

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

Facultad de ingeniería

Ingeniera civil



**ANALISIS TERMICO DE CALEFACCION PARA VIVIENDA TIPO EN LA ZONA
DE CONCEPCION.**

SEBASTIAN GUILLERMO MIRANDA CISTERNA

**INFORME DE PROYECTO DE TITULO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

Profesor Guía

Sr. FELIPE GONZÁLEZ

Profesor Informante

Sr. GUILLERMO BUSTAMANTE

CONCEPCIÓN, NOVIENMBRE 2016

Resumen.

Al avanzar en nuevas metodologías de construcción, se busca optimizar los tiempos de instalación y el ahorro de dinero, con esto se ha dejado de lado el tema del ahorro de energía de calefacción, un ejemplo de esto es de las constructoras que han optado por construir pisos de Metalcon, producto de material liviano y de fácil construcción, pero al ser un elemento metálico galvanizado su conductividad térmica es muy alta y por ende es un gran puente térmico por donde la calefacción de un hogar se puede perder. Es por eso que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo se ha encargado de formar un reglamento térmico. Al emplear este reglamento muchas viviendas se encuentran bajo los límites exigidos en muros techos y ventanas, debido a esto es necesario emplear soluciones térmicas que busquen aumentar la resistencia térmica es decir evitar que el calor se pierda por estos elementos.

En este estudio se busca saber el comportamiento térmico de una vivienda tipo de zona de Concepción considerando una nueva solución térmica exterior, usando una plancha FG1 que está compuesta de un elemento mineral que tiene una alta resistencia térmica. Al ser una nueva solución térmica es necesario realizar un buen análisis térmico para ver si es viable realizar esta solución. Debido a ser un nuevo sistema de protección se comparó con la solución comercial que actualmente está en el mercado y el análisis de la vivienda en su estado actual.

Abstract.

To advance new methods of construction, is to optimize installation time and saving money, this has shelved the issue of energy saving heating, an example of this is the construction companies that have chosen to build Metalcon floors, product lightweight material and easy to build, but being a metallic element galvanized its high thermal conductivity and therefore is a great thermal bridge where heating a home can be lost. That's why the Ministry of Housing and Urban Development has been commissioned to form a heat regulation. By employing these regulations many houses are under the limits imposed in ceilings walls and windows, because it is necessary to use thermal solutions aimed at increasing the thermal resistance ie prevent heat lost by these elements.

This study seeks to know the thermal behavior of a standard dwelling area of Concepcion considering a new external thermal solution, using an FG1 plate which is composed of a mineral element having a high heat resistance. As a new thermal solution is required good thermal analysis to see if it is feasible to make this solution. Because being a new protection system was compared with the commercial solution that is currently on the market and analysis of housing in its current state.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y familia que siempre me apoyaron y confiaron en mí, especialmente a mi hermana Daniela que siempre estuvo presente durante este periodo.

A mis profesores del Departamento de Ingeniería civil, que fueron fundamentales para mi formación profesional, en especial a Don Felipe González que me dio la confianza en desarrollar este proyecto.

Índice de contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	3
1. Capítulo 1: Introducción	10
1.1. Motivación.....	11
1.2. Objetivos.....	12
1.2.1. Objetivos generales.....	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
2. Capítulo 2: Conceptos Básicos.....	13
2.1. Transmitancia térmica (U).....	13
2.2. Resistencia térmica (R).....	14
2.3. Mapas de zonificación térmica.....	15
2.4. Exigencias de la reglamentación térmica.....	16
2.4.1. Techumbre.....	17
2.4.2. Muros.....	23
2.4.3. Ventanas.....	29
2.4.4. Alternativa para cumplir las exigencias térmicas.....	30
2.4.5. Soluciones genéricas constructivas.....	31
2.5. Demanda energética.....	34
2.6. Calculo de cargas térmicas.....	36
2.6.1. Carga por radiación solar.....	36
2.6.2. Carga por transmisión y radiación de paredes y techos.....	37
2.6.3. Carga transmitida por el aire exterior.....	37
2.6.4. Carga por aportaciones internas.....	38
2.6.5. Carga latente transmitida por flujo de aire exterior.....	40
2.6.6. Carga latente por ocupación.....	40
2.7. Inercia térmica.....	41
3. Capítulo 3: Análisis y resultados.....	44
3.1. Casa de estudio.....	47
3.1.1. Transmitancia térmica de la vivienda tipo.....	48

