | 81 |
| Figura 5.4: Superficie envolvente y factor de forma para las tres tipologías | 82 |
| Figura 5.5: Distribución de viviendas en Chile según casos estudiados | 83 |
| Figura 5.6: Casos considerados en las simulaciones para la situación actual..... | 84 |
| Figura 5.7: Demanda de energía por zona térmica para el Caso base | 84 |
| Figura 5.8: Demanda de energía por zona térmica para viviendas con aislación de techumbre según O.G.U.C. 2000 | 85 |
| Figura 5.9: Demanda de energía por zona térmica para viviendas reacondicionadas según O.G.U.C. 2007..... | 85 |
| Figura 5.10: Ahorro de energía en vivienda aislada para las distintas medidas | 88 |
| Figura 5.11: Ahorro de energía en vivienda pareada para las distintas medidas..... | 89 |
| Figura 5.12: Ahorro de energía en departamento para las distintas medidas | 89 |
| Figura 5.13: Costo de las distintas medidas de aislación por zona térmica en un departamento | 93 |
| Figura 5.14: Costo de las distintas medidas de aislación por zona térmica en una vivienda pareada | 94 |
| Figura 5.15: Costo de las distintas medidas de aislación por zona térmica en una vivienda aislada | 94 |

1. Introducción

En Chile, cerca del 25% de la energía generada se utiliza en el sector residencial, siendo aproximadamente el 56% de ésta usada en calefacción de viviendas (29). Es por ello que es muy importante reducir el consumo de energía en calefacción, para contribuir así a una disminución en el consumo total de energía en el país.

Este trabajo apunta a recomendar soluciones de reacondicionamiento térmico de la vivienda y criterios de intervención que permitan mejorar las condiciones de confort térmico de ella, al igual que su eficiencia energética. Lo primero que se debe realizar es mejorar la envolvente térmica a través de soluciones adecuadas de aislación según tipo de edificación, materialidad, orientación y lugar de emplazamiento de la vivienda, entre otros, para luego seguir con la selección y uso óptimo de los equipos de calefacción.

Las medidas de eficiencia energética que se discuten tienen efectos en el ahorro de energía y por ende causan una reducción en el consumo de combustibles y pretenden mejorar la calidad de vida de las personas, disminuyendo problemas de contaminación. En el país, los principales combustibles utilizados en viviendas son la leña y la biomasa (lo que corresponde a un 59% del total del consumo de combustibles), seguidos en menor cantidad por el gas licuado (17%), electricidad (15%) y gas natural (7%) (27). Si se logra un correcto reacondicionamiento de la vivienda, es posible disminuir el consumo de estos combustibles, lo que se traduce en una menor contaminación y por ende una mejor calidad de aire dentro y fuera de la vivienda y una mejor calidad de vida para los usuarios.

Es fundamental acondicionar térmicamente las viviendas, ya que una deficiente calidad en este sentido se traduce en hogares muy fríos en invierno y muy calurosos en verano, implicando un alto consumo de energía para lograr un adecuado nivel de confort. Esto sucede principalmente en las viviendas construidas hasta antes del año 2000 (correspondientes al 86% de viviendas en Chile) (29), las que en general no contemplan ninguna medida de eficiencia energética o térmica.

En Chile en el año 2000 se implementó la primera reglamentación térmica de viviendas, mediante una modificación de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C.), que reglamentó la aislación en el complejo de techumbre. En el año 2007 se implementó una segunda etapa, que reglamentaba el resto de la envolvente (pisos ventilados, muros y ventanas). Además se considera una tercera etapa en los años venideros respecto a la calificación energética de viviendas que actualmente es voluntaria. Este proceso de mejoramiento de la reglamentación se hace necesario, ya que antes del año 2000 no existía ninguna obligatoriedad de acondicionamiento térmico en viviendas, por lo que aquellas viviendas son las más afectadas y se debe poner especial énfasis en su acondicionamiento térmico (21).

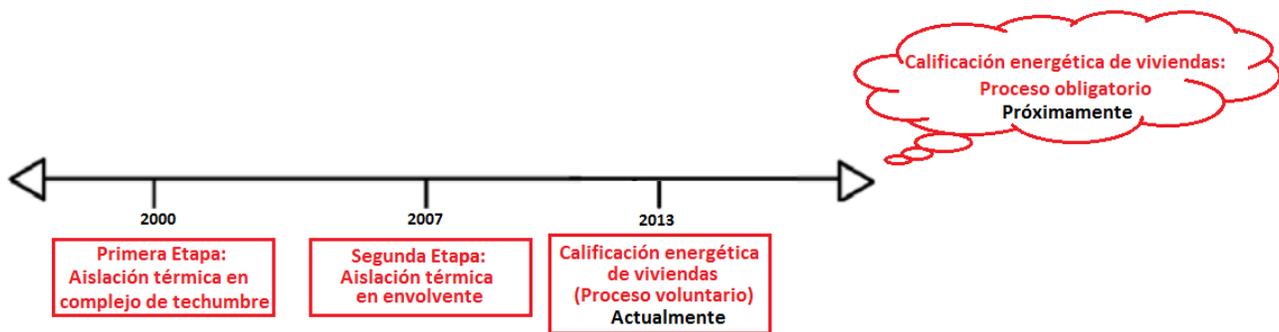


Figura 1.1: Línea de tiempo de la reglamentación térmica en Chile

Actualmente MINVU y MINERGIA han implementado desde 2013 la Calificación y Etiquetado Energético de Viviendas Nuevas, que indica el desempeño y eficiencia energética de una vivienda calificándola en 7 niveles que van desde la letra A (mayor eficiencia) hasta la G (menor eficiencia). Prontamente se implementará para viviendas existentes y se espera que sea obligatoria en un corto tiempo para viviendas nuevas, como lo es en los países de la Unión Europea desde el año 2006. Con esto se facilitará a los compradores el análisis de las opciones disponibles y podrán comparar viviendas sabiendo cuál tiene un mejor comportamiento energético y por tanto menor gasto.

Las recomendaciones de aislación térmica en cada elemento de la envolvente (techumbres, muros, pisos y ventanas) de una vivienda y el dimensionamiento del sistema de calefacción, depende de la zona térmica en la que la vivienda se encuentre. Las recomendaciones que se entregan en este trabajo, consideran este aspecto y se detalla en los capítulos siguientes. Para este estudio se utilizan tres tipologías de vivienda características; una vivienda aislada, una pareada y un departamento, que por su forma y elementos expuestos al exterior, tienen diferente desempeño energético.

Para lograr buenos resultados de acondicionamiento térmico, es importante formar a los diferentes actores involucrados en los distintos procesos que se presentan a continuación.

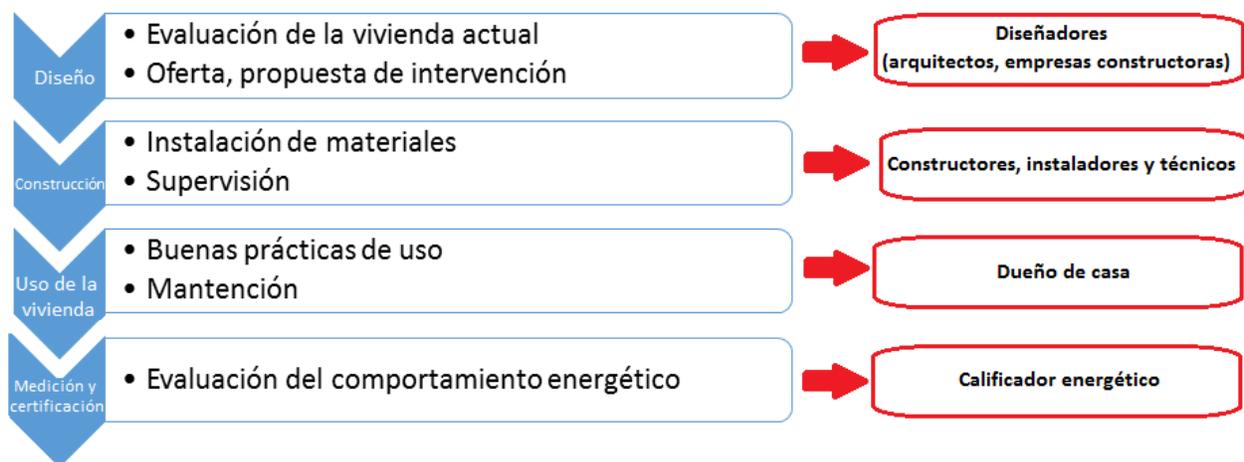


Figura 1.2: Proceso de reacondicionamiento de una vivienda y actores involucrados

1. **Diseñadores:** son quienes se encargan de ver el estado actual de la vivienda y las medidas de acondicionamiento que se le realizarán, diseñando las mejoras para hacer la vivienda más eficiente energéticamente.
2. **Constructores, instaladores y técnicos:** son los encargados de realizar en forma correcta la aislación de la envolvente (muros, techumbre, pisos o ventanas) y la instalación de los sistemas de calefacción. De ellos depende que se logre el comportamiento óptimo de la vivienda gracias a las mejoras que realicen.
3. **Usuarios de las viviendas:** son los principales responsables del óptimo uso de ellas. Es por esto que deben ser los primeros fiscalizadores al realizar el reacondicionamiento y deben realizar las mantenciones necesarias una vez finalizado éste. Además deben tener un cambio de hábitos, considerando que la calefacción y la ventilación son factores importantes en el ahorro de energía de una vivienda y son ellos los encargados de utilizarlas de buena forma.
4. **Evaluadores energéticos:** son quienes revisan la vivienda para su calificación. Los evaluadores trabajan bajo ciertos criterios de acuerdo al “Manual de Procedimiento para la Calificación Energética de Viviendas en Chile” (31) y entregan una calificación de acuerdo a las condiciones de la vivienda.

Cabe destacar que el presente trabajo tiene como público objetivo principal a los diseñadores, constructores, instaladores y técnicos, quienes pueden utilizarlo como un apoyo y guía en el proceso de acondicionamiento térmico de la vivienda. Sin embargo el alcance de este documento está delimitado a cierto tipo de hogares, considerando sólo viviendas existentes y de uso residencial, que se adecúen a las tipologías descritas. Además, se entregan recomendaciones generales por zona térmica y asumiendo siempre un uso estándar de la vivienda.

2. Comportamiento térmico de una vivienda y reglamentación en Chile

2.1. Desempeño energético

El desempeño energético de una vivienda se refiere al comportamiento de ésta en cuanto a sus requerimientos de energía para obtener un nivel adecuado de confort térmico. Para entenderlo, es importante distinguir el potencial de desempeño energético de una vivienda y el desempeño final que ésta tendrá.

El **potencial de desempeño energético** de una vivienda está dado por factores propios de ella, tales como los materiales con que está construida (hormigón, albañilería, madera, entre otros), su nivel de aislación, orientación, superficie expuesta al exterior (factor de forma), clima del lugar de emplazamiento y la eficiencia de los equipos con que se provee la calefacción principalmente.

El **desempeño final** de la vivienda, por otro lado, dependerá de su potencial de desempeño en conjunto con factores que no son propios de ella, como el uso que se le da a la vivienda, su nivel de mantención, la calidad del aire interior, entre otros. Por ejemplo, el consumo de energía puede aumentar a cerca del doble en Santiago si la vivienda es calefaccionada a 24°C en vez de a 20°C, o si se pierde mucho calor por fugas de aire (infiltraciones). En este caso el potencial de desempeño energético de la vivienda es el mismo, lo que causa el aumento en el consumo de energía es el uso que se le da, que en este caso corresponde a una mayor temperatura interior de la vivienda.

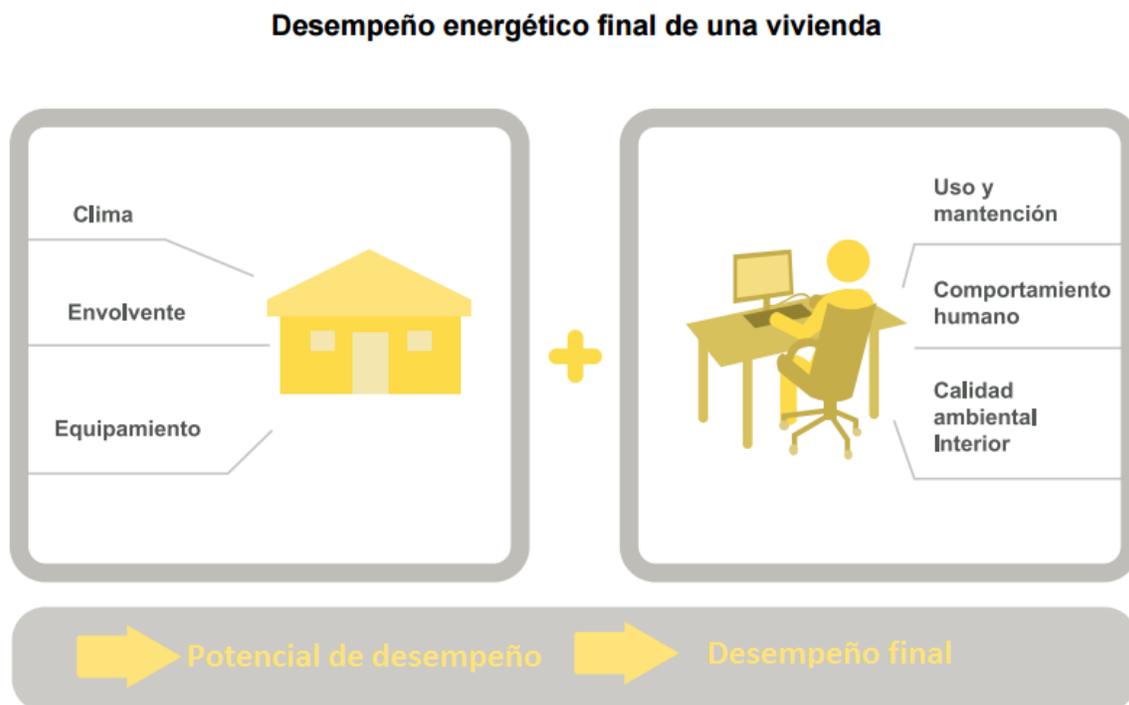


Figura 2.1: Factores que influyen en el desempeño energético de una vivienda

La vivienda, al estar sometida a las condiciones del clima exterior, tales como variación de temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento, etc. en las distintas estaciones del año, se somete a procesos de transferencia, captación y almacenamiento de calor variables (figura 2.2).

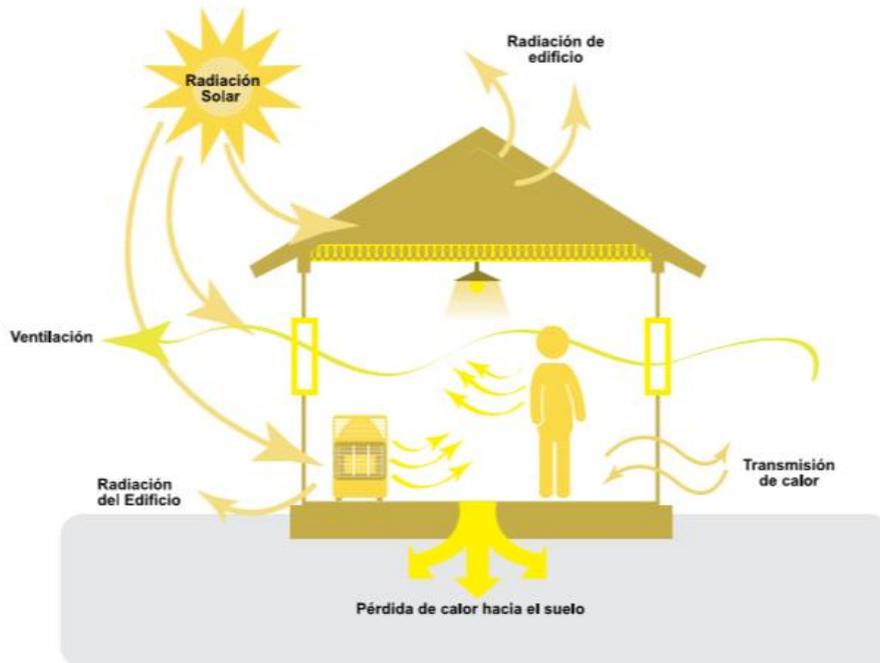


Figura 2.2: Procesos de transferencia de calor en una vivienda

La temperatura al interior de una vivienda queda determinada principalmente por lo siguiente:

- Transferencia de calor por la envolvente debido a diferencia de temperatura.
- Flujos de aire por ventilación e infiltración no deseada por fugas.
- Ganancias solares.
- Ganancias internas.

a) Transferencia de calor por la envolvente debido a diferencia de temperatura

Al tener dos elementos a distinta temperatura en contacto, el calor se transfiere mediante un proceso denominado **conducción**. En un objeto de geometría plana, el calor se transfiere desde la cara más caliente a la más fría. Se pierde calor por conducción en invierno, a través del techo, los muros, el piso y las ventanas, ya que la temperatura exterior es menor que la interior. De forma inversa, se gana calor por conducción en verano a través de la envolvente ya que la temperatura exterior es mayor que la interior.

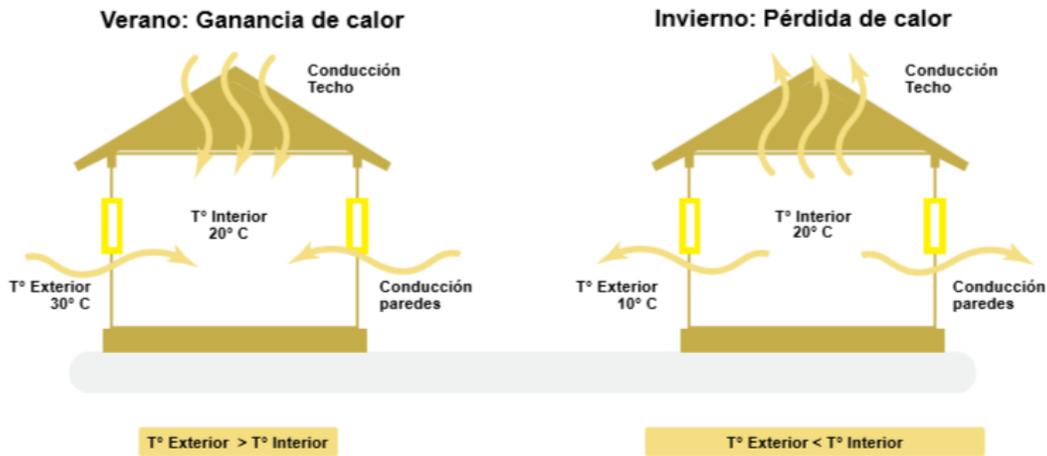


Figura 2.3: Conducción de calor en una vivienda en verano (izquierda) y en invierno (derecha)

b) Flujos de aire por ventilación e infiltración

En una vivienda el aire pasa por los elementos de la envolvente desde el interior al exterior o viceversa debido a filtraciones en sectores críticos (figura 2.4 B) o por ventilación controlada (figura 2.4 A). Ambas pueden ser pérdidas de energía si el aire exterior está a menor temperatura (invierno) o ganancias térmicas si está a mayor temperatura (verano). Una vivienda con bajo nivel de hermeticidad puede tener considerables pérdidas o ganancias de energía (ver figura 2.6).

Las infiltraciones se producen por mal sello de ventanas, puertas u orificios entre otros y pueden causar grandes flujos térmicos si no son controladas.

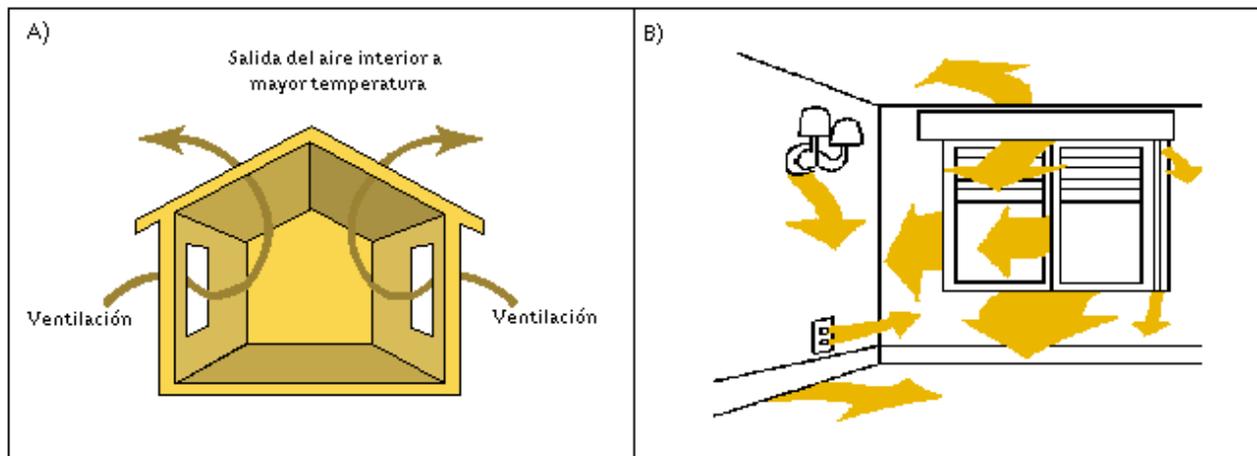


Figura 2.4: Ventilación (A) y filtraciones (B) en una vivienda

c) Ganancias solares (6)

El Sol es una de las principales fuentes de calor, proporcionándolo durante todo el año, en mayor o menor cantidad según la época, es por ello que las ganancias térmicas de una vivienda debido a la energía solar son considerables y deben ser conocidas. El Sol libera energía mediante radiación, esto es, ondas electromagnéticas que viajan hasta llegar a un cuerpo que las recibe, en este caso la vivienda a través de muros, ventanas y techumbre. Esta radiación llega a la vivienda de forma directa (atravesando directamente la atmósfera hasta la superficie de la Tierra) o de forma difusa (reflejada en la atmósfera).

Es por ello que la radiación genera ganancias térmicas en la vivienda, las que dependen de factores como la situación geográfica (latitud y altitud), la época del año (hora y mes considerado) y la orientación de la vivienda y sus ventanas. Además se considera que la radiación no ingresa en su totalidad a la vivienda, ya que puede ser absorbida (el elemento guarda el calor), reflejada (el calor es devuelto al exterior) o transmitida (el elemento deja pasar la radiación al interior de la vivienda). En el caso de un vidrio simple, la radiación absorbida corresponde al 5-6% del total, mientras que la radiación reflejada y transmitida depende del ángulo de incidencia de los rayos sobre la ventana, aunque si es muy pequeño, la radiación transmitida es cerca del 86-87% y la reflejada es cerca del 8-9%. Sin embargo, se debe considerar que el calor entregado a la vivienda corresponde al total del calor transmitido además del 40% del calor absorbido.

Los elementos translúcidos (ventanas) son los que mayormente transmiten la radiación solar hacia el interior de la vivienda, mientras que los elementos opacos absorben parte de ella y transmiten una cantidad menor hacia el interior.

Para determinar las ganancias solares se utilizan las tablas del anexo A, que consideran la transmisión de calor por radiación directa, difusa y el porcentaje de calor absorbido por el cristal y que se transmite al local.

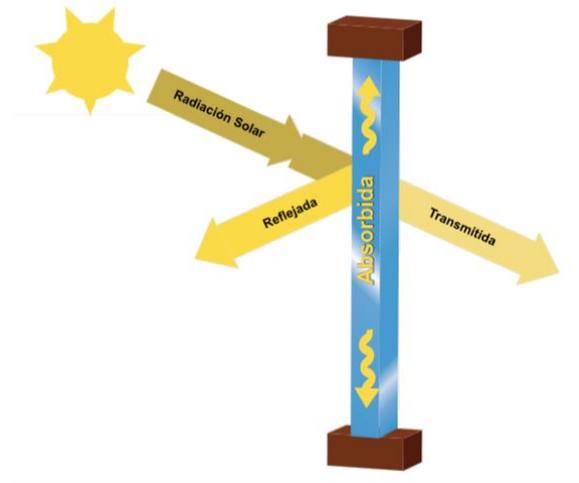


Figura 2.5: Radiación absorbida, reflejada y transmitida a través de una ventana

d) Ganancias internas

Estas ganancias son parte de las ganancias térmicas de una vivienda, y están dadas por diversos factores al interior de ella, como lo son el calor emitido por sus ocupantes, la iluminación y electrodomésticos entre otros.

En el caso de los ocupantes, ellos liberan calor a su entorno debido a la actividad corporal y la diferencia de temperatura entre el cuerpo humano y el ambiente. El cuerpo transfiere calor por radiación o convección hacia las paredes y el ambiente interior de la vivienda, según la actividad que se desarrolle.

La iluminación artificial de la vivienda (como es el caso de las ampolletas) transmite calor por radiación, convección y conducción. Por ejemplo, las ampolletas incandescentes transmiten un 90% de su energía en forma de calor, mientras que los tubos fluorescentes, un 75% (6).

Por último, se deben considerar las ganancias de calor producidas por los aparatos eléctricos, algunos de los que generan calor al estar encendidos.

El cálculo de las ganancias internas se presenta en el anexo B con sus respectivas tablas.

2.2. Balance de energía

A través del *balance de energía*, se determinan los requerimientos de calefacción o refrigeración según el caso (ver figura 2.6).

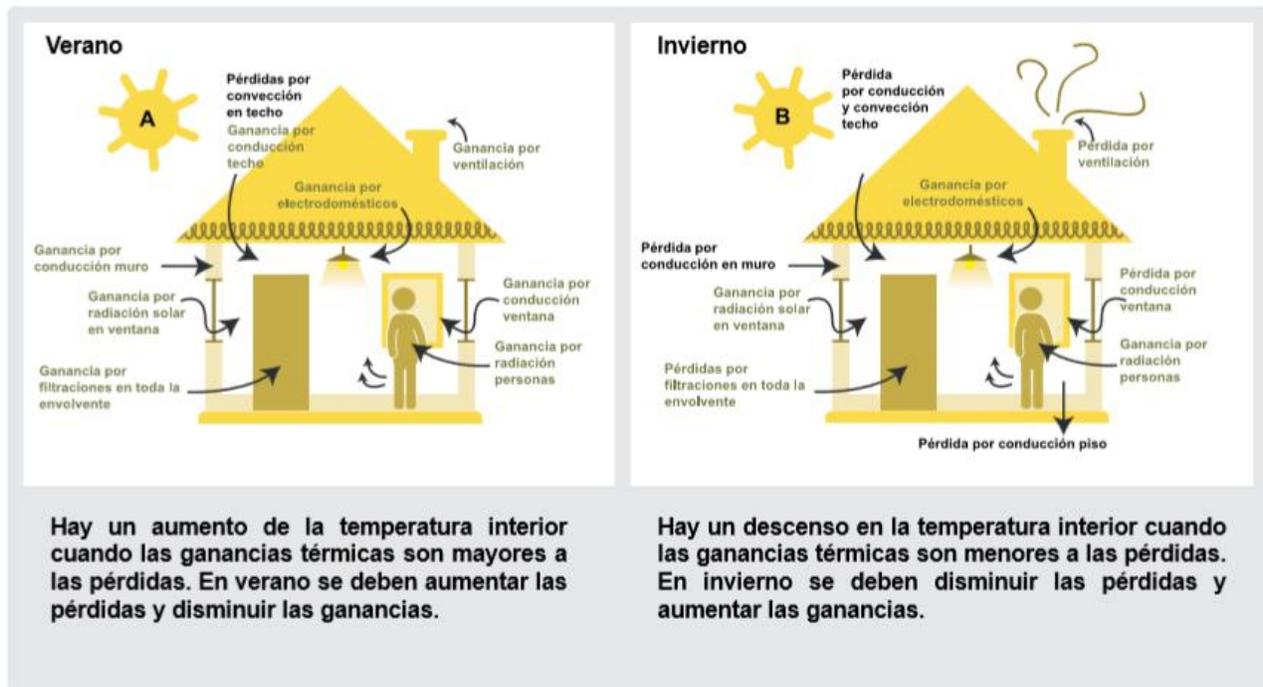


Figura 2.6: Ganancias y pérdidas de energía en verano (A) e invierno (B)

Con el balance de energía es posible determinar si es necesario realizar un acondicionamiento térmico de la envolvente. Una vez realizadas las mejoras térmicas de ella, se debe determinar qué equipo o sistema de calefacción es el indicado para satisfacer la demanda de energía requerida por la vivienda y así optimizar su consumo.

El reacondicionamiento térmico no es genérico, ya que se deben considerar ciertas propiedades de la vivienda, como su **factor de forma**, que está relacionado con la cantidad de elementos perimetrales en contacto con el exterior a través de los cuales se produce la transferencia de calor respecto al volumen de aire a calefaccionar.

Por ejemplo, las viviendas aisladas requieren mayor energía en calefacción que un departamento o que una vivienda pareada, debido a su mayor envolvente en contacto con el exterior.

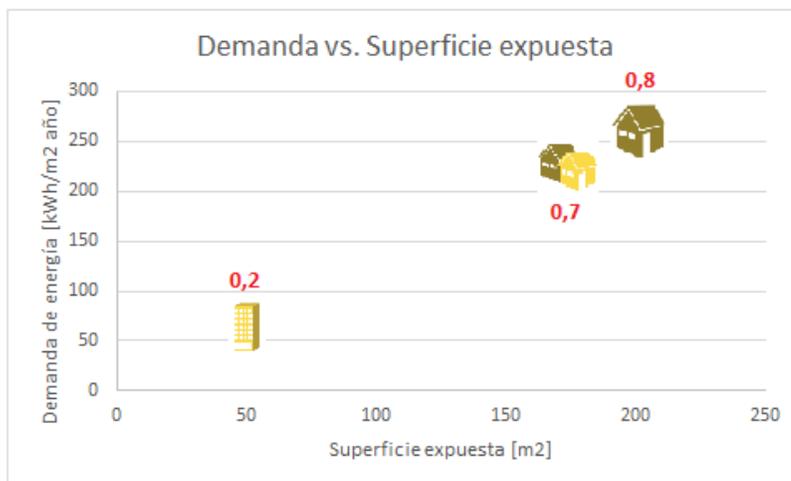
Factor de forma (Cf): cociente entre la superficie de la envolvente expuesta (Se) y el volumen habitable (V).

$$(XV) \quad C_f = \frac{S_e}{V}$$

Mientras mayor el factor de forma, mayor es la demanda de energía de calefacción de la vivienda.

Tabla 2.1: Elementos de la envolvente en contacto con el exterior para vivienda aislada, pareada y departamento

|  |  |  |
|---|---|---|
| <p>Vivienda aislada</p> <p>6 elementos en contacto con el exterior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Muros • 1 techo • 1 piso | <p>Vivienda pareada o en fila</p> <p>4-5 elementos en contacto con el exterior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2-3 Muros • 1 techo • 1 piso | <p>Departamento</p> <p>1-4 elementos en contacto con el exterior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-3 Muros • 1 techo (sólo en deptos. último piso) • 1 piso (sólo en deptos. primer piso) |



En rojo se ve el factor de forma de la vivienda

A mayor factor de forma, mayor consumo y demanda de energía, por lo que hay un mayor uso de calefacción en la vivienda.

Figura 2.7: Demanda vs. Superficie expuesta según tipología de vivienda

La figura 2.7 muestra un ejemplo donde se compara la demanda de energía, la superficie expuesta y el factor de forma para tres tipos de vivienda. Se consideraron una vivienda aislada, una pareada por un lado y un departamento, las tres con una superficie de 100 m², un volumen de 250 m³ y ubicadas en la zona térmica 3. En este caso lo que varía entre las viviendas es la superficie expuesta al exterior, gracias a lo que cambian sus demás variables. Así, dadas estas características, se obtiene que el departamento pierde energía a través de 50 m² de superficie expuesta y la vivienda aislada a través de 200 m², con lo cual los requerimientos de energía serán completamente distintos (un departamento puede llegar a requerir sólo el 25% de energía de una vivienda aislada) y las medidas de aislación térmica deben ser enfocadas en forma diferente.

Las pérdidas de energía en una vivienda aislada de 68 m², de albañilería, ventana de vidrio simple con marco de aluminio, y techumbre sin aislación térmica, ubicada en Santiago, (zona térmica 3), son de 43% a través de la techumbre, 32% a través de los muros y un 10% a través de las ventanas, además de un 9% de pérdidas por infiltraciones.

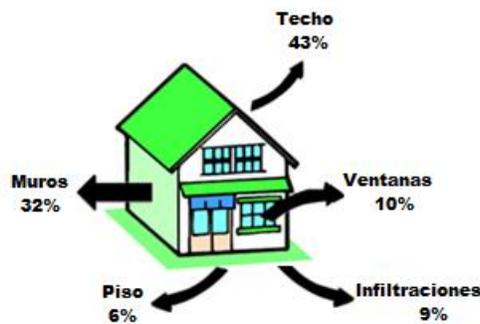


Figura 2.8: Pérdidas en una vivienda aislada ubicada en zona 3 y con una superficie de 68 m²

En este punto es importante indicar la diferencia entre demanda de energía y consumo de energía, ya que ambos factores deben considerarse en el reacondicionamiento de la vivienda.

2.2.1. Demanda de energía (5) (20) (22)

La **demanda de energía** es la energía necesaria para mantener en el interior de la vivienda las condiciones de confort, depende de las características térmicas de la envolvente, su orientación, condiciones de uso y clima del lugar de emplazamiento. La demanda de energía por lo general se expresa en [kWh/(m² año)], para poder comparar una vivienda de otra con una misma superficie y se obtiene con las fórmulas I y II.

$$(I) \quad \text{Demanda de energía} = \text{Pérdidas térmicas} - \text{Ganancias térmicas}$$

$$(II) \quad \text{Demanda de energía} = \frac{G_{v_2} * V * 24 * GD}{1000} - (\text{Ganancias solares} + \text{Ganancias internas})$$

dónde:

Demanda de energía: Demanda medida en [kWh/año].

Pérdidas térmicas: Pérdidas medidas en [kWh/año].

Ganancias térmicas: Ganancias medidas en [kWh/año].

G_{v_2} : Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales, en [W/(m³ K)].

V : Volumen total de una vivienda en [m³].

GD : Grados/día anuales en la zona térmica donde se ubica la vivienda, en [°C].

Ganancias solares: Ganancias medidas en [kWh/año].

Ganancias internas: Ganancias medidas en [kWh/año].

G_{v_2} corresponde al coeficiente volumétrico global de pérdidas de energía, e incluye las pérdidas de calor a través de los elementos de la envolvente (muros, ventanas, pisos y techumbre) y las pérdidas producidas por la ventilación de la vivienda, de la siguiente forma.

$$(III) \quad G_{v_2} = \frac{\sum U_i * S_i + K_l * P}{V} + 0,35 * n$$

dónde:

U_i : Transmitancia térmica del elemento i de la vivienda en [W/(m² K)].

S_i : Superficie del elemento i de la vivienda en [m²].

K_l : Transmitancia térmica lineal en [W/(m K)].

P : Perímetro exterior del piso en contacto con el terreno en [m].

V : Volumen total de la vivienda, en [m³].

n : Renovaciones de aire por hora en la vivienda.

Las ganancias térmicas consisten en las ganancias solares más las ganancias internas, y para estimarlas lo mejor es realizar simulaciones energéticas en forma dinámica a través de software, o utilizar el sistema de calificación energética de MINVU.

Ejemplo:

Se determina la demanda de calefacción de una vivienda de 68 m², con las siguientes características (considerando valores aproximados a modo de referencia):

Tabla 2.2: Volumen y superficie vivienda ejemplo

| | |
|--------------------------------|-----------------------|
| Volumen vivienda (V) | 163 [m ³] |
| Superficie vivienda (S) | 68 [m ²] |

Tabla 2.3: Transmitancia térmica y superficie de cada elemento de la envolvente, vivienda ejemplo

| Elemento | Transmitancia térmica U [W/(m ² K)] | Superficie [m ²] |
|-----------|--|------------------------------|
| Muros | 1,9 | 72 |
| Techumbre | 0,47 | 68 |
| Ventanas | 5,8 | 12 |
| Puertas | 2,21 | 3 |

Tabla 2.4: Transmitancia térmica lineal y perímetro piso, vivienda ejemplo

| Elemento | Transmitancia térmica lineal KI [W/(m K)] | Perímetro contacto con el exterior [m] |
|----------|---|--|
| Piso | 1,4 | 32 |

Para los cálculos se considera lo siguiente:

Tabla 2.5: Propiedades consideradas para la vivienda ejemplo

| | |
|--|----------------|
| Grados día (GD) ¹ | 850 [°C] |
| Renovaciones de aire por hora (n) ² | 1 |
| Ganancias solares (G) | 1640 [kWh/año] |
| Ganancias internas (I) | 1757 [kWh/año] |

De acuerdo a las fórmulas para obtener la demanda de energía (equivalente al balance, ya que corresponde a pérdidas menos ganancias) vistas, el balance de energía se puede obtener calculando:

$$G_{v_2} = \frac{U_{muros} * S_{muros} + U_{techumbre} * S_{techumbre} + U_{ventanas} * S_{ventanas} + U_{puertas} * S_{puertas} + K_l * P}{V} + 0,35 * n$$

$$G_{v_2} = \frac{1,9 * 72 + 0,47 * 68 + 5,8 * 12 + 2,21 * 3 + 1,4 * 37}{163} + 0,35 * 1 = 2,17 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Luego la demanda de energía será:

$$Demanda\ de\ energía = \frac{G_{v_2} * V * 24 * GD}{1000} - (G + I)$$

$$= \frac{2,17 * 163 * 24 * 850}{1000} - (1757 + 1640) = 3819 \left[\frac{kWh}{año} \right]$$

De forma estándar, la demanda de energía de la vivienda por cada m² se obtiene dividiendo esta demanda por la superficie habitacional total de ella.

¹ Grados día anual en Santiago (Quinta Normal) en base a 15°C (37).

² Asumiendo renovaciones de aire mínimas en la sala de estar.

$$\text{Demanda de energía} = \frac{3819}{68} = 56 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{año}} \right]$$

2.2.2. Consumo de energía (5) (30)

Por su parte el *consumo de energía*, corresponde a la cantidad de energía real requerida para satisfacer la demanda, lo que depende del rendimiento del sistema de calefacción, como se muestra en la fórmula IV. Como el rendimiento de los sistemas utilizados tiene generalmente valores inferiores al 100% (excepto en casos como bombas de calor y calderas de condensación), el consumo será generalmente mayor a la demanda de energía.

Eficiencia de un equipo: Proporción entre la energía aprovechada por un aparato y la que éste ha consumido para funcionar.

$$(XIV) \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía consumida}}$$

$$(IV) \quad \text{Consumo de energía} = \frac{\text{Demanda de energía}}{\text{Eficiencia equipo}}$$

En el caso de dos viviendas con exactamente las mismas características, y a igual demanda de energía, su consumo final dependerá de los equipos de climatización utilizados, puesto que cada uno tiene distinta eficiencia, y el costo final dependerá tanto de la eficiencia de los equipos como del costo del combustible.

Todos los combustibles se comercializan en diferentes unidades; el gas y la madera en metros cúbicos, la parafina en litros y la electricidad en kWh, por lo que para poder compararlos económicamente, se debe determinar el costo de energía que liberan en el proceso de combustión el gas, la madera y la parafina en kWh (unidad de energía), para ello se utiliza el poder calorífico de cada material según la siguiente fórmula.

Poder calorífico: Es la cantidad de energía que puede liberar un combustible al realizarse la combustión en el aire.

$$(V) \quad \text{Costo energía (Precio por kWh)} = \frac{\text{Precio del combustible}}{\text{Poder calorífico del combustible}}$$

Por ejemplo:

Tabla 2.6: Precio y poder calorífico del kerosene y el gas natural

| Kerosene | | Gas Natural | |
|---|--------|---|--------|
| Precio por litro [\$/litro] ³ | \$ 628 | Precio por m ³ [\$/m ³] ⁴ | \$ 790 |
| Poder calorífico [kWh/litro] ⁵ | 9,78 | Poder calorífico [kWh/m ³] ⁶ | 10,86 |

³Fuente: www.bencinaenlinea.cl, precio promedio para el día 12 de Junio de 2015 (10).

⁴Fuente: Tarifas de Metrogas para el segundo tramo (de 5 a 10 m³) a Junio de 2015 (26).

⁵Fuente: Mesas de calefacción eficiente Región del Biobío. Mesa 4: Tecnología en equipos de calefacción, Ministerio de Energía – Universidad de Concepción, Noviembre 2014 (30).

⁶ Fuente: <http://www.drto.cl/ACHEE/documentos/recursos/DireccionAnexo2.pdf> Cuadro N°1 (2).

El precio por kWh se obtiene dividiendo el precio unitario por el poder calorífico en las unidades adecuadas.

Tabla 2.7: Cálculo del precio por kWh para kerosene y gas natural

| Kerosene | Gas Natural |
|--|---|
| $\text{Precio por kWh} = \frac{\text{precio por litro}}{\text{poder calorífico}} = \frac{\$628 \text{ por litro}}{9,78 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{litro}} \right]}$ $= \$64 \text{ por kWh}$ | $\text{Precio por kWh} = \frac{\text{precio por m}^3}{\text{poder calorífico}} = \frac{\$790 \text{ por m}^3}{10,86 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right]}$ $= \$73 \text{ por kWh}$ |

En el capítulo 3 se puede ver en detalle cómo obtener el costo de la energía y la conveniencia de los distintos combustibles, se tratan estos temas con mayor profundidad y se realiza un análisis más detallado.

Ejemplo:

Si se tiene una vivienda con una demanda de calefacción de 100 [kWh/(m² año)] y se desea determinar qué tipo de equipo es el más conveniente, se deben analizar distintas opciones, considerando tanto la eficiencia de los equipos como el costo del combustible. En este caso se consideran cuatro equipos para calefaccionar la vivienda.

Tabla 2.8: Ejemplo de consumo de energía para distintos tipos de calefacción

| | Estufa a leña | Estufa a parafina | Caldera a gas natural | Calefactor eléctrico |
|--|---|---|---|---|
| Tipo de calefacción |  |  |  |  |
| Eficiencia del equipo⁷ | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 1,0 |
| Consumo de energía [kWh/(m² año)] | 167 | 167 | 111 | 100 |
| Costo del kWh generado por tipo de combustible [\$/kWh] | \$33 | \$64 | \$73 | \$84 |
| Precio útil de la energía [\$/kWh] | \$55 | \$107 | \$81 | \$84 |
| Costo anual [\$/ (m² año)] | \$5.511 | \$10.688 | \$8.103 | \$8.400 |

⁷ Para las estufas a leña, kerosene y gas natural se consideran aparatos con una ventilación adecuada y una eficiencia de acuerdo al Sistema de Calificación Energético de Viviendas (SCEV) (31).

Los parámetros importantes a considerar en la comparación de los distintos equipos corresponden al *precio útil de la energía* y al *costo anual*. El precio útil es el costo del kWh generado dividido por la eficiencia del equipo, gracias a lo cual se obtiene el costo real de la energía por kWh del equipo en particular y se puede hacer una comparación adecuada (ver capítulo 3 para más información).

$$(VI) \quad \text{Precio útil energía} = \frac{\text{Precio combustible (kWh)}}{\text{Eficiencia equipo}}$$

De acuerdo a la fórmula IV, la eficiencia de los equipos determina su consumo en kWh, mientras que si se considera además el costo del kWh generado, se puede obtener un costo anual por m².

Es importante destacar que al momento de analizar las opciones de calefacción se deben considerar todas las variables presentadas. Considerando este ejemplo, si se analiza sólo el consumo de energía, se podría concluir que el mejor equipo corresponde al calefactor eléctrico (con un consumo de 100 kWh/m² año), mientras que el peor equipo son las estufas a parafina y leña (consumo de 167 kWh/m² año), las que poseen un consumo de casi el doble. Sin embargo, si se consideran otras variables, como el costo del combustible por kWh generado, las mejores opciones cambian, siendo más conveniente la estufa a leña (con un costo anual de \$5.511 por m² a calefaccionar), ya que el costo de la leña es mucho menor que el de los demás combustibles. Por otro lado, la opción menos conveniente pasa a ser la estufa a parafina (con un costo anual de \$10.688 por m² a calefaccionar). Sin embargo, a estos resultados se debe agregar una variable no numérica, correspondiente a los problemas de contaminación y a la salud que puede acarrear el uso de ciertos aparatos, por ejemplo, aunque la estufa a leña sea la más conveniente en cuanto a costos, genera problemas como contaminación intradomiciliaria, si no posee evacuación de gases al exterior, al igual que la estufa a parafina; en este sentido lo más limpio son los sistemas de calefacción a través de circuitos cerrados como calderas o calefactores eléctricos, los que a su vez tienen un mayor costo de instalación. Es por ello que finalmente se deben considerar todas las variables al momento de decidir y ver cuál es la que más se acomoda a las necesidades del usuario.

Vale la pena hacer notar que los costos relativos entre los combustibles (precio útil, en \$/kWh) varían en el tiempo. A modo de ejemplo, en general, el costo de la energía eléctrica es significativamente superior al del gas natural. Circunstancialmente, para este año en Santiago esta diferencia es mínima. Además, para el costo de la energía eléctrica deben considerarse los costos de consumo sobre el límite de invierno, es decir, el valor de la energía adicional de invierno (ver capítulo 3) que son significativamente mayores. Finalmente, los precios dependen en gran medida de la localidad, sobretudo el precio de la electricidad, donde se da generalmente que en las localidades más pequeñas y alejadas de los centros de consumo el costo es mayor. Por ejemplo, este año en Concepción la electricidad es 38% más cara que en Santiago, en Los Ángeles un 88% y en Nacimiento un 116%, por lo que en este último caso cuesta más del doble que en Santiago. Por tanto, se recomienda hacer un análisis como el de la tabla anterior con los costos actualizados en el tiempo y en la localidad correspondiente.

2.3.Reglamentación térmica en Chile (5) (21) (24) (33)

El acondicionamiento térmico de la envolvente en Chile está reglamentado a través de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C.), específicamente en su artículo 4.1.10 (33). La primera reglamentación se estableció el año 2000, en la cual se determinaron requerimientos mínimos de acondicionamiento térmico de techumbre. Posteriormente en el año 2007, se incorporaron requerimientos de muros, ventanas y pisos ventilados.

Esta normativa es aplicable a las nuevas construcciones, por ende las viviendas construidas antes del 2000, correspondientes a 4.503.632 viviendas (29) es probable que no posean ningún tipo de aislación, por lo que es importante y fundamental reacondicionarlas si corresponde.

Según la O.G.U.C., Chile está clasificado en 7 zonas térmicas de acuerdo a los requerimientos de calefacción (ver figura 2.9). Estas zonas están determinadas de acuerdo a los grados/día a calefaccionar.

Grados/día: En un período de un día, es la diferencia entre la temperatura fijada como “base” y la media diaria de las temperaturas bajo ella, igualando a la “base” aquellas superiores.

A menos grados/día, menor son los requerimientos de calefacción, así una zona con pocos grados/día corresponde a una zona donde se debe calefaccionar poco, mientras que en una zona con más grados/día, se debe calefaccionar más. La zona 1 corresponde a la que requiere menor calefacción, las zonas van aumentando hasta llegar a la zona 7, que posee mayor requerimiento de calefacción.



Tabla 2.9: Grados/día por zona (21) (37)

| Zona | Rango de Grados/día | Ciudades referenciales |
|------|---------------------|--|
| 1 | ≤ 500 | Arica, Iquique, Antofagasta, Copiapó, La Serena. |
| 2 | 500 - 750 | Calama, Ovalle, Viña del Mar. |
| 3 | 750 - 1000 | Los Andes, Santiago, Rancagua. |
| 4 | 1000 - 1250 | Talca, Chillán, Concepción. |
| 5 | 1250 – 1500 | Temuco, Valdivia, Osorno. |
| 6 | 1500 – 2000 | Puerto Montt. |
| 7 | >2000 | Aysén, Punta Arenas, Antártida. |

Figura 2.9: Zonificación térmica según O.G.U.C.
Fuente: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, Waldo Bustamante G., 2009.

Actualmente la O.G.U.C. posee las siguientes exigencias para complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados de acuerdo a cada zona térmica.

Tabla 2.10: Valores de transmitancia térmica (U) máximos y resistencias térmicas (Rt) mínimas para techumbre, muros y pisos ventilados por zona térmica

| Zona | Techumbre | | Muros | | Pisos Ventilados | |
|------|--|---|---|---|---|---|
| | Transmitancia Térmica U [W/(m ² K)] | Resistencia Térmica Rt [m ² K/W] | Transmitancia Térmica U [W/(m ² K)] | Resistencia Térmica Rt [m ² K/W] | Transmitancia Térmica U [W/(m ² K)] | Resistencia Térmica Rt [m ² K/W] |
| 1 | 0,84 | 1,19 | 4 | 0,25 | 3,6 | 0,28 |
| 2 | 0,6 | 1,67 | 3 | 0,33 | 0,87 | 1,15 |
| 3 | 0,47 | 2,13 | 1,9 | 0,53 | 0,7 | 1,43 |
| 4 | 0,38 | 2,63 | 1,7 | 0,59 | 0,6 | 1,67 |
| 5 | 0,33 | 3,03 | 1,6 | 0,63 | 0,5 | 2 |
| 6 | 0,28 | 3,57 | 1,1 | 0,91 | 0,39 | 2,56 |
| 7 | 0,25 | 4 | 0,6 | 1,67 | 0,32 | 3,13 |

Fuente: Tabla 1, artículo 4.1.10, Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Abril 2014 (33).

Para el caso de ventanas, la O.G.U.C. establece un porcentaje máximo de superficies vidriadas con respecto a los paramentos de la envolvente (suma de las superficies interiores de todos los muros perimetrales que considere la vivienda, incluyendo muros medianeros y divisorios), de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2.11: Porcentaje máximo de superficie vidriada en una vivienda

| ZONA | % Máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente. | | |
|------|--|---|--------------------------------|
| | Vidrio Monolítico (b) | DVH Doble vidriado hermético (c) | |
| | | 3,6 [W/(m ² K)] ≥ U > 2,4 [W/(m ² K)] (a) | U ≤ 2,4 [W/(m ² K)] |
| 1 | 50% | 60% | 80% |
| 2 | 40% | 60% | 80% |
| 3 | 25% | 60% | 80% |
| 4 | 21% | 60% | 75% |
| 5 | 18% | 51% | 70% |
| 6 | 14% | 37% | 55% |
| 7 | 12% | 28% | 37% |

Fuente: Tabla 3, artículo 4.1.10, Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Abril 2014 (33).

De forma paralela, existe en Chile una normativa climático-habitacional, presentada en la norma NCh1079 Of.2008 (24) la cual divide al país en nueve zonas que están clasificadas de acuerdo al clima, las variaciones de temperatura, y condiciones meteorológicas como nubosidad y humedad ambiental entre otras. Esta clasificación es presentada en la tabla 2.12 y los valores recomendados de transmitancia térmica para la envolvente para cada zona se presentan en la tabla 2.13, siendo ellos menores a los de la O.G.U.C. por lo que al cumplirlos se cumple más de lo exigido en la normativa vigente (O.G.U.C. 2007).

Tabla 2.12: Zonificación climática y sus ciudades referenciales

| Zona | | Ciudades referenciales |
|-------------|----------------------------|--|
| NL | Norte Litoral | Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena. |
| ND | Norte Desértica | Calama. |
| NVT | Norte Valles Transversales | Copiapó, Ovalle. |
| CL | Central Litoral | Viña del Mar. |
| CI | Central Interior | Los Andes, Santiago, Rancagua, Talca, Chillán. |
| SL | Sur Litoral | Concepción, Valdivia, Puerto Montt. |
| SI | Sur Interior | Temuco, Osorno. |
| SE | Sur Extremo | Aysén, Punta Arenas, Antártida. |
| An | Andina | San Pedro de Atacama, Curacautín. |

Fuente: Tabla 1 y Anexo D, NCh1079 Of.2008 Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico (24).

Tabla 2.13: Valores máximos recomendados de transmitancia térmica de la envolvente, en [W/m² K]

| Zona | Muros | Techumbre | Piso ventilado | Ventanas⁸ |
|-------------|--------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|
| NL | 2,00 | 0,80 | 3,0 | 5,8 |
| ND | 0,50 | 0,40 | 0,7 | 3,0 |
| NVT | 0,80 | 0,60 | 1,2 | 3,0 |
| CL | 0,80 | 0,60 | 1,2 | 3,0 |
| CI | 0,60 | 0,50 | 0,8 | 3,0 |
| SL | 0,60 | 0,40 | 0,8 | 3,0 |
| SI | 0,50 | 0,30 | 0,7 | 3,0 |
| SE | 0,40 | 0,25 | 0,5 | 2,4 |
| An | 0,30 | 0,25 | 0,4 | 2,4 |

Fuente: Tabla E.1, NCh1079 Of.2008 Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico (24).

Para obtener más información sobre esta zonificación climática se recomienda ver la norma NCh1079 Of.2008 (24), que explica en detalle su correcto uso.

2.4. Calificación energética (31)

Actualmente está en operación un Sistema de Calificación Energética de Viviendas de MINVU (SCEV), que evalúa la eficiencia energética de una vivienda comparándola con una de referencia, y clasificándola a través de 7 niveles de eficiencia energética, desde la A (más eficiente) a la G (menos eficiente). La letra E representa el estándar actual de construcción, establecido en el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C., para aislación en muros, pisos ventilados y techumbre, a partir del 2007.

⁸ Valores válidos para ventanas verticales (ubicadas en un muro). Para ventanas en techumbre entre las zonas ND a An se recomienda doble vidriado hermético.

La Calificación Energética de Viviendas (CEV), es un instrumento actualmente de uso voluntario, que califica la eficiencia energética de una vivienda nueva en su etapa de uso, de forma similar al sistema usado para etiquetar energéticamente refrigeradores y automóviles, considera los requerimientos de calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria.

Esta calificación se puede hacer en dos etapas:

- **Precalificación energética:** Se realiza en proyectos de arquitectura que tengan permiso de edificación aprobado por el director de Obras Municipales. Es provisoria y su vigencia es válida hasta que el proyecto obtenga la recepción municipal definitiva.
- **Calificación energética:** Corresponde a la evaluación final y definitiva de la obra terminada. Para emitirla se califica nuevamente el proyecto, según los planos y especificaciones técnicas finales, con recepción municipal aprobada por el director de Obras Municipales, y la documentación adicional acreditada por el propietario. Tiene una duración de 10 años, o hasta que se realice alguna modificación que altere los parámetros con los que fue evaluada la vivienda.

Tanto en la Precalificación como en la Calificación, la vivienda obtendrá dos letras finales incluidas en la etiqueta:

- **Calificación de Arquitectura:** Corresponde a la primera letra, la que evalúa sólo la estructura de la envolvente en sí. Se obtiene una mejor calificación si la vivienda ha utilizado materiales como aislante térmico en techumbre, muros y pisos por sobre el mínimo que exige la normativa chilena. Además, premia con mayor evaluación (o mejor letra) a las ventanas de doble vidriado hermético (termopanel) y que estén bien orientadas, por lo que permiten el ingreso del sol en períodos más fríos.
- **Calificación de Arquitectura + Equipos + Tipo de Energía:** Segunda letra, la que considera además de la envolvente los equipos de climatización que se utilizan en ella. Se otorga una mejor valoración a las viviendas que usan equipos eficientes e incorporan energías renovables para iluminación, calefacción y agua caliente sanitaria.

Una vivienda con buena calificación contribuirá a mejorar el desempeño de la vivienda y las condiciones de confort térmico al interior de los hogares, reduciendo riesgos de contraer enfermedades respiratorias y otras asociadas a períodos invernales. Por otra parte, contar con información objetiva sobre el comportamiento energético de una vivienda, beneficiará principalmente a sus potenciales compradores, quienes podrán comparar las distintas ofertas que hay en el mercado y elegir sabiendo cuál se comporta mejor energéticamente.



Figura 2.10: Etiqueta de Pre calificación energética

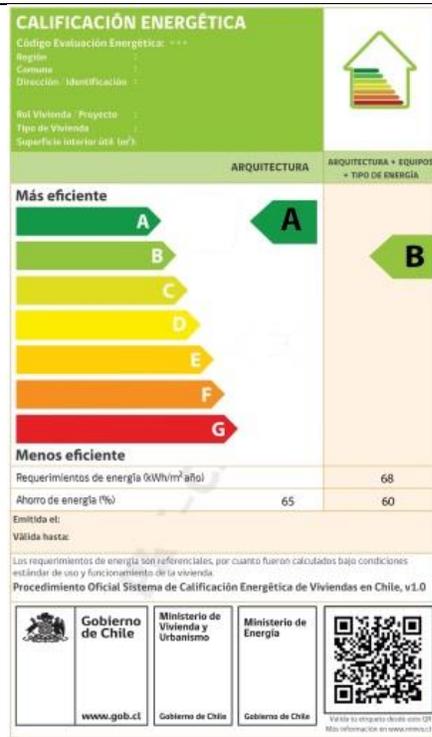


Figura 2.11: Etiqueta de Calificación energética

2.5. Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas

2.5.1. Conductividad térmica (23) (25)

La **conductividad térmica** (λ), mide la capacidad de los materiales para conducir calor cuando existe una diferencia de temperatura en sus caras, se mide en $[W/(m K)]$ y mientras más bajo sea su valor, el material es más aislante.

Valores de λ de los materiales se puede obtener de la norma chilena NCh853 Of.2007 “Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” (23) y se miden por el método del anillo de guarda de la norma NCh850 Of.2008.

Conductividad térmica, λ : cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en una unidad de tiempo a través de una 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 $[W/(m K)]$.

Tabla 2.14: Conductividad térmica de algunos materiales

| Material | Conductividad térmica λ [W/(m K)] |
|-----------------------------|---|
| Aire quieto a 0°C | 0,024 |
| Poliuretano expandido | 0,0272 – 0,0254 |
| Poliestireno expandido | 0,0361 - 0,043 |
| Lana mineral | 0,037 - 0,042 |
| Hormigón celular sin áridos | 0,09 |
| Madera | 0,091 – 0,28 |
| Ladrillo a máquina | 0,46 - 1,0 |
| Agua líquida a 0°C | 0,59 |
| Adobe | 0,90 |
| Vidrio | 1,2 |
| Hormigón armado (normal) | 1,63 |
| PVC ⁹ | 2,0 |
| Acero ¹⁰ | 47 – 58 |
| Aluminio | 210 |

Fuente: NCh853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Anexo A, Tabla A.1

Los materiales aislantes (tales como el poliuretano, el poliestireno expandido, lana mineral, entre otros) tienen una baja conductividad térmica mientras que ladrillos, hormigón o vidrio tienen un alto valor (ver tabla 2.14).

Para efectos comparativos, se muestra en la siguiente tabla el espesor equivalente para lograr una resistencia térmica similar a 3 cm de poliestireno expandido. Claramente se observa que hay materiales que no se pueden usar como aislación y que son meramente estructurales en una construcción.

Tabla 2.15: Espesores equivalentes a aislación de 3 cm de poliestireno expandido para distintos materiales

| Material | Conductividad térmica λ [W/(m K)] | Espesor equivalente a 3 cm de poliestireno expandido |
|------------------------|---|---|
| Poliestireno expandido | 0,043 | 3 cm |
| Madera | 0,12 | 8 cm |
| Ladrillo | 0,8 | 56 cm |
| Vidrio | 1,2 | 84 cm |
| Hormigón | 1,6 | 112 cm (1,12 m) |

⁹ Fuente: Manual técnico: Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, página 61 (13).

¹⁰ Fuente: Termodinámica: Tablas de Termodinámica. Conductividad térmica en materiales [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php] (39).

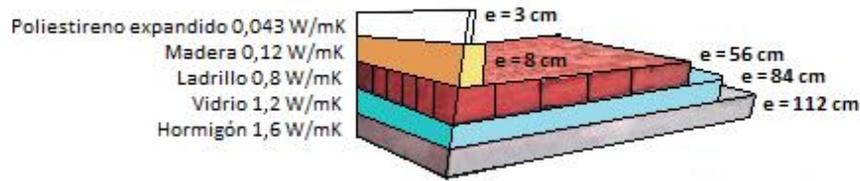


Figura 2.12: Espesor equivalente de algunos materiales

La resistencia térmica (R) corresponde a la oposición al paso del calor que presentan todos los elementos. Se distinguen cuatro casos:

- **Resistencia térmica de una capa de material homogéneo (R_m):** Para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica R , queda dada por:

$$(VII) \quad R_m = \frac{e}{\lambda}$$

dónde:

R_m : Resistencia térmica del material homogéneo en $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$.

e : Espesor del material, en [m].

λ : Coeficiente de conductividad térmica del material, en $\left[\frac{W}{m K}\right]$.

- **Resistencia térmica de un elemento compuesto (R):** Suma de las resistencias de cada capa del elemento:

$$(VIII) \quad R = \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$$

dónde:

R : Resistencia térmica del elemento compuesto en $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$.

e_i : Espesor del material i , en [m].

λ_i : Conductividad térmica del material i , en $\left[\frac{W}{m K}\right]$.

La resistencia térmica de varias capas de materiales homogéneos, por ejemplo un muro de hormigón con aislación, corresponde a la suma de sus resistencias.

- **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 norma NCh851 Of.2008 y se expresa en [m² K/W].

Por ejemplo, algunos elementos constructivos pueden contener huecos de aire en su interior (bloques de hormigón, elementos prefabricados, ladrillos huecos, dobles tabiques, entretechos, subsuelos). Cuando estos huecos son relativamente herméticos y grandes pueden ofrecer resistencias térmicas importantes al paso del calor y se debe considerar la resistencia térmica de estas cámaras de aire, R_g . Sus valores se obtienen de la norma chilena NCh853 Of.2007 según su posición relativa, el sentido del flujo térmico, el espesor del hueco (o cámara de aire), la emisividad del material (que a su vez depende del tipo de superficie interior, ya sea oscura, clara brillante u opaca) y se presentan a continuación en las tablas 2.16, 2.17 y 2.18.

Tabla 2.16: Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire verticales, flujo térmico horizontal

| Espesor de la cámara [mm] | Emisividad total, E | | | |
|---------------------------|---|------|------|------|
| | 0,82 | 0,2 | 0,11 | 0,05 |
| | Resistencia térmica, R_g [m ² K/W] | | | |
| 5 | 0,105 | 0,17 | 0,20 | 0,20 |
| 10 | 0,140 | 0,28 | 0,32 | 0,38 |
| 15 | 0,155 | 0,35 | 0,43 | 0,51 |
| 20 | 0,165 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |
| 25 | 0,165 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |
| 30 | 0,165 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |
| 35 | 0,165 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |
| $e \geq 40$ | 0,165 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |

Fuente: NCh853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Anexo C, Tabla C.1 (23).

Tabla 2.17: Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire horizontales, flujo térmico ascendente

| Espesor de la cámara [mm] | Emisividad total, E | | | |
|------------------------------|--|------|------|------|
| | 0,82 | 0,2 | 0,11 | 0,05 |
| | Resistencia térmica, Rg [m ² K/W] | | | |
| 5 | 0,10 | 0,16 | 0,17 | 0,19 |
| 10 | 0,13 | 0,23 | 0,26 | 0,29 |
| 15 | 0,13 | 0,25 | 0,29 | 0,32 |
| 20 | 0,14 | 0,25 | 0,29 | 0,33 |
| 30 | 0,14 | 0,26 | 0,31 | 0,35 |
| 40 | 0,14 | 0,27 | 0,32 | 0,36 |
| 50 | 0,14 | 0,28 | 0,33 | 0,37 |
| 60 | 0,14 | 0,28 | 0,34 | 0,38 |
| 70 | 0,14 | 0,29 | 0,34 | 0,39 |
| 80 | 0,15 | 0,30 | 0,35 | 0,40 |
| 90 | 0,15 | 0,30 | 0,35 | 0,40 |
| e ≥ 100 | 0,15 | 0,30 | 0,35 | 0,40 |

Fuente: NCh853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Anexo C, Tabla C.2 (23).

Tabla 2.18: Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas - Cámaras de aire horizontales, flujo térmico descendente

| Espesor de la cámara [mm] | Emisividad total, E | | | |
|------------------------------|--|------|------|------|
| | 0,82 | 0,2 | 0,11 | 0,05 |
| | Resistencia térmica, Rg [m ² K/W] | | | |
| 5 | 0,09 | 0,16 | 0,20 | 0,20 |
| 10 | 0,14 | 0,29 | 0,34 | 0,37 |
| 15 | 0,16 | 0,36 | 0,45 | 0,52 |
| 20 | 0,17 | 0,42 | 0,55 | 0,65 |
| 25 | 0,17 | 0,47 | 0,63 | 0,76 |
| 30 | 0,175 | 0,51 | 0,68 | 0,87 |
| 40 | 0,185 | 0,57 | 0,77 | 1,03 |
| 50 | 0,19 | 0,60 | 0,84 | 1,15 |
| 60 | 0,19 | 0,61 | 0,89 | 1,25 |
| 70 | 0,19 | 0,62 | 0,94 | 1,33 |
| 80 | 0,20 | 0,63 | 1,00 | 1,46 |
| 90 | 0,20 | 0,63 | 1,00 | 1,46 |
| e ≥ 100 | 0,20 | 0,63 | 1,00 | 1,46 |

Fuente: NCh853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Anexo C, Tabla C.3 (23).

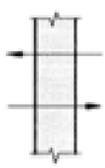
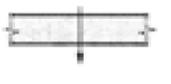
Nota: Cuando los huecos no son confinados ofrecen mucha menor resistencia, al punto que podrían no tomarse en cuenta.

- **Resistencia térmica de la capa de aire (R_s):** Corresponde al inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica h , es decir:

$$(IX) \quad R_s = \frac{1}{h}$$

Esta resistencia se expresa en [m² K/W] y está determinada según la NCh853 Of.2007 donde se considera como resistencia térmica de superficie, ya que consiste en la resistencia dada por la pequeña capa de aire que se forma en la superficie del elemento. Para todo elemento existe una resistencia de capa de aire interior (R_{si}) y de capa de aire exterior (R_{se}), las que están presentadas en la norma NCh853 Of.2007 según la posición del elemento, el sentido del flujo térmico y la ubicación del elemento (según los ambientes que separa), como se puede apreciar en la tabla 2.19.

Tabla 2.19 Resistencias térmicas de superficie interior y exterior R_{se} y R_{si}

| Posición del elemento y sentido del flujo de calor | | Situación del elemento | | | | | |
|--|---|--|----------|-------------------|---|----------|-------------------|
| | | De separación con espacio exterior o local abierto | | | De separación con otro local, desván o cámara de aire | | |
| | | R_{si} | R_{se} | $R_{si} + R_{se}$ | R_{si} | R_{se} | $R_{si} + R_{se}$ |
| Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor a 60° respecto a la horizontal |  | 0,12 | 0,05 | 0,17 | 0,12 | 0,12 | 0,24 |
| Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor a 60° respecto a la horizontal |  | 0,09 | 0,05 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,20 |
| Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor a 60° respecto a la horizontal |  | 0,17 | 0,05 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,34 |

Fuente: NCh853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Tabla 2 (23).

Por ejemplo, para determinar la resistencia de un muro perimetral de una vivienda (como muestra la figura 2.13), de acuerdo a la tabla 2.19 las resistencias superficiales son:

- Muro en contacto con el exterior $R_{si}=0,12$ y $R_{se}=0,05$,
- Muro en contacto con una bodega $R_{si}=0,12$ y $R_{se}=0,12$.

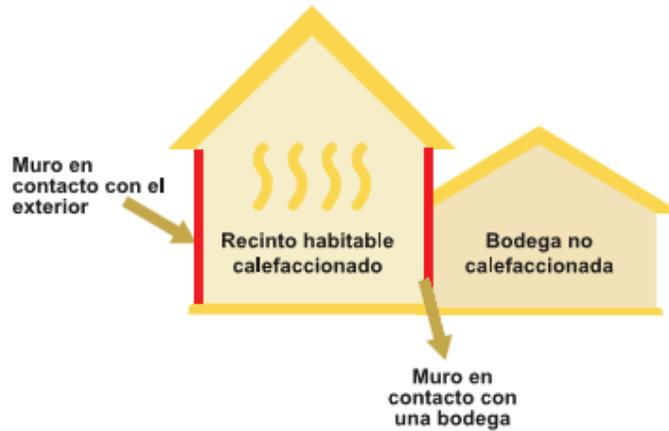


Figura 2.13: Tipos de muro para determinar resistencias superficiales

Para calcular la **resistencia térmica total** (R_T) de un elemento homogéneo simple o compuesto, además de considerar las resistencias de los distintos materiales que lo componen, se debe incluir las resistencias superficiales (capas de aire interior y exterior) y la resistencia de la cámara de aire si corresponde.

$$(X) \quad R_T = R_{se} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \sum R_g + R_{si}$$

dónde:

R_T : Resistencia térmica total del elemento, en [m² K/W].

R_{se} : Resistencia de la capa de aire exterior del elemento, en [m² K/W].

e_i : Espesor del material i que compone el elemento, en [m].

λ_i : Conductividad térmica del material que compone el elemento, en [W/(m K)].

R_g : Resistencia térmica de la cámara de aire, en [m² K/W].

R_{si} : Resistencia de la capa de aire interior del elemento, en [m² K/W].

Por otro lado, la **transmitancia térmica** (U) de un elemento corresponde al flujo de calor que pasa, en una unidad de tiempo, por una unidad de superficie del material homogéneo y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se conoce también como “valor U ” y su unidad es [W/(m² K)]. Mientras más bajo sea su valor, más aislante es el elemento. Es el inverso de la **resistencia térmica total** (R_T), que corresponde a la oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción.

La transmitancia térmica (U) de un elemento, se determina a partir de la resistencia térmica de éste, mediante la siguiente fórmula:

$$(XI) \quad U = \frac{1}{R_T}$$

dónde:

U : Transmitancia térmica del elemento, en $[W/(m^2 K)]$.

R_T : Resistencia térmica total del elemento, en $[m^2 K/W]$.

Cuando se trata de un elemento heterogéneo (como en la figura 2.14) compuesto por secciones de valores de U distintos, se obtiene un valor \bar{U} promedio ponderado de la siguiente forma:

$$(XII) \quad \bar{U} = \frac{U_1 * S_1 + U_2 * S_2 + \dots + U_n * S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{\sum U_i * S_i}{\sum S_i}$$

dónde:

\bar{U} : Transmitancia térmica total, en $[W/(m^2 K)]$.

U_i : Transmitancia térmica del elemento i , en $[W/(m^2 K)]$.

S_i : Superficie del elemento i a través de la que fluye el calor, en $[m^2]$.

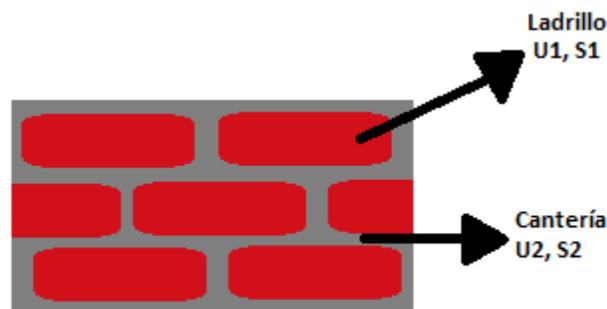


Figura 2.14: Elemento heterogéneo (ladrillo y cantería)

Para determinar las pérdidas por el piso en contacto con el terreno, se debe utilizar la **transmitancia térmica lineal (K_l)** que corresponde al flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura. Se expresa en $[W/(m K)]$.

Para mayor información revisar NCh853 Of.2007 “Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” (23).

Ejemplos (23) (32) (34):

Se determina la transmitancia térmica de elementos en contacto con el exterior, con diferentes configuraciones:

- Muro de hormigón armado,
- Muro de hormigón armado con aislación,
- Ventana de aluminio con vidrio simple,
- Ventana de aluminio con doble vidrio hermético (termopanel),
- Muro de albañilería y,
- Muro de albañilería con aislación.

Las propiedades consideradas son:

Tabla 2.20: Materiales utilizados y sus conductividades

| Material | Conductividad térmica λ [W/(m K)] | Densidad [kg/m³] | Espesor [cm] |
|------------------------|---|------------------------------------|---------------------|
| Hormigón armado | 1,63 | 2400 | 20 |
| Lana mineral | 0,042 | 40 | 5 |
| Vidrio | 1,2 | 2500 | 0,4 |
| Ladrillo | 0,46 | 1000 | 14 |
| Mortero | 1,4 | 2000 | 14 |
| Poliestireno expandido | 0,043 | 10 | 10 |

Fuente: NCh853 Anexo A, Tabla A.1

Tabla 2.21: Propiedades cámara de aire utilizada

| Material | Espesor [mm] | Resistencia térmica Rg [W/(m² K)] |
|-----------------|---------------------|---|
| Cámara de aire | 5 | 0,105 |

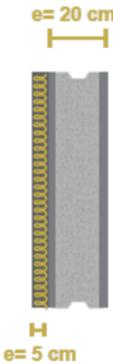
Fuente: NCh853 Anexo C, Tabla C.1

Tabla 2.22: Transmitancia térmica marco de aluminio

| Elemento | Transmitancia térmica U [W/(m² K)] |
|-------------------|--|
| Marco de aluminio | 5,8 |

Fuente: Manual de procedimiento para la calificación energética de viviendas en Chile, Tabla 6

Tabla 2.23: Cálculo transmitancia térmica muro de hormigón sin y con aislación

| <p style="text-align: center;">Muro hormigón</p> <p style="text-align: center;">Elemento simple homogéneo</p> | <p style="text-align: center;">Muro hormigón + aislación</p> <p style="text-align: center;">Elemento simple compuesto</p> |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón armado de 20 [cm] de espesor. • Resistencias superficiales R_{si} y R_{se} de acuerdo a NCh853 Of.2007 $R_{si} = 0,12$ $R_{se} = 0,05$ | <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón armado de 20 [cm] de espesor. • Lana mineral de 5 [cm] de espesor. • Resistencias superficiales R_{si} y R_{se} de acuerdo a NCh853 Of.2007 $R_{si} = 0,12$ $R_{se} = 0,05$ |
| <p>La transmitancia térmica está dada por:</p> $U = \frac{1}{R_T}$ $R_T = R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$ | |
| $R_T = R_{si} + \frac{e_{muro}}{\lambda_{muro}} + R_{se}$ $R_T = 0,12 + \frac{0,2}{1,63} + 0,05 = 0,29 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ $U = \frac{1}{0,29} = 3,42 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$  <p style="text-align: center;">$e = 20 \text{ cm}$</p> | $R_T = R_{si} + \frac{e_{muro}}{\lambda_{muro}} + \frac{e_{lana}}{\lambda_{lana}} + R_{se}$ $R_T = 0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,05}{0,042} + 0,05 = 1,48 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ $U = \frac{1}{1,48} = 0,67 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$  <p style="text-align: center;">$e = 20 \text{ cm}$ $e = 5 \text{ cm}$</p> |
| <p style="text-align: center;">Figura 2.15: Muro de hormigón armado</p> | <p style="text-align: center;">Figura 2.16: Muro de hormigón armado con lana mineral</p> |

A través del muro de hormigón sin aislación térmica se pierden 3,42 Watt de energía por cada m² de superficie y por cada °C de diferencia de temperatura entre los recintos que separa, en cambio si el muro se aísla con 5 cm de lana mineral, se reduce la pérdida a 0,67 Watt, es decir se logra un ahorro de 80%.

Tabla 2.24: Cálculo transmitancia térmica ventana simple y termopanel

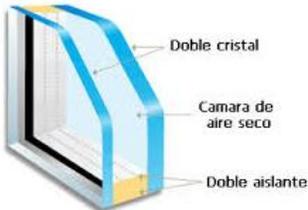
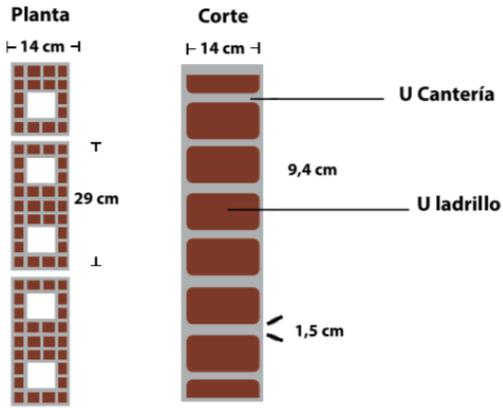
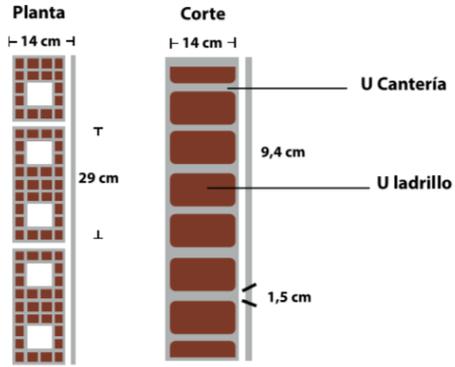
| Ventana simple | Termopanel (DVH) |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Compuesta por un vidrio de 4 [mm] de espesor. • Marco de aluminio (superficie de 15% respecto al vidrio). • Resistencias superficiales R_{si} y R_{se} de acuerdo a NCh853 Of.2007 $R_{si} = 0,12$ $R_{se} = 0,05$ | <ul style="list-style-type: none"> • Compuesto por dos vidrios de 4 [mm] de espesor y una cámara de aire no ventilada de 5 [mm]. • Marco de aluminio (superficie de 15% respecto al vidrio). • Resistencias superficiales R_{si} y R_{se} de acuerdo a NCh853 Of.2007 $R_{si} = 0,12$ $R_{se} = 0,05$ |
| <p>La transmitancia térmica está dada por:</p> $\bar{U} = \frac{\sum U_i * S_i}{\sum S_i}$ <p>Que en este caso es equivalente a:</p> $\bar{U} = \frac{U_{ventana} * S_{ventana} + U_{marco} * S_{marco}}{S_{ventana} + S_{marco}}$ | |
| $U_{ventana} = \frac{1}{\left(R_{si} + \frac{e_{vidrio}}{\lambda_{vidrio}} + R_{se} \right)}$ $U_{ventana} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,004}{1,2} + 0,05 \right)} = 5,77 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ $S_{ventana} = 85\% = 0,85$ $U_{marco} = Dato = 5,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ $S_{marco} = 15\% = 0,15$ $\bar{U} = \frac{5,77 * 0,85 + 5,8 * 0,15}{0,85 + 0,15} = 5,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$  <p>Figura 2.17: Ventana simple</p> | $U_{ventana} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{vidrio1}}{\lambda_{vidrio}} + R_g + \frac{e_{vidrio2}}{\lambda_{vidrio}} + R_{se}}$ $U_{ventana} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,004}{1,2} + 0,105 + \frac{0,004}{1,2} + 0,05}$ $= 3,55 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ $S_{ventana} = 85\% = 0,85$ $U_{marco} = Dato = 5,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ $S_{marco} = 15\% = 0,15$ $\bar{U} = \frac{3,55 * 0,85 + 5,8 * 0,15}{0,85 + 0,15} = 3,9 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$  <p>Figura 2.18: Termopanel</p> |

Tabla 2.25: Cálculo transmitancia térmica muro de albañilería sin y con aislación

| <p>Muro albañilería</p> <p>Elemento heterogéneo</p> | <p>Muro albañilería + aislación</p> <p>Elemento heterogéneo</p> |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ladrillo hecho a máquina, de dimensiones (Espesor x Largo x Alto): 14 x 29 x 9,4 [cm]. • Cantería de mortero de 1,5 [cm] de ancho. • Resistencias superficiales R_{si} y R_{se} de acuerdo a NCh853 Of.2007 $R_{si} = 0,12$ $R_{se} = 0,05$  <p>Figura 2.19: Muro de albañilería</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ladrillo hecho a máquina, de dimensiones (Espesor x Largo x Alto): 14 x 29 x 9,4 [cm]. • Cantería de mortero de 1,5 [cm] de ancho. • Aislación por el interior con poliestireno expandido de 10 [cm] de espesor. • Cubierta interior de yeso-cartón de 15 [mm]. • Resistencias superficiales R_{si} y R_{se} de acuerdo a NCh853 Of.2007 $R_{si} = 0,12$ $R_{se} = 0,05$  <p>Figura 2.20: Muro de albañilería con aislación</p> |

La transmitancia térmica está dada por:

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i * S_i}{\sum S_i}$$

Que en este caso es equivalente a:

$$\bar{U} = \frac{U_{ladrillo} * S_{ladrillo} + U_{cantería} * S_{cantería}}{S_{ladrillo} + S_{cantería}}$$

Y las transmitancias térmicas están dadas como:

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

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

Es decir, se ponderan las transmitancias térmicas (U) del ladrillo y de la cantería, para lo cual se debe determinar el porcentaje de cada uno, de acuerdo al esquema de la figura 2.21.