3.1.2.	Demanda térmicas de vivienda tipo.	49
3.1.3.	Cargas térmicas.	49
3.1.4.	Admitancia térmica.	52
3.2.	Modelo vivienda tipo con solución STO.	53
3.2.1.	Trasmitancia térmica de vivienda tipo con solución STO.	56
3.2.2.	Demanda térmica con solución STO.	57
3.2.3.	Cargas térmicas de la vivienda.	57
3.2.4.	Admitancia térmica.	60
3.3.	Modelo vivienda tipo con solución de placa FG1.	61
3.3.1.	Trasmitancia térmica vivienda tipo con solución con planchas FG1.	63
3.3.2.	Demanda térmica.	64
3.3.3.	Cargas térmicas.	64
3.3.4.	Admitancia térmica.	67
3.4.	Comparación de resultados.	68
4.	Capítulo 4: Análisis económico de las soluciones térmicas.	71
4.1.	Inversión Solución STO.	71
4.2.	Solución de placa FG1.	72
5.	Capítulo 5: Conclusiones.	74
6.	Capítulo 6: Referencias bibliográficas.	77
6.1.	Bibliografía.	77
6.2.	Linkografía.	78
Anexo 1	79
Anexo 2	81
Anexo 3	82
Anexo 4	84

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de trasmittancia térmica.	13
Figura 2: Mapa de zonificación térmica de la Región del Bio Bio.	15
Figura 3: Cubierta con ángulo $\leq 60^\circ$	17
Figura 4: Elemento con un ángulo $\geq 60^\circ$	17
Figura 5: Formas de aplicación de la aislación térmica.	18
Figura 6: Encuentro de muro perimetral de albañilería y techumbre.	19
Figura 7: Encuentro de puro perimetral de madera y techumbre.	20
Figura 8: Muro de techumbre.	21
Figura 9: Forma correcta para ventanas en techumbre.	22
Figura 10: Complejo de muro mayor a 60° sexagesimales.	23
Figura 11: Esquema de vivienda sobre que muros es aplicable la tabla 1.	24
Figura 12: Forma de aislación para los muros de algunas soluciones térmicas para los muros.	25
Figura 13: Vista de planta de un muro perimetral, indicando zonas de la exigencia térmica.	26
Figura 14: Corte 1-1 de la figura 13, indicando zonas de exigencia térmica.	27
Figura 15: Corte trasversal de un muro con detalles de protección a la humedad.	28
Figura 16: Esquema de soluciones constructivas, considerando aislantes térmicos.	32
Figura 17: Muro de albañilería de ladrillo con aislante térmico adosado a su cara exterior.	33
Figura 21: Esquema ilustrativo de comportamiento de pérdidas y ganancias de energía.	34
Figura 22: comportamiento térmico de una vivienda no aislada.	42
Figura 23: Comportamiento térmico de una vivienda aislada térmicamente en el exterior.	42
Figura 18: Esquema de punto de rocío en relación a la ubicación del material aislante.	44
Figura 19: Esquema de dilatación térmica en relación a la ubicación del material aislante.	45
Figura 20: Esquema de capacidad térmica en relación a la ubicación del material aislante.	46
Figura 24: Casa tipo.	47
Figura 25: Esquema de revestimiento exterior solución STO.	53
Figura 26: Vivienda tipo con la solución STO.	54
Figura 27: Corte trasversal de un muro con solución STO.	55
Figura 27: Vivienda tipo con la solución con panel.	61
Figura 28: Corte trasversal con panel de perlita expandida.	62