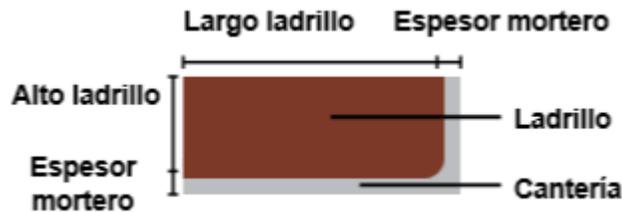


Figura 2.21: Esquema de ladrillo y cantería

$$S_{ladrillo} = Largo_{ladrillo} * Alto_{ladrillo} = 0,29 * 0,094 = 0,027 [m^2]$$

$$S_{cannería} = espesor_{mortero} * Largo_{ladrillo} + espesor_{mortero} * (Alto_{ladrillo} + espesor_{mortero}) \\ = 0,015 * 0,29 + 0,015 * (0,094 + 0,015) = 0,005985 [m^2]$$

$$U_{ladrillo} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{ladrillo}}{\lambda_{ladrillo}} + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,14}{0,46} + 0,05} \\ = 2,11 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{cannería} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{cannería}}{\lambda_{cannería}} + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,14}{1,4} + 0,05} \\ = 3,7 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$\bar{U} = \frac{2,11 * 0,027 + 3,7 * 0,005985}{0,027 + 0,005985} = 2,4 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

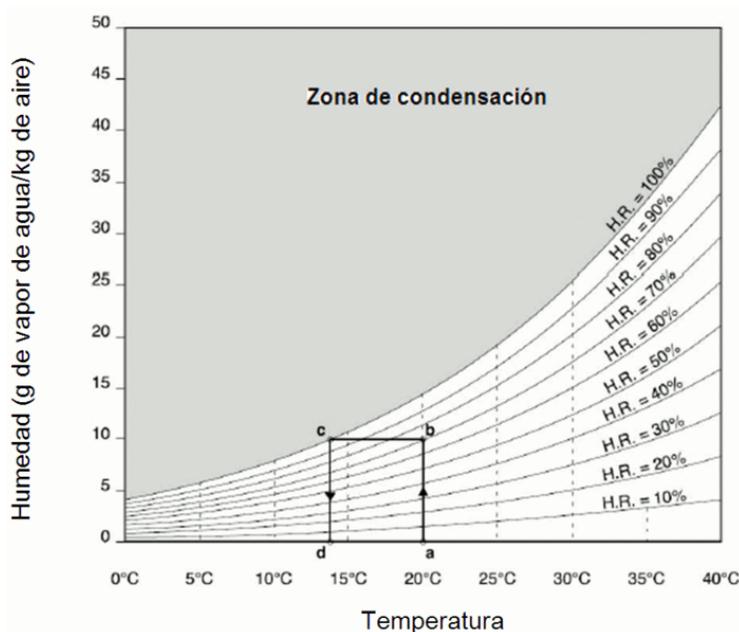
$$U_{ladrillo} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{ladrillo}}{\lambda_{ladrillo}} + \frac{e_{poliestireno}}{\lambda_{poliestireno}} + \frac{e_{yeso-cartón}}{\lambda_{yeso-cartón}} + R_{se}} \\ = \frac{1}{0,12 + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,1}{0,038} + \frac{0,015}{0,24} + 0,05} = 0,32 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{cannería} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{cannería}}{\lambda_{cannería}} + \frac{e_{poliestireno}}{\lambda_{poliestireno}} + \frac{e_{yeso-cartón}}{\lambda_{yeso-cartón}} + R_{se}} \\ = \frac{1}{0,12 + \frac{0,14}{1,4} + \frac{0,1}{0,038} + \frac{0,015}{0,24} + 0,05} = 0,34 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$\bar{U} = \frac{0,32 * 0,027 + 0,34 * 0,005985}{0,027 + 0,005985} = 0,32 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

2.6. Puntos críticos y patologías comunes en la vivienda (12) (13) (14)

- a) **Condensación:** Proceso de cambio de fase a través del cual el vapor de agua presente en el aire al interior de la vivienda se convierte en gotas de agua que se depositan sobre las superficies frías. Para que esto suceda la temperatura de las superficies debe estar por debajo de la temperatura de rocío, lo que puede darse por un deficiente aislamiento térmico, alto nivel de vapor de agua en el ambiente (alta humedad relativa) o muy bajas temperaturas exteriores. Este problema ocurre principalmente en invierno o períodos fríos del año, y con mayor frecuencia cuando la humedad relativa al interior de la vivienda es mayor.



Temperatura de rocío:
Corresponde a la temperatura que alcanza el aire cuando se inicia la condensación.

Figura 2.22: Gráfico psicrométrico para determinar condensaciones

Fuente: Asociación de fabricantes de morteros y SATE, ANFAPA,

[<http://www.anfapa.com/es/divulgación/341/condensaciones-superficiales-en-el-interior-de-las-viviendas>].

La temperatura de rocío se determina a través del gráfico psicrométrico (figura 2.22). Por ejemplo, el aire al interior de una vivienda está a 20°C y a un 70% de HR (punto b de la figura 2.22), este vapor de agua se condensará cuando llegue a un 100% de HR, es decir a 14°C aproximadamente (punto c), como se observa en el gráfico.

Humedad relativa del aire (HR):
Relación porcentual entre la humedad (vapor de agua) existente en el aire y la máxima humedad que éste puede contener en función de la presión y la temperatura. Se mide en [%].

La condensación puede ocurrir en la superficie externa o interna del elemento, *condensación superficial*, o bien, al interior del mismo, *condensación intersticial*. Es la causante de problemas como hongos y manchas en las paredes debido a microorganismos, lo que afecta la pintura, deteriora el revestimiento y al elemento (en menor o mayor grado dependiendo del material), que puede ser el muro, la ventana, el techo o la puerta entre otros.

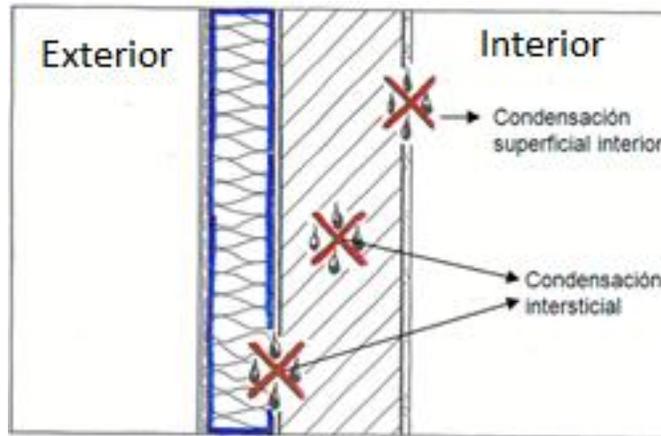


Figura 2.23: Tipos de condensación en un muro con aislamiento

Fuente: Construmática, Condensaciones superficiales en el interior de las viviendas,

[http://www.construmatica.com/construpedia/Condensaciones_superficiales_en_el_interior_de_las_viviendas]



Figura 2.24: Condensación en techumbre



Figura 2.25: Condensación superficial en ventana

La condensación es uno de los problemas más recurrentes en las viviendas, y produce inconvenientes para los habitantes, ya que puede producir enfermedades respiratorias y problemas debido a la aparición de hongos entre otras cosas. Para evitarla es recomendable mantener un bajo contenido de humedad en la vivienda, para lo que es necesario ventilarla, evitar que el vapor producido en baños y cocina ingrese al resto de la vivienda y evitar secar ropa al interior de ella.

Para evitar condensaciones intersticiales se debe colocar una barrera de vapor entre el revestimiento y el aislante, en el caso de que la aislación térmica se coloque por el interior del muro o dentro de él (ver capítulo 4). Se debe poner especial cuidado ya que si se humedece el material aislante, aumenta su

conductividad térmica, por lo que también aumentan las pérdidas de energía a través del elemento de la envolvente involucrado.

Mientras mayor humedad relativa al interior de la vivienda, mayor es el riesgo de condensación. El vapor aumenta por factores como el uso de la ducha (en un baño sin ventilación), electrodomésticos como la plancha o la cocina y el uso de algunos equipos de calefacción (como estufas a gas o parafina sin chimenea), entre otros.

Para determinar si existe condensación en un elemento de la envolvente se debe conocer la temperatura en las caras exterior e interior del muro y compararla con la temperatura de rocío. La temperatura superficial se determina de acuerdo a la fórmula XIII:

$$(XIII) \quad T_{si} = T_i - U * R_{si} * (T_i - T_e)$$

dónde:

T_{si} : Temperatura en la superficie interior del elemento, en [°C].

T_i : Temperatura del ambiente interior, en [°C].

U : Transmitancia térmica del elemento, en $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$.

R_{si} : Resistencia térmica de la superficie interior del elemento, en $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$.

T_e : Temperatura del ambiente exterior, en [°C].

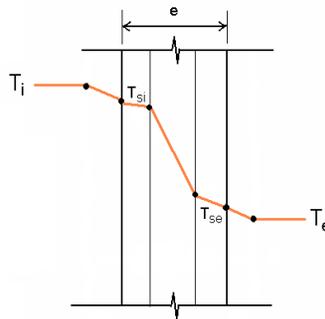


Figura 2.26: Temperaturas a través de un muro con aislación
Fuente: Física de la Construcción – Humedades, Gabriel Rodríguez, 2014.

Ejemplo:

Considerando tres humedades relativas de 65%, 75% y 85% para una temperatura de uso de 20°C, la temperatura de rocío es la presentada en la tabla 2.26:

Tabla 2.26: Temperatura de rocío según humedad relativa y temperatura de uso

| | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| Temperatura de uso [°C] | 20 | 20 | 20 |
| Humedad relativa [%] | 65% | 75% | 85% |
| Temperatura de rocío [°C] | 13,1 | 15,4 | 17 |

Se determina la temperatura superficial de distintos elementos considerando una temperatura exterior de 2°C (correspondiente a la temperatura mínima promedio en Santiago para el mes de Julio) y una temperatura interior de 20°C.

Dependiendo de los componentes del muro que se estudie, la temperatura varía. En este ejemplo se estudiarán tres casos, cuyas resistencias térmicas y valor U fueron determinados previamente (ver ejemplo de transmitancia térmica en páginas 36-40).

- **Muro de hormigón armado de 20 cm sin aislación:**

Tabla 2.27: Temperaturas en muro de hormigón armado sin aislación

| | |
|----------|-----------------------------|
| T_i | 20 [°C] |
| T_e | 2 [°C] |
| R_{si} | 0,12 [m ² K/W] |
| U | 3,42 [W/(m ² K)] |
| T_{si} | 12,6 [°C] |

Se produce condensación para los tres casos (HR de 65%, 75% y 85%), ya que el valor de la temperatura T_{si} es menor que las temperaturas de rocío en esos casos (13°C, 15°C y 17°C).

- **Muro de hormigón armado de 20 cm con 5 cm de lana mineral:**

Tabla 2.28: Temperaturas en muro de hormigón armado con 2 cm de aislación

| | |
|----------|-----------------------------|
| T_i | 20 [°C] |
| T_e | 2 [°C] |
| R_{si} | 0,12 [m ² K/W] |
| R_t | 0,85 [m ² K/W] |
| U | 0,67 [W/(m ² K)] |
| T_{si} | 18,6 [°C] |

En este caso la temperatura en la cara interna del muro es mayor, por lo que al compararla con las temperaturas de rocío de la tabla 2.26, se observa que no existe condensación en ningún caso, debido a que T_{si} es siempre mayor que las temperaturas de rocío.

b) **Puentes térmicos:** Es necesario evitarlos, ya que son sectores que están a menor temperatura que el resto del elemento constructivo (ver figuras 2.27, 2.28 y 2.29), por lo tanto tienden a producir condensaciones indeseadas y pérdidas de energía dentro de la vivienda. Se dan en zonas donde la envolvente cambia sus propiedades, como en las uniones entre ventanas, techo, piso y muros o por una discontinuidad del aislante, variación en su espesor o del elemento de la envolvente.

Puentes térmicos: Son sectores que poseen una alta conductividad térmica con respecto al resto de la superficie.

Los principales elementos susceptibles a tener puentes térmicos son los marcos de puertas y ventanas, las esquinas de los muros, vigas y columnas, ventanas de vidrio monolítico y losas. Cuando se coloca aislación por el interior se producen puentes térmicos en las zonas en que el aislante pierde continuidad, como las mencionadas anteriormente, o donde de plano no existe aislante, como en las intersecciones del muro exterior con uno que separa ambientes, en cambio, el puente térmico no existe si se coloca aislación por el exterior, ya que el material se instala de forma uniforme y continua a través del muro, evitando cualquier tipo de pérdidas.

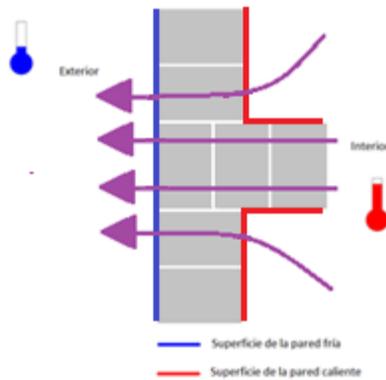


Figura 2.27: Puente térmico en unión muro exterior y tabique

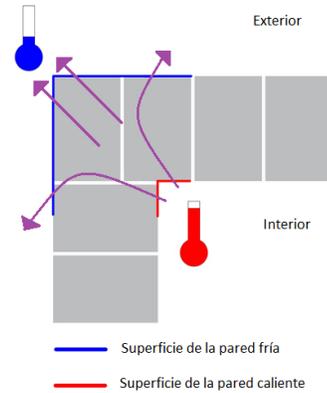


Figura 2.28: Flujo de calor puente térmico en esquina de muro

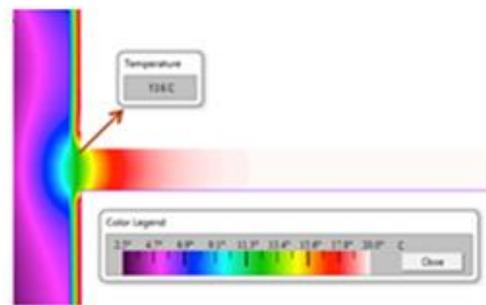
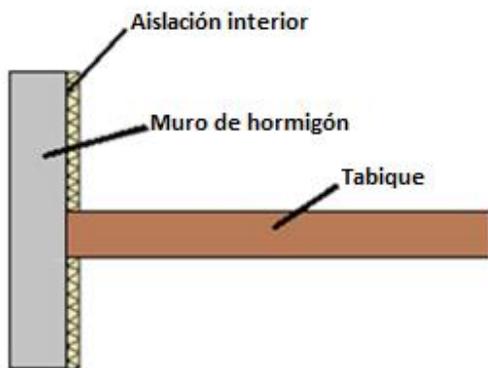


Figura 2.29: Termografía unión muro hormigón con tabique. Puente térmico en aislación interior

Al colocar aislación térmica por el interior del muro, se produce un puente térmico en la unión de éste con el tabique, resultando diferentes temperaturas superficiales, por ejemplo en la figura 2.29 se tiene una temperatura de 13,4°C en la unión de muros.

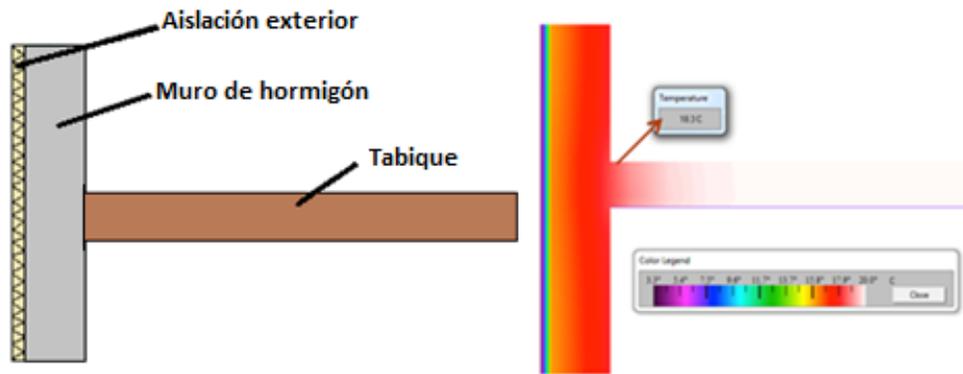


Figura 2.30: Termografía unión muro hormigón con tabiquería. No hay puente térmico con aislación exterior

Para evitar la aparición de estos problemas es muy importante considerar la **conductividad térmica** de los materiales que componen los elementos junto con una adecuada instalación de ellos.

3. Sistemas de calefacción (2) (15) (30)

Muchas veces la aislación térmica no es suficiente para mantener una temperatura adecuada al interior de las viviendas, debido principalmente al clima del lugar donde se ubican, por lo que se debe pensar en instalar un sistema de calefacción que complemente el reacondicionamiento térmico de la vivienda. Al momento de adquirirlo es necesario tomar en cuenta el tamaño de la vivienda, si se trata de casa o departamento y la fuente energética que se pretende utilizar, con el fin de evitar gastos innecesarios de dinero y energía.

En cuanto a los sistemas de calefacción que se utilizan en el país, estos dependen de la zona geográfica, restricciones ambientales y posibilidad de acceso a combustibles más baratos. De esta forma, en la Región Metropolitana (RM) existe predominio de estufas a kerosene, gas licuado y calefacción eléctrica, mientras que en el sur aumenta la presencia de sistemas a leña en los hogares, llegando a estar presente en cerca del 90% de ellos en ciertas regiones (15).

Existen dos tipos de equipos: localizados y de calefacción central.

- **Equipos localizados:** corresponden a equipos pequeños, cuyo objetivo es calefaccionar una habitación de la vivienda en particular, por ejemplo estufas a gas licuado o kerosene. Son de menor costo y como se ubican en un recinto en particular, provocan diferencias de temperaturas en los distintos sectores de la vivienda. Son equipos generalmente de baja potencia y sin control automático de temperatura, aunque últimamente los nuevos equipos incluyen termostatos. Algunos de estos calefactores liberan gases contaminantes dentro de la vivienda, por lo que se debe tener especial cuidado al utilizarlos.
- **Calefacción central:** consiste en equipos que requieren más espacio para su instalación y calefaccionan la vivienda completa, por lo que se debe considerar una instalación de mayor inversión y complejidad, por ejemplo calderas y bombas de calor. Generan un nivel de confort adecuado en la vivienda, debido a que mantienen niveles de temperatura similares en todas las habitaciones, además, son equipos más eficientes y tienen rendimientos más altos que los sistemas localizados. Sin embargo, por el mismo hecho de calefaccionar la vivienda completa, pueden producir gastos mayores de energía. Estos sistemas no liberan gases contaminantes al interior de la vivienda, por lo que son una calefacción limpia en su interior. Su inversión inicial es más elevada que otras alternativas debido a la complejidad de su instalación. Dado que su función es calefaccionar la vivienda completa, son equipos de mayor potencia, con control automático de temperatura y distribuyen la energía a través de radiadores, losa radiante o convectores.

Es fundamental que los sistemas de calefacción se adecúen a las necesidades específicas de la vivienda, ya que si están sobredimensionados se produce una inversión innecesaria, mientras que en caso contrario no se lograrán las temperaturas adecuadas.

Es importante destacar que la calefacción debe ir siempre acompañada de una buena ventilación, esto es, ventilación que mantenga el aire interior descontaminado, sin olores desagradables y con humedad controlada, sobre todo cuando los sistemas utilizados liberen gases contaminantes producto de la combustión y humedad al interior de la vivienda, como ocurre con estufas a gas, leña o kerosene sin evacuación de gases al exterior. Estos equipos se pueden reconocer ya que siendo que generan combustión, no tienen una chimenea de evacuación de gases. Se recomienda no usar este tipo de calefacción, debido a los daños a la salud que puede provocar, como enfermedades respiratorias o incluso la muerte, causados por los gases tóxicos que se acumulan si no se ventila adecuadamente. Por otra parte, a mayor ventilación, existe mayor pérdida de energía (de forma similar a lo que ocurre con las infiltraciones, ya que la ventilación corresponde a una infiltración deseada y controlada) y en consecuencia, existe mayor consumo de combustible para mantener la temperatura requerida, por lo que la eficiencia de estos equipos, considerando la ventilación extra necesaria, es siempre menor que la de un equipo que posea una correcta evacuación de gases (con una chimenea por ejemplo) o que simplemente no libere gases tóxicos. Por ejemplo, una estufa a kerosene o a gas licuado puede llegar a tener una eficiencia de 0,8, pero al considerar las pérdidas de energía por la ventilación requerida, baja a 0,6 de acuerdo a los datos entregados por el sistema de calificación energética (SCEV).

3.1. Como elegir un sistema de calefacción

Para seleccionar un equipo que se adapte mejor a los requerimientos de la vivienda y optimice el consumo de ella, se deben tener en cuenta ciertos aspectos, tales como:

- Es necesario dimensionar la potencia de calefacción necesaria para la vivienda, para no sobredimensionar (o sobreinvertir) un equipo que sea muy grande y no se justifique o en caso contrario que el equipo no sea suficiente para lograr las temperaturas deseadas.
- ¿Qué combustible usar? Esto dependerá de la disponibilidad de ellos en la zona y su precio, además se debe verificar la reglamentación relativa al uso de ciertos combustibles en la zona en la que esté ubicada la vivienda a estudiar (por ejemplo, verificar la prohibición del uso de leña en lugares como Santiago, Temuco o Concepción).
- ¿Cuál es el costo del equipo y el de su operación? ¿está disponible en la zona? ¿existe servicio técnico adecuado?
- ¿Qué nivel de contaminación puede provocar? ¿existen adultos mayores o niños que puedan verse más perjudicados por altos niveles de contaminación?

Para determinar la potencia de calefacción, lo ideal es estimar la demanda de energía de la vivienda como se vio anteriormente, ya que se evalúa su desempeño energético en forma integral, considerando aspectos como el clima del lugar en que se encuentra la vivienda, su orientación y nivel de acondicionamiento térmico, entre otros.

A mayor nivel de aislación de la vivienda, menor energía se requerirá para calefaccionarla, por lo que es muy importante tenerla bien aislada al momento de elegir el sistema de calefacción.

En las siguientes tablas se presenta a modo de ejemplo¹¹ el precio de los combustibles por kWh para Santiago y Concepción, con el cual se determina el costo de la energía por tipo de combustible.

Tabla 3.1: Precios y costo de la energía para distintos combustibles en Santiago y Concepción¹²

| Combustible | Precio del combustible | | Poder calorífico ¹³ | Costo de la energía [\$/kWh] | |
|---------------------------------|--|--|--|------------------------------|------------|
| | Santiago | Concepción | | Santiago | Concepción |
| Leña ¹⁴ | 50.000 [\$/m ³] | 26.000 [\$/m ³] | 1.527 [kWh/m ³] ¹⁵ | 33 | 17 |
| Pellet ¹⁶ | 220 [\$/kg] | 200 [\$/kg] | 4,98 [kWh /kg] | 44 | 40 |
| Kerosene ¹⁷ | 628 [\$/litro] | 643 [\$/litro] | 9,78 [kWh /litro] | 64 | 66 |
| Gas natural | 790 [\$/m ³] ¹⁸ | 884 [\$/m ³] ¹⁹ | 10,86 [kWh /m ³] ²⁰ | 73 | 81 |
| Gas licuado ²¹ | 998 [\$/kg] | 971 [\$/kg] | 12,97 [kWh /kg] | 77 | 75 |
| Electricidad | 102 [\$/kWh] ²² | 114 [\$/kWh] ²³ | 1,00 [kWh /kWh] | 102 | 114 |
| Electricidad tarifa de invierno | 134 [\$/kWh] | 152 [\$/kWh] | 1,00 [kWh /kWh] | 134 | 152 |
| Petróleo diésel ²⁴ | 542 [\$/litro] | 558 [\$/litro] | 10,87 [kWh /litro] | 50 | 51 |

Para obtener el costo de la energía basta con dividir el precio del combustible por su poder calorífico. Esto se puede realizar simplemente averiguando el precio del combustible de un proveedor local y utilizar el poder calorífico de la tabla 3.1, ya que éste no cambia. La tarifa eléctrica se puede obtener de la boleta de cobro o consultando directamente al distribuidor.

Por ejemplo, si en la localidad a estudiar el precio del kerosene es de \$650 por litro, el costo de la energía sería de $650/9,78 = \$ 66,5$ por kWh. Cuando se comparen costos de combustibles, se debe comparar esta variable en particular (el costo de la energía) y no el del combustible, ya que las diferentes unidades de combustible tienen distintos niveles de energía.

$$(V) \quad \text{Costo energía (Precio por kWh)} = \frac{\text{Precio del combustible}}{\text{Poder calorífico del combustible}}$$

¹¹ El costo de la energía varía en cada zona, por lo que se entregan valores para Santiago y Concepción sólo a modo de referencia.

¹² Precios referenciales y válidos para el mes de Junio de 2015.

¹³ Fuente: Mesas de calefacción eficiente Región del Biobío. Mesa 4: Tecnología en equipos de calefacción, Ministerio de Energía – Universidad de Concepción, Noviembre 2014 (30).

¹⁴ Fuente: Datos obtenidos de los precios de venta de leña por m³ de los distintos proveedores.

¹⁵ Fuente: http://www.mma.gob.cl/1304/articulos-54981_BuenUsoLena082013.pdf poder calorífico de 5,5 GJ/m³ para eucalipto-glóbulos (16).

¹⁶ Fuente: Datos obtenidos de las Mesas de calefacción (Concepción, 2014) y de la CDT (Santiago, 2015).

¹⁷ Fuente: www.bencinaenlinea.cl precio promedio para el día 12 de Junio de 2015 (10).

¹⁸ Fuente: Tarifas de Metrogas para el segundo tramo (de 5 a 10 m³) a Junio de 2015 (26).

¹⁹ Fuente: Tarifa Gas 9300 de GasSur para el segundo tramos (de 5 a 38 m³) a Junio de 2015 (18).

²⁰ Fuente: <http://www.drto.cl/ACHEE/documentos/recursos/DireccionAnexo2.pdf> Cuadro N°1 (2).

²¹ Fuente: www.gasenlinea.gob.cl precio promedio para el día 15 de Junio de 2015 (9).

²² Fuente: Precios vigentes al 1-6-2015 en Chilectra para tarifa BT-1 Área 1 A (a) (8).

²³ Fuente: Precios vigentes al 1-6-2015 en CGE Distribución para tarifa BT-1 CGED SIC5 Sector 1 (7).

²⁴ Fuente: www.bencinaenlinea.cl precio promedio para el día 12 de Junio de 2015 (10).

El costo de la energía no es lo único que se debe tener en cuenta para estimar el costo de operación que tendrá el sistema de calefacción, ya que depende también del rendimiento del sistema. Por tanto, el valor final y más representativo a considerar para comparar los costos de operación de diferentes sistemas es el *precio útil de la energía*, que tiene en cuenta tanto el precio del energético (o combustible) utilizado como el rendimiento del sistema. Para ello, se divide el costo de la energía por la eficiencia del equipo, tal como se vio en el capítulo 2.

En definitiva, el *precio útil de la energía*, corresponde a cuánto cuesta realmente 1 kWh para calefaccionar la vivienda.

$$(VI) \quad \text{Precio útil energía} = \frac{\text{Precio combustible [kWh]}}{\text{Eficiencia equipo de calefacción}}$$

Tabla 3.2: Precios para sistemas de calefacción²⁵

| Energético y tecnología | Inversión inicial referencial [\$] | Rendimiento referencial ²⁶ | Santiago | | Concepción | |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | | | Precio Combustible [\$/kWh] | Precio por energía útil [\$/kWh] | Precio Combustible [\$/kWh] | Precio por energía útil [\$/kWh] |
| Leña seca con calefactor | \$ 400.000 | 0,6 | 33 | 55 | 17 | 28 |
| Pellet equipo de alta eficiencia | \$ 1.100.000 | 0,9 | 44 | 49 | 40 | 45 |
| Kerosene sin chimenea | \$ 50.000 | 0,6 ²⁷ | 64 | 107 | 66 | 110 |
| Kerosene con chimenea | \$ 250.000 | 0,7 | 64 | 92 | 66 | 94 |
| Gas licuado sin chimenea | \$ 90.000 | 0,6 | 77 | 128 | 75 | 125 |
| Gas Licuado con chimenea | \$ 250.000 | 0,75 | 77 | 103 | 75 | 100 |
| Gas natural con caldera | \$ 2.200.000 | 0,9 ²⁸ | 73 | 81 | 81 | 90 |
| Gas natural con caldera de condensación a alta temperatura 80/60°C | \$ 2.500.000 | 0,95 ²⁹ | 73 | 77 | 81 | 86 |

²⁵ Precios referenciales para Junio de 2015, dólar promedio del mes de Junio: \$629,99.

²⁶ Rendimiento e Inversión inicial referenciales obtenidos de: Mesas de calefacción eficiente Región del Biobío. Mesa 4: Tecnología en equipos de calefacción, Ministerio de Energía – Universidad de Concepción, Noviembre 2014 (30).

²⁷ Considera ventilación adecuada (eficiencia de acuerdo a SCEV) para equipos sin chimenea (Kerosene y gas licuado sin chimenea) (31).

²⁸ Rendimiento nominal de referencia para caldera a gas natural (31).

²⁹ Rendimiento nominal de referencia para caldera de condensación a gas natural a alta temperatura (31).

Tabla 3.2 (cont.)

| Energético y tecnología | Inversión inicial referencial [\$] | Rendimiento referencial ³⁰ | Santiago | | Concepción | |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | | | Precio Combustible [\$/kWh] | Precio por energía útil [\$/kWh] | Precio Combustible [\$/kWh] | Precio por energía útil [\$/kWh] |
| Gas natural con caldera de condensación a baja temperatura 50/30°C | \$ 3.000.000 | 1,05 ³¹ | 73 | 69 | 81 | 78 |
| Petróleo diésel con caldera | \$ 2.300.000 | 0,87 | 50 | 57 | 51 | 59 |
| Electricidad directa | \$ 15.000 | 1,0 | 102 | 102 | 114 | 114 |
| Electricidad adicional invierno directa | \$ 15.000 | 1,0 | 134 | 134 | 152 | 152 |
| Electricidad con bomba de calor aerotérmica VRF | \$ 1.100.000 | 3,5 | 102 a 134 | 29 a 38 | 114 a 152 | 33 a 43 |
| Electricidad con bomba de calor geotérmica | \$ 3.500.000 | 4,5 | 102 a 134 | 23 a 30 | 114 a 152 | 25 a 34 |
| Calefacción distrital a biomasa | \$ 4.500.000 | - | - | - | - | 45 |

El lector puede usar los rendimientos referenciales presentados en la tabla 3.2 para obtener sus propios valores de energía útil a partir del precio del proveedor local. Por ejemplo, para el caso anterior con kerosene a \$650 por litro, se obtenía un precio de la energía de \$66,5 por kWh. Si se divide este valor por el rendimiento referencial del sistema, se puede obtener el precio útil de la energía. En este caso si se usa kerosene en una estufa con chimenea, el precio útil de la energía sería de $66,5/0,7 = \$ 95$ por kWh.

Los valores de inversión inicial son sólo referenciales, por lo que se deben corroborar con un proveedor local. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los valores de la tabla corresponden a los del sistema instalado con todos sus accesorios. En general, excepto para el caso de la leña en el sur de Chile, los sistemas que tienen un menor precio de energía útil tienen un costo de inversión más alto. Por tanto, el usuario tiene que analizar su propia situación personal, si tiene disponibilidad de recursos para invertir en el momento, se recomienda instalar una bomba de calor aerotérmica VRF o un calefactor a pellet, ya que si bien estos equipos tienen una inversión inicial alta, poseen los más bajos costos de operación. En todo caso, la decisión final se debe tomar considerando estos valores monetarios y todas las otras características indicadas anteriormente.

³⁰ Rendimiento e Inversión inicial referenciales obtenidos de: Mesas de calefacción eficiente Región del Biobío. Mesa 4: Tecnología en equipos de calefacción, Ministerio de Energía – Universidad de Concepción, Noviembre 2014 (30).

³¹ Rendimiento nominal de referencia para caldera de condensación a gas natural a baja temperatura (31).

De acuerdo a la tabla 3.2, utilizar estufa a leña seca en Concepción es lo más barato, ya que se tiene un costo de la energía de \$28 por kWh, mientras que en Santiago la opción más barata es la bomba de calor geotérmica, con \$23 por kWh.

Es importante considerar el *cargo por energía adicional en invierno* (entre abril y septiembre), que es más alto que el cargo normal, aunque sólo se aplica en caso que el consumo del cliente exceda los 430 kWh/mes, correspondiendo su valor a la energía consumida en exceso de su límite de invierno. El límite de invierno de cada cliente es igual al mayor valor que resulte de comparar 350 kWh con el promedio mensual de la energía consumida entre octubre y marzo del período anterior, incrementado en un 20% (28). Es por esto que cualquier artefacto que funcione con electricidad, ya sea un calefactor o una bomba de calor, debe considerar en su rango de precios la electricidad con tarifa de invierno.

En general los equipos sin evacuación de gases al exterior tienen menor eficiencia puesto que se considera un alto nivel de ventilación para mantener una calidad de aire adecuada, fluctuando los costos entre \$107 y \$128 por kWh. Sin duda lo más económico son las bombas de calor, cuyos costos van entre los \$23 y \$43 por kWh (aunque poseen un alto costo de inversión) y el uso de leña o pellets de madera, con un costo de entre \$28 y \$55 por kWh. Las calderas de condensación en general ahorran un 15% más de energía que una caldera normal si es que se utilizan correctamente a baja temperatura (que es la forma en que obtiene su mayor eficiencia), y un 25% respecto a una estufa a gas licuado con evacuación de gases al exterior.

El costo de la inversión inicial es más bajo en calefactores eléctricos (desde \$15.000 dependiendo del modelo y sus características) a un costo de energía entre \$102 y \$114 por kWh, si no se sobrepasa el límite de invierno, lo que es bastante difícil ya que se debe considerar que la calefacción se utiliza en invierno, que es cuando rige el cargo por energía adicional, por lo que se deben considerar costos de electricidad máximos de \$134 y \$152 por kWh. Las inversiones más altas corresponden a los sistemas centralizados (sistemas con calderas y bombas de calor).

Los calefactores con evacuación de gases al exterior, los calefactores eléctricos, la biomasa y las bombas de calor no tienen problemas de contaminación interior. Es conveniente que previo a la adquisición de un equipo de alta inversión se estime en términos económicos el tiempo de recuperación de la inversión mediante los ahorros de energía, y considerar posibles fluctuaciones en los precios y disponibilidad del combustible en la zona, además de la disponibilidad del servicio técnico entre otros factores.

Si vive en otro lugar del país, que no sea Santiago o Concepción, debe conocer el precio de los distintos combustibles y a partir de las eficiencias aquí mencionadas, obtener el precio útil de cada equipo y compararlos.

A continuación se presentan los distintos combustibles y sus consideraciones más importantes.

Tabla 3.3: Ventajas y desventajas de los distintos combustibles

| Combustible | Ventajas | Desventajas |
|---------------------|---|---|
| Leña | <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de conseguir. • Bajo costo en comparación con otros combustibles. | <ul style="list-style-type: none"> • Contamina el ambiente exterior al liberar gases de la combustión. • Contamina el ambiente interior durante el proceso de carga. • Uso restringido en ciertas ciudades. • Puede causar enfermedades respiratorias. |
| Pellet | <ul style="list-style-type: none"> • Necesita poco espacio para almacenamiento. • Encendido fácil y rápido. • Posee un mayor poder calorífico que la leña. | <ul style="list-style-type: none"> • Aunque sus emisiones son menores que las de la leña, de igual forma contamina el ambiente interior y exterior. • Puede estar restringido su uso en ciertas ciudades. |
| Kerosene (parafina) | <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de conseguir, principalmente en lugares como bencineras. • Bajo costo. • Existen equipos con evacuación de gases al exterior | <ul style="list-style-type: none"> • Los equipos más comunes en Chile son sin evacuación de gases, por lo que contaminan el ambiente interior. • Se requiere ventilación constante. • Poseen un bajo rendimiento. • Genera vapor de agua y óxidos de carbono (CO₂ y CO). |
| Gas natural | <ul style="list-style-type: none"> • Emite menos gases contaminantes que otros combustibles fósiles. • Es más liviano que el aire, por lo que se dispersa fácilmente. | <ul style="list-style-type: none"> • Libera gases en la combustión, aunque en baja cantidad, al interior o al exterior de la vivienda según el tipo de calefactor usado. |
| Gas licuado (GLP) | <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de conseguir, principalmente en pequeños distribuidores locales de distintas empresas (Abastible, Gasco, entre otras). • Fácil de almacenar y transportar, ya que es líquido. | <ul style="list-style-type: none"> • Existe posibilidad de fugas de gas. • En la combustión emiten gases tóxicos • Debe existir una correcta ventilación, por lo que su eficiencia es baja. |
| Electricidad | <ul style="list-style-type: none"> • Energía limpia, ya que no genera contaminación intradomiciliaria. • No libera gases tóxicos, por lo que no requiere ventilar. • Existe gran variedad de equipos, por lo que es adaptable. | <ul style="list-style-type: none"> • Se debe considerar la tarifa adicional de invierno, que puede aumentar los costos de uso. • Se deben revisar las instalaciones eléctricas de la vivienda antes de instalar un equipo eléctrico, las que deben estar en perfecto estado. |

Tabla 3.4: Costos y consideraciones de los distintos equipos

| Equipo | Combustible | Costo de operación | Costo de inversión | Consideraciones |
|-------------------------|--|---------------------------|---------------------------|--|
| Estufa | Leña | Bajo | Medio | <ul style="list-style-type: none"> • Uso restringido en ciertas ciudades del país. • Genera contaminación al ambiente exterior. |
| Estufa | Pellet | Bajo | Alto | <ul style="list-style-type: none"> • Mejor opción que la leña. • Contamina el exterior debido a la combustión. |
| Estufa sin chimenea | Kerosene | Bajo | Bajo | <ul style="list-style-type: none"> • Contamina el interior de la vivienda al no liberar gases. • Requiere ventilación adecuada. • Bajo rendimiento. |
| Estufa con chimenea | Kerosene | Bajo | Medio | <ul style="list-style-type: none"> • Contamina el exterior, ya que libera gases. • Mejor opción que estufa sin chimenea. |
| Caldera | Gas natural, gas licuado, petróleo o leña. | Alto | Alto | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de calefacción central, produce temperatura interior uniforme. • No genera contaminación al interior de la vivienda y la emisión al exterior es baja. |
| Caldera de condensación | Gas natural | Alto | Alto | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de calefacción central. • Aprovecha el calor liberado en la condensación de los gases de combustión. • El calor se distribuye mediante radiadores o losa radiante. • Requiere electricidad para funcionar. |
| Estufa sin chimenea | Gas licuado | Alto | Bajo | <ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantención constante para evitar fugas de gas. • Requiere ventilación de la vivienda. • Se puede trasladar fácilmente dentro de la vivienda. |
| Calefactor halógeno | Electricidad | Alto | Bajo | <ul style="list-style-type: none"> • Transmite calor por radiación. • Es ideal para ambientes muy ventilados o semi abiertos. • No produce ruido. |
| Termoventilador | Electricidad | Alto | Bajo | <ul style="list-style-type: none"> • Transmite calor por convección. • Posee un ventilador que hace circular el aire caliente. • Puede generar ruido levemente molesto. |
| Bomba de calor | Electricidad | Alto | Alto | <ul style="list-style-type: none"> • Posee altos rendimientos. • Las bombas geotérmicas necesitan espacio para el intercambiador de calor. • Se requiere un especialista que haga un estudio previo. • Bombas aire-aire se pueden instalar en casi cualquier vivienda. |

Es importante aclarar que en la tabla 3.4 se considera el costo de operación de acuerdo a los combustibles usados, siendo los más baratos los que dan un bajo costo de operación y los combustibles más caros los que dan un alto costo de operación:

Tabla 3.5: Clasificación usada para el costo de operación

| Costo de operación | Combustibles |
|---------------------------|--|
| Bajo | Leña Pellet Kerosene |
| Alto | Gas natural Gas licuado Electricidad |

Por otro lado, el costo de inversión considera el costo de la compra del equipo más la instalación y está clasificado según el siguiente criterio:

Tabla 3.6: Clasificación usada para el costo de inversión

| Costo de inversión | Valor |
|---------------------------|---------------------------|
| Bajo | Menor a \$ 100.000 |
| Medio | \$ 100.000 - \$ 1.000.000 |
| Alto | Mayor a \$ 1.000.000 |

4. Criterios de intervención para el reacondicionamiento térmico

4.1. Materiales de aislación (1) (3) (14) (23) (36)

Las características más importantes a considerar al elegir el material adecuado para aislar una vivienda corresponden a su conductividad térmica λ , su resistencia a la humedad, al paso del vapor, su comportamiento ante el fuego, su resistencia, durabilidad, la facilidad de instalación y su relación con el medio ambiente. Se presentan a continuación los materiales de aislación más utilizados en Chile y sus propiedades.