Índice de Tablas

Tabla 1: Exigencias mínimas por la reglamentación térmica.	16
Tabla 2: Tabla de zonas exigidas por el método de U ponderado.	29
Tabla 3: Exigencias mínimas para de diferentes zonas utilizando el R100.	30
Tabla 4: Tabla de transmitancia térmica de cada elemento constructivo de la vivienda.	48
Tabla 5: Tabla de energía aportada por la radiación solar.	49
Tabla 6: Carga de transmisión de paredes y techos.	49
Tabla 7: Carga transmitida por el aire exterior.	50
Tabla 8: Cargas aportadas por la iluminación.	50
Tabla 9: Carga de ocupación de las personas debido a la actividad que se esté realizando según la tabla de anexo 1.	50
Tabla 10: Carga aportada por los aparatos existentes	51
Tabla 11: Carga latente por el aire exterior.	51
Tabla 12: carga latente de ocupación dependiendo de la actividad de la persona.	51
Tabla 13: Admitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica.	52
Tabla 14: Tabla de transmitancia térmica con la solución exterior STO.	56
Tabla 15: Carga de la radiación solar.	57
Tabla 16: Carga por transmisión a través de los elementos de la vivienda.	57
Tabla 17: carga por transmisión a través del aire.	58
Tabla 18: Carga interna aportada por iluminación.	58
Tabla 19: Carga aportada por la actividad de las personas.	58
Tabla 20: Carga aportada por los artefactos existentes de la vivienda.	59
Tabla 21: Carga latente de la vivienda debido a los flujos de aire.	59
Tabla 22: Carga latente de la personas.	59
Tabla 23: Admitancia térmica de la vivienda con solución STO.	60
Tabla 24: Transmitancia térmica de la vivienda con solución la placa FG1.	63
Tabla 25: Carga de radiación a través del cristal.	64
Tabla 26: Carga de transmisión de los elementos.	64
Tabla 27: Cargas debido al aire exterior.	65
Tabla 28: Carga por iluminación.	65
Tabla 29: Carga de ocupación debido a la actividad de la persona.	65
Tabla 30: Cargas aportadas por los artefactos de la vivienda.	66
Tabla 31: Carga latente debido al aire exterior.	66
Tabla 32: Carga latente debido a la actividad de la persona.	67
Tabla 33: Admitancia térmica de la vivienda con solución de perlita expandida.	67
Tabla 34: Comparación de resultados térmicos y clasificación energética.	68
Tabla 35: Tabla resumen de inversión-tiempo de recuperación de distintas fuentes de calefacción.	72

Tabla 36: Tabla resumen de inversión total y ahorro mensual de distintas fuentes de calefacción.....	73
Tabla A1: Temperatura interior de diseño dependiendo de distintos locales.	79
Tabla A2: Continuación tabla de temperatura de diseño interior	80
Tabla A2: Tasas de calor proveniente de ocupantes de los espacios acondicionados.	81
Tabla A.3.1: Análisis de precio unitario de revestimiento exterior STO.....	82
Tabla A.3.2: Análisis de precio unitario para terminación exterior de STO.....	83
Tabla A.4: Análisis de precio unitario de revestimiento exterior de perlita.	84

1. Capítulo 1: Introducción

Desde el año 1994 el Ministerio de vivienda y urbanismo decidió implementar un nuevo programa de largo plazo que se enfocó en realizar una reglamentación térmica, este programa fue separado en 3 etapas.

La primera etapa se inició en el año 1994 enfocando en temas más simples para una vivienda, donde se prioriza mejorar la calidad de vida de una vivienda mejorando el confort térmico, como otro enfoque es buscar la reducir y optimizar el uso de combustibles que son destinados a la calefacción o refrigeración.