Para poder hacer una comparación de materiales y determinar el más adecuado a los requerimientos de la vivienda, ver la tabla 4.5, que presenta una comparación de los distintos materiales aislantes.

En general, para su uso en superficies verticales se recomiendan planchas rígidas ya que de lo contrario el material se va asentando con el tiempo. Por otro lado, no es recomendable corchetear o clavar las colchonetas a la superficie ya que en los puntos donde se fija se produce una disminución apreciable del espesor del material y por tanto de su poder de aislación.

4.1.1. Poliestireno expandido

El poliestireno expandido es una espuma rígida formada por numerosas perlas, por medio de las cuales se distribuye y retiene una gran cantidad de aire, el que le da una alta capacidad de aislación térmica. Es resistente a los procesos de envejecimiento y descomposición, así como a la acción de hongos, bacterias, termitas y una amplia gama de sustancias, aunque no resiste los rayos UV ni temperaturas mayores a 90°C. Es uno de los aislantes más usados debido a su bajo precio.



Figura 4.1: Poliestireno expandido

Medio ambiente:

El poliestireno expandido se fabrica a partir de petróleo, pero se puede reciclar en su totalidad para formar bloques del mismo material y fabricar materias primas para otra clase de productos. No es soluble en agua, por lo que no genera contaminación en ésta. Sin embargo, al ser un material fácilmente combustible que al quemarse emana gases al ambiente, principalmente monóxido y dióxido de carbono y humo, contamina.

Propiedades físicas:

Tabla 4.1: Propiedades físicas del poliestireno expandido

| | Unidad | Valores | | | |
|---|----------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Densidad aparente | [kg/m ³] | 10 | 15 | 20 | 30 |
| Conductividad térmica (λ) ³² | [W/(m K)] | 0,0430 | 0,0413 | 0,0384 | 0,0361 |
| Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua ³³ | μ [adimensional] | 25,1 - 46 | | | |
| Resistividad a la difusión de vapor de agua ³⁴ (r_v) | [MN*s/(g*m)] | 138 - 253 | | | |

4.1.2. Lana mineral

La lana mineral se fabrica mediante la fusión de una mezcla de distintas rocas con alto contenido de sílice. Es un aislante térmico, constituido por fibras minerales blancas extrafinas que se aglomeran para formar colchonetas, frazadas, bloques y caños pre-moldeados. Puede estar revestida por algún otro material como aluminio o papel kraft, para mejorar su impermeabilidad a la humedad y al vapor de agua. Es un material que no se pudre y mantiene sus características físicas en el tiempo, sin embargo, al mojarse pierde parte de sus propiedades aislantes.



Figura 4.2: Lana mineral

Además, este producto puede causar alergias, irritación de la piel o problemas respiratorios en las personas que lo instalan, por lo que se deben considerar medidas especiales al manipularlo, como el uso de guantes, gafas, mascarillas y ropa adecuada, y no debe entrar en contacto con ojos, manos o pulmones, ya que los puede dañar.

Medio ambiente:

Por ser un material proveniente de minerales naturales presentes en rocas, la lana mineral no causa efectos adversos conocidos al medio ambiente. Es un material reciclable e inorgánico, que no contiene químicos en su producción. Al ser incombustible, es seguro en caso de incendio, ya que no produce gases tóxicos que afecten a las personas o al medio ambiente. Su desventaja es que se debe fundir rocas a altas temperaturas para su producción, lo que conlleva un alto consumo de energía. Es un producto que contiene mucho aire que a su vez puede contener humedad, lo que reduce su resistencia térmica.

³² Fuente: Anexo A, Tabla A.1 NCh853 Of2007 (23).

³³ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad (14).

³⁴ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad (14).

Propiedades físicas:

Tabla 4.2: Propiedades físicas de la lana mineral

| | Unidad | Valores | | |
|---|----------------------|------------|-------|-------|
| Densidad aparente | [kg/m ³] | 40 | 70 | 120 |
| Coefficiente de conductividad térmica (λ) ³⁵ | [W/mK] | 0,042 | 0,038 | 0,042 |
| Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua ³⁶ | μ [adimensional] | 1,7 - 1,9 | | |
| Resistividad a la difusión de vapor de agua ³⁷ (r_v) | [MN*s/(g*m)] | 9,6 - 10,5 | | |

4.1.3. Lana de vidrio

La lana de vidrio es fabricada a altas temperaturas fundiendo arenas con alto contenido de sílice. Es un producto fibroso y de alta resistencia, ideal para ser usado en soluciones que requieran aislamiento térmico y acústico. No se pudre y no es vulnerable a plagas. Es muy similar a la lana mineral.



Figura 4.3: Lana de vidrio

Este producto es fabricado en varios formatos, principalmente en rollos y paneles. Puede estar revestido en una de sus caras con diversos materiales como papel kraft, aluminio, polipropileno, entre otros, los que permiten mejorar la permeabilidad al vapor de agua y a la humedad, además de ser un buen aislante acústico entre otras características.

Además, puede causar alergias a la piel o problemas respiratorios en las personas, por lo que se deben considerar medidas especiales al manipularlo, como el uso de guantes, gafas y mascarillas, y no debe entrar en contacto con ojos, manos o pulmones, ya que los puede dañar.

Medio ambiente:

Por ser un material proveniente de minerales naturales presentes en rocas, la lana de vidrio no posee riesgos de contaminar el medio ambiente, además al no ser soluble en agua, no genera contaminación en ésta. Es un material limpio e inorgánico, el vidrio utilizado es reciclado, por lo que contribuye a la reutilización de materias primas. Su desventaja es que para su producción, se debe fundir las rocas o vidrio reciclado a altas temperaturas, por lo que existe un alto consumo de energía.

³⁵ Fuente: Anexo A, Tabla A.1 NCh853 Of2007 (23).

³⁶ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad, considera lana mineral sin papel en sus caras (14).

³⁷ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad, considera lana mineral sin papel en sus caras (14).

Propiedades físicas:

Tabla 4.3: Propiedades físicas de la lana de vidrio

| | Unidad | Valor | | |
|---|----------------------|--------|--------|--------|
| Densidad Aparente | [kg/m ³] | 10 | 11 | 12 |
| Conductividad térmica (λ) ³⁸ | [W/(m K)] | 0,0440 | 0,0424 | 0,0410 |
| Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua ³⁹ | μ [adimensional] | 1,6 | | |
| Resistividad a la difusión de vapor de agua ⁴⁰ (r_v) | [MN*s/(g*m)] | 9 | | |

4.1.4. Poliuretano

El poliuretano es un buen aislante térmico cuando se usa en la forma de espuma de poliuretano, la que una vez formada y secada se vuelve rígida. Posee una estructura de celdas, lo que le da sus propiedades aislantes y por lo que es el material de menor conductividad térmica entre los aislantes. Es ligero y no absorbe humedad, por lo que no permite el desarrollo de hongos ni bacterias. Se aplica con pistola a presión por lo que se distribuye uniformemente y genera un aislante continuo y sin juntas, con lo que evita la existencia de puentes térmicos. En Chile, se utiliza más en la industria frigorífica que en las viviendas, debido a su mayor costo en relación a los otros aislantes disponibles.



Figura 4.4: Poliuretano

Es importante utilizar máscaras, dispositivos de respiración y otros elementos de protección personal, durante la aplicación del poliuretano, para minimizar la exposición a partículas y vapores.

Medio ambiente:

El poliuretano es un material combustible que, al estar en contacto con fuego, libera gases y humos tóxicos y densos, por lo que es peligroso en caso de incendio.

La espuma de poliuretano, al esparcirse con un aerosol, puede liberar gases invernadero y contiene derivados de combustibles fósiles no renovables.

³⁸ Fuente: Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica (O.G.U.C. art. 4.1.10) - Parte 4, Soluciones Constructivas Genéricas, página 52 (21).

³⁹ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad (14).

⁴⁰ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad (14).

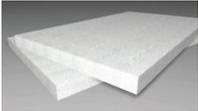
Propiedades físicas:

Tabla 4.4: Propiedades físicas del poliuretano

| | Unidad | Valor | | | |
|---|----------------------|-------------|--------|--------|--------|
| Densidad | [kg/m ³] | 25 | 30 | 45 | 70 |
| Conductividad térmica(λ) ⁴¹ | [W/(m K)] | 0,0272 | 0,0262 | 0,0245 | 0,0274 |
| Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua ⁴² | μ [adimensional] | 17,5 - 33,5 | | | |
| Resistividad a la difusión de vapor de agua ⁴³ (r_v) | [MN*s/(g*m)] | - 184 | | | |

4.1.5. Tabla comparativa de los distintos materiales aislantes

Tabla 4.5: Comparación de los distintos materiales aislantes

| | Poliestireno Expandido  | Lana Mineral  | Lana de Vidrio  | Poliuretano Expandido  |
|---|--|--|--|---|
| Instalación | Rápida | Rápida | Rápida | Rápida |
| Daño | Ninguno | Ojos, manos y pulmones | Ojos, manos y pulmones | Liberación de gases nocivos |
| Vida Útil | Indefinida | Indefinida | Indefinida | Indefinida |
| Resistencia al Fuego ⁴⁴ | Autoextinguible (se quema, pero no se mantiene la combustión si se quita la fuente de ignición) | No combustible | No combustible | Combustible, existen algunos productos resistentes al fuego ⁴⁵ |
| Resistencia a la Humedad | Alta | Baja | Baja | No tiene |
| Conductividad térmica λ [W/(m*K)] | 0,036 – 0,043 | 0,038 – 0,042 | 0,041 – 0,044 | 0,024 – 0,027 |
| Apariencia | Blanco- Limpio | Gris verdoso-Claro | Amarillo | Espuma amarillo claro, cambia de color con el tiempo |

⁴¹ Fuente: Anexo A, Tabla A.1, NCh853 Of2007 (23).

⁴² Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad (14).

⁴³ Fuente: Tabla 4.1, página 56, Manual de Humedad (14).

⁴⁴ Fuente: Soluciones constructivas, Materialidad existente en Punta Arenas, Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (3).

⁴⁵ Fuente: Construmática, Espuma de poliuretano, [http://www.construmatica.com/construpedia/Espuma_de_Poliuretano] (11).

4.2. Barreras de vapor y humedad (12) (13) (14)

Debido a las diversas actividades cotidianas que se realizan dentro de la vivienda se genera vapor, el que por presión intenta salir. Es por ello que se hace necesaria la utilización de una *barrera de vapor* (generalmente polietileno) que impida que éste atraviese el aislante humedeciéndolo y favoreciendo la aparición de condensaciones indeseables.

Por otro lado las *barreras de humedad* (o barreras hídricas), son materiales que impiden que ingrese el agua líquida desde el exterior a la vivienda.

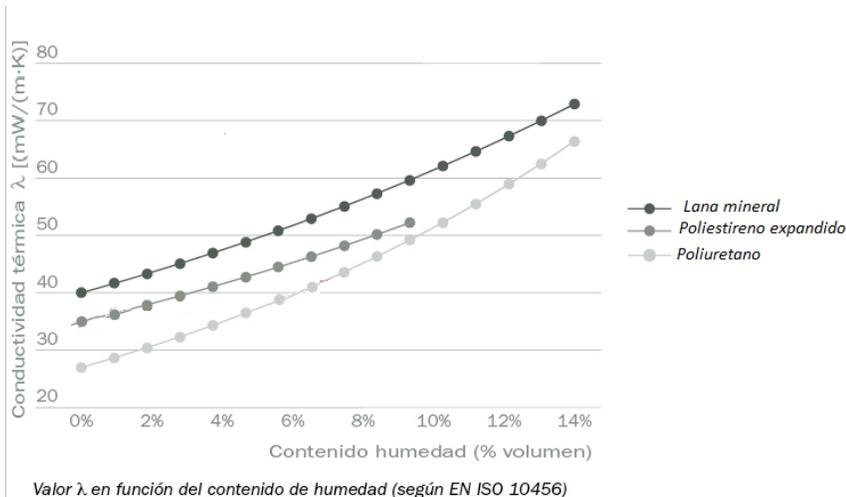
Ambos fenómenos son muy diferentes y ambas barreras deben estar en concordancia. La barrera de vapor se debe instalar por el lado caliente del aislante (hacia el interior de la vivienda en nuestro país) evitando que pase el vapor de agua del lado caliente al lado frío. La barrera de humedad se debe instalar por el exterior del muro y debe ser impermeable al paso del agua líquida pero permeable al paso del vapor, características que cumplen materiales como el papel fieltro o similar. En ningún caso se puede poner polietileno, que es barrera de vapor, como barrera de humedad.

Es de suma importancia que estas barreras sean instaladas de forma continua y sin perforaciones, ya que el vapor y la humedad atravesarán la envolvente por el lugar donde no exista protección.

4.2.1. Barrera de vapor

Una barrera de vapor consiste en cualquier lámina o material que ofrece gran resistencia al paso de vapor de agua. Se considera que un material es una barrera de vapor si tiene una resistencia a la difusión de vapor de agua entre 10 y 230 MN*s/g.

Es importante aplicarla cuando se aísla la envolvente de una vivienda por el lado interior, para evitar condensaciones. La barrera de vapor evita que el vapor de agua generado al interior de la vivienda atraviese el muro y humedezca el material aislante reduciendo su conductividad térmica, por ende su capacidad de aislación (figura 4.5), y esté en contacto con una superficie fría, donde a la temperatura de rocío, este vapor condensaría, con las consecuencias que ello significa.



A menor conductividad térmica, más aislante es el material, al aumentar la humedad aumenta su conductividad térmica y menos aislante es el material.

Figura 4.5: Variación de la conductividad térmica en función del contenido de humedad.

Fuente: Manual de Humedad – Documento técnico CDT N°33, Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, 2012.

Para evitar estos problemas, se utilizan las barreras de vapor, que pueden ser materiales tales como:

- Polietileno (material más usado)
- Papel aluminio
- Láminas de metal
- Láminas de poliéster
- Algunas pinturas

Recomendaciones para la instalación de barreras de vapor:

- Las barreras de vapor se deben instalar cuando la aislación va por lado interior del muro o techumbre, o dentro del muro. Deben proteger el material aislante del vapor de agua del interior de la vivienda, es decir, se debe colocar entre el revestimiento interior y el aislante térmico.
- La barrera de vapor es importante principalmente en la aislación de la techumbre y muros.
- Cuando la aislación es realizada por el exterior de los muros, no es necesario que se coloque una barrera de vapor, ya que se debe permitir el libre paso del vapor al exterior, pero es imprescindible una barrera de humedad.
- Se debe instalar de forma continua, con uniones y traslapos sellados. Se recomienda que las juntas del material, ya sea en muros o techos, posean un traslazo de al menos 20 cm y que sean selladas con cinta adhesiva u otro sello.
- Se debe recordar que la instalación de barreras de vapor debe ir acompañada de medidas que aseguren una adecuada ventilación de la vivienda, para extraer así el vapor retenido en su interior.

Tabla 4.6: Valores de resistencia a la difusión del vapor de distintas barreras de vapor

| Material | Espesor [mm] | Resistencia a la difusión del vapor [MN*s/g] |
|------------------------------|---------------------|---|
| Hoja de Aluminio | 0,008 | 4000 |
| Lámina de Polietileno | 0,05 | 103 |
| Lámina de Poliéster | 0,1 | 24 |
| Pintura esmalte | - | 7,5-40 |

Fuente: Tabla 5.2, capítulo 5, Manual de humedad (14).

4.2.2. Barrera de humedad (barrera hídrica)

Las barreras de humedad impiden el paso de las humedades exteriores, como aguas lluvia, sin embargo, deben ser permeables al paso del vapor. La barrera de humedad se instala generalmente en la techumbre y muros de tabiquería. Siempre debe instalarse en el lado exterior del elemento constructivo de forma continua y sin perforaciones.

Generalmente se utilizan como barreras de humedad los siguientes materiales:

- Fieltro asfáltico (más usado en techos). Es el material más usado en el mercado como barrera de humedad.
- Pinturas impermeabilizantes (más utilizadas en muros).
- Morteros impermeabilizantes (más utilizados en muros).
- Láminas impermeabilizantes (más usadas en muros).

Recomendaciones en la instalación de barreras de humedad:

- Es de suma importancia que la barrera esté instalada alrededor de toda la envolvente de forma continua y sin perforaciones.
- Se debe instalar por el exterior del material aislante, o sea entre éste y el recubrimiento exterior de la envolvente.
- Es necesario un traslapo de entre 10 y 15 cm en las juntas tanto horizontales como verticales.
- En esquinas exteriores e interiores se deben dejar al menos 30 cm de traslapo, para asegurar la continuidad.
- En los traslapos horizontales (muros) o con pendiente (techos) debe ir la lámina superior sobre la lámina inferior.
- En cubiertas planas e inclinadas, la barrera va entre la cubierta y la estructura secundaria.
- Para adosar la barrera, se debe utilizar clavos o pernos galvanizados con golillas y sellar las uniones con cinta adhesiva u otro sello.
- Para una mejor hermeticidad de la vivienda, se recomienda instalar las puertas y ventanas después de instalar la barrera de humedad.

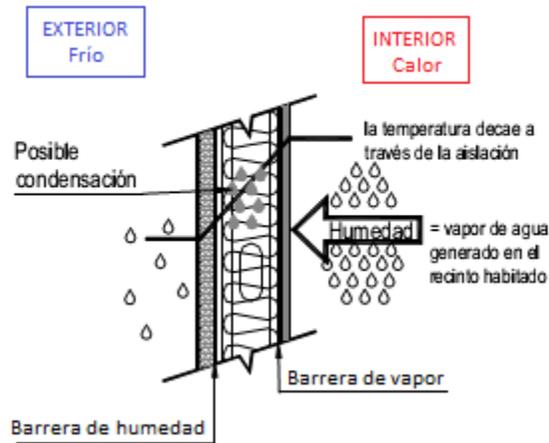


Figura 4.6: Ubicación de las barreras de vapor y humedad en un elemento con aislación interior
 Fuente: ConsulSteel, Construcción con acero liviano: 9.0 aislaciones, [http://consulsteel.com/2013/aislaciones/].

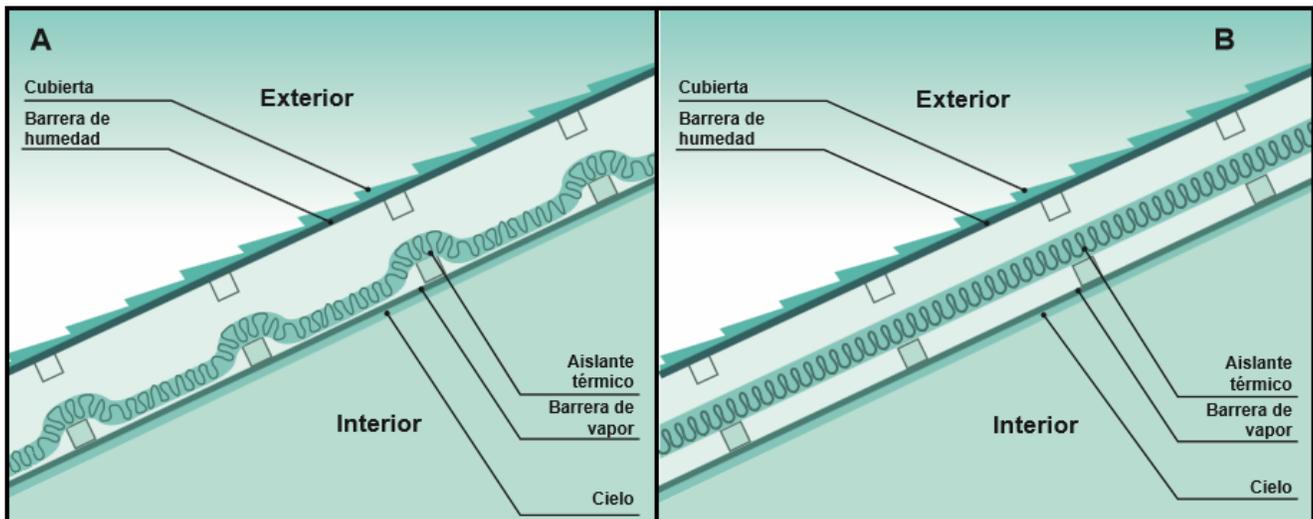


Figura 4.7: A) Ubicación de las barreras de vapor y humedad, caso viga de techumbre oculta; B) Ubicación de las barreras de vapor y humedad, caso vigas a la vista.
 Fuente: Manual de Humedad, CDT, 2012 (14).

4.3. Precauciones en la instalación de la aislación (12) (13) (17)

En cualquier trabajo, ya sea de mantención o reparación, es necesario seguir recomendaciones básicas de seguridad, para así asegurar la integridad física del trabajador.

¡RECORDAR!

Utilice siempre elementos de protección personal al realizar un trabajo de reacondicionamiento térmico en la vivienda.

- Guantes
- Antiparras
- Zapatos de seguridad



Además recuerde siempre verificar que las herramientas a utilizar sean las adecuadas para la ejecución del trabajo.

Si trabaja en altura utilice:

- Escaleras o andamios
- Arnés de seguridad



4.3.1. Techumbre

Generalmente las mayores pérdidas de energía se producen por la techumbre, por lo que es muy importante aislarla. Con ello se logra ahorrar energía o mejorar el confort térmico a una baja inversión en comparación con otras medidas de eficiencia energética.

En general existen dos tipos de techumbre, las llamadas Techumbre Fría y Caliente (figura 4.9).

En la “techumbre fría” (figura 4.9 A), la aislación se encuentra sobre el cielo o losa y no posee entretecho habitable; mientras que en la “techumbre caliente” (figura 4.9 B), la aislación térmica se encuentra debajo de la cubierta y el entretecho forma parte del área calefaccionada de la vivienda.

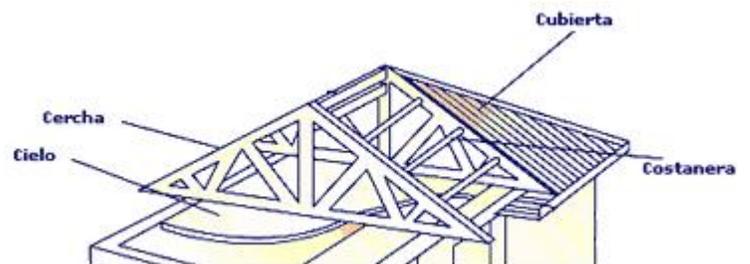


Figura 4.8: Esquema de los elementos de la techumbre

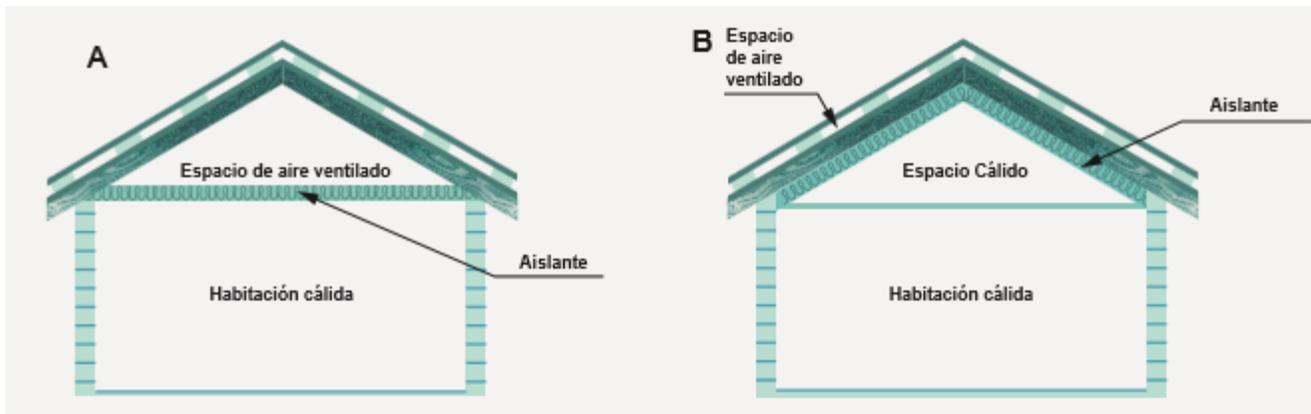


Figura 4.9: A) Techumbre fría; B) Techumbre caliente

Se pueden usar como aislante planchas o rollos de los distintos materiales vistos en la sección 4.1 (como poliestireno expandido, lana mineral o lana de vidrio), ya que son de fácil y rápida instalación. También se pueden utilizar materiales proyectados, como el poliuretano (figura 4.10), con lo que se asegura una continuidad del aislante.

Se debe cuidar que el aislante térmico no se humedezca para que mantenga sus propiedades térmicas, en especial no se vea afectada su conductividad. Sin embargo se debe considerar que la techumbre requiere de ventilación, para lo cual debe contar con entradas y salidas de aire, con el fin de evitar condensaciones al renovar en forma constante el aire, removiendo la humedad.



Figura 4.10: Instalación aislante proyectado

La barrera de humedad dependerá de la materialidad de la cubierta y si corresponde se coloca entre la cubierta y el aislante.

La barrera de vapor se debe colocar protegiendo la aislación térmica de la humedad del interior de la vivienda, es decir entre el revestimiento interior (cielo) y el aislante.

Recomendaciones generales al instalar el aislante en techumbre

La forma de cómo colocar el aislante depende de cada proyecto, sobre o bajo cielo o losa, bajo cubiertas, etc.

La mejor forma de aislar es que el material aislante descansa sobre el cielo horizontal o losa (figura 4.13), de esta forma se evita calefaccionar un espacio que no se utiliza, y además la superficie a aislar es menor, por ende con menor costo.

No se deben dejar espacios semi ventilados o ventilados entre el aislante y el cielo, es por ello que el material aislante se debe instalar sobre o bajo el cielo para que no quede ningún tipo de espacio ventilado entre ellos (figuras 4.11, 4.12 y 4.13).

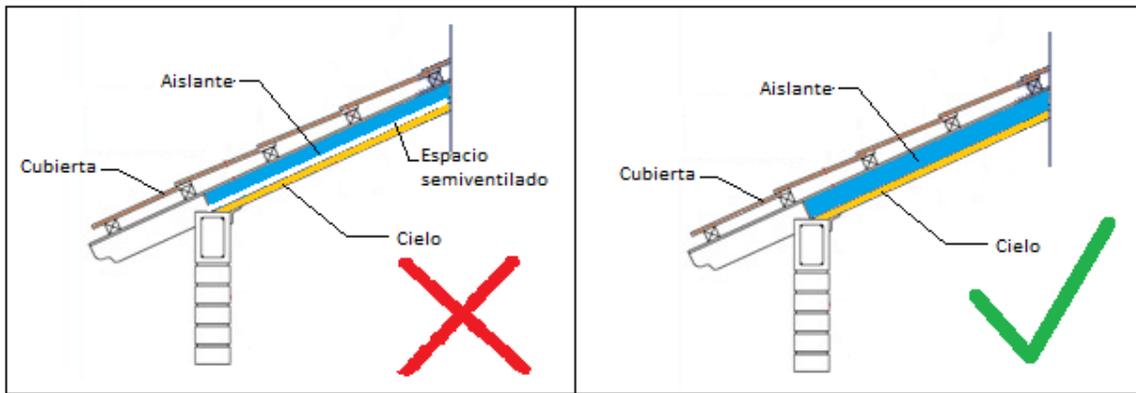


Figura 4.11: Correcta instalación del aislante sin dejar espacios semi ventilados, techumbre caliente

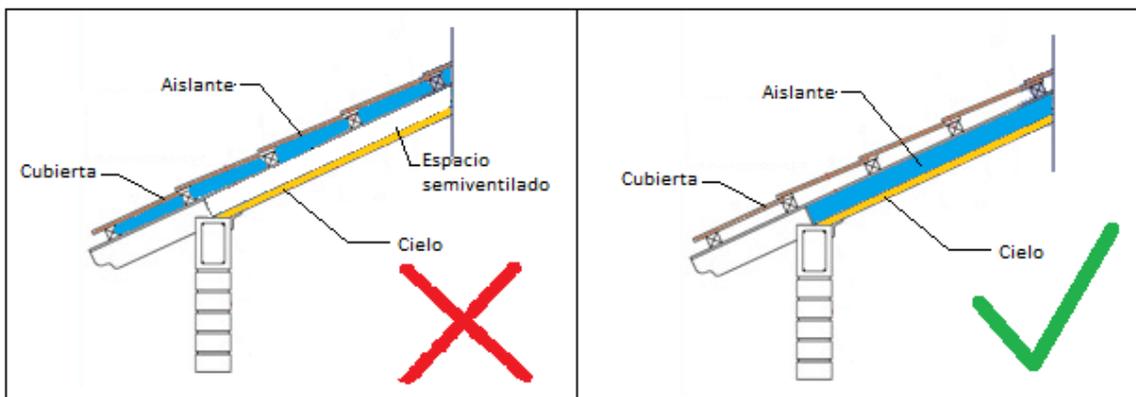


Figura 4.12: Correcta instalación del aislante sobre el cielo, techumbre caliente

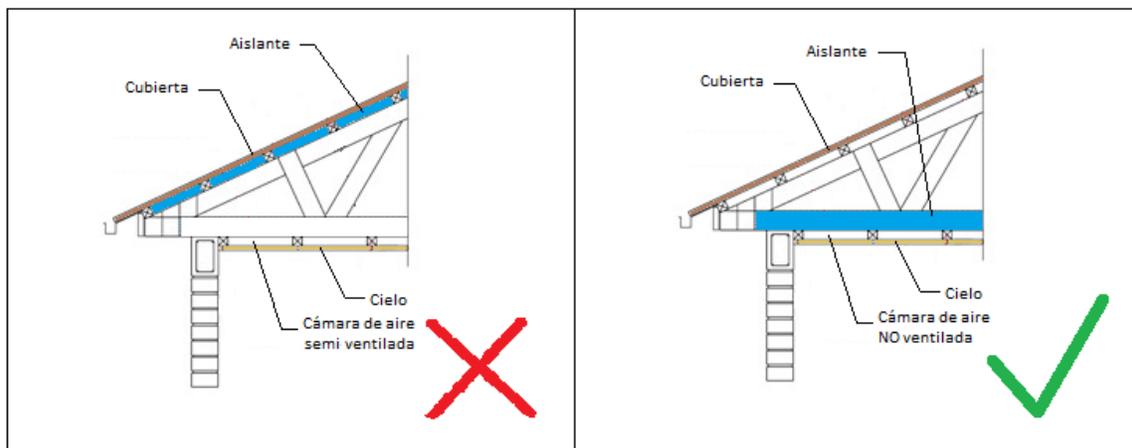


Figura 4.13: Correcta instalación del aislante sobre el cielo, techumbre fría

La instalación del aislante debe ser continua y homogénea, no deben existir sectores sin aislación térmica y se debe mantener constante el espesor del aislante, por tanto en cielo con cerchas la aislación se debe prolongar sobre las cadenas y soleras para que queden aisladas y no constituyan puentes térmicos.

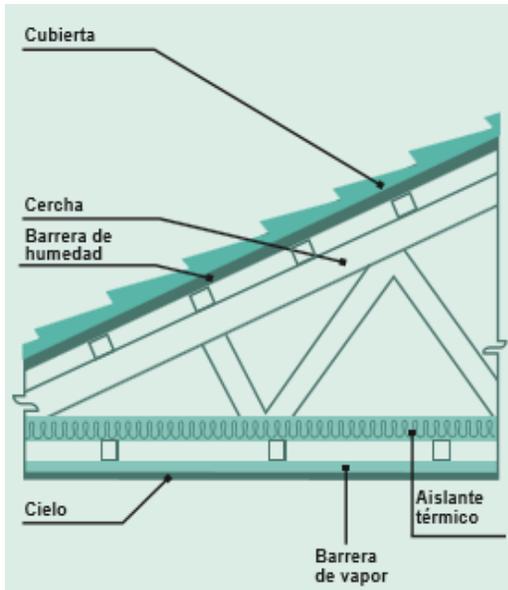


Figura 4.14: Aislante en techumbre fría con cámara de aire.
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

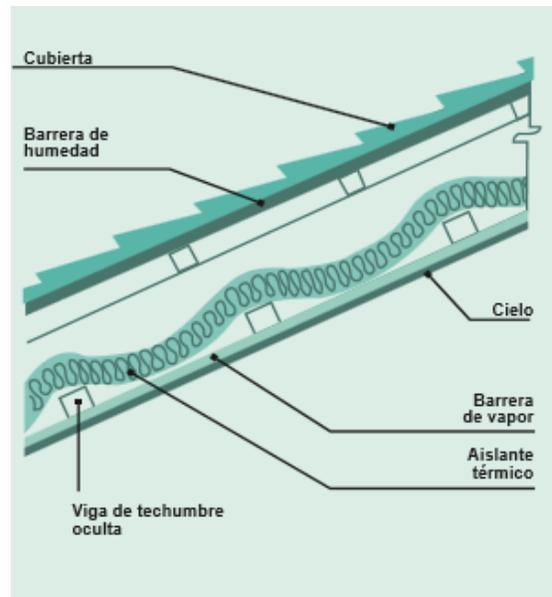


Figura 4.15: Aislante en techumbre caliente con vigas ocultas.
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

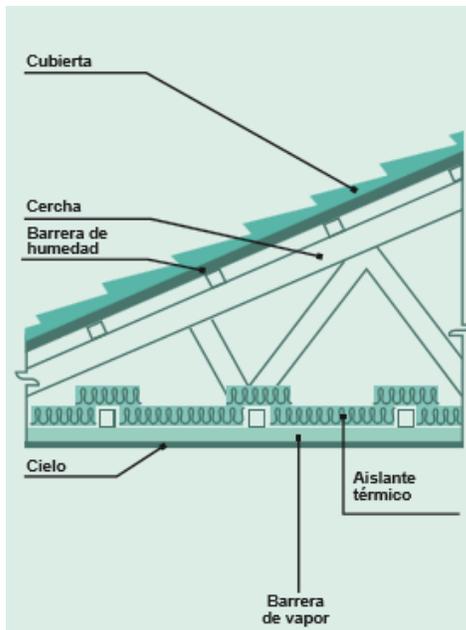


Figura 4.16: Aislante rígido en techumbre fría.
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

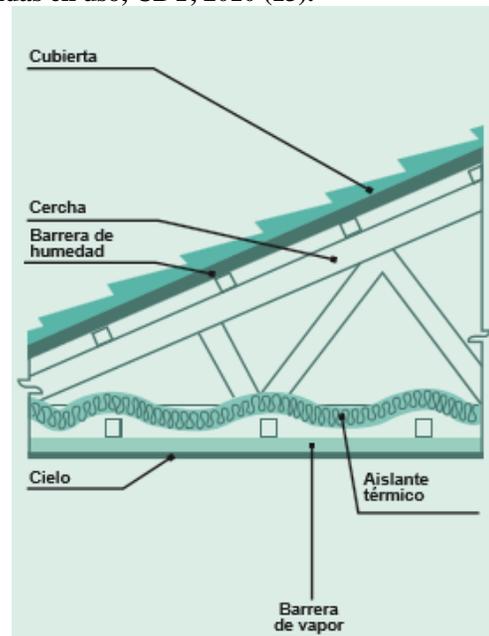


Figura 4.17: Aislante flexible en techumbre fría.
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

En losa de hormigón armado (HA), en el caso de una cubierta plana, la aislación puede ir sobre o bajo de ésta, lo que depende únicamente de las condiciones de instalación del material aislante. Sin embargo, se recomienda que el aislante se coloque sobre la losa para mantener la inercia térmica del hormigón armado.

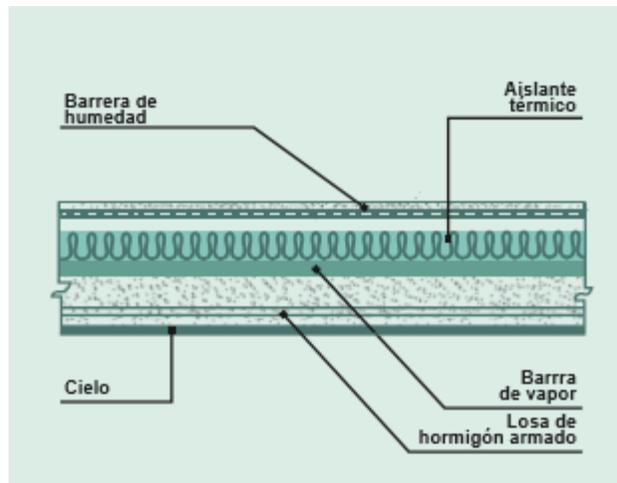


Figura 4.18: Aislante en losa de hormigón armado
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

Los encuentros también deben incluir la aislación térmica:

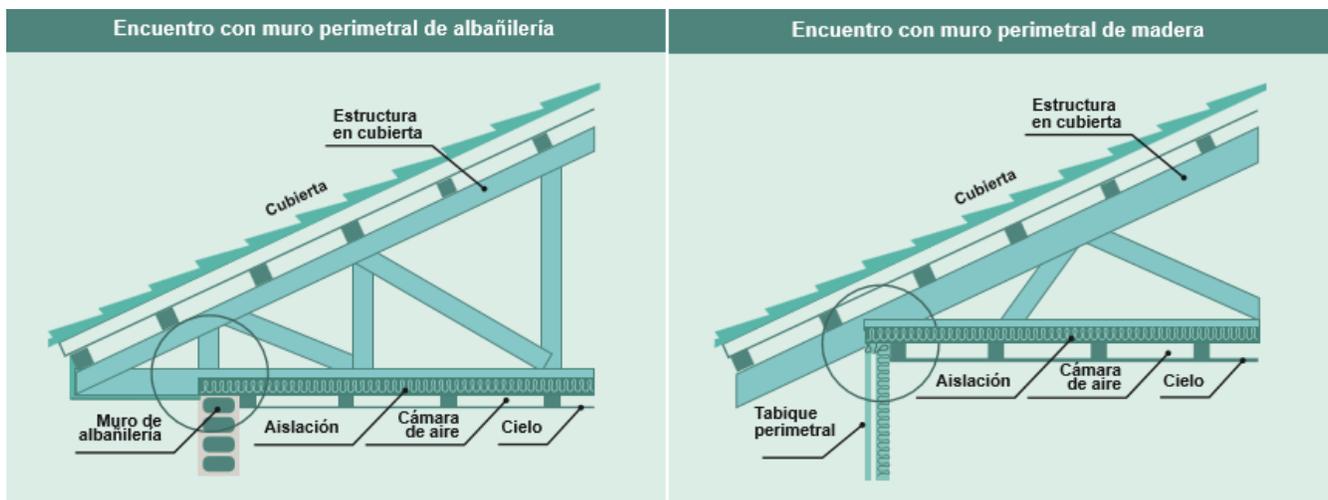


Figura 4.19: Aislación en encuentro de techumbre con: muro de albañilería (izquierda) y muro de madera (derecha)

Si bien existen en el mercado materiales aislantes con espesores de hasta 160 mm, para optimizar la instalación pueden utilizarse varias capas de menor espesor (por ejemplo: dos capas de 80 mm en vez de una de 160 mm), instalándolas de forma traslapada y así cubrir las uniones o elementos de discontinuidad, como por ejemplo ductos, cañerías de las instalaciones domiciliarias o las mismas cerchas.



Figura 4.20: Instalación de aislante entre (izquierda) y debajo de las vigas (derecha)

4.3.2. Muros

Los elementos que se deben aislar son los muros que están en contacto con el exterior. Los que están en contacto con una vivienda vecina, llamados pareados o medianeros, no se deben aislar, puesto que se supone que las viviendas poseen la misma temperatura y no hay transferencia de calor entre ellas.

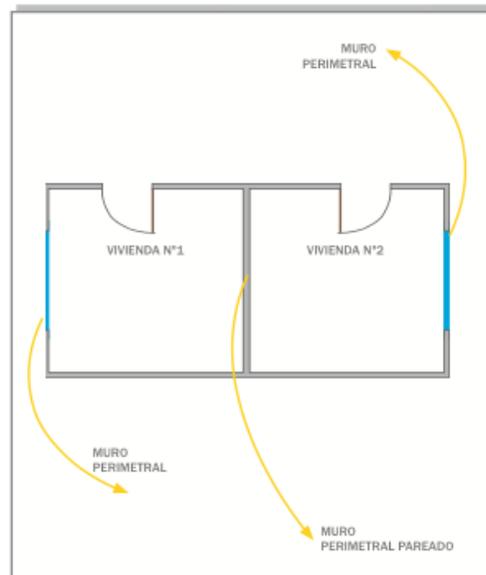


Figura 4.21: Muros perimetrales y pareados en una vivienda

Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

La aislación térmica puede ser por el exterior o interior del muro, con lo cual se obtiene la misma resistencia térmica total que ofrecerá la envolvente, debido a que la sumatoria de las resistencias parciales es igual. No obstante la aislación por el exterior tiene ciertos beneficios que deben ser destacados.

Aislación exterior

- Disminuye riesgo de condensación intersticial en la envolvente.
- Posibilita la solución de los puentes térmicos existentes en la envolvente.
- Se aprovecha de la inercia térmica de la envolvente
- Permite conservar la superficie útil interior del recinto a reacondicionar.
- Permite “rejuvenecer” el aspecto exterior de la fachada de la vivienda.
- Permite proteger la envolvente de la penetración de agua lluvia.
- Se puede instalar en viviendas ocupadas, sin alterar el funcionamiento interior de las mismas.

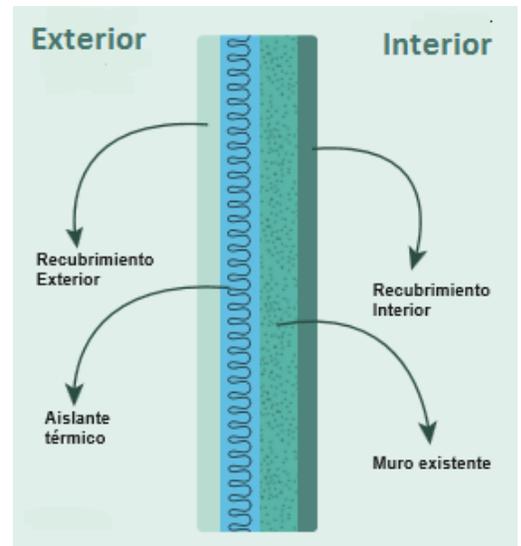


Figura 4.22: Muro con aislamiento por el exterior

Sin duda el aislamiento por el exterior del muro, modifica el aspecto de la vivienda. La principal ventaja es que elimina los puentes térmicos y el muro, si es que tiene alta densidad como en el caso del hormigón armado, albañilería o adobe, mantiene su inercia térmica, con lo cual es capaz de captar, acumular y mantener calor liberándolo en forma paulatina posteriormente, gracias a lo que se obtienen temperaturas estables y menor oscilación de temperatura dentro de la vivienda.

En invierno gracias a la inercia térmica de los muros, todo el calor que absorben durante el día lo liberan en la noche hacia el interior de la vivienda.

La inercia térmica de los muros en verano ayuda a que capten parte del calor que ingresa a la vivienda durante el día, y durante la noche los muros deben ser enfriados (ventilación nocturna) para que sean capaces de absorber el calor del siguiente día, de esta forma se reducen los requerimientos de aire acondicionado.

Aislación exterior tipo “EIFS”

El sistema EIFS “Exterior Insulation and Finishing System”, es un sistema de aislamiento de muro por el exterior resistente al agua y con un sistema de terminación integrado, en Europa son conocidos como ETICS o SATE.

Es un sistema de revestimiento exterior, que consiste en una solución aislante que se adhiere al muro, revestidas por una malla de refuerzo, dentro de un mortero elastomérico.

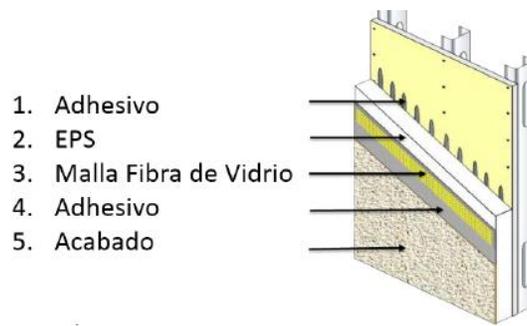


Figura 4.23: Sistema EIFS

Fuente: Cursos Mi Casa Confortable, Curso N°2, Envoltorio y calificación energética, CDT, 2014.

Para la instalación del EIFS, se debe considerar que:

- La superficie sobre la que se coloque sea totalmente lisa o con irregularidades menores.
- Las planchas aislantes se instalan desde abajo hacia arriba, además la adhesión de ellas debe quedar sin espacios, por lo que el adhesivo debe ir por todo el perímetro (ver figura 4.24).
- En las esquinas se debe reforzar con perfiles de aluminio o de PVC. Las juntas de dilatación se deben respetar y los contornos de los huecos (como de ventanas o puertas) se deben reforzar con malla de fibra de vidrio.
- Se debe cuidar el espesor del material aislante, que no sea excesivo, para evitar la aparición de grietas o fisuras en el revestimiento.
- El revestimiento exterior o acabado puede ser cualquier material que se encuentre en el mercado, por ejemplo, un mortero de cemento, una imitación de madera de PVC (Vinyl siding) o un tablero de fibra de madera, etc.
- Se debe tener cuidado con las uniones a otros materiales y perforaciones por instalaciones eléctricas.
- No se debe instalar sobre muros con problemas de humedad mientras no se identifiquen y solucionen esas humedades, especialmente en el caso de la albañilería.

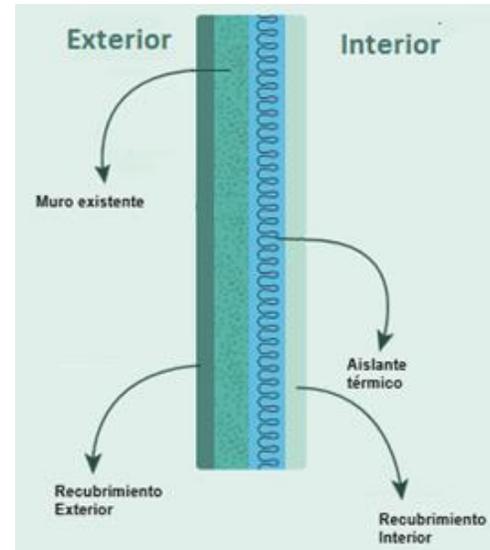


Figura 4.24: Colocación del adhesivo en la plancha aislante

Aislación interior

Aislar por el interior de la fachada (figura 4.25) es otra opción. Es más económica que la aislación exterior, pero se debe considerar que produce una pérdida de espacio habitable en el interior de la vivienda, debido al espesor de los materiales aislantes. Además, pueden existir molestias para los usuarios durante los trabajos y problemas en la instalación eléctrica, ya que enchufes e interruptores deben ser movidos de su lugar original.

Este tipo de aislación se ocupa cuando no se pueden hacer remodelaciones en las fachadas por el exterior, además se puede realizar en zonas localizadas de la vivienda, como piezas, salas de estar, living o comedor.



Cuando el aislamiento se realiza por el interior de la vivienda, se utilizan paneles que consisten en un “sándwich”, el cual está formado por una placa de yeso-cartón (como revestimiento interior), la barrera de vapor y el aislante térmico, de material y espesor según el proyecto. Este panel se pega sobre el sustrato base (que puede ser hormigón armado, albañilería o madera) y se utilizan adhesivos en base a yeso o cualquiera que tenga compatibilidad con los materiales.

Figura 4.25: Aislación por el interior del muro

Al realizar la instalación se debe considerar lo siguiente:

- Los puentes térmicos en divisiones interiores son inevitables, con riesgo de condensación superficial e intersticial, por lo que es muy importante la instalación de la barrera de vapor por el interior de la vivienda, entre el revestimiento interior y el aislante, para evitar acumulación de humedad.
- Antes de instalar la aislación, se debe revisar el estado de la pared, que debe estar lisa y limpia, habiendo extraído cualquier tipo de residuo aceitoso y saturación de humedad, por el lado en que se adosa el aislante (al interior de la vivienda).
- Se debe evitar cubrir cables con el material aislante, ya que se impide la disipación de calor.
- Se debe verificar que la fachada se encuentre en buen estado, para asegurar que no hayan futuras filtraciones de humedad, de lo contrario se debe realizar una reparación de ésta y colocar la barrera de humedad.
- Se debe cuidar especialmente no dejar espacios no sellados de aire entre la aislación y el muro, y considerar terminaciones adecuadas, para así evitar que el aire húmedo llegue al muro frío y condense el vapor.

Interior de tabique

La recomendación es que el material sea instalado de manera homogénea en toda la superficie a cubrir y considerar las barreras de vapor (que van siempre por el lado más caliente). Uno de los beneficios del uso de aislantes en base a fibras (como lo son la lana de vidrio y la lana mineral), es que permite lograr una continuidad del material en las uniones, ya que incluso si es mal cortado, se puede unir los cortes (ver figura 4.26). Esta aislación se realiza sólo cuando hay trabajos de remodelación considerados, ya que se debe retirar el revestimiento del tabique para ello.

Se debe utilizar un espesor de aislante equivalente al ancho de la estructura. Es decir, si se usa una estructura de 90 mm, debiese utilizar un aislante de 90 o 100 mm. Esto facilitará la instalación, y se aprovechará, en el caso de las estructuras metálicas, la geometría de los montantes, los que al tener pestañas (perfil C), ayudan a afirmar el material.

Al aislar tabiques perimetrales (en contacto con el exterior), se debe aislar igualmente los muros estructurales, considerando las barreras de vapor y humedad. El aislamiento de tabiques interiores se usa para aislar zonas localizadas de la vivienda, como lo son piezas y salas de estar.

Se debe tener especial cuidado con los siguientes puntos, que producen los errores de instalación más comunes.

- Verificar la hermeticidad al viento e infiltraciones de aire.
- Instalar la barrera de vapor de acuerdo a lo visto en la sección 4.2.
- Si el aislante es blando (como lana mineral o de vidrio), se debe fijar adecuadamente para que no se asiente, y se forme discontinuidad en la aislación.



Figura 4.26: Instalación del aislante en tabique interior

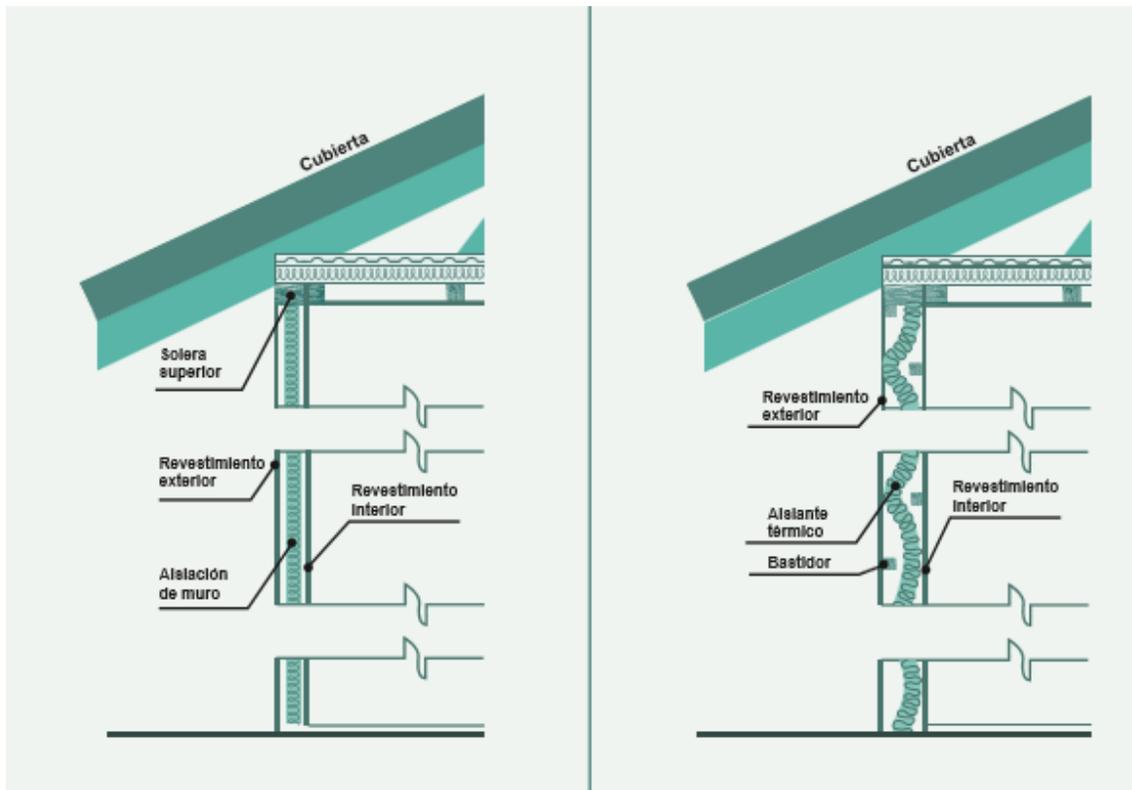


Figura 4.27: Asentamiento del material aislante en un muro

4.3.3. Pisos

La aislación de pisos de una vivienda existente puede ser relativamente complicada, pero esto depende del tipo de piso existente y cómo se pretende reacondicionar. El piso se puede encontrar de dos formas, en contacto con el terreno o como piso ventilado. Siempre es importante recordar que para minimizar la existencia de puentes térmicos en pisos, el material aislante debe ser interrumpido sólo por elementos estructurales, ya sean del piso o de las instalaciones domiciliarias (como vigas, tuberías o ductos). A continuación se presentan los principales tipos de pisos y las medidas a considerar para su correcta aislación.

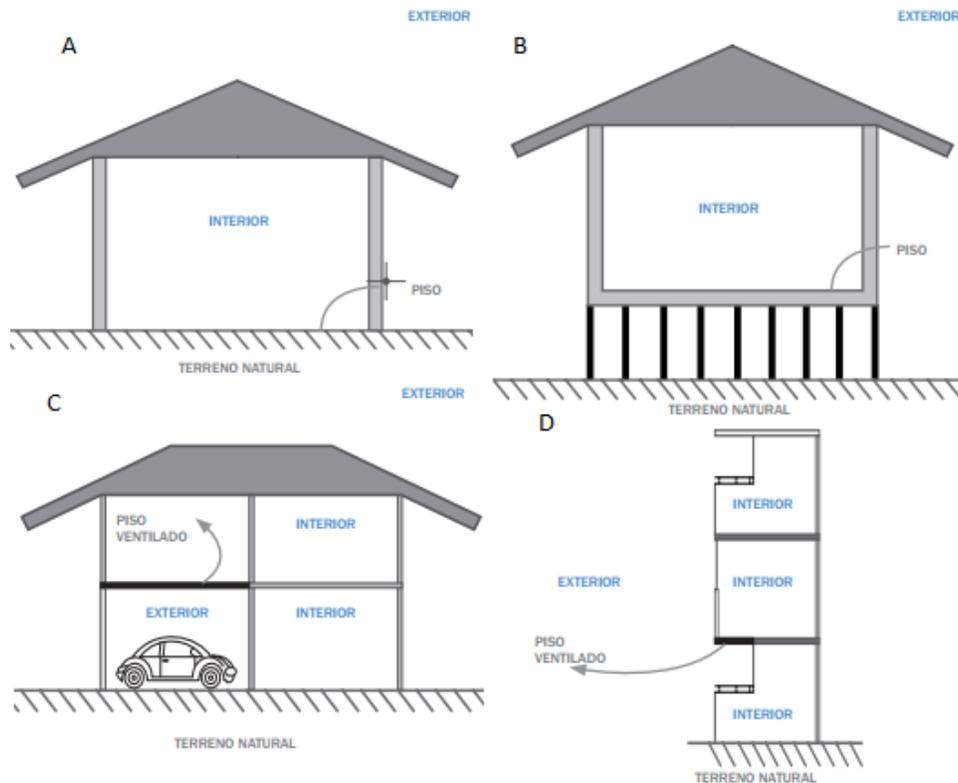


Figura 4.28: A) Losa en contacto con el terreno; B, C, D) Losas ventiladas
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

Aislar el piso en contacto con terreno en viviendas existentes es complejo, por lo que se evita realizar este reacondicionamiento. Se entregan entonces recomendaciones para losas ventiladas.

Losas Ventiladas

Las losas ventiladas corresponden a pisos de hormigón, madera u otro, cuya parte inferior está en contacto con el exterior, y no en contacto directo con el suelo, ya sea porque la casa es de tipo “palafito” o porque existe algún subterráneo o estacionamiento bajo el suelo de la vivienda, bodega, espacios no calefaccionados u otro (ver figura 4.28).

Lo más práctico es aislar por el exterior de la losa, con solución EIFS u otra, se deben evitar los puentes térmicos y la aislación debe ser continua. Se debe utilizar barrera de humedad en caso de que sea necesario.

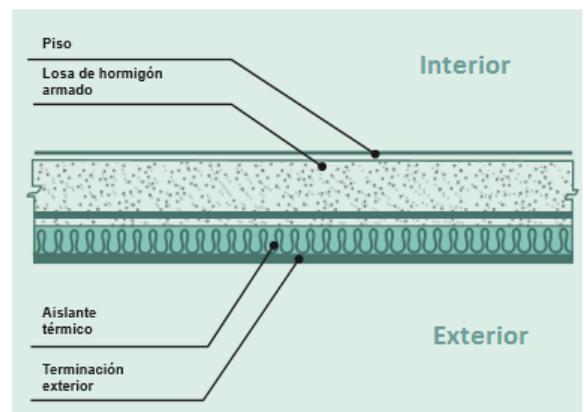


Figura 4.29: Aislación térmica del piso por el exterior de la vivienda (losa de hormigón armado)
Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, CDT, 2010 (13).

4.3.4. Ventanas

El desempeño energético de una ventana depende de sus componentes, tales como el tipo y material del marco utilizado, el tipo y la cantidad de vidrios y otros elementos menos importantes como cierres, sellos entre otros.

Es importante recordar que las ventanas pueden ser un gran aporte de energía a la vivienda, ya que a través de ella se transmite la radiación solar, en parte transmitida, reflejada o absorbida. Sin embargo, cuando no les da el Sol son elementos que pierden energía.

Existen soluciones para climas fríos que retienen el calor dentro de la vivienda, que permiten la entrada de radiación solar (poseen baja transmitancia térmica y coeficiente de sombra alto). En el caso de climas cálidos, se debe tener una solución contraria, ingresando menos radiación solar para evitar el sobrecalentamiento de la vivienda (bajo coeficiente de sombra).

Coefficiente de sombra (CS): Coeficiente que mide la capacidad de filtrar el calor producido por la radiación directa del Sol. En el caso de las ventanas, mientras menor sea este valor, mejor es el vidrio utilizado, o sea, su capacidad de filtrar el calor es mejor.

Se debe considerar que el cambio de ventanas por unas mejores se debe realizar sólo si es necesario, ya que corresponden a una alta inversión que vale la pena principalmente en departamentos, donde las pérdidas a través de ellas son mayores, ya que en una vivienda (aislada o pareada), las ventanas son uno de los sectores con menor porcentaje de pérdidas comparadas con la techumbre o muros. Sin embargo, se debe poner especial atención a las infiltraciones de aire a través de las ventanas, que es lo que puede afectar en mayor medida el desempeño de ellas.

Existen marcos de aluminio, de PVC y de madera, siendo mejores estos últimos, ya que poseen una menor transmitancia térmica. De acuerdo al cálculo de la transmitancia térmica (valor U) de una ventana con un tipo de marco u otro, la diferencia de éste es muy pequeña (5,8 [W/(m² K)] para marcos de aluminio, 5,3 [W/(m² K)] de PVC y 5,2 [W/(m² K)] de madera maciza), debido a la poca superficie que representan en el total de la ventana, por lo que no se considera relevante un cambio en el tipo de marco (ver anexo C).

Lo más importante en la ventana corresponde al tipo de vidrio. Este puede ser vidrio simple o monolítico, compuesto por una sola lámina de vidrio y de una alta transmitancia térmica; o un sistema compuesto llamado doble vidriado hermético (DVH), también llamado termopanel, consistente en dos láminas de vidrio separadas que dejan una cámara de aire entre sí, esta solución es considerada la mejor en el sentido de la eficiencia energética, pero posee un costo muy alto, sin embargo, si se dispone de los recursos y el resto de la vivienda está correctamente aislado, es recomendable instalar este tipo de ventanas.

A continuación se presentan consideraciones básicas para instalar o cambiar ventanas, siendo los componentes de la ventana los presentados en la figura 4.30. No se aborda en detalle las mejoras a las ventanas, ya que es un tema muy amplio y este trabajo no está enfocado en ellas. Por cualquier duda se recomienda seguir las recomendaciones de la norma NCh2496 Of.2000 “Arquitectura y construcción – Ventanas – Instalación en obra”.

Recomendaciones generales

- Verificar el estado del vano, limpiarlo, medir las diagonales (deben ser iguales, una diferencia mayor de 5 mm implica que es necesaria una reparación) y si es necesario reparar e impermeabilizar. La mayor cantidad de filtraciones se generan en la junta del marco con el vano.
- Elegir el sellador apropiado según la altura de la edificación, tamaño del marco, ancho de las juntas de dilatación y materiales que se estén utilizando. Una vez instalada la ventana, debe sellarse completamente para evitar infiltraciones.
- Asegurar el ancho necesario en las juntas de dilatación de la ventana (6 mm para marcos de aluminio y 12 mm para marcos de PVC).
- La profundidad de las perforaciones deben ser como mínimo de 25 mm en el elemento estructural, se deben hacer con taladro de percusión y broca de 7 mm separando los puntos de fijación a una distancia máxima de 50 cm aproximadamente.
- Deben existir como mínimo dos puntos de fijación. La separación máxima entre dos tornillos no puede ser superior a 50 cm y el primer punto debe situarse como máximo a 25 cm de cada esquina del marco.
- Los tarugos plásticos deben insertarse en las perforaciones hasta que queden embutidos en el muro.
- Los tornillos deben ser zincados o inoxidable. Deben colocarse con un apriete inicial suave, de modo de permitir el reacomodo del marco antes de proceder a su apriete final.
- En el perfil inferior del marco, se debe colocar silicona antes del último apriete del tornillo para sellar la perforación y evitar el paso del agua (el tercio inferior de la apertura es el que está más propenso a humedades).
- Se deben fijar los tornillos con un torque fuerte. Esta operación puede realizarse con atornilladores manuales o eléctricos, preocupándose de cumplir con la cantidad de tornillos especificados.
- En el caso de los ventanales, si se van a instalar sólo los marcos en una primera etapa, el instalador deberá tomar las medidas necesarias para resguardar que no se dañen producto del tránsito de carretillas, cementos, etc.
- Cuando se realicen instalaciones de ventanas en altura y con presencia de vientos fuertes, se recomienda tomar las debidas precauciones necesarias para asegurar las fijaciones de marcos y hojas, para evitar que se desprendan y caigan. Asimismo, deberá fijar una secuencia de instalación y entrenar a su personal.
- Idealmente, los presupuestos deberían incluir el sellado exterior de las ventanas.

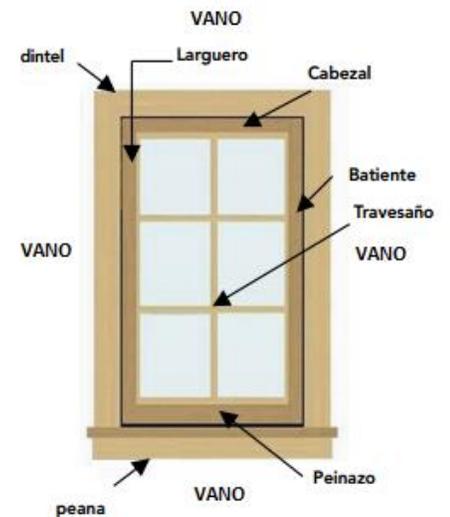


Figura 4.30: Componentes de la ventana

Finalmente, a modo de resumen, se sugiere realizar las siguientes mejoras en las ventanas con el fin de aumentar su desempeño energético. Estas medidas están ordenadas de menor a mayor costo, por lo que queda a criterio del usuario final de la vivienda qué medidas realizará y cuáles no.

1. Sellar las ventanas para darles hermeticidad en la unión de marco con vano de la ventana.
2. Mejorar el sistema de cierre de las ventanas, cambiando los cierres por alguno más adecuado.
3. Cambiar marcos de aluminio por marcos de PVC.
4. Cambiar las ventanas de vidrio simple por ventanas de doble vidriado hermético.

Cabe destacar además, que estas medidas, mientras más costosas son más eficientes, por lo que si se posee presupuesto para invertir en ellas, se recomienda considerar la opción más cara.

Sin embargo, existe una alternativa al doble vidriado hermético, consistente en la instalación de una doble ventana, esto es, instalar una ventana de vidrio simple hacia el interior o al exterior de la ventana ya existente. Las ventajas de este sistema es que no se necesita desinstalar la ventana ya existente, y mejora su desempeño energético, ya que se acerca más a una ventana DVH, con una cámara de aire formada por el espacio creado entre ambas ventanas.

5. Recomendaciones de intervención (29)

Como se vio en los capítulos anteriores, el comportamiento térmico de una vivienda varía según su materialidad, nivel de aislación, orientación, superficie expuesta al exterior (forma de la vivienda), la zona térmica en que se encuentre, tipo de sistema de calefacción y uso de la vivienda, entre otros factores.

Es fundamental considerar estos aspectos al momento de reacondicionar una vivienda existente, principalmente los que no se pueden modificar como lo son; el clima del lugar de emplazamiento, la forma de la vivienda en relación a los elementos constructivos expuestos al exterior y el área a calefaccionar.

A continuación se entregan recomendaciones genéricas⁴⁶ de acondicionamiento térmico, que dan un indicio y la dirección a seguir al momento de reacondicionar una vivienda. Se pretenden aclarar dudas frecuentes como: ¿qué es mejor, cambiar las ventanas o aislar muros?, ¿cuánta aislación de muros es adecuada?, ¿aislar la techumbre es importante?

Para ello se evalúan las viviendas en dos situaciones:

- **Situación actual**

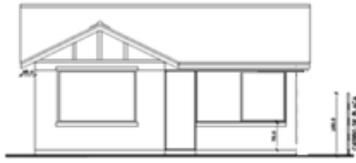
Se evalúa el desempeño energético considerando las modificaciones de acondicionamiento térmico de la O.G.U.C., con lo que se define la situación actual más probable de comportamiento energético de las viviendas que existen actualmente en Chile.

- **Aumento de aislación térmica respecto a la normativa actual**

Se evalúan otras medidas de eficiencia energética correspondientes a mayor aislación de techumbre y muros respecto a la actual normativa, además de cambio de tipo de ventanas.

La evaluación se realiza en tres tipos de viviendas; vivienda aislada, vivienda pareada y departamento, en cada una de las zonas térmicas, debido a diferencias en el desempeño energético de cada una de ellas. Para ello, se utiliza la herramienta del Sistema de Calificación Energética de Viviendas del MINVU, CEV.

⁴⁶ Es importante señalar que las medidas son genéricas y se deben evaluar caso a caso, puesto que cada vivienda tiene condiciones particulares que es necesario considerar.



Vivienda Aislada

- Albañilería
- Superficie de 68 m²
- Ventanas en dirección norte, sur, este y oeste



Factor de Forma = 0,96

Materialidad

Muros: Ladrillo hecho a máquina (e= 14 cm).

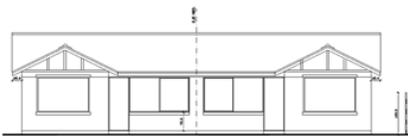
Techo: Estructura con cerchas de madera, cielo de yeso-cartón y cubierta de planchas de fibrocemento.

Piso: Radier de hormigón (e= 8 cm).

Ventanas: Vidrio simple con marco aluminio.

Figura 5.1: Vivienda aislada a evaluar

Fuente: Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, CDT, 2010 (29).



Vivienda Pareada

- Albañilería
- Superficie de 68 m²
- Ventanas en dirección norte, sur y oest
- Pareo hacia el este



Factor de Forma = 0,82

Materialidad

Muros: Ladrillo hecho a máquina (e= 14 cm).

Techo: Estructura con cerchas de madera, cielo de yeso-cartón y cubierta de planchas de fibrocemento.

Piso: Radier de hormigón (e= 8 cm).

Ventanas: Vidrio simple con marco aluminio.

Figura 5.2: Vivienda pareada a evaluar

Fuente: Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, CDT, 2010 (29).

Departamento

- Hormigón armado
- Superficie de 110 m²
- Fachadas al norte y al oeste
- Pareo al sur y al este
- Departamento intermedio
- Solo pierde energía a través de muros y ventanas



Materialidad

Muros: Hormigón armado (e= 20 cm).

Ventanas: Vidrio simple con marco aluminio.

Factor de Forma = 0,19

Figura 5.3: Departamento a evaluar

Fuente: Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial, CDT, 2010 (29).

Las viviendas aisladas, pareadas o en fila o los departamentos tienen diferente comportamiento energético dado por su mayor o menor superficie expuesta al exterior. En los casos analizados, la vivienda aislada pierde energía a través de 155 m² de envoltorio que da al exterior (con un factor de forma Cf=0,96), mientras que la vivienda pareada, al tener un muro en contacto con otra vivienda (para lo cual se estima que no hay flujo de energía a través de él por estar ambas viviendas a la misma temperatura), pierde energía a través de 133 m² (Cf=0,82), y el departamento en piso intermedio, que pierde energía sólo a través de muros y ventanas, lo hace en 55 m² (Cf=0,19). Es por ello que las medidas de reacondicionamiento térmico se deben abarcar con diferentes criterios, por ejemplo un departamento puede requerir sólo el 26%⁴⁷ de energía que una vivienda aislada.

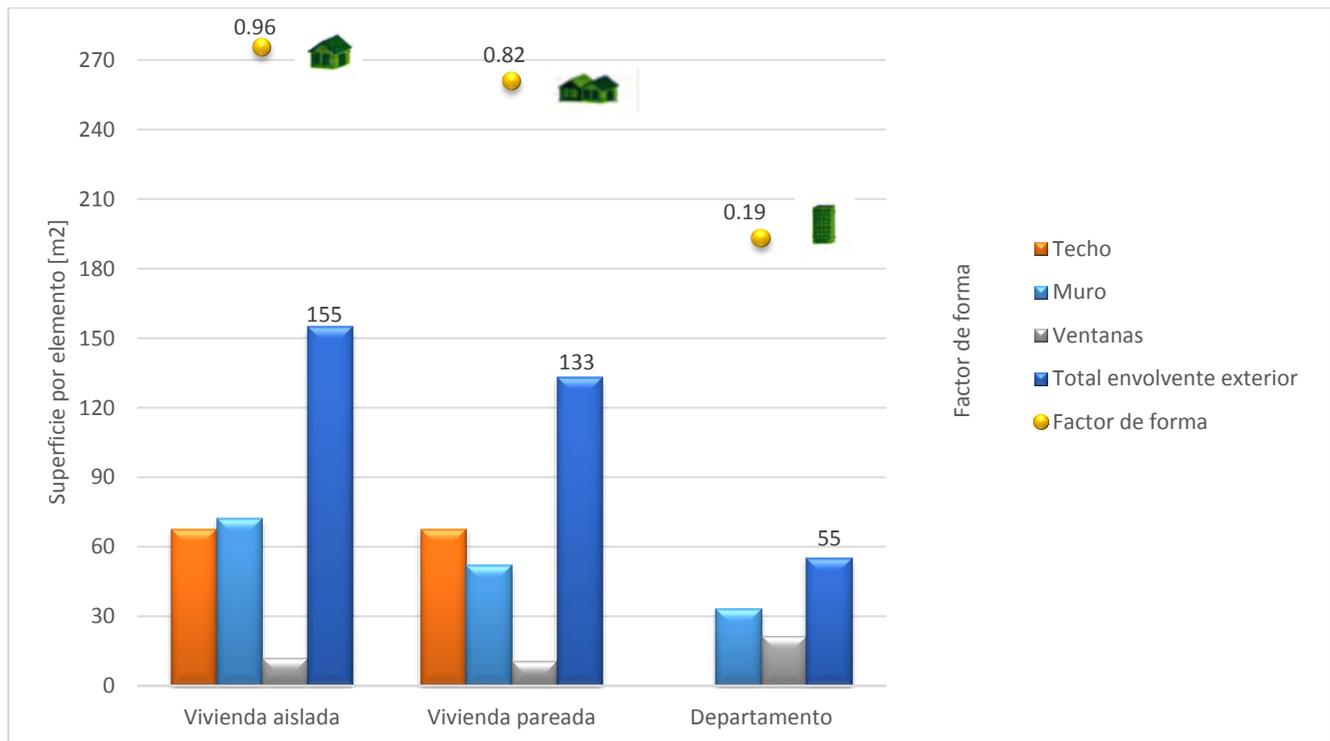


Figura 5.4: Superficie envolvente y factor de forma para las tres tipologías

La figura 5.4 muestra que, en las tipologías estudiadas, las medidas de aislación más efectivas pueden estar dirigidas hacia la techumbre y los muros, al ser los elementos con mayor superficie al exterior, aunque se debe considerar también el valor U de estos elementos para determinar con mayor certeza en qué elemento es mejor enfocar el acondicionamiento térmico.

⁴⁷ En zona 3 (Santiago), para las tipologías indicadas en este capítulo y sin aislación térmica en techumbre ni muros y con vidrio simple.

5.1.Situación actual

Los casos analizados son los siguientes, relacionados al nivel de aislación de la vivienda:

- **Caso base – Sin aislación:** Viviendas sin aislación térmica (generalmente construidas antes del año 2000 incluido éste). Equivalen aproximadamente al 86% de las viviendas construidas en el país (29).
- **Aislación techumbre - O.G.U.C. 2000:** Viviendas con aislación de techumbre de acuerdo a O.G.U.C. (generalmente construidas entre 2001 y 2006 incluidos). Equivalen aproximadamente al 12% de las viviendas construidas en el país.
- **Vivienda O.G.U.C. 2007:** Viviendas con aislación térmica en muros y techumbre de acuerdo a O.G.U.C. actual (generalmente construidas después del 2007 incluido). Equivalen aproximadamente al 2% de las viviendas construidas en el país.

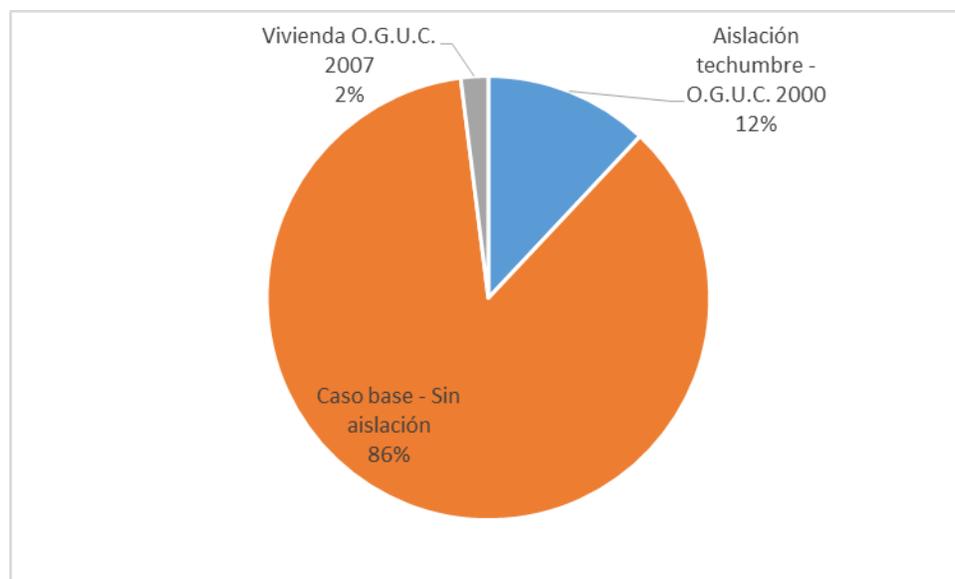


Figura 5.5: Distribución de viviendas en Chile según casos estudiados

Todas las viviendas se simularon considerando ventanas de vidrio simple con marco de aluminio y para cada tipología, zona térmica y nivel de aislación tal como se ve en la figura 5.6.



Figura 5.6: Casos considerados en las simulaciones para la situación actual

Con estas evaluaciones se obtiene la situación actual más probable de comportamiento energético de las viviendas que existen actualmente en Chile.