En la segunda etapa que entro en vigencia el día 4 de enero del año 2007, es donde se realizan mapas térmicos de Chile, que dividen en sectores dependiendo los grados días que hay en cada zona, con esta fase también se instauró la normativa térmica en el cual se indican como se debe aislar una vivienda y que los elementos de la envolvente cumplan con los parámetros exigidos para así alcanzar una temperatura de confort dentro de la casa.

La tercera y última etapa iniciada en el año 2014 está dada por una clasificación térmica a la vivienda, esta clasificación es un sistema similar al que se usa para certificar aparatos electrodomésticos y de automóviles. Esta certificación considera la demanda energética de calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria.

Es por eso que como profesionales del rubro es importante inspeccionar y exigir que estas condiciones se cumplan para obtener un buen uso de la energía de calefacción en la vivienda. Al usar los sistemas de construcciones actuales muchas veces no cumple con la norma, debido a esto es necesario encontrar nuevos sistemas de protección a la vivienda.

1.1. Motivación

Con la implementación de la norma térmica, los elementos que conforman la envolvente térmica (Muros, puertas, techos y ventanas) considerando su estado actual de construcción no están cumpliendo con las exigencias mínimas que pide esta norma.

Debido al no cumplimiento de la norma es necesario agregar a la vivienda protecciones, como sellar las filtraciones de aire o cambiar los marcos de ventanas soluciones usadas en la actualidad, proteger estas zonas produce un ahorro a la vivienda debido a que toda solución térmica ayuda, pero hay otro elemento de la envolvente que no se esta protegiendo.

Los muros de la vivienda son los elementos de la envolvente que tiene una mayor cantidad de superficie en contacto hacia el exterior, es por eso que es necesario proteger este elemento para evitar más pérdidas de calor. En la actualidad en el comercio existe una sola protección térmica a los muros que comprende en revestir la vivienda con planchas de polietileno expandido de alta densidad. Debido a esto es necesario estudiar e investigar en nuevas formas de protección térmica para una vivienda para así aumentar la oferta y que el consumidor final tenga más opciones por donde elegir

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivos generales.

- Análisis de la eficiencia energética de manera teórica de una casa tipo considerando su condición actual de construcción y dos soluciones de aislación térmica, usando la norma chilena NCh 853.Of91 “Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios” y la Reglamentación térmica.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Análisis energético de calefacción de manera teórica de la casa tipo, considerando los planos originales de construcción.
- Análisis energético de calefacción de manera teórica de la casa tipo, considerando una solución térmica de revestimiento exterior usando polietileno expandido de alta densidad.
- Análisis energético de calefacción de manera teórica al modelo de casa tipo usando un revestimiento exterior de una placa FG1 compuesta por material mineral de alta resistencia térmica.
- Comparar los 3 resultados y ver si cumplen con los requisitos de la zona térmica de la región del Bio Bio, usando el “Manual de aplicación reglamentación térmica”.
- Análisis de costos de las dos soluciones térmicas y ahorro de calefacción.

2. Capítulo 2: Conceptos Básicos.

2.1. Trasmittancia térmica (U).

Es la cantidad de calor que pasa por un elemento constructivo. Este flujo de calor pasa a través de dos planos paralelos siempre cuando exista un gradiente ambiental que los separe, en la norma Nch 853, tiene como definición “el flujo de calor que pasa por una unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes”, la unidad de medida usando el sistema métrico es $W/(m^2K)$, Watt por metro cuadrado kelvin