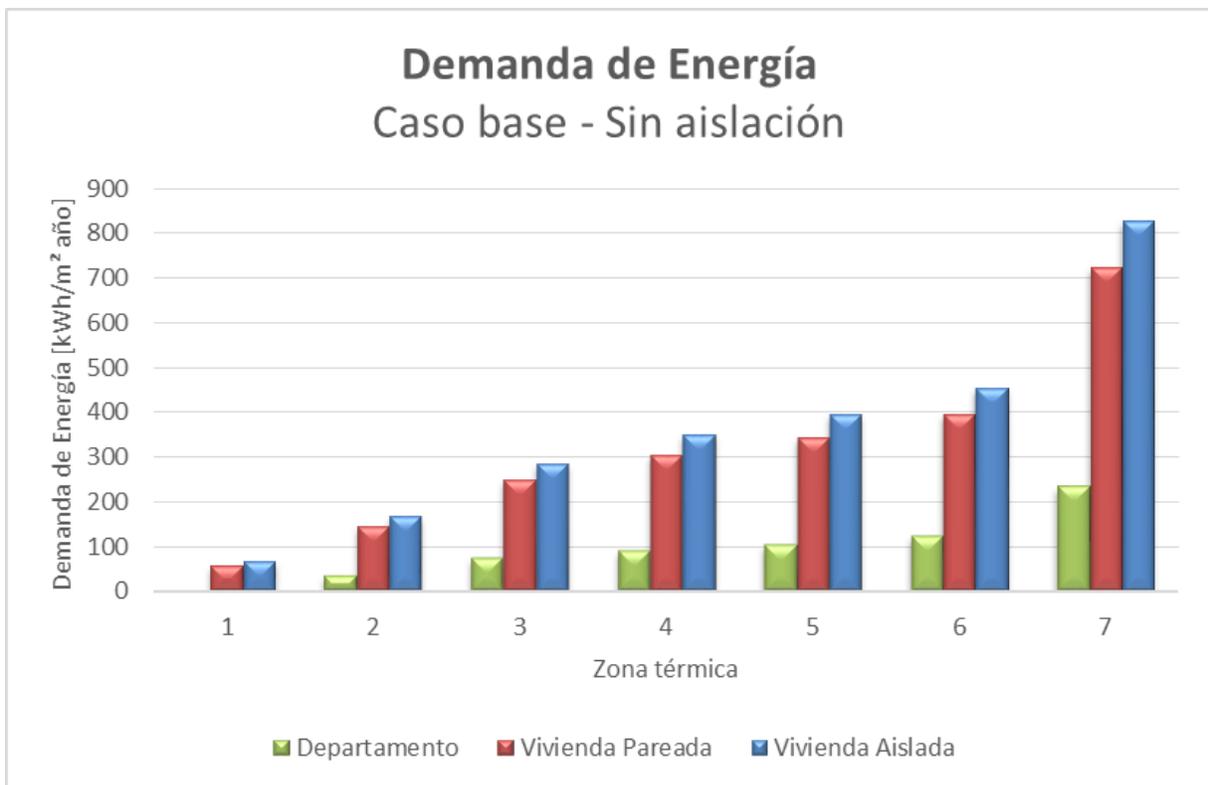


Figura 5.7: Demanda de energía por zona térmica para el Caso base

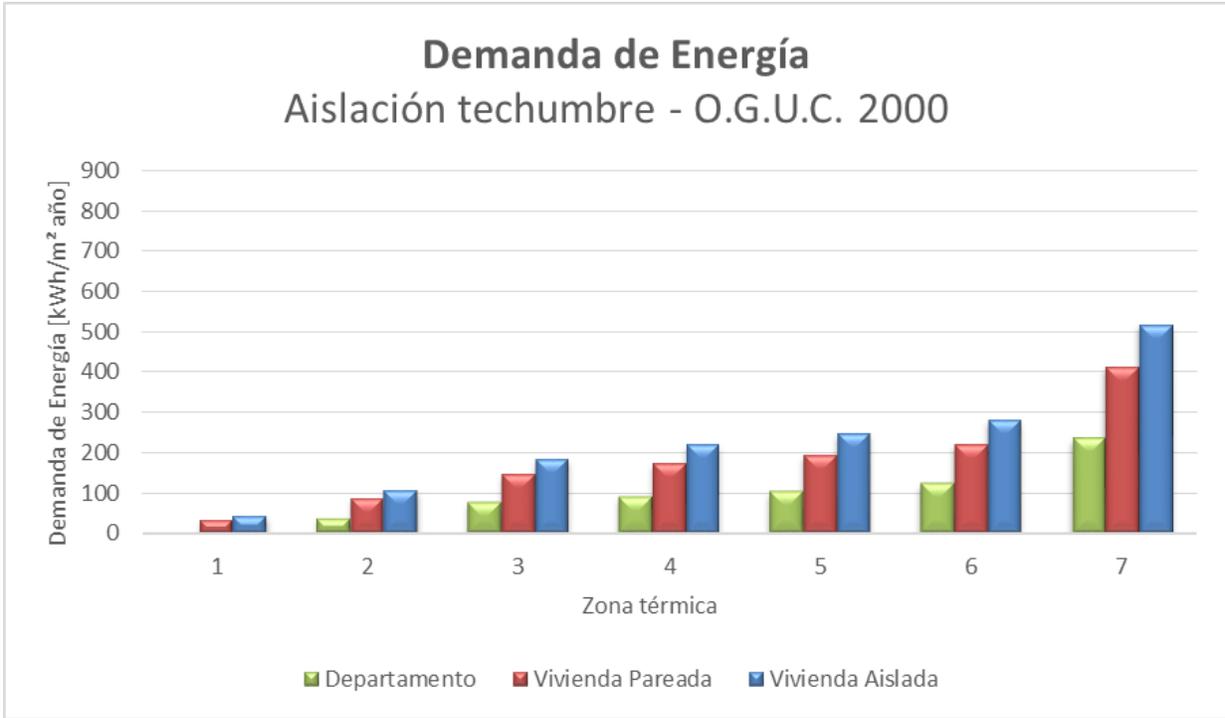


Figura 5.8: Demanda de energía por zona térmica para viviendas con aislación de techumbre según O.G.U.C. 2000

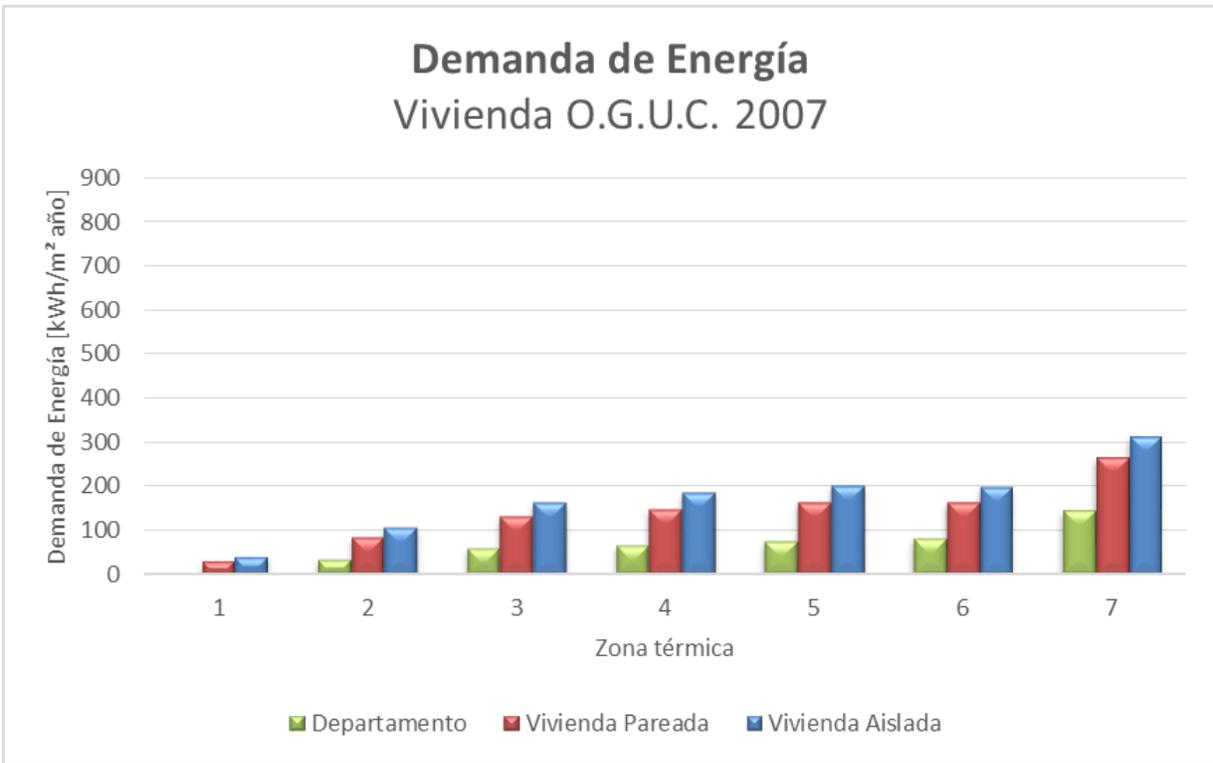


Figura 5.9: Demanda de energía por zona térmica para viviendas reacondicionadas según O.G.U.C. 2007

La reglamentación térmica del año 2007 ha sido un gran aporte en el ahorro de energía y en el confort térmico de las viviendas, sobre todo en las zonas más frías del país (como en la zona 7) y en viviendas más que en departamentos. Los ahorros fluctúan entre 36% y 63% con respecto a viviendas construidas antes del año 2000 sin ningún tipo de aislación, y hasta un 39% respecto a viviendas que poseen aislación en techumbre.

Por ejemplo, una vivienda aislada en la zona 3 disminuye en un 43% su requerimiento de energía para calefacción si se aíslan muros y techumbre de acuerdo a la O.G.U.C.

Para la vivienda aislada en zona 3 las demandas de energía se reducen de 287 [kWh/(m² año)] a 184 [kWh/(m² año)] (aislando sólo techumbre) y a 164 [kWh/m² año] (aislando techumbre y muros según O.G.U.C. 2007). En la zona 7 para la misma vivienda las demandas de energía se reducen de 830 [kWh/(m² año)] a 518 (aislando sólo techumbre) y a 314 [kWh/(m² año)] (aislando muros y techumbre según O.G.U.C. 2007).

Naturalmente que reacondicionar viviendas es mucho más relevante en lugares donde el clima es más frío, y sobre todo si son viviendas aisladas, por ejemplo en la zona 7 (correspondiente a Punta Arenas) la demanda antes mencionada de 830 [kWh/(m² año)], que es 12 veces más que la demanda de la zona 1 (correspondiente a Arica, con una demanda de 67 [kWh/(m² año)]), se puede reducir en un 62% si se reacondiciona de acuerdo a la O.G.U.C. 2007, con lo cual el ahorro es de 516 [kWh/(m² año)]. En cambio si se realiza el mismo acondicionamiento en la zona 1 el ahorro es de tan sólo 25 [kWh/(m² año)].

5.2. Aumento de aislación térmica respecto a la normativa actual

Se simula el efecto de mayor aislación de techumbre y muros respecto a la actual normativa O.G.U.C. 2007, y cambio de ventanas por DVH (termopanel), para tener claridad de la conveniencia de implementar una medida u otra.

No se consideró aislación de pisos, debido a la complejidad y/o alto costo que significa en viviendas existentes, sin embargo, la aislación de losas ventiladas es relevante si es que existen y deben ser consideradas al reacondicionar la vivienda, en este caso no se simulan debido a que las tipologías estudiadas no presentan losas ventiladas.

Las medidas analizadas son las siguientes:

- **Mayor aislación techumbre**

*Aislación de techumbre con espesores de 80, 120, 160, 200, 240 y 250 mm según zona térmica.
Muros sin aislación térmica.*

- **Mayor aislación muro 1**

*Aislación de techumbre de acuerdo a O.G.U.C.
Aislación de muros con espesores de 10, 30 y 60 mm según zona térmica.*

- **Mayor aislación muro 2**
Aislación de techumbre de acuerdo a O.G.U.C.
Aislación de muros con espesores de 20, 50 y 100 mm según zona térmica.
- **DVH – Termopanel 1**
Ventanas DVH (termopanel) con marco de aluminio
Vivienda sin aislación térmica construida antes de 2000.
- **DVH – Termopanel 2**
Ventanas DVH (termopanel) con marco de aluminio
Vivienda aislada de acuerdo a O.G.U.C. 2007 (techumbre y muros).

Los ahorros de energía de cada medida se evalúan para cada tipología y se comparan con las viviendas sin ningún tipo de aislación (Caso base) generalmente construidas antes del año 2000 (cerca del 86% de las viviendas existentes), a excepción de las medidas que incorporan DVH (termopanel), las que se evalúan en viviendas sin aislación y además en viviendas con aislación de acuerdo a O.G.U.C.

Tabla 5.1: Espesores de aislante para los distintos casos estudiados

| Zona | Espesor aislante [mm] | | | | | | |
|------|---|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|------------------------|------------------------|
| | Situación actual (ventanas con vidrio simple y marco de aluminio) | | | | Aumento de aislación térmica respecto a la normativa actual (2007) | | |
| | Caso base - Sin aislación | Muro albañilería O.G.U.C. 2007 | Muro hormigón O.G.U.C. 2007 | Techumbre O.G.U.C. 2000 - 2007 | Mayor aislación techumbre | Mayor aislación muro 1 | Mayor aislación muro 2 |
| 1 | 0 | 0 | 2 | 38 | 80 | 10 | 20 |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 59 | 120 | 10 | 20 |
| 3 | 0 | 4 | 10 | 79 | 160 | 30 | 50 |
| 4 | 0 | 7 | 12 | 101 | 200 | 30 | 50 |
| 5 | 0 | 9 | 14 | 119 | 240 | 30 | 50 |
| 6 | 0 | 20 | 25 | 142 | 250 | 60 | 100 |
| 7 | 0 | 51 | 56 | 161 | 250 | 60 | 100 |

Se consideró aislación térmica continua sin puentes térmicos.

Para la aislación de muros se utilizó **Poliestireno expandido** de densidad 15 [kg/m³], con una conductividad térmica de 0,041 [W/(m K)]; mientras que para la aislación de techumbre se usó **Lana de vidrio** de densidad 13 [kg/m³] y conductividad térmica de 0,44 [W/(m K)].

Tanto en muros como en techumbre se obtendrían resultados parecidos con otros materiales de similar conductividad térmica, tales como:

- Poliestireno expandido
- Lana de vidrio
- Lana mineral

Si se elige un material con menor conductividad térmica, se podrían obtener los mismos resultados con menores espesores, como es el caso del poliuretano, o los mismos materiales mencionados pero con diferentes densidades.

Las siguientes figuras y la tabla 5.2 muestran el ahorro de energía de cada medida evaluada, tanto para las viviendas, como para el departamento. Como resultado general, las viviendas ya sean aisladas o pareadas presentan similar tendencia en su comportamiento térmico a diferencia de los departamentos.

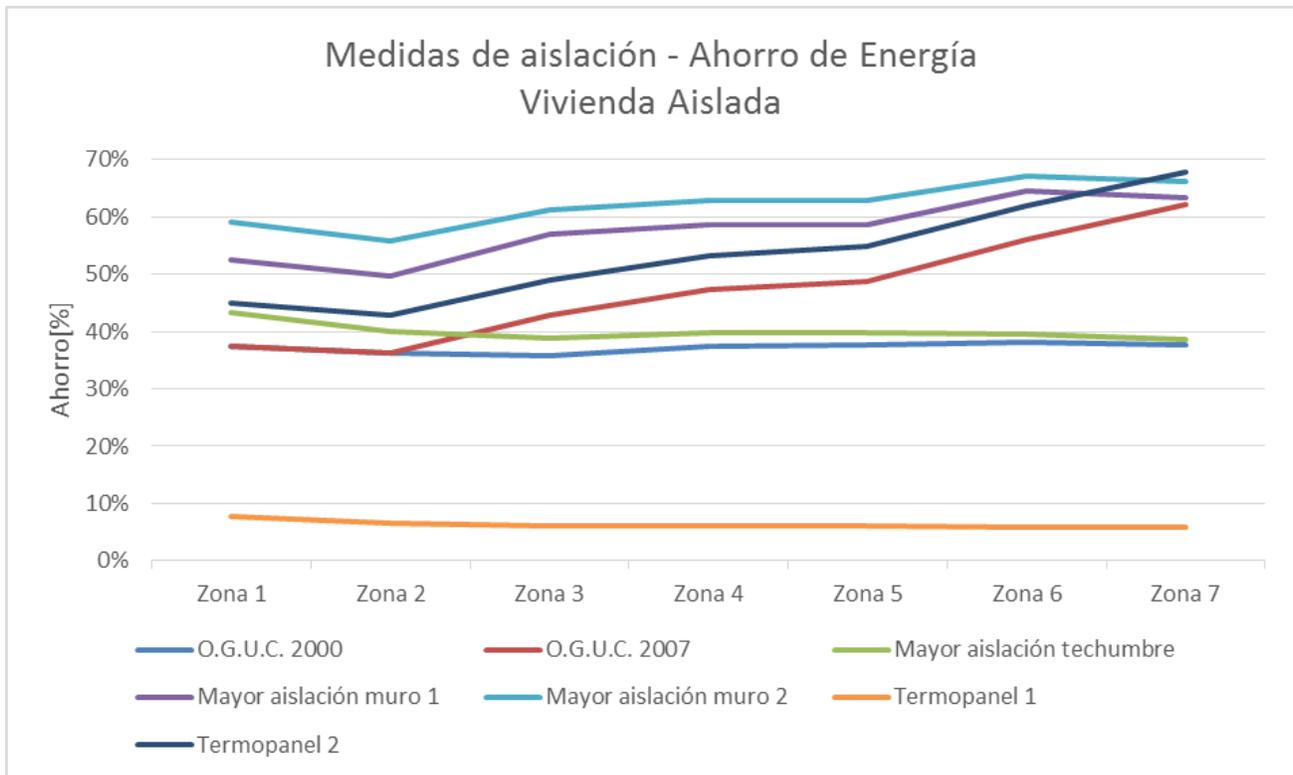


Figura 5.10: Ahorro de energía en vivienda aislada para las distintas medidas

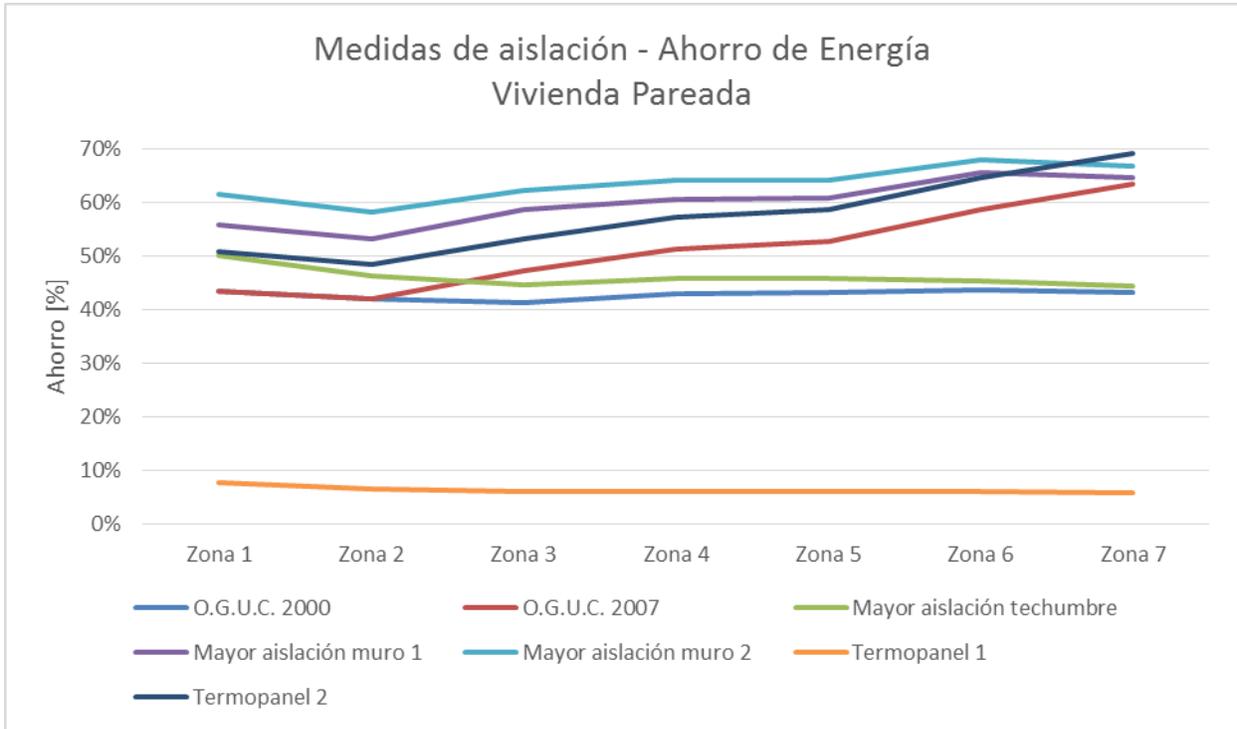


Figura 5.11: Ahorro de energía en vivienda pareada para las distintas medidas

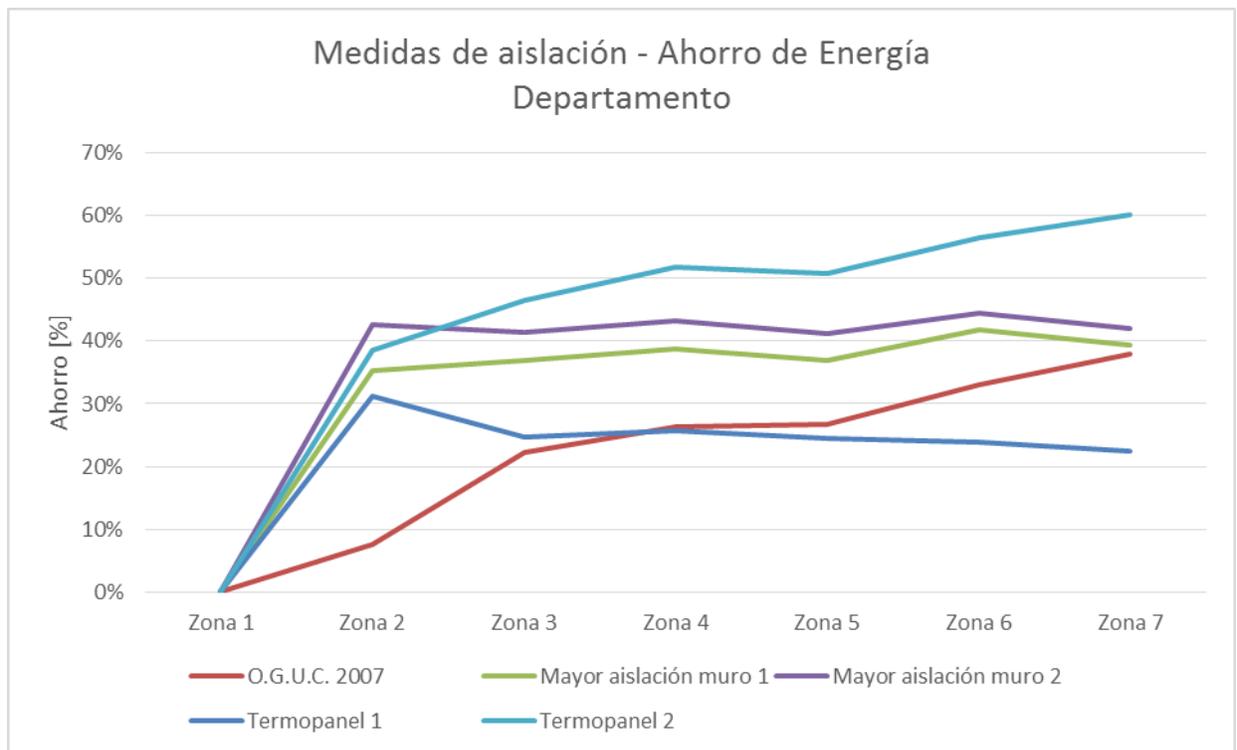


Figura 5.12: Ahorro de energía en departamento para las distintas medidas

Viviendas aisladas y pareadas

Sin duda la aislación de techumbre es una excelente medida de eficiencia energética a implementar, debido al gran ahorro de energía que se logra y la facilidad de implementación (bajo costo y rapidez), por ejemplo, con espesores para cumplir con la O.G.U.C. 2000 se ahorra cerca de un 37% en vivienda aislada y cerca de un 42% en vivienda pareada. Seguir aumentando la aislación por sobre la reglamentación (tabla 5.1) tiene leves efectos en las zonas 1, 2 y 3 ya que los ahorros aumentan hasta un 7% mientras que para las demás zonas el ahorro es muy pequeño.

Realizar un cambio de ventanas previo al reacondicionamiento de la envolvente no es una medida eficiente en el caso de viviendas aisladas y pareadas, ya que se logra sólo un ahorro cercano al 6% y tiene un costo muy alto con respecto al bajo ahorro obtenido, a diferencia de lo que significa aislar techumbre (donde se logra un ahorro de 40%), por lo que en este caso se tiene una relación costo-ahorro mucho menos conveniente que si se compara con la misma relación costo-ahorro de aislar la techumbre.

Al aislar la vivienda de acuerdo a O.G.U.C. 2007 se logran considerables ahorros tanto en viviendas (37% - 63%) como en departamentos (0% - 38%). Esta aislación en espesor es bastante baja para muros, por ejemplo en muros de albañilería en zona 3 es de 4 mm de espesor, por lo que aumentarla no significa necesariamente un aumento considerable de costos, pero sí es considerable el ahorro de energía producido, ya que éste aumenta de un 43% (O.G.U.C. 2007) a un 53% con 30 mm de aislación y a un 61% con 50 mm de aislación.

Departamentos

En zona 1 los departamentos requieren muy poca energía para calefacción, por lo cual no son considerados en este análisis.

Aislar los muros de acuerdo a O.G.U.C. 2007 es relevante para las zonas 3 en adelante, se logran ahorros de 29% en promedio; si se aumenta la aislación de muros por sobre la O.G.U.C. 2007, el ahorro es considerable desde la zona 2 en adelante, ya que los ahorros alcanzados son de un 38% para la opción 1 y de 43% para la opción 2 (mayor aislación muro 1 y mayor aislación muro 2 respectivamente).

Cambiar las ventanas en este caso tiene un efecto considerable, el ahorro promedio es de un 25% y en conjunto con aislar la vivienda según O.G.U.C. 2007 podría llegar hasta a un 60% en zona 7. Sin embargo se debe considerar que esto implica un alto costo, por lo que se debe analizar la conveniencia de cambiar ventanas versus aislar muros.

El detalle de los ahorros se puede ver en la tabla 5.2 según tipología de vivienda.

Tabla 5.2: Ahorro de energía para las distintas medidas por zona y tipología de vivienda

| Vivienda Aislada (sin adosamiento) | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| Zona | Aislación O.G.U.C. 2000 | Aislación O.G.U.C. 2007 | Mayor aislación techumbre | Mayor aislación muro 1 | Mayor aislación muro 2 | Termopanel 1 | Termopanel 2 |
| 1 | 37% | 37% | 43% | 53% | 59% | 8% | 45% |
| 2 | 36% | 36% | 40% | 50% | 56% | 6% | 43% |
| 3 | 36% | 43% | 39% | 57% | 61% | 6% | 49% |
| 4 | 37% | 47% | 40% | 59% | 63% | 6% | 53% |
| 5 | 38% | 49% | 40% | 59% | 63% | 6% | 55% |
| 6 | 38% | 56% | 39% | 64% | 67% | 6% | 62% |
| 7 | 38% | 62% | 39% | 63% | 66% | 6% | 68% |
| Vivienda pareada | | | | | | | |
| Zona | Aislación O.G.U.C. 2000 | Aislación O.G.U.C. 2007 | Mayor aislación techumbre | Mayor aislación muro 1 | Mayor aislación muro 2 | Termopanel 1 | Termopanel 2 |
| 1 | 43% | 43% | 50% | 56% | 61% | 8% | 51% |
| 2 | 42% | 42% | 46% | 53% | 58% | 6% | 48% |
| 3 | 41% | 47% | 45% | 59% | 62% | 6% | 53% |
| 4 | 43% | 51% | 46% | 61% | 64% | 6% | 57% |
| 5 | 43% | 53% | 46% | 61% | 64% | 6% | 59% |
| 6 | 44% | 59% | 45% | 66% | 68% | 6% | 65% |
| 7 | 43% | 63% | 44% | 64% | 67% | 6% | 69% |
| Departamento | | | | | | | |
| Zona | Aislación O.G.U.C. 2000 | Aislación O.G.U.C. 2007 | Mayor aislación muro 1 | Mayor aislación muro 2 | Termopanel 1 | Termopanel 2 | |
| 1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | |
| 2 | 0% | 8% | 35% | 43% | 31% | 38% | |
| 3 | 0% | 22% | 37% | 41% | 25% | 47% | |
| 4 | 0% | 26% | 39% | 43% | 26% | 52% | |
| 5 | 0% | 27% | 37% | 41% | 25% | 51% | |
| 6 | 0% | 33% | 42% | 45% | 24% | 57% | |
| 7 | 0% | 38% | 39% | 42% | 22% | 60% | |

Recordar que los ahorros presentados en la tabla 5.2 son porcentajes en relación al caso base, consistente en cada tipología de vivienda sin ningún tipo de aislación térmica en ella.

Es importante señalar que las medidas presentadas son generales y que se deben evaluar caso a caso, puesto que cada vivienda tiene condiciones particulares que es necesario considerar, por ejemplo: si la vivienda tiene un alto porcentaje de ventanas, es muy importante analizar su cambio.

El efecto de las medidas de reacondicionamiento está relacionado con la orientación de la vivienda, el acceso de radiación solar y la materialidad de ella, entre otras cosas.

Los resultados acá indicados son genéricos y dan una idea del efecto de ciertas medidas de eficiencia energética y la dirección por la cual es necesario comenzar un reacondicionamiento.

5.3. Costo de reacondicionar una vivienda

A continuación se presentaran los costos de las medidas de reacondicionamiento térmico consideradas en el presente capítulo, siendo ellas sólo una aproximación, ya que en algunas simulaciones se consideraron espesores de aislante inexistentes en el mercado. De forma similar, los costos de las ventanas de termopanel son estimados ya que algunas de sus dimensiones tampoco son encontradas en el mercado.

Los costos son presentados en la tabla 5.3 con sus respectivas propiedades.

Tabla 5.3: Costos unitarios de los distintos materiales utilizados

| Material ⁴⁸ | Espesor [mm] | Costo unitario [\$/m ²] |
|------------------------|--------------|-------------------------------------|
| Poliestireno expandido | 50 | \$ 1.395 |
| Lana de vidrio | 100 | \$ 4.666 |
| Lana mineral | 40 | \$ 3.540 |

Tabla 5.4: Costos ventanas termopanel con marco de aluminio disponibles en el mercado⁴⁹

| Alto [m] | Ancho [m] | Costo [\$] |
|----------|-----------|------------|
| 1,95 | 2,05 | \$ 279.990 |
| 1,5 | 2 | \$ 152.590 |
| 1,36 | 1,22 | \$ 82.990 |
| 1,21 | 1 | \$ 69.990 |
| 0,91 | 0,5 | \$ 37.190 |

⁴⁸ Costos unitarios obtenidos a partir de los distintos productos disponibles en www.sodimac.cl al 26-10-2015 (40).

⁴⁹ Costos obtenidos a partir de ventanas termopanel disponibles en www.sodimac.cl al 26-10-2015 (40).

Los costos obtenidos para cada caso según tipología de vivienda se pueden ver en detalle en el anexo D. además, se presenta a continuación una comparación entre los costos de las distintas medidas.

Tabla 5.5: Costo de las ventanas según tipología de vivienda

| Tipo de vivienda | Costo total |
|------------------|--------------|
| Departamento | \$ 1.195.920 |
| Vivienda Pareada | \$ 710.130 |
| Vivienda Aislada | \$ 793.120 |

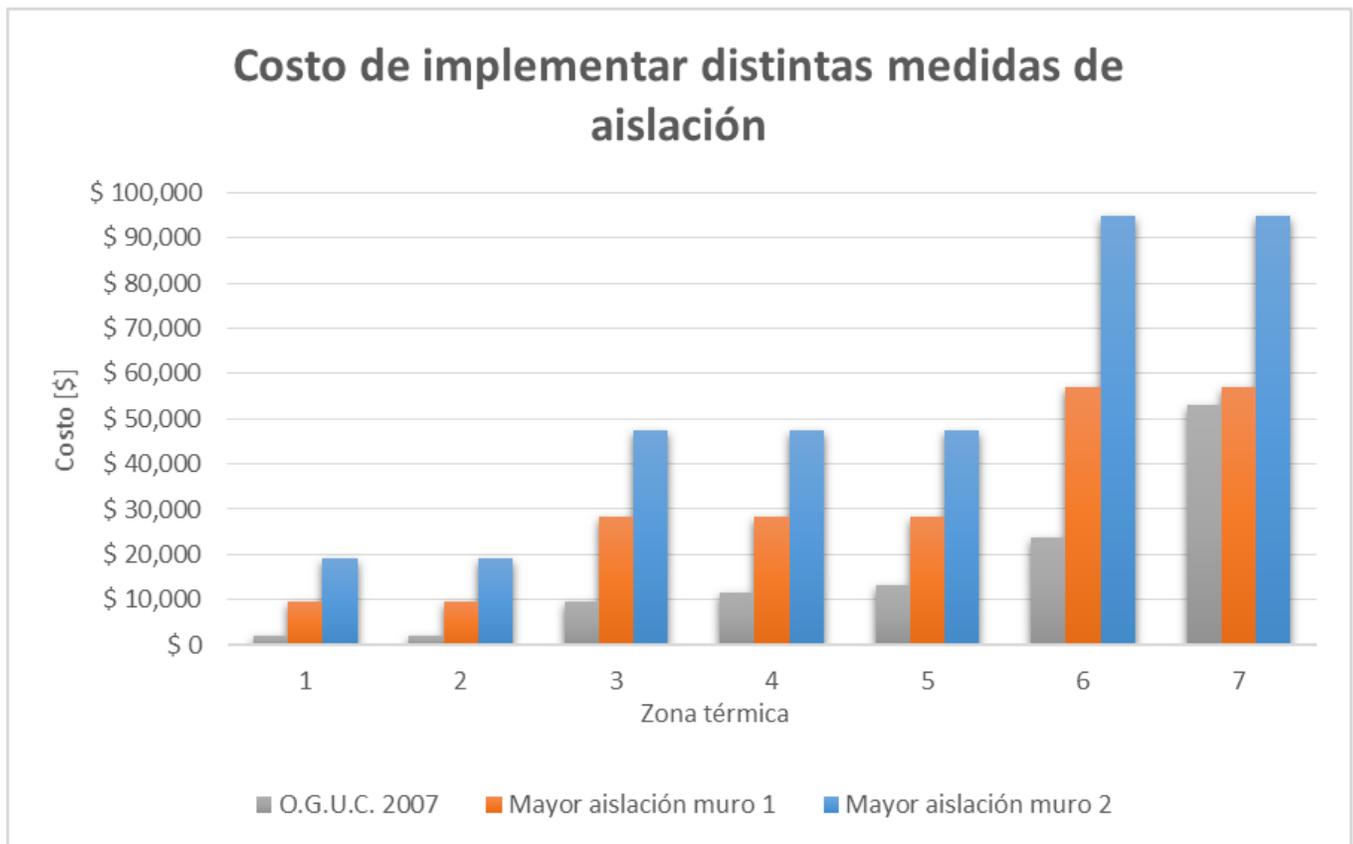


Figura 5.13: Costo de las distintas medidas de aislación por zona térmica en un departamento

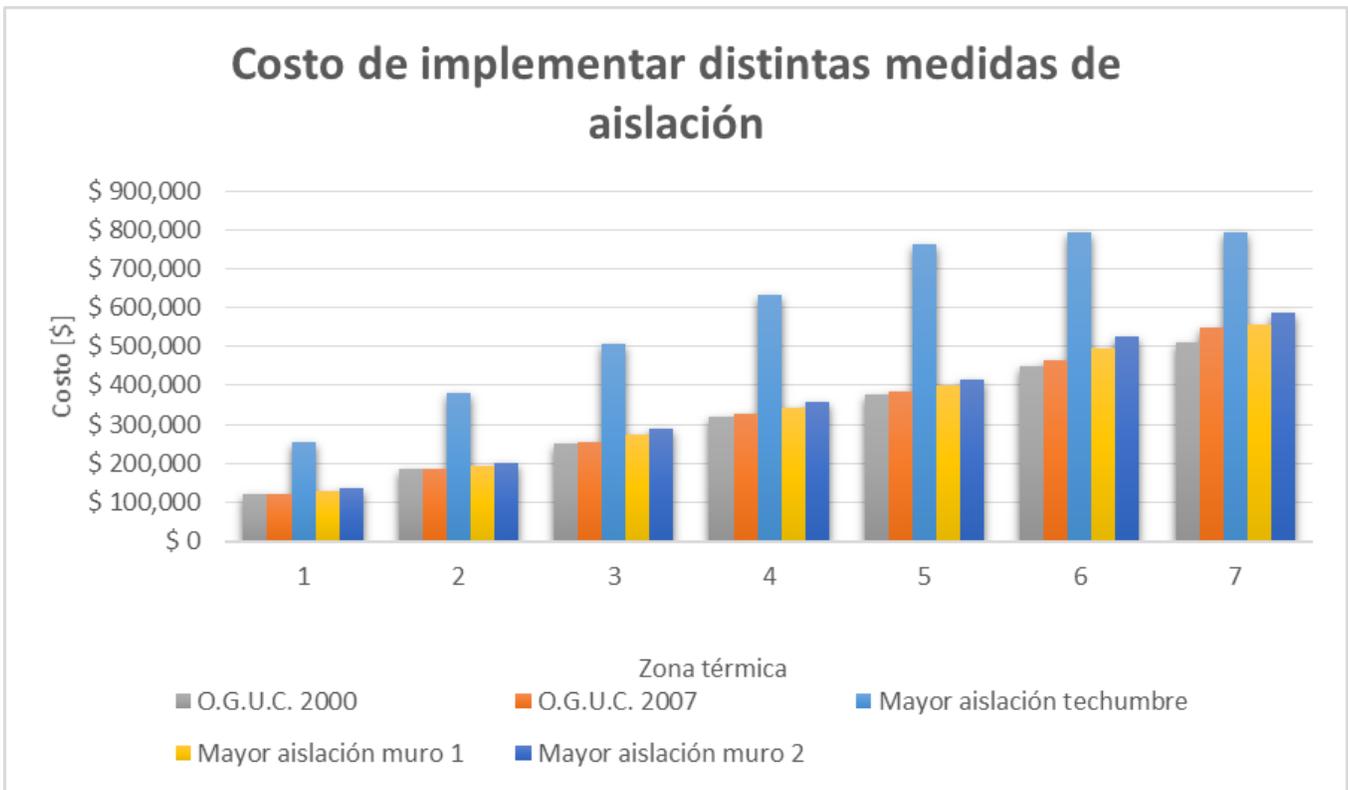


Figura 5.14: Costo de las distintas medidas de aislamiento por zona térmica en una vivienda pareada

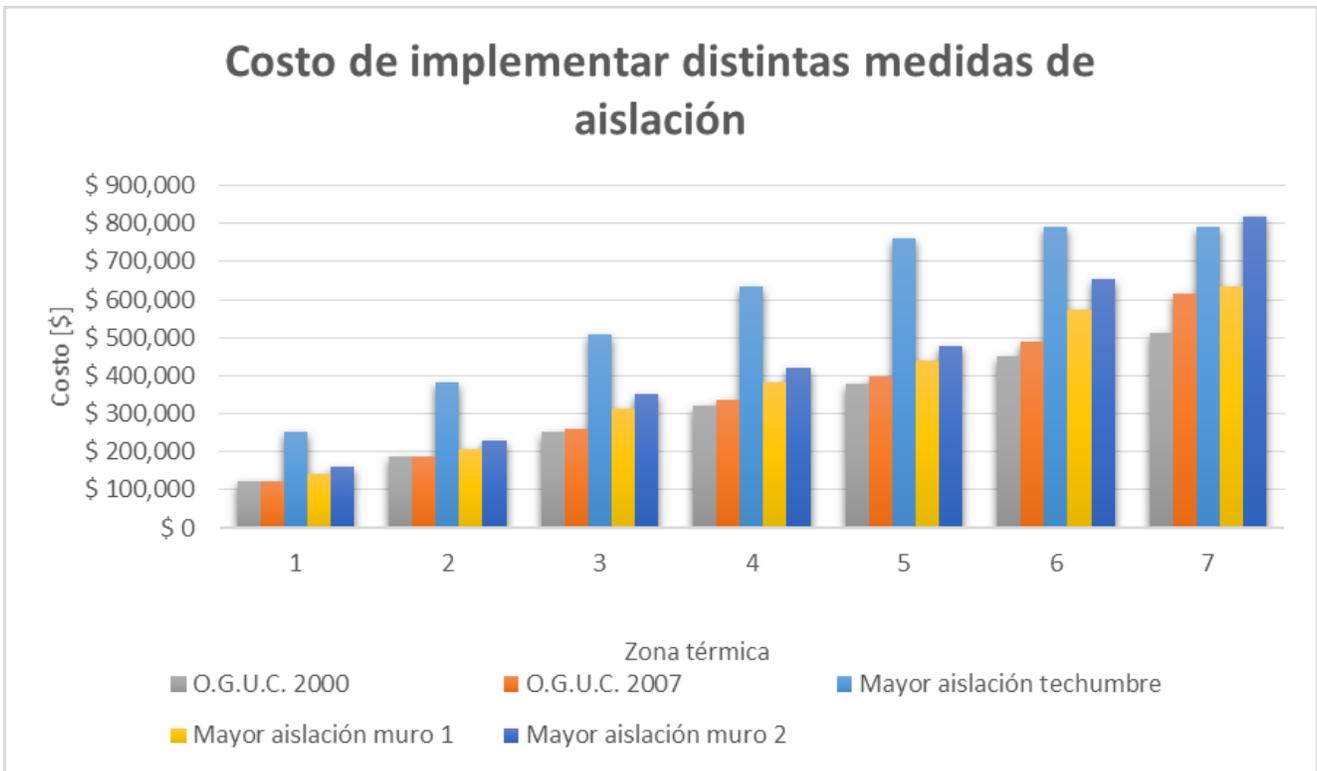


Figura 5.15: Costo de las distintas medidas de aislamiento por zona térmica en una vivienda aislada

Como se puede ver, la medida más cara consiste siempre en aumentar la aislación de la techumbre sin haber intervenido los muros por sobre lo que exige la normativa. Además, el costo de cambiar ventanas por termopanel se consideró aparte, ya que el costo de ello en comparación con el de aislar la envolvente es mucho mayor y evitaría que los gráficos se aprecien bien. Por lo tanto es claro que el cambio de ventanas debe quedar como última opción, debido a su alto costo.

Los costos de la aislación en un departamento en general son bajos, esto debido a la poca superficie expuesta al exterior. Mientras que el costo de aislar según la normativa es muy bajo (menos de \$50.000 en todas las zonas), aumentar la aislación incrementa también los costos, hasta llegar a los \$100.000, lo que es coherente para una aislación de casi el doble, tener un costo del doble también.

Por otro lado, en el caso de la vivienda aislada y la pareada, los costos son mayores, ya que poseen mayor superficie expuesta al exterior. Se puede apreciar claramente que el costo de aislar la techumbre con un espesor del doble del requerido posee el mayor costo (llegando incluso a \$850.000 en la zona 7), muy por sobre el costo de las demás medidas. La diferencia entre los costos de aislar solo la techumbre o la techumbre y muros de acuerdo a la O.G.U.C. es muy pequeña, ya que el costo de aislar muros según normativa es bajo, aunque va aumentando con la zona térmica considerada, nunca existe una diferencia de más de \$100.000 entre ellas. Finalmente, se puede ver que en el caso de viviendas aisladas y pareadas los costos son muy similares y al aislar con un mayor espesor los muros se puede lograr una relación costo-ahorro bastante conveniente (en la zona 7 por ejemplo, en una vivienda aislada con \$200.000 más se puede ahorrar un 28% más).

Es importante destacar que los costos presentados en esta sección sólo consideran el costo de los materiales, por lo que falta además agregar el costo de la mano de obra, la que aumentaría el costo final. Es por ello que estos son sólo costos referenciales para comparar las distintas medidas entre sí y no representan los posibles gastos totales que un usuario pueda tener.

5.4.Orden de reacondicionar una vivienda

Si se tienen restricciones de presupuesto que impidan realizar el acondicionamiento térmico de la vivienda en su totalidad de una sola vez, se debe considerar el siguiente orden de acuerdo a la importancia de cada elemento a reacondicionar.

El criterio general para determinar el orden de reacondicionar la vivienda es la eficiencia energética y se presenta a continuación.

Viviendas (aisladas o pareadas):

- 1) Aislación de techumbre (con espesor según O.G.U.C.).
- 2) Aislación de muros (idealmente con espesor mayor al exigido por la O.G.U.C.).
- 3) Aislación de losas ventiladas, si es que existen.
- 4) Cambio de ventanas de vidrio simple a DVH sólo si están en mal estado y se requiere cambiarlas.

Si la superficie de ventanas representa más del 20% de la superficie total de la envolvente se debe revisar en detalle si este orden se debe cambiar.

Las losas ventiladas se ubican en tercer lugar ya que generalmente se presentan en menor superficie dentro de la vivienda, pero si su superficie es mayor, similar a la de la techumbre, se debe aislar en segundo lugar, antes de los muros.

Departamentos:

- 1) Aislación de techumbre (sólo si presenta, departamentos en último piso).
- 2) Aislación de losas ventiladas (sólo si presenta, departamentos en primer piso).
- 3) Aislación de muros y/o cambio de ventanas de vidrio simple a DVH.

En el caso de los departamentos, la decisión de aislar muros o cambiar ventanas está relacionado a la superficie de muros y ventanas que tenga el departamento. Si hay mayor superficie de muros es mejor aislarlos, pero si hay mayor superficie de ventanas la única opción para mejorar la eficiencia energética del departamento es cambiarlas. Además se debe considerar el presupuesto disponible, ya que cambiar ventanas es muy caro, a diferencia de aislar muros que tiene un menor costo.

Si se toma la decisión de intervenir las ventanas, debe al menos cambiarse el tipo de vidrio, de uno simple a un doble vidriado hermético (DVH).

Cambiar sólo el tipo de marco no tiene un efecto significativo en una vivienda, si no es acompañado por un cambio de vidrio.

6. Comentarios

Es importante considerar antes de cualquier conclusión, que el presente documento entrega recomendaciones para ciertas tipologías de vivienda, las más comunes en el país (de acuerdo al “Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía” (29)), y considera a Chile dividido en zonas térmicas, tal como se considera en la reglamentación térmica vigente (O.G.U.C. artículo 4.1.10 (33)). Sin embargo, como se ha mencionado en la sección 2.3, existen las llamadas zonas climático-habitacionales, correspondientes a otra forma de dividir el país, de acuerdo a la norma NCh1079 of.2008 (24). Mientras que la zonificación térmica consta de 7 zonas determinadas de acuerdo a sólo los requerimientos de calefacción y grados-día de cada una, la zonificación climático-habitacional consta de 9 zonas que consideran aspectos más variados del clima, como temperatura, viento, soleamiento, lluvia y nieve entre otras, por lo que puede parecer que es una zonificación más completa, ya que considera más factores. Existe un problema al tener dos zonificaciones distintas en el país, ya que no queda claro cuál es la más adecuada y puede producir confusiones, como por ejemplo en el caso del manual técnico asociado a esta memoria (Manual de Acondicionamiento térmico para el instalador) que trata zonas térmicas, mientras que el librito para el dueño de casa del mismo programa de la CDT (Mi Casa Confortable) da recomendaciones para zonas climático-habitacionales.

Considerando esto, es que se hace necesario estandarizar la zonificación del país en este sentido, para así tener un criterio común al decidir y poder hacerlo de forma más uniforme. Es por ello que se sugiere hacer un estudio que determine una sola zonificación apropiada para ser considerada en la normativa dirigida a viviendas, pudiendo ser una de las existentes o una nueva adaptación de ambas. Sin embargo, el problema que esto acarrea consiste en el cambio de las herramientas existentes en base a la zonificación actual, por ejemplo el caso del sistema de calificación energética de viviendas, diseñado para zonas térmicas, debería ser adaptado a la nueva zonificación.

Las medidas óptimas a considerar al aislar una vivienda dependen de diversos factores de ella, como la zona térmica en la que se encuentre, la orientación de sus ventanas (con lo que se conocen las ganancias solares), su superficie construida y la superficie de la envolvente expuesta al exterior (para conocer su factor de forma), la materialidad (lo que influye en la transmitancia térmica de los elementos) y el tipo de vivienda (si es aislada, pareada o se trata de un departamento) principalmente. Conociendo esto, y si la vivienda no presenta ningún tipo de aislación (que es el caso más común de viviendas en Chile), se debe aislar primero el complejo de techumbre, seguido de muros; ventanas y pisos ventilados se deben reacondicionar sólo si es necesario y se poseen los recursos, ya que sus aportes al ahorro energético son menores y no necesariamente son rentables. En el caso de pisos no ventilados no se recomienda su intervención, debido a la dificultad que presenta. Por otro lado, si se trata de un departamento, se debe considerar su ubicación dentro del edificio y la superficie de muros y ventanas que posea hacia el exterior para decidir la opción más conveniente de intervención.

Es claro que sería muy difícil analizar todos los casos posibles al reacondicionar una vivienda, es por ello que en este trabajo se estudian recomendaciones generales, finalmente el método de aislación queda a criterio del profesional encargado, quien debe considerar y tomar como base las recomendaciones de este trabajo y debe poner especial cuidado en la instalación del material, sea cual sea.

Una vez que la vivienda esté aislada térmicamente, y solo una vez intervenida, se debe estudiar el cambio del sistema de calefacción utilizado. Este punto es muy importante, ya que en la actualidad en la zona centro y sur del país se viven constantes problemas de contaminación debido a la calefacción en invierno. A pesar de que en Santiago se utilizan combustibles como gas licuado o kerosene, que contaminan en menor medida, hacia el sur de Chile la calefacción es casi exclusivamente en base a leña, la cual genera gran contaminación del ambiente al emitir material particulado que puede producir diversas enfermedades, las que disminuyen la calidad y esperanza de vida de los afectados. Es por ello que se está comenzando a tener conciencia sobre la regulación y uso de la leña, principalmente con medidas provenientes del gobierno. Por ejemplo, se espera que el 2016 se envíe un proyecto de ley que oficializará la leña y sus derivados como combustibles (19), lo que permitirá desarrollar políticas públicas para su uso adecuado. Además se debe incentivar el recambio de equipos antiguos a leña por unos más modernos o a pellet, que liberan menos contaminantes, junto con crear una cultura de uso de equipos de biomasa, ya que su generación de material particulado depende en gran medida de la operación del equipo. Sin embargo, si se tiene dinero para invertir en calefacción se recomienda el cambio a calderas de condensación que son más eficientes y de menor costo de operación, pero de una alta inversión inicial.

7. Conclusiones

1. Se hace necesario lograr un criterio común de zonificación de Chile, y disponer además de herramientas de cálculo de demanda de energía adaptadas a este nuevo criterio.
2. La zonificación térmica actual permite determinar a simple vista las zonas que requieren más o menos medidas de acondicionamiento térmico y sistemas de calefacción, sin embargo, los rangos de grados-día de esta normativa son muy grandes, por lo que en una misma zona pueden existir diversas condiciones climáticas y por lo tanto los resultados no son exactos. Es por ello que todos los valores presentados en este trabajo son referenciales y al ser calculados con la herramienta de calificación energética del MINVU consideran un promedio de grados-día por zona térmica que no necesariamente representa a todas las ciudades de ella. Por ejemplo, en la zona 2 están Calama y Viña del Mar, ciudades con condiciones climáticas radicalmente distintas que, sin embargo, tienen iguales exigencias térmicas según la O.G.U.C.
3. El sistema de calificación energética que se está implementando en la actualidad es una buena herramienta para el caso de las viviendas nuevas, ya que le permite al usuario asegurarse que la vivienda que desea comprar cumple con lo exigido por la O.G.U.C. y puede generar ahorros de energía y dinero si supera la normativa. Sin embargo, es una herramienta que no es recomendable todavía para las viviendas existentes, ya que cerca de un 86% de ellas no poseen aislación (29), por lo tanto poseen la calificación más baja y esta herramienta no da un buen indicio de qué se debe hacer para mejorar la eficiencia energética de la vivienda.
4. Al momento de aislar una vivienda ya existente, lo primero que se debe hacer corresponde a la aislación de techumbre, siguiendo los espesores exigidos por la O.G.U.C. y presentados en este trabajo. Esto porque la aislación de techumbre es la medida que genera más ahorro en la demanda de energía por sí sola y además su costo no es tan alto como el de otras medidas, aunque puede ser mucho para gran parte de la población del país. Instalar un aislante en techumbre con espesor mayor al recomendado no es tan conveniente, principalmente por su alto costo y bajo ahorro en comparación con otras medidas.
5. Si se posee el dinero, o se va a utilizar algún subsidio, lo ideal es aislar la vivienda de acuerdo a la O.G.U.C. que rige desde el año 2007, esto es, con aislación de techumbre y muros. Los valores que exige esta norma son bastante buenos y cumplen con mejorar el desempeño de la vivienda, produciendo ahorros de hasta un 50%, lo que es un gran logro. Sin embargo, en el caso de los muros, se puede mejorar la aislación por un costo no tanto mayor.
6. Si se tiene presupuesto para gastar un poco más, se recomienda aislar muros por sobre el espesor exigido por la O.G.U.C. ya que el costo extra es bajo y los ahorros siguen aumentando a mayor espesor, al contrario del caso de la aislación de techumbre.

7. La aislación de pisos ventilados, al ser menos común, no se estudió en este trabajo, ya que las viviendas consideradas como tipologías no los poseen. Es por ello que no se puede hacer ningún comentario sobre sus exigencias, ni si se piden valores adecuados o no. En general, la aislación de pisos ventilados debe ser una de las últimas medidas de reacondicionamiento implementadas, al ser menores y poco usuales. Sin embargo, no se deben olvidar y sobre todo se deben considerar antes de un cambio de ventanas y si su superficie es similar a la de techumbre.
8. Las tipologías descritas y utilizadas en este trabajo buscan ser lo más representativas posible de las viviendas existentes en Chile, en cuanto a materialidad y superficie construida. Como es difícil unificar todo el país en sólo tres viviendas, es probable que este estudio se acerque mejor a algunas zonas del país que a otras, pero en general todas las zonas se ven representadas en esta materialidad escogida. Si se requiere un detalle o un estudio más profundo del comportamiento de las viviendas en determinadas regiones, se debe hacer un estudio de forma similar al realizado en este trabajo, pero con las tipologías características de cada región.
9. Se recomienda dejar el cambio de ventanas como último recurso, ya que es la medida de eficiencia energética de mayor costo y genera un ahorro de energía no mayor al 10%, lo que se considera bajo en relación a otras medidas. Sí existen otras medidas que pueden suplir la falta de presupuesto para mejorar las ventanas, como lo son la utilización de sellos y burletes para evitar filtraciones de aire en los espacios entre el vano y el marco. Existe también una solución alternativa al doble vidriado hermético (termopanel), que funciona de forma similar pero es más barata, y consiste en instalar un vidrio simple sobre el vidrio ya existente. Al dejar una cámara de aire entre ambos vidrios, se produce una situación similar a la del termopanel. Este trabajo no está enfocado en detalle en ventanas, ya que es un tema bastante amplio, por lo que no se presentan los costos de esta solución, aunque sí se puede decir que son menores que los de comprar un termopanel.
10. En el caso de los departamentos se debe estudiar detalladamente la ubicación del departamento en relación al edificio (si está en último piso o cuantos muros al exterior posee) y de acuerdo a ello se deben determinar las medidas de aislación. Generalmente solo hay dos opciones: aislación de muros y cambio de ventanas, por lo cual en el caso de los departamentos se recomienda primero aislar muros.
11. En el caso de las viviendas aisladas o pareadas (entre ambas hay muy poca diferencia, por lo que las medidas a adoptar generalmente son similares) lo más importante es la techumbre, seguida de los muros. Si se debe elegir una sola medida, se debe optar por el acondicionamiento de la techumbre.
12. Sin importar el tipo de aislación que se utilice, lo más importante es instalarla correctamente, evitando la formación de puentes térmicos (por ejemplo con superposición del material o un correcto sellado) y considerar siempre la instalación de una barrera de vapor entre el material aislante y el elemento constructivo (si la aislación va por el exterior de la vivienda). De ninguna

forma se debe permitir que los materiales aislantes se mojen, ya que pierden sus propiedades aislantes, así como tampoco deben quedar mal instalados, deben ser lo más uniforme posible y si es necesario, usar traslajos de material para evitar espacios sin aislante que generen puentes térmicos.

13. En general los materiales de aislación presentados en este trabajo son todos buenos aislantes (poliestireno expandido, lana mineral, lana de vidrio y poliuretano), además de ser los más usados en Chile y por lo tanto los que poseen mayor variedad de productos. Sin embargo, por su menor conductividad térmica se recomienda el uso de poliuretano proyectado, aunque el mayor inconveniente de este producto es su poca variedad ya que es el material aislante menos conocido y más caro.
14. La calefacción de la vivienda debe analizarse una vez aislada. Lo ideal es tratar de evitar equipos que emitan gases tóxicos al interior de la vivienda, o que contaminen el exterior, como equipos a leña, pellets o kerosene, aunque son los más baratos. Si se posee presupuesto, la recomendación es instalar un sistema de calefacción centralizado o calderas de condensación. Si por el contrario no se tienen los recursos, hay que considerar que el uso de equipos a electricidad es de alto costo debido al precio de la electricidad en invierno, por lo que las opciones más factibles corresponden a equipos a gas natural, gas licuado o kerosene, pero que idealmente tengan evacuación de gases al exterior.
15. Al momento de calefaccionar la vivienda es muy importante también que se considere una adecuada ventilación, ya que es importante que la vivienda se ventile cada cierto tiempo, sobre todo en zonas como baños y cocina, con lo que se evitan enfermedades, humedades y condensación en elementos como muros y techumbre, lo que también afecta al desempeño energético de la vivienda. Si se usan equipos de calefacción que no contaminen el interior, el nivel de ventilación debe ser menor, que es lo ideal en zonas como comedor, living o habitaciones. Por otro lado en baños y cocina debe necesariamente existir ventilación más constante, ya sea natural (abriendo ventanas y permitiendo el recambio de aire a través de ellas) o mecánica (mediante extractores, comúnmente usados en baños).
16. Es necesario que se fomente el uso de calefacción con combustibles distintos a la leña, sobre todo en la zona sur del país, donde se puede ver que en lugares como Talca, Temuco y Concepción en períodos fríos el ambiente está muy cargado de humo y se producen problemas respiratorios de forma similar a lo que produce el smog en Santiago. Esto es en parte producido por la falta de conocimiento de la gente y en parte por su falta de recursos para utilizar mejores sistemas de calefacción. Es por ello que se debe dar a conocer el tema, mostrándole a las personas las distintas opciones que tienen, pero sin obstruir los datos por el interés de vender de una empresa, por lo que debe ser una campaña que venga idealmente del Estado.

8. Glosario

Barrera de humedad: lámina o capa que tiene la propiedad de impedir el paso del agua líquida pero permite el paso del vapor.

Barrera de vapor: lámina o capa que presenta una alta resistencia al paso del vapor de agua. Debe poseer una resistencia a la difusión del vapor de agua comprendida entre 10 y 230 [MN*s/g].

Climatización: en el contexto de esta memoria corresponde a la calefacción, refrigeración y ventilación de los ambientes interiores de la vivienda.

Coefficiente de sombra (Cs): coeficiente que mide la capacidad de filtrar el calor producido por la radiación directa del Sol. En el caso de las ventanas, mientras menor sea este valor, mejor es el vidrio utilizado, o sea su capacidad de filtrar el calor es mejor.

Condensación: paso de vapor de agua al estado líquido. Ocurre cuando se alcanza la temperatura de rocío o cuando se alcanza el 100% de humedad relativa (saturación).

Condensación intersticial: cuando la condensación del vapor de agua del aire se produce en el interior de un elemento constructivo, por ejemplo un muro.

Condensación superficial: cuando la condensación del vapor de agua se produce en la superficie de un elemento constructivo.

Conducción de calor: transferencia de energía térmica, desde un elemento a mayor temperatura a otro de menor temperatura.

Confort térmico: sensación de bienestar de las personas, en relación a una serie de variables ambientales (temperaturas del aire y de las superficies, humedad y velocidad del aire) y del individuo mismo (nivel de actividad y nivel de ropa).

Consumo de energía: gasto energético de la vivienda, principalmente debido a la calefacción. Es decir, la energía que se utiliza para cumplir con la demanda requerida. Depende, además de factores como el clima, los elementos de la envolvente, el uso de la vivienda y de los equipos de climatización instalados.

Convección: en el contexto de esta memoria corresponde a la transferencia de energía térmica por movimiento del aire.

Demanda de energía: energía necesaria para mantener en el interior de la vivienda las condiciones de confort estándar, depende de las características térmicas de la envolvente, su orientación, condiciones de uso y clima del lugar entre otros, no considera la eficiencia de los equipos de climatización instalados. En el contexto de esta memoria hace referencia a la demanda de calefacción y/o refrigeración.

Eficiencia de un equipo: proporción entre la energía aprovechada por un aparato y la que éste ha consumido para funcionar.

$$(XIV) \quad \text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía útil aprovechada por el equipo}}{\text{Energía consumida}}$$

Emisividad: cualidad de una superficie para emitir radiación térmica a una determinada temperatura. Corresponde a un coeficiente entre 0 y 1.

Envolvente térmica: conjunto de elementos constructivos que separan el ambiente interior del ambiente exterior de la edificación. Está constituida básicamente por los complejos de techumbre, muros, pisos y ventanas.

Factor de forma (Cf): cociente entre la superficie de la envolvente expuesta (S_e) y el volumen habitable (V). Mientras mayor el factor de forma, mayor es la demanda de energía de calefacción de la vivienda.

$$(XV) \quad Cf = \frac{S_e}{V}$$

Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua (μ): es un factor de resistencia a la humedad propio de cada material. Se define como la relación entre la permeabilidad del aire y la del material en estudio ($\mu_{\text{aire}} = 1$).

$$(XVI) \quad \mu = \frac{\delta_{\text{aire}}}{\delta_{\text{material}}}$$

Grados/día: en un período de un día, es la diferencia entre una temperatura fijada como “base de confort”, y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura base, igualando a la “base de confort” aquellas superiores a ésta.

Humedad relativa del aire (HR): relación porcentual entre la humedad (vapor de agua) existente en el aire y la máxima humedad que puede contener éste en función de la presión y la temperatura. Se mide en [%].

Inercia térmica: capacidad de la envolvente de una edificación de almacenar calor y transmitirlo con retardo.

Nivel de hermeticidad: característica de la vivienda en relación a la cantidad de aire que se puede transferir a través de su envolvente, suponiendo que ventanas y puertas están cerradas.

Permeabilidad al vapor (δ): propiedad característica de cada material. Se define como la cantidad de vapor de agua que se transmite a través de un material de espesor dado por unidad de área, unidad de tiempo y diferencia de presión parcial de vapor a cada lado del elemento. Se mide en [g*m/((MN*s)].

Poder calorífico: es la cantidad de energía térmica que puede liberar un combustible al realizarse la combustión en el aire.

Puente térmico: parte de un cerramiento con resistencia térmica inferior al resto del mismo, lo que aumenta las pérdidas de calor en esa zona en invierno y reduce las temperaturas de los materiales, aumentando el riesgo de condensaciones.

Radiación: emisión de energía radiante desde la superficie de un cuerpo al ambiente.

Radiación solar: amplio espectro de radiación electromagnética emitida por el Sol. Se refiere a la que llega a la Tierra después de filtrarse por la atmósfera. Contiene radiación ultravioleta, visible e infrarroja.

Resistencia a la difusión de vapor de agua (R_v): corresponde a la dificultad que opone un material a dejar pasar el vapor. Se mide en $[MN*s/g]$ y depende del espesor del material y de su permeabilidad (δ).

$$(XVII) \quad R_v = \frac{e}{\delta}$$

Resistencia térmica (R): oposición al paso del calor que presentan los elementos o materiales de construcción.

Resistividad a la difusión de vapor de agua (r_v): corresponde a la resistencia de un material homogéneo al paso del vapor, por unidad de espesor. Es el inverso de la permeabilidad (δ) y se mide en $[MN*s/(g*m)]$.

$$(XVIII) \quad r_v = \frac{1}{\delta}$$

Temperatura de punto de rocío: corresponde a la temperatura que alcanza el aire cuando se inicia la condensación.

Transmitancia térmica (U): flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Corresponde al inverso de la resistencia térmica total R de un elemento y se expresa en $[W/(m^2 K)]$.

Bibliografía

1. Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (2013). *Manual de uso: Mi vivienda reacondicionada - Región de Magallanes y Antártica Chilena*.
2. Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (s.f.). *Anexo N°2: Capacidades caloríficas de distintos combustibles y factores de conversión de unidades*. Obtenido de <http://www.drto.cl/ACHEE/documentos/recursos/DireccionAnexo2.pdf>
3. Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE). (s.f.). *Soluciones constructivas, Materialidad existente en Punta Arenas*.
4. APIEM. (2010). *Guía básica de eficiencia energética - Residentes*. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
5. Bustamante G., W. (2009). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*.
6. Carrier Air Conditioning Company. (1974). *Manual de aire acondicionado (Handbook of air conditioning system design)*. Barcelona: Marcombo.
7. CGE Distribución. (Junio de 2015). *Tarifas y opciones tarifarias*. Obtenido de <http://www.cgedistribucion.cl/Clientehogar/Paginas/tarifasempresas.aspx>
8. Chilectra. (Junio de 2015). *Chilectra - Hogar - Mi consumo - Tarifas*. Obtenido de www.chilectra.cl
9. Comisión Nacional de Energía, CNE. (Junio de 2015). *Precios de cilindros de gas licuado (GLP) en línea*. Obtenido de www.gasenlinea.gob.cl
10. Comisión Nacional de Energía, CNE. (12 de Junio de 2015). *Sistema de información en línea de precios de combustibles en estaciones de servicio*. Obtenido de www.bencinaenlinea.cl
11. Construmática. (2015). *Espuma de Poliuretano - Construpedia, Enciclopedia de Construcción*. Obtenido de http://www.construmatica.com/construpedia/Espuma_de_Poliuretano
12. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2008). *Aislación térmica exterior: Manual de diseño para soluciones en edificaciones*.
13. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2010). *Manual Técnico: Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso*.
14. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2012). *Humedad por Condensación en Viviendas - Prevención y Soluciones*.
15. División de Eficiencia Energética, Ministerio de Energía. (Agosto 2014). *Guía práctica para el buen uso de la leña: Leña seca - Leña eficiente*.

16. División de eficiencia energética, Ministerio de Energía. (s.f.). *Buen uso de la Leña*. Obtenido de http://www.mma.gob.cl/1304/articles-54981_BuenUsoLena082013.pdf
17. Etres consultores. (2011). *GTI Guía técnica de rehabilitación de edificios - Aislamiento térmico*. Alicante, España.
18. GasSur. (Junio de 2015). *Tarifas: GasSur - Mejor calor*. Obtenido de <http://www.gassur.cl/w/index.php?id=Tarifas>
19. i-ambiente. (01 de Abril de 2015). *En 2016 la #leña será combustible oficial en #Chile*. Obtenido de i-ambiente, el portal del medio ambiente: <http://www.i-ambiente.es/?q=noticias/en-2016-la-leña-sera-combustible-oficial-en-chile>
20. Ingemecánica. (s.f.). *Tutorial N°255: Guía para el cálculo de las cargas térmicas en los edificios*. Obtenido de <http://www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>
21. Instituto de la Construcción. (2006). *Manual de aplicación reglamentación térmica, Ordenanza general de urbanismo y construcciones artículo 4.1.10*.
22. Instituto Nacional de Normalización (INN). (1989). *NCh1960 Of.89 Aislación térmica - Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas*.
23. Instituto Nacional de Normalización (INN). (2007). *NCh853 Of.2007 Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*.
24. Instituto Nacional de Normalización (INN). (2008). *NCh1079 Of.2008 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.
25. Instituto Nacional de Normalización (INN). (2008). *NCh850 Of.2008 Aislación térmica - Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Aparato de placa caliente de guarda*.
26. Metrogas. (Junio de 2015). *Tarifas y pagos*. Obtenido de www.metrogas.cl
27. Ministerio de Energía. (2013). *Balance Nacional de Energía, BNE*. Santiago.
28. Ministerio de Energía. (2 de Abril de 2013). Decreto 1T-2012. *Diario oficial de la República de Chile*.
29. Ministerio de Energía, Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (Septiembre 2010). *Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile*.
30. Ministerio de Energía, Universidad de Concepción. (2014). *Mesas de calefacción eficiente región del Biobío. Mesa 4: Tecnologías en equipos de calefacción*. Concepción.

31. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2013). *Manual de procedimiento para la calificación energética de viviendas en Chile*. Santiago.
32. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (07 de Marzo de 2014). Listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico, ED11.
33. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2014). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, artículo 4.1.10*.
34. Ministerio de vivienda y Urbanismo (MINVU). (s.f.). Ejercicios de cálculo de transmitancia térmica. *Jornada de Acreditación - Sistema de Calificación Energética de Viviendas*.
35. Pereira Veloso, A. M. (2012). *Evaluación técnico-económica de alternativas a la calefacción residencial a leña en ciudades de la zona centro-sur de Chile*. Santiago: Memoria, Ingeniería civil industrial, Universidad de Chile.
36. Praicon Ltda. (2007). *Poliuretano Chile*. Obtenido de www.poliuretanochile.cl
37. Rodríguez, G. (2015). *Temperaturas media mensual, anual y G-D anual base 15, comunicación privada*.
38. Romero Ramos, N. P. (2011). *Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción*. Santiago: Memoria, Ingeniería civil, Universidad de Chile.
39. Santiago Netto, R. (s.f.). *Termodinámica: Tablas de Termodinámica. Conductividad térmica en materiales*. Obtenido de FísicaNet: http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php
40. Sodimac. (2015). *Sodimac, Hogar y Construcción*. Obtenido de www.sodimac.cl

Anexos

A. Determinación de ganancias solares (6)

Para determinar las ganancias debido al sol, se utilizan las siguientes tablas que presentan las aportaciones solares según la latitud del país en que se encuentre la vivienda y de acuerdo a las siguientes hipótesis:

- Superficie acristalada correspondiente a un 85% del total de la ventana, mientras que el 15% corresponde al marco de madera. Para marcos metálicos, se considera el 100% de la superficie acristalada.
- Atmósfera limpia.
- Altitud de 0 metros.
- Punto de rocío de 19,5°C al nivel del mar.

Si alguna de estas hipótesis no se cumple, se deben aplicar las correcciones de la tabla A.5.

Tabla A.1: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m²] de abertura para 20° de latitud sur

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 22 Diciembre | S | 76 | 111 | 90 | 68 | 51 | 46 | 40 | 46 | 51 | 67 | 90 | 111 | 75 |
| | SE | 219 | 417 | 390 | 330 | 225 | 103 | 40 | 38 | 38 | 38 | 32 | 24 | 8 |
| | E | 219 | 401 | 434 | 387 | 260 | 111 | 38 | 38 | 38 | 38 | 32 | 24 | 8 |
| | NE | 75 | 168 | 198 | 179 | 119 | 57 | 38 | 38 | 38 | 38 | 32 | 24 | 8 |
| | N | 8 | 24 | 32 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 32 | 24 | 8 |
| | NO | 8 | 24 | 32 | 38 | 38 | 38 | 38 | 57 | 119 | 179 | 198 | 168 | 75 |
| | O | 8 | 24 | 32 | 38 | 38 | 38 | 38 | 111 | 260 | 387 | 434 | 401 | 220 |
| | SO | 8 | 24 | 32 | 38 | 38 | 38 | 40 | 103 | 225 | 330 | 390 | 417 | 220 |
| | Horizontal | 30 | 162 | 328 | 477 | 585 | 629 | 678 | 629 | 585 | 477 | 328 | 162 | 30 |
| 21 Enero y 21 Noviembre | S | 54 | 75 | 62 | 46 | 40 | 38 | 38 | 38 | 40 | 46 | 62 | 75 | 54 |
| | SE | 192 | 358 | 374 | 301 | 198 | 84 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 21 | 8 |
| | E | 203 | 401 | 442 | 393 | 268 | 124 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 21 | 8 |
| | NE | 84 | 189 | 230 | 214 | 154 | 78 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 21 | 8 |
| | N | 8 | 21 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 21 | 8 |
| | NO | 8 | 21 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 78 | 154 | 214 | 230 | 189 | 84 |
| | O | 8 | 21 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 124 | 268 | 393 | 442 | 401 | 203 |
| | SO | 8 | 21 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 84 | 198 | 301 | 374 | 358 | 192 |
| | Horizontal | 8 | 149 | 320 | 474 | 585 | 650 | 680 | 650 | 585 | 474 | 320 | 149 | 8 |

Tabla A.1 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 20 Febrero y 23 Octubre | S | 16 | 27 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 27 | 16 |
| | S E | 122 | 301 | 320 | 241 | 135 | 48 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 19 | 5 |
| | E | 143 | 385 | 447 | 404 | 287 | 138 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 19 | 5 |
| | N E | 78 | 241 | 306 | 292 | 265 | 149 | 54 | 38 | 38 | 35 | 29 | 19 | 5 |
| | N | 5 | 19 | 29 | 38 | 54 | 65 | 70 | 65 | 54 | 38 | 29 | 19 | 5 |
| | N O | 5 | 19 | 29 | 35 | 38 | 38 | 54 | 149 | 265 | 292 | 306 | 241 | 78 |
| | O | 5 | 19 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 138 | 287 | 404 | 447 | 385 | 143 |
| | S O | 5 | 19 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 48 | 135 | 241 | 320 | 301 | 122 |
| | Horizontal | 13 | 130 | 290 | 452 | 569 | 637 | 669 | 637 | 569 | 452 | 290 | 130 | 13 |
| 22 Marzo y 22 Septiembre | S | 0 | 16 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 16 | 0 |
| | S E | 0 | 225 | 235 | 160 | 59 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 16 | 0 |
| | E | 0 | 352 | 442 | 404 | 282 | 122 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 16 | 0 |
| | N E | 0 | 268 | 368 | 379 | 325 | 227 | 111 | 40 | 38 | 35 | 29 | 16 | 0 |
| | N | 0 | 21 | 59 | 103 | 141 | 170 | 176 | 172 | 141 | 103 | 59 | 21 | 0 |
| | N O | 0 | 16 | 29 | 35 | 38 | 40 | 111 | 227 | 325 | 379 | 368 | 268 | 0 |
| | O | 0 | 16 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 122 | 282 | 404 | 442 | 352 | 0 |
| | S O | 0 | 16 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 59 | 160 | 235 | 225 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 81 | 252 | 414 | 537 | 610 | 631 | 610 | 537 | 414 | 252 | 81 | 0 |
| 20 Abril y 24 Agosto | S | 0 | 10 | 24 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 24 | 10 | 0 |
| | S E | 0 | 119 | 141 | 78 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 24 | 10 | 0 |
| | E | 0 | 268 | 398 | 382 | 271 | 132 | 38 | 38 | 35 | 32 | 24 | 10 | 0 |
| | N E | 0 | 246 | 396 | 433 | 404 | 322 | 200 | 73 | 35 | 32 | 24 | 10 | 0 |
| | N | 0 | 57 | 135 | 206 | 252 | 287 | 301 | 287 | 252 | 206 | 135 | 57 | 0 |
| | N O | 0 | 10 | 24 | 32 | 35 | 73 | 200 | 322 | 404 | 433 | 396 | 246 | 0 |
| | O | 0 | 10 | 24 | 32 | 35 | 38 | 38 | 132 | 271 | 382 | 398 | 268 | 0 |
| | S O | 0 | 10 | 24 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 78 | 141 | 119 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 48 | 184 | 344 | 463 | 531 | 564 | 531 | 463 | 344 | 184 | 48 | 0 |
| 21 Mayo y 23 Julio | S | 0 | 8 | 21 | 29 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | S E | 0 | 65 | 70 | 38 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | E | 0 | 192 | 347 | 344 | 246 | 116 | 35 | 35 | 35 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | N E | 0 | 198 | 390 | 444 | 428 | 366 | 246 | 124 | 43 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | N | 0 | 75 | 187 | 271 | 333 | 368 | 382 | 368 | 333 | 271 | 187 | 75 | 0 |
| | N O | 0 | 8 | 21 | 29 | 43 | 124 | 246 | 366 | 428 | 444 | 390 | 198 | 0 |
| | O | 0 | 8 | 21 | 29 | 32 | 35 | 35 | 116 | 246 | 344 | 347 | 192 | 0 |
| | S O | 0 | 8 | 21 | 29 | 32 | 35 | 35 | 35 | 35 | 38 | 70 | 65 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 13 | 130 | 273 | 396 | 466 | 488 | 466 | 396 | 273 | 130 | 13 | 0 |

Tabla A.1 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 21 Junio | S | 0 | 5 | 19 | 29 | 32 | 35 | 35 | 35 | 32 | 29 | 19 | 5 | 0 |
| | SE | 0 | 38 | 48 | 32 | 32 | 35 | 35 | 35 | 32 | 29 | 19 | 5 | 0 |
| | E | 0 | 151 | 320 | 328 | 230 | 92 | 35 | 35 | 32 | 29 | 19 | 5 | 0 |
| | NE | 0 | 160 | 377 | 452 | 431 | 363 | 263 | 162 | 54 | 29 | 19 | 5 | 0 |
| | N | 0 | 67 | 200 | 301 | 358 | 396 | 404 | 396 | 358 | 301 | 200 | 67 | 0 |
| | NO | 0 | 5 | 19 | 29 | 54 | 162 | 263 | 363 | 431 | 452 | 377 | 160 | 0 |
| | O | 0 | 5 | 19 | 29 | 32 | 35 | 35 | 92 | 230 | 328 | 320 | 151 | 0 |
| | SO | 0 | 5 | 19 | 29 | 32 | 35 | 35 | 35 | 32 | 32 | 48 | 38 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 10 | 97 | 249 | 366 | 436 | 461 | 436 | 366 | 249 | 97 | 10 | 0 |

Tabla A.2: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m²] de abertura para 30° de latitud sur

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 22 Diciembre | S | 89 | 78 | 48 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 48 | 78 | 89 |
| | SE | 284 | 377 | 352 | 263 | 149 | 51 | 38 | 38 | 38 | 38 | 32 | 27 | 13 |
| | E | 292 | 423 | 436 | 387 | 265 | 119 | 38 | 38 | 38 | 38 | 32 | 27 | 13 |
| | NE | 113 | 203 | 244 | 244 | 198 | 119 | 46 | 38 | 38 | 38 | 32 | 27 | 13 |
| | N | 13 | 27 | 32 | 38 | 40 | 51 | 57 | 51 | 40 | 38 | 32 | 27 | 13 |
| | NO | 13 | 27 | 32 | 38 | 38 | 38 | 46 | 119 | 198 | 244 | 244 | 203 | 113 |
| | O | 13 | 27 | 32 | 38 | 38 | 38 | 38 | 119 | 265 | 387 | 436 | 423 | 292 |
| | SO | 13 | 27 | 32 | 38 | 38 | 38 | 38 | 51 | 149 | 263 | 352 | 377 | 284 |
| | Horizontal | 51 | 165 | 355 | 488 | 588 | 650 | 678 | 650 | 588 | 488 | 355 | 165 | 51 |
| 21 Enero y 21 Noviembre | S | 59 | 54 | 38 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 38 | 54 | 59 |
| | SE | 252 | 355 | 333 | 241 | 124 | 43 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 24 | 10 |
| | E | 270 | 420 | 444 | 393 | 268 | 119 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 24 | 10 |
| | NE | 113 | 222 | 271 | 271 | 225 | 143 | 59 | 38 | 38 | 35 | 32 | 24 | 10 |
| | N | 10 | 24 | 32 | 38 | 54 | 73 | 81 | 73 | 54 | 38 | 32 | 24 | 10 |
| | NO | 10 | 24 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 143 | 225 | 271 | 271 | 222 | 113 |
| | O | 10 | 24 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 119 | 268 | 393 | 444 | 420 | 270 |
| | SO | 10 | 24 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 43 | 124 | 241 | 333 | 355 | 252 |
| | Horizontal | 40 | 179 | 333 | 477 | 580 | 640 | 667 | 640 | 580 | 477 | 333 | 179 | 40 |

Tabla A.2 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 20 Febrero y 23 Octubre | S | 16 | 21 | 29 | 35 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 35 | 29 | 21 | 16 |
| | S E | 149 | 292 | 271 | 179 | 73 | 38 | 38 | 38 | 35 | 35 | 29 | 21 | 5 |
| | E | 179 | 398 | 447 | 401 | 276 | 124 | 38 | 38 | 35 | 35 | 29 | 21 | 5 |
| | N E | 100 | 265 | 344 | 349 | 303 | 222 | 105 | 40 | 35 | 35 | 29 | 21 | 5 |
| | N | 5 | 21 | 35 | 73 | 127 | 157 | 170 | 157 | 127 | 73 | 35 | 21 | 5 |
| | N O | 5 | 21 | 29 | 35 | 35 | 40 | 105 | 222 | 303 | 349 | 344 | 265 | 100 |
| | O | 5 | 21 | 29 | 35 | 35 | 38 | 38 | 124 | 276 | 401 | 447 | 398 | 179 |
| | S O | 5 | 21 | 29 | 35 | 35 | 38 | 38 | 38 | 73 | 179 | 271 | 292 | 149 |
| | Horizontal | 16 | 127 | 290 | 436 | 542 | 610 | 637 | 610 | 542 | 436 | 290 | 127 | 16 |
| 22 Marzo y 22 Septiembre | S | 0 | 13 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 13 | 0 |
| | S E | 0 | 200 | 244 | 108 | 40 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 13 | 0 |
| | E | 0 | 336 | 428 | 390 | 279 | 130 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 13 | 0 |
| | N E | 0 | 265 | 355 | 412 | 382 | 306 | 181 | 67 | 35 | 32 | 27 | 13 | 0 |
| | N | 0 | 24 | 48 | 162 | 222 | 265 | 284 | 265 | 222 | 162 | 48 | 24 | 0 |
| | N O | 0 | 13 | 27 | 32 | 35 | 67 | 181 | 306 | 382 | 412 | 355 | 265 | 0 |
| | O | 0 | 13 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 130 | 279 | 390 | 428 | 336 | 0 |
| | S O | 0 | 13 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 40 | 108 | 244 | 200 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 67 | 219 | 366 | 485 | 547 | 574 | 547 | 485 | 366 | 219 | 67 | 0 |
| 20 Abril y 24 Agosto | S | 0 | 8 | 21 | 29 | 32 | 35 | 38 | 35 | 32 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | S E | 0 | 89 | 105 | 48 | 32 | 35 | 38 | 35 | 32 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | E | 0 | 214 | 366 | 358 | 254 | 116 | 38 | 35 | 32 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | N E | 0 | 198 | 385 | 442 | 431 | 368 | 249 | 127 | 40 | 29 | 21 | 8 | 0 |
| | N | 0 | 48 | 154 | 249 | 328 | 377 | 393 | 377 | 328 | 249 | 154 | 48 | 0 |
| | N O | 0 | 8 | 21 | 29 | 40 | 127 | 249 | 368 | 431 | 442 | 385 | 198 | 0 |
| | O | 0 | 8 | 21 | 29 | 32 | 35 | 38 | 116 | 254 | 358 | 366 | 214 | 0 |
| | S O | 0 | 8 | 21 | 29 | 32 | 35 | 38 | 35 | 32 | 48 | 105 | 89 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 16 | 132 | 271 | 387 | 463 | 485 | 463 | 387 | 271 | 132 | 16 | 0 |
| 21 Mayo y 23 Julio | S | 0 | 2 | 16 | 24 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 24 | 16 | 2 | 0 |
| | S E | 0 | 21 | 43 | 24 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 24 | 16 | 2 | 0 |
| | E | 0 | 73 | 295 | 314 | 225 | 94 | 32 | 32 | 29 | 24 | 16 | 2 | 0 |
| | N E | 0 | 75 | 344 | 436 | 439 | 387 | 282 | 173 | 62 | 24 | 16 | 2 | 0 |
| | N | 0 | 27 | 184 | 295 | 371 | 417 | 431 | 417 | 371 | 295 | 184 | 27 | 0 |
| | N O | 0 | 2 | 16 | 24 | 62 | 173 | 282 | 387 | 439 | 436 | 344 | 75 | 0 |
| | O | 0 | 2 | 16 | 24 | 29 | 32 | 32 | 94 | 225 | 314 | 295 | 73 | 0 |
| | S O | 0 | 2 | 16 | 24 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 24 | 43 | 21 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 5 | 73 | 192 | 295 | 368 | 393 | 368 | 295 | 192 | 73 | 5 | 0 |

Tabla A.2 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | | 6 | 7 | 0 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 21 Junio | S | 0 | 0 | 10 | 24 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 24 | 10 | 0 | 0 |
| | S E | 0 | 0 | 27 | 24 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 24 | 10 | 0 | 0 |
| | E | 0 | 0 | 249 | 284 | 217 | 86 | 32 | 32 | 29 | 24 | 10 | 0 | 0 |
| | N E | 0 | 0 | 309 | 425 | 439 | 387 | 292 | 195 | 75 | 24 | 10 | 0 | 0 |
| | N | 0 | 0 | 173 | 306 | 385 | 431 | 442 | 431 | 385 | 306 | 173 | 0 | 0 |
| | N O | 0 | 0 | 10 | 24 | 75 | 195 | 292 | 387 | 439 | 425 | 309 | 0 | 0 |
| | O | 0 | 0 | 10 | 24 | 29 | 32 | 32 | 86 | 217 | 284 | 249 | 0 | 0 |
| | S O | 0 | 0 | 10 | 24 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 24 | 27 | 0 | 0 |
| Horizontal | 0 | 0 | 51 | 172 | 263 | 330 | 355 | 330 | 263 | 172 | 51 | 0 | 0 | |

Tabla A.3: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m²] de abertura para 40° de latitud sur

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 22 Diciembre | S | 87 | 54 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 54 | 86 |
| | S E | 320 | 360 | 303 | 198 | 81 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 16 |
| | E | 341 | 436 | 439 | 385 | 257 | 119 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 16 |
| | N E | 138 | 238 | 295 | 301 | 268 | 192 | 92 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 16 |
| | N | 16 | 27 | 32 | 51 | 94 | 119 | 146 | 119 | 94 | 51 | 32 | 27 | 16 | |
| | N O | 16 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 92 | 192 | 268 | 301 | 295 | 238 | 138 | |
| | O | 16 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 119 | 257 | 385 | 439 | 436 | 341 | |
| | S O | 16 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 81 | 198 | 303 | 360 | 320 | |
| | Horizontal | 84 | 222 | 363 | 485 | 569 | 629 | 642 | 629 | 569 | 485 | 363 | 222 | 84 | |
| 21 Enero y 21 Noviembre | S | 65 | 38 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 38 | 65 | |
| | S E | 287 | 344 | 284 | 179 | 70 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 13 | |
| | E | 320 | 436 | 444 | 390 | 265 | 116 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 13 | |
| | N E | 146 | 260 | 322 | 339 | 298 | 222 | 113 | 40 | 38 | 35 | 32 | 27 | 13 | |
| | N | 13 | 27 | 35 | 70 | 119 | 170 | 187 | 170 | 119 | 70 | 35 | 27 | 13 | |
| | N O | 13 | 27 | 32 | 35 | 38 | 40 | 113 | 222 | 298 | 339 | 322 | 260 | 146 | |
| | O | 13 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 116 | 265 | 390 | 444 | 436 | 320 | |
| | S O | 13 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 70 | 179 | 284 | 344 | 287 | |
| | Horizontal | 65 | 198 | 341 | 463 | 550 | 610 | 631 | 610 | 550 | 463 | 341 | 198 | 65 | |

Tabla A.3 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 20 Febrero y 23 Octubre | S | 19 | 21 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 21 | 19 |
| | S E | 184 | 276 | 222 | 124 | 43 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 21 | 8 |
| | E | 227 | 398 | 439 | 393 | 273 | 122 | 38 | 38 | 38 | 35 | 29 | 21 | 8 |
| | N E | 130 | 284 | 374 | 396 | 377 | 290 | 179 | 67 | 38 | 35 | 29 | 21 | 8 |
| | N | 8 | 21 | 65 | 138 | 241 | 263 | 276 | 263 | 241 | 138 | 65 | 21 | 8 |
| | N O | 8 | 21 | 29 | 35 | 38 | 67 | 179 | 290 | 377 | 396 | 374 | 284 | 130 |
| | O | 8 | 21 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 122 | 273 | 393 | 439 | 398 | 227 |
| | S O | 8 | 21 | 29 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 43 | 124 | 222 | 276 | 184 |
| | Horizontal | 24 | 127 | 271 | 406 | 501 | 556 | 580 | 556 | 501 | 406 | 271 | 127 | 24 |
| 22 Marzo y 22 Septiembre | S | 0 | 13 | 24 | 32 | 35 | 35 | 38 | 35 | 35 | 32 | 24 | 13 | 0 |
| | S E | 0 | 138 | 157 | 70 | 35 | 35 | 38 | 35 | 35 | 32 | 24 | 13 | 0 |
| | E | 0 | 314 | 404 | 377 | 268 | 122 | 38 | 35 | 35 | 32 | 24 | 13 | 0 |
| | N E | 0 | 257 | 390 | 439 | 425 | 360 | 244 | 111 | 38 | 32 | 24 | 13 | 0 |
| | N | 0 | 32 | 119 | 219 | 298 | 330 | 379 | 330 | 298 | 219 | 119 | 32 | 0 |
| | N O | 0 | 13 | 24 | 32 | 38 | 111 | 244 | 360 | 425 | 439 | 390 | 257 | 0 |
| | O | 0 | 13 | 24 | 32 | 35 | 35 | 38 | 122 | 268 | 377 | 404 | 314 | 0 |
| | S O | 0 | 13 | 24 | 32 | 35 | 35 | 38 | 35 | 35 | 70 | 157 | 138 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 57 | 181 | 336 | 414 | 477 | 496 | 477 | 414 | 336 | 181 | 57 | 0 |
| 20 Abril y 24 Agosto | S | 0 | 5 | 16 | 27 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 27 | 16 | 5 | 0 |
| | S E | 0 | 94 | 89 | 32 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 27 | 16 | 5 | 0 |
| | E | 0 | 230 | 317 | 330 | 238 | 105 | 32 | 32 | 29 | 27 | 16 | 5 | 0 |
| | N E | 0 | 219 | 358 | 336 | 442 | 390 | 290 | 170 | 54 | 27 | 16 | 5 | 0 |
| | N | 0 | 57 | 160 | 282 | 371 | 417 | 439 | 417 | 371 | 282 | 160 | 57 | 0 |
| | N O | 0 | 5 | 16 | 27 | 54 | 170 | 290 | 390 | 442 | 336 | 358 | 219 | 0 |
| | O | 0 | 5 | 16 | 27 | 29 | 32 | 32 | 105 | 238 | 330 | 317 | 230 | 0 |
| | S O | 0 | 5 | 16 | 27 | 29 | 32 | 32 | 32 | 29 | 32 | 89 | 94 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 21 | 78 | 173 | 273 | 333 | 349 | 333 | 273 | 173 | 78 | 21 | 0 |
| 21 Mayo y 23 Julio | S | 0 | 0 | 8 | 19 | 24 | 27 | 29 | 27 | 24 | 19 | 8 | 0 | 0 |
| | S E | 0 | 0 | 32 | 19 | 24 | 27 | 29 | 27 | 24 | 19 | 8 | 0 | 0 |
| | E | 0 | 0 | 246 | 271 | 200 | 89 | 29 | 27 | 24 | 19 | 8 | 0 | 0 |
| | N E | 0 | 0 | 295 | 390 | 423 | 390 | 314 | 189 | 73 | 19 | 8 | 0 | 0 |
| | N | 0 | 0 | 160 | 282 | 377 | 428 | 450 | 428 | 377 | 282 | 160 | 0 | 0 |
| | N O | 0 | 0 | 8 | 19 | 73 | 189 | 314 | 390 | 423 | 390 | 295 | 0 | 0 |
| | O | 0 | 0 | 8 | 19 | 24 | 27 | 29 | 89 | 200 | 271 | 246 | 0 | 0 |
| | S O | 0 | 0 | 8 | 19 | 24 | 27 | 29 | 27 | 24 | 19 | 32 | 0 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 0 | 43 | 116 | 198 | 249 | 279 | 249 | 198 | 116 | 43 | 0 | 0 |

Tabla A.3 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 21 Junio | S | 0 | 0 | 5 | 16 | 24 | 27 | 27 | 27 | 24 | 16 | 5 | 0 | 0 |
| | S E | 0 | 0 | 19 | 16 | 24 | 27 | 27 | 27 | 24 | 16 | 5 | 0 | 0 |
| | E | 0 | 0 | 195 | 233 | 184 | 84 | 27 | 27 | 24 | 16 | 5 | 0 | 0 |
| | N E | 0 | 0 | 238 | 363 | 401 | 385 | 311 | 198 | 81 | 19 | 5 | 0 | 0 |
| | N | 0 | 0 | 138 | 268 | 363 | 428 | 447 | 428 | 363 | 268 | 138 | 0 | 0 |
| | N O | 0 | 0 | 5 | 19 | 81 | 198 | 311 | 385 | 401 | 363 | 238 | 0 | 0 |
| | O | 0 | 0 | 5 | 16 | 24 | 27 | 27 | 84 | 184 | 233 | 195 | 0 | 0 |
| | S O | 0 | 0 | 5 | 16 | 24 | 27 | 27 | 27 | 24 | 16 | 19 | 0 | 0 |
| Horizontal | 0 | 0 | 21 | 86 | 149 | 206 | 230 | 206 | 149 | 86 | 21 | 0 | 0 | |

Tabla A.4: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo en [kcal/h x m²] de abertura para 50° de latitud sur

| Época | Orientación | Hora Solar | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 22 Diciembre | S | 78 | 32 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 32 | 78 |
| | S E | 341 | 339 | 254 | 135 | 43 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 21 |
| | E | 377 | 444 | 439 | 368 | 254 | 111 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 21 |
| | N E | 173 | 276 | 341 | 366 | 336 | 265 | 165 | 62 | 38 | 35 | 32 | 27 | 21 |
| | N | 21 | 27 | 43 | 105 | 184 | 235 | 252 | 235 | 184 | 105 | 43 | 27 | 21 |
| | N O | 21 | 27 | 32 | 35 | 38 | 62 | 165 | 265 | 336 | 366 | 341 | 276 | 173 |
| | O | 21 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 111 | 254 | 368 | 439 | 444 | 377 |
| | S O | 21 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 43 | 135 | 254 | 339 | 341 |
| | Horizontal | 119 | 233 | 360 | 469 | 534 | 580 | 596 | 580 | 534 | 469 | 360 | 233 | 119 |
| 21 Enero y 21 Noviembre | S | 57 | 29 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 29 | 57 |
| | S E | 309 | 317 | 235 | 119 | 40 | 38 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 16 |
| | E | 355 | 436 | 442 | 382 | 260 | 116 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 16 |
| | N E | 176 | 290 | 363 | 387 | 368 | 295 | 189 | 70 | 38 | 35 | 32 | 27 | 16 |
| | N | 16 | 27 | 57 | 135 | 217 | 265 | 287 | 265 | 217 | 135 | 57 | 27 | 16 |
| | N O | 16 | 27 | 32 | 35 | 38 | 70 | 189 | 295 | 368 | 387 | 363 | 290 | 176 |
| | O | 16 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 116 | 260 | 382 | 442 | 436 | 355 |
| | S O | 16 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 38 | 40 | 119 | 235 | 317 | 309 |
| | Horizontal | 89 | 203 | 322 | 431 | 509 | 556 | 572 | 556 | 509 | 431 | 322 | 203 | 89 |

Tabla A.4 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 20 Febrero y 23 Octubre | S | 21 | 21 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 21 | 21 |
| | S E | 206 | 254 | 189 | 84 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 21 | 10 |
| | E | 254 | 393 | 428 | 382 | 265 | 122 | 38 | 38 | 35 | 32 | 27 | 21 | 10 |
| | N E | 143 | 301 | 390 | 425 | 414 | 358 | 241 | 108 | 35 | 32 | 27 | 21 | 10 |
| | N | 10 | 24 | 97 | 198 | 284 | 352 | 374 | 352 | 284 | 198 | 97 | 24 | 10 |
| | N O | 10 | 21 | 27 | 32 | 35 | 108 | 241 | 358 | 414 | 425 | 390 | 301 | 143 |
| | O | 10 | 21 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 122 | 265 | 382 | 428 | 393 | 254 |
| | S O | 10 | 21 | 27 | 32 | 35 | 38 | 38 | 38 | 35 | 84 | 189 | 254 | 206 |
| | Horizontal | 35 | 124 | 241 | 355 | 433 | 485 | 501 | 485 | 433 | 355 | 241 | 124 | 35 |
| 22 Marzo y 22 Septiembre | S | 0 | 10 | 21 | 27 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 27 | 21 | 10 | 0 |
| | S E | 0 | 157 | 124 | 43 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 27 | 21 | 10 | 0 |
| | E | 0 | 276 | 374 | 352 | 252 | 116 | 32 | 32 | 32 | 27 | 21 | 10 | 0 |
| | N E | 0 | 233 | 377 | 439 | 442 | 393 | 284 | 151 | 46 | 27 | 21 | 10 | 0 |
| | N | 0 | 29 | 138 | 252 | 355 | 406 | 428 | 406 | 355 | 252 | 138 | 29 | 0 |
| | N O | 0 | 10 | 21 | 27 | 46 | 151 | 284 | 393 | 442 | 439 | 377 | 233 | 0 |
| | O | 0 | 10 | 21 | 27 | 32 | 32 | 32 | 116 | 252 | 352 | 374 | 276 | 0 |
| | S O | 0 | 10 | 21 | 27 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 43 | 124 | 157 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 40 | 132 | 238 | 320 | 379 | 401 | 379 | 320 | 238 | 132 | 40 | 0 |
| 20 Abril y 24 Agosto | S | 0 | 0 | 10 | 19 | 24 | 27 | 29 | 27 | 24 | 19 | 10 | 0 | 0 |
| | S E | 0 | 78 | 54 | 19 | 24 | 27 | 29 | 27 | 24 | 19 | 10 | 0 | 0 |
| | E | 0 | 198 | 268 | 284 | 214 | 94 | 29 | 27 | 24 | 19 | 10 | 0 | 0 |
| | N E | 0 | 187 | 301 | 393 | 425 | 390 | 311 | 187 | 65 | 19 | 10 | 0 | 0 |
| | N | 0 | 46 | 143 | 268 | 371 | 425 | 452 | 425 | 371 | 268 | 143 | 46 | 0 |
| | N O | 0 | 0 | 10 | 19 | 65 | 187 | 311 | 390 | 425 | 393 | 301 | 187 | 0 |
| | O | 0 | 0 | 10 | 19 | 24 | 27 | 29 | 94 | 214 | 284 | 268 | 198 | 0 |
| | S O | 0 | 0 | 10 | 19 | 24 | 27 | 29 | 27 | 24 | 19 | 54 | 78 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 5 | 51 | 122 | 195 | 233 | 254 | 233 | 195 | 122 | 51 | 5 | 0 |
| 21 Mayo y 23 Julio | S | 0 | 0 | 2 | 10 | 16 | 21 | 24 | 21 | 16 | 10 | 2 | 0 | 0 |
| | S E | 0 | 0 | 13 | 10 | 16 | 21 | 24 | 21 | 16 | 10 | 2 | 0 | 0 |
| | E | 0 | 0 | 138 | 173 | 154 | 75 | 24 | 21 | 16 | 10 | 2 | 0 | 0 |
| | N E | 0 | 0 | 168 | 257 | 344 | 344 | 290 | 181 | 57 | 10 | 2 | 0 | 0 |
| | N | 0 | 0 | 92 | 189 | 314 | 387 | 414 | 387 | 314 | 189 | 92 | 0 | 0 |
| | N O | 0 | 0 | 2 | 10 | 57 | 181 | 290 | 344 | 344 | 257 | 168 | 0 | 0 |
| | O | 0 | 0 | 2 | 10 | 16 | 21 | 24 | 75 | 154 | 173 | 138 | 0 | 0 |
| | S O | 0 | 0 | 2 | 10 | 16 | 21 | 24 | 21 | 16 | 10 | 13 | 0 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 0 | 10 | 35 | 81 | 127 | 143 | 127 | 81 | 35 | 10 | 0 | 0 |

Tabla A.4 (cont.)

| Época | Orientación | Hora solar | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------|------------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 21 Junio | S | 0 | 0 | 0 | 8 | 13 | 16 | 19 | 16 | 13 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| | SE | 0 | 0 | 0 | 8 | 13 | 16 | 19 | 16 | 13 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| | E | 0 | 0 | 0 | 73 | 127 | 62 | 19 | 16 | 13 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| | NE | 0 | 0 | 0 | 111 | 290 | 314 | 271 | 168 | 67 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| | N | 0 | 0 | 0 | 84 | 268 | 355 | 382 | 355 | 268 | 84 | 0 | 0 | 0 |
| | NO | 0 | 0 | 0 | 8 | 67 | 168 | 271 | 314 | 290 | 111 | 0 | 0 | 0 |
| | O | 0 | 0 | 0 | 8 | 13 | 16 | 19 | 62 | 127 | 73 | 0 | 0 | 0 |
| | SO | 0 | 0 | 0 | 8 | 13 | 16 | 19 | 16 | 13 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| | Horizontal | 0 | 0 | 0 | 13 | 51 | 89 | 108 | 89 | 51 | 13 | 0 | 0 | 0 |

Tabla A.5: Correcciones para las ganancias solares

| Marco metálico o ningún marco | Defecto de limpieza | Altitud | Punto de rocío superior a 19,5 °C | Punto de rocío superior a 19,5°C | Latitud sur Dic. o Enero |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| x 1/0,85 ó 1,17 | 15% máx. | +0,7% por 300 m | -14% por 10°C | +14% por 10°C | +7% |

Para la correcta utilización de estas tablas, se da un ejemplo para obtener las ganancias máximas simultáneas para dos ventanas con distinta orientación (6):

La hora en que se producen las ganancias máximas por insolación no se puede determinar a primera vista y a menudo es preciso hacer el cálculo para distintos meses y horas. Suponiendo un local con ventanas en las fachadas Oeste y Norte (40° de latitud sur).

De acuerdo a la tabla A.3, las ganancias por insolación son:

Tabla A.6: Ganancias máximas por insolación para el ejemplo, en [kcal/(h m²)]

| 22 Marzo | 14 horas | 15 horas | 16 horas |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Oeste | 268 | 377 | 404 |
| Norte | 298 | 219 | 119 |
| Total | 566 | 596 | 523 |
| 20 Abril | | | |
| Oeste | 238 | 330 | 317 |
| Norte | 371 | 282 | 160 |
| Total | 609 | 612 | 477 |
| 21 Mayo | | | |
| Oeste | 200 | 271 | 246 |
| Norte | 377 | 282 | 160 |
| Total | 577 | 553 | 406 |

Luego, las ganancias solares son máximas el 20 de Abril a las 15 horas y corresponden a 612 [kcal/h m²].

B. Determinación de ganancias internas (6)

Para determinar las ganancias internas se debe considerar que existe calor latente (calor cedido o absorbido para que la materia cambie de fase y no varía la temperatura) y calor sensible (el cual produce la variación de temperatura del material). Las ganancias internas se obtienen con la siguiente fórmula:

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

donde:

G_i : Energía calórica generada al interior de la vivienda en un período determinado. Medida en $\left[\frac{Wh}{m^2 día}\right]$.

S_{edif} : Superficie de la edificación en planta, medido en m^2 .

El aporte de calor de las personas está en la tabla B.1 en kcal/h para una persona.

Tabla B.1: Ganancias internas debido a los ocupantes

| Grado de actividad | Tipo de aplicación | Metabolismo hombre adulto [kcal/h] | Metabolismo medio ⁵⁰ [kcal/h] | Temperatura seca del local [°C] | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|--|---------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | | | 28 | | 27 | | 26 | | 24 | | 21 | |
| | | | | kcal/h | | kcal/h | | kcal/h | | kcal/h | | kcal/h | |
| | | | | Sensible | Latente | Sensible | Latente | Sensible | Latente | Sensible | Latente | Sensible | Latente |
| Sentados, en reposo | Teatro, escuela primaria | 98 | 88 | 44 | 44 | 49 | 39 | 53 | 35 | 58 | 30 | 65 | 23 |
| Sentados, trabajo muy ligero | Escuela secundaria | 113 | 100 | 45 | 55 | 48 | 52 | 54 | 46 | 60 | 40 | 68 | 32 |
| Empleado de oficina | Oficina, hotel, apartamento, escuela superior | 120 | 113 | 45 | 68 | 50 | 63 | 54 | 59 | 61 | 52 | 71 | 42 |
| De pie, marcha lenta | Almacenes, tienda | 139 | | | | | | | | | | | |
| Sentado, de pie | Farmacia | 139 | 126 | 45 | 81 | 50 | 76 | 55 | 71 | 64 | 62 | 73 | 53 |
| De pie, marcha lenta | Banco | 139 | | | | | | | | | | | |
| Sentado | Restaurante ⁵¹ | 126 | 139 | 48 | 91 | 55 | 84 | 61 | 78 | 71 | 68 | 81 | 58 |
| Trabajo ligero en el banco de taller | Fábrica, trabajo ligero | 202 | 189 | 48 | 141 | 55 | 134 | 62 | 127 | 74 | 115 | 92 | 97 |
| Baile o danza | Sala de baile | 227 | 214 | 55 | 159 | 62 | 152 | 69 | 145 | 82 | 132 | 101 | 113 |
| Marcha, 5 km/h | Fábrica, trabajo bastante penoso | 252 | 252 | 68 | 184 | 76 | 176 | 83 | 169 | 96 | 156 | 116 | 136 |
| Trabajo penoso | Pista de bowling ⁵² Fábrica | 378 | 365 | 113 | 252 | 117 | 248 | 122 | 243 | 132 | 233 | 152 | 213 |

⁵⁰ El “metabolismo medio” corresponde a un grupo compuesto de adultos y de niños de ambos sexos, en las proporciones normales. Estos valores se han obtenido en base de las hipótesis siguientes:

Metabolismo mujer adulta = Metabolismo hombre adulto x 0,85

Metabolismo niño = Metabolismo hombre adulto x 0,75

⁵¹ Estos valores comprenden una mejora de 13 kcal/h (50% calor sensible y 50% calor latente) por ocupante, para tener en cuenta el calor desprendido por los platos.

⁵² Bowling – admitir una persona por pista jugando, y todas las otras sentadas (100 kcal/h) o de pie (139 kcal/h).

Además, en el caso de las ganancias internas por iluminación se calculan según el tipo de ampolla utilizada, según la tabla B.2, la que entrega la ganancia por cada ampolla, por lo que este valor se debe multiplicar por el número de lámparas de ese tipo para obtener la ganancia total.

Tabla B.2: Ganancias debidas a iluminación artificial

| Tipo | Ganancias sensibles ⁵³ [kcal/h] |
|---------------|--|
| Fluorescente | Potencia útil en W x 1,25 ⁵⁴ x 0,86 |
| Incandescente | Potencia útil en W x 0,88 |

Por último, las ganancias de los electrodomésticos se consideran a partir de la potencia de ellos, que se asume que se convierte íntegramente en calor sensible.

C. Cálculo de transmitancia térmica ventanas (23)

En este anexo se muestra el cálculo de transmitancia térmica (U) de una ventana con marco de aluminio versus una ventana con marco de PVC.

Ambos cálculos son bastante similares, y se realizan de la misma forma que se muestra en la sección 2.5.1 en la página 37, considerando las siguientes propiedades:

Tabla C.1: Propiedades de los elementos utilizados

| Material | Conductividad térmica λ [W/(m K)] | Espesor [mm] |
|-----------------------|---|--------------|
| Vidrio | 1,2 | 4 |
| Madera (Pino insigne) | 0,104 | 40 |

Fuente: NCh853 Of.2007, Anexo A, Tabla A.1

Tabla C.2: Valores de Rsi y Rse para ambos ejemplos

| | |
|------------|------|
| Rsi | 0,12 |
| Rse | 0,05 |

Fuente: Nch853 Of.2007, Tabla 2

Tabla C.3: Transmitancias térmicas consideradas para marcos de aluminio y de PVC

| Tipo de marco | Transmitancia térmica U [W/(m ² K)] |
|---------------|--|
| Aluminio | 5,8 |
| PVC | 2,8 |

Fuente: Manual de procedimiento para la calificación energética de viviendas en Chile, tabla 6.

⁵³ Ganancias reales debidas al alumbrado de acuerdo con las tablas 12 y 13 del “Manual de aire acondicionado” de Carrier.

⁵⁴ Este 25% suplementario corresponde a la potencia absorbida por la resistencia del tubo fluorescente.

Tabla C.4: Porcentaje de superficie de cada elemento con respecto al total de la ventana

| Elemento | Porcentaje de superficie del total |
|----------|------------------------------------|
| Vidrio | 85% |
| Marco | 15% |

Con estas consideraciones se puede hacer el cálculo de forma similar a lo explicado en la sección 2.5.1.

- **Ventana de espesor 4 [mm] con marco de aluminio**

$$U_{\text{vidrio}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{\text{vidrio}}}{\lambda_{\text{vidrio}}} + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,004}{1,2} + 0,05} = 5,77 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{marco}} = 5,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{ventana}} = U_{\text{vidrio}} * \%_{\text{vidrio}} + U_{\text{marco}} * \%_{\text{marco}} = 5,77 * 0,85 + 5,8 * 0,15 = 5,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

- **Ventana de espesor 4 [mm] con marco de PVC**

$$U_{\text{vidrio}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{\text{vidrio}}}{\lambda_{\text{vidrio}}} + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,004}{1,2} + 0,05} = 5,77 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{marco}} = 2,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{ventana}} = U_{\text{vidrio}} * \%_{\text{vidrio}} + U_{\text{marco}} * \%_{\text{marco}} = 5,77 * 0,85 + 2,8 * 0,15 = 5,3 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

- **Ventana de espesor 4 [mm] con marco de madera**

$$U_{\text{vidrio}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{\text{vidrio}}}{\lambda_{\text{vidrio}}} + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,004}{1,2} + 0,05} = 5,77 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{marco}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{\text{marco}}}{\lambda_{\text{marco}}} + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,04}{0,104} + 0,05} = 1,8 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{ventana}} = U_{\text{vidrio}} * \%_{\text{vidrio}} + U_{\text{marco}} * \%_{\text{marco}} = 5,77 * 0,85 + 1,8 * 0,15 = 5,17 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

D. Costos de las medidas de aislación estudiadas

En este anexo se presentan los costos de las distintas medidas de aislación vistas en el capítulo 5 en mayor detalle. Es importante mencionar que para el cálculo se tomaron los materiales base utilizados (Tabla 5.3 en la página 93) y a partir de ellos y sus dimensiones se calcularon los costos para cada dimensión requerida.

Tabla D.1: Costos según espesor para poliestireno expandido

| Espesor [mm] | Costo [\$/m ²] |
|--------------|----------------------------|
| 2 | \$ 56 |
| 4 | \$ 112 |
| 7 | \$ 195 |
| 9 | \$ 251 |
| 10 | \$ 279 |
| 12 | \$ 335 |
| 14 | \$ 391 |
| 20 | \$ 558 |
| 25 | \$ 698 |
| 30 | \$ 837 |
| 50 | \$ 1.395 |
| 51 | \$ 1.423 |
| 56 | \$ 1.562 |
| 60 | \$ 1.674 |
| 100 | \$ 2.790 |

Tabla D.2: Costo según espesor para lana de vidrio

| Espesor [mm] | Costo [\$/m ²] |
|--------------|----------------------------|
| 38 | \$ 1.773 |
| 59 | \$ 2.753 |
| 79 | \$ 3.686 |
| 80 | \$ 3.733 |
| 101 | \$ 4.713 |
| 119 | \$ 5.553 |
| 120 | \$ 5.599 |
| 142 | \$ 6.626 |
| 160 | \$ 7.466 |
| 161 | \$ 7.512 |
| 200 | \$ 9.332 |
| 240 | \$ 11.198 |
| 250 | \$ 11.665 |

Tabla D.3: Costo total para el departamento según los distintos casos

| Caso | Consideraciones de cálculo | Zona térmica | Costo total |
|---------------------------|--|--------------|-------------|
| O.G.U.C. 2000 | No aplica para departamentos | | |
| O.G.U.C. 2007 | Costo poliestireno (según espesor requerido) * Cantidad de planchas para cubrir superficie total | 1 | \$ 1.897 |
| | | 2 | \$ 1.897 |
| | | 3 | \$ 9.486 |
| | | 4 | \$ 11.383 |
| | | 5 | \$ 13.280 |
| | | 6 | \$ 23.715 |
| | | 7 | \$ 53.122 |
| Mayor aislación techumbre | No aplica para departamentos | | |

Tabla D.3 (Cont.)

| Caso | Consideraciones de cálculo | Zona térmica | Costo total |
|------------------------|--|--------------|--------------|
| Mayor aislación muro 1 | Costo poliestireno (según espesor requerido) * Cantidad de planchas para cubrir superficie total | 1 – 2 | \$ 9.486 |
| | | 3 – 4 – 5 | \$ 28.458 |
| | | 6 – 7 | \$ 56.916 |
| Mayor aislación muro 2 | Costo poliestireno (según espesor requerido) * Cantidad de planchas para cubrir superficie total | 1 – 2 | \$ 18.972 |
| | | 3 – 4 - 5 | \$ 47.430 |
| | | 6 – 7 | \$ 94.860 |
| Termopanel 1 | Suma de costos de todas las ventanas | Todas | \$ 1.195.920 |
| Termopanel 2 | Costo total ventanas + Costos aislación caso O.G.U.C.2007 | 1 – 2 | \$ 1.197.817 |
| | | 3 | \$ 1.205.406 |
| | | 4 | \$ 1.207.303 |
| | | 5 | \$ 1.209.200 |
| | | 6 | \$ 1.219.635 |
| | | 7 | \$ 1.249.042 |

Tabla D.4: Costo total para la vivienda pareada según los distintos casos

| Caso | Consideraciones de cálculo | Zona térmica | Costo total |
|---------------------------|---|--------------|-------------|
| O.G.U.C. 2000 | Costo lana de vidrio (según espesor requerido) * Cantidad de rollos para cubrir superficie total | 1 | \$ 120.569 |
| | | 2 | \$ 187.200 |
| | | 3 | \$ 250.658 |
| | | 4 | \$ 320.461 |
| | | 5 | \$ 377.573 |
| | | 6 | \$ 450.549 |
| | | 7 | \$ 510.834 |
| O.G.U.C. 2007 | Costo aislación de techumbre (caso O.G.U.C. 2000) + Costo aislación de muros (Costo poliestireno según espesor requerido * Cantidad de planchas para cubrir superficie total) | 1 | \$ 120.569 |
| | | 2 | \$ 187.200 |
| | | 3 | \$ 253.671 |
| | | 4 | \$ 325.734 |
| | | 5 | \$ 384.352 |
| | | 6 | \$ 465.615 |
| | | 7 | \$ 549.252 |
| Mayor aislación techumbre | Costo lana de vidrio (según espesor requerido) * Cantidad de rollos para cubrir superficie total | 1 | \$ 253.830 |
| | | 2 | \$ 380.746 |
| | | 3 | \$ 507.661 |
| | | 4 | \$ 634.576 |
| | | 5 | \$ 761.491 |
| | | 6 – 7 | \$ 793.220 |

Tabla D.4 (Cont.)

| Caso | Consideraciones de cálculo | Zona térmica | Costo total |
|------------------------|---|--------------|--------------|
| Mayor aislación muro 1 | Costo aislación techumbre (caso O.G.U.C. 2000) + Costo aislación muros (Costo poliestireno según espesor requerido * Cantidad de planchas para cubrir superficie total) | 1 | \$ 128.102 |
| | | 2 | \$ 194.733 |
| | | 3 | \$ 273.257 |
| | | 4 | \$ 343.060 |
| | | 5 | \$ 400.172 |
| | | 6 | \$ 495.747 |
| | | 7 | \$ 556.032 |
| Mayor aislación muro 2 | Costo aislación techumbre (caso O.G.U.C. 2000) + Costo aislación muros (Costo poliestireno según espesor requerido * Cantidad de planchas para cubrir superficie total) | 1 | \$ 135.635 |
| | | 2 | \$ 202.266 |
| | | 3 | \$ 288.323 |
| | | 4 | \$ 358.126 |
| | | 5 | \$ 415.238 |
| | | 6 | \$ 525.879 |
| | | 7 | \$ 586.164 |
| Termopanel 1 | Suma de costos de todas las ventanas | Todas | \$ 710.130 |
| Termopanel 2 | Costo total ventanas + Costos de aislación caso O.G.U.C.2007 | 1 | \$ 830.699 |
| | | 2 | \$ 897.330 |
| | | 3 | \$ 963.801 |
| | | 4 | \$ 1.035.864 |
| | | 5 | \$ 1.094.482 |
| | | 6 | \$ 1.175.745 |
| | | 7 | \$ 1.259.382 |

Tabla D.5: Costo total para la vivienda aislada según los distintos casos

| Caso | Consideraciones de cálculo | Zona térmica | Costo total |
|---------------|---|--------------|-------------|
| O.G.U.C. 2000 | Costo lana de vidrio (según espesor requerido) * Cantidad de rollos para cubrir superficie total | 1 | \$ 120.569 |
| | | 2 | \$ 187.200 |
| | | 3 | \$ 250.658 |
| | | 4 | \$ 320.461 |
| | | 5 | \$ 377.573 |
| | | 6 | \$ 450.549 |
| | | 7 | \$ 510.834 |
| O.G.U.C. 2007 | Costo aislación de techumbre (caso O.G.U.C. 2000) + Costo aislación de muros (Costo poliestireno según espesor requerido * Cantidad de planchas para cubrir superficie total) | 1 | \$ 120.569 |
| | | 2 | \$ 187.200 |
| | | 3 | \$ 258.804 |
| | | 4 | \$ 334.718 |
| | | 5 | \$ 395.903 |
| | | 6 | \$ 491.283 |
| | | 7 | \$ 614.705 |

Tabla D.5 (Cont.)

| Caso | Consideraciones de cálculo | Zona térmica | Costo total |
|---------------------------|---|--------------|--------------|
| Mayor aislación techumbre | Costo lana de vidrio (según espesor requerido) * Cantidad de rollos para cubrir superficie total | 1 | \$ 253.830 |
| | | 2 | \$ 380.746 |
| | | 3 | \$ 507.661 |
| | | 4 | \$ 634.576 |
| | | 5 | \$ 761.491 |
| | | 6-7 | \$ 793.220 |
| Mayor aislación muro 1 | Costo aislación techumbre (caso O.G.U.C. 2000) + Costo aislación muros (Costo poliestireno según espesor requerido * Cantidad de planchas para cubrir superficie total) | 1 | \$ 140.936 |
| | | 2 | \$ 207.567 |
| | | 3 | \$ 311.759 |
| | | 4 | \$ 381.562 |
| | | 5 | \$ 438.674 |
| | | 6 | \$ 572.751 |
| | | 7 | \$ 633.036 |
| Mayor aislación muro 2 | Costo aislación techumbre (caso O.G.U.C. 2000) + Costo aislación muros (Costo poliestireno según espesor requerido * Cantidad de planchas para cubrir superficie total) | 1 | \$ 161.303 |
| | | 2 | \$ 227.934 |
| | | 3 | \$ 352.493 |
| | | 4 | \$ 422.296 |
| | | 5 | \$ 479.408 |
| | | 6 | \$ 654.219 |
| | | 7 | \$ 818.375 |
| Termopanel 1 | Suma de costos de todas las ventanas | Todas | \$ 793.120 |
| Termopanel 2 | Costo total ventanas + Costos de aislación caso O.G.U.C.2007 | 1 | \$ 913.689 |
| | | 2 | \$ 980.320 |
| | | 3 | \$ 1.051.924 |
| | | 4 | \$ 1.127.838 |
| | | 5 | \$ 1.189.023 |
| | | 6 | \$ 1.284.403 |
| | | 7 | \$ 1.407.825 |