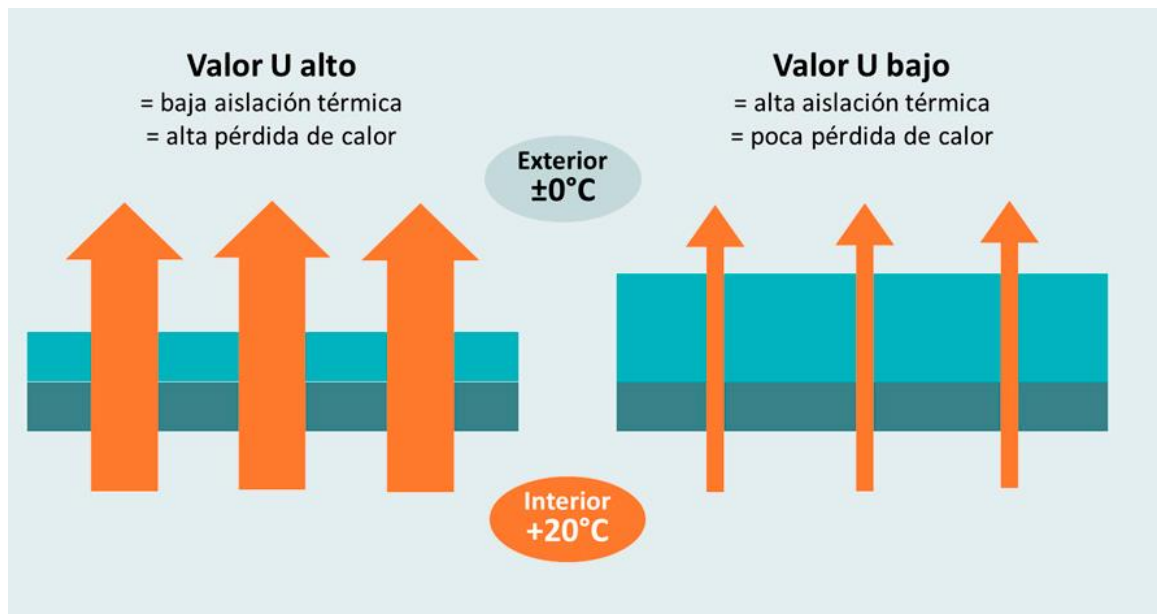


Figura 1: Esquema de trasmittancia térmica.

Fuente: www.arquitecturayenergia.cl

Al tener elementos con un U alto hay un mayor flujo de calor hacia zonas con un menor gradiente térmico, a diferencia al tener un valor U menor se pierde menor energía. Es por eso que el valor U es importante para el estudio de una vivienda debido que la reglamentación térmica exige límites mínimos para un elemento constructivo dependiendo de la zona que se encuentre el proyecto.

Al tener un valor de $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ significa que un elemento constructivo pierde un Watt por cada metro cuadrado de superficie y cada grado de diferencia que hay en su interior y exterior, estos valores se pueden obtener a través de la siguiente formulación que nos da la norma Nch 853.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{se}}$$

Donde:

- U : Transmitancia térmica en $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
- R_{si} : Resistencia térmica de superficie al interior, tabla 2 norma Nch853.
- R_{se} : Resistencia térmica de superficie exterior, tabla 2 norma Nch853.
- R : Resistencia térmica del material.

Fuente: Norma NCh 853 “Acondicionamiento térmico – envolvente térmica y edificios”

2.2. Resistencia térmica (R).

Es la capacidad del material que se opone al flujo de calor, está directamente relacionada con el espesor del material y la conductividad térmica (λ) que es definida por la norma como la cantidad de calor que pasa la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo en condiciones estacionarias, la determinación de este concepto es mediante la siguiente formula:

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

Donde

- R : Resistencia térmica expresada en $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- e : Espesor de la capa del material en metros
- λ : Conductividad térmica expresada en $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$

Fuente: Norma NCh 853 “Acondicionamiento térmico – envolvente térmica y edificios”

2.3. Mapas de zonificación térmica.

Los mapas de zonificación térmica fueron creados para dividir las zonas de Chile dependiendo de su lugar geográfico y diferencias climáticas que hay. Las divisiones de estas zonas depende del concepto grado día. Los grados días son la suma de todas las temperaturas en su cierto periodo de tiempo, son un parámetro importante para considerar el diseño de la vivienda considerando el estudio térmico.

Este mapa se va a utilizar para saber en qué zona pertenece Concepción, en donde la vivienda se construirá. El mapa de la región del Bio Bio indica que Concepción pertenece a la zona 4.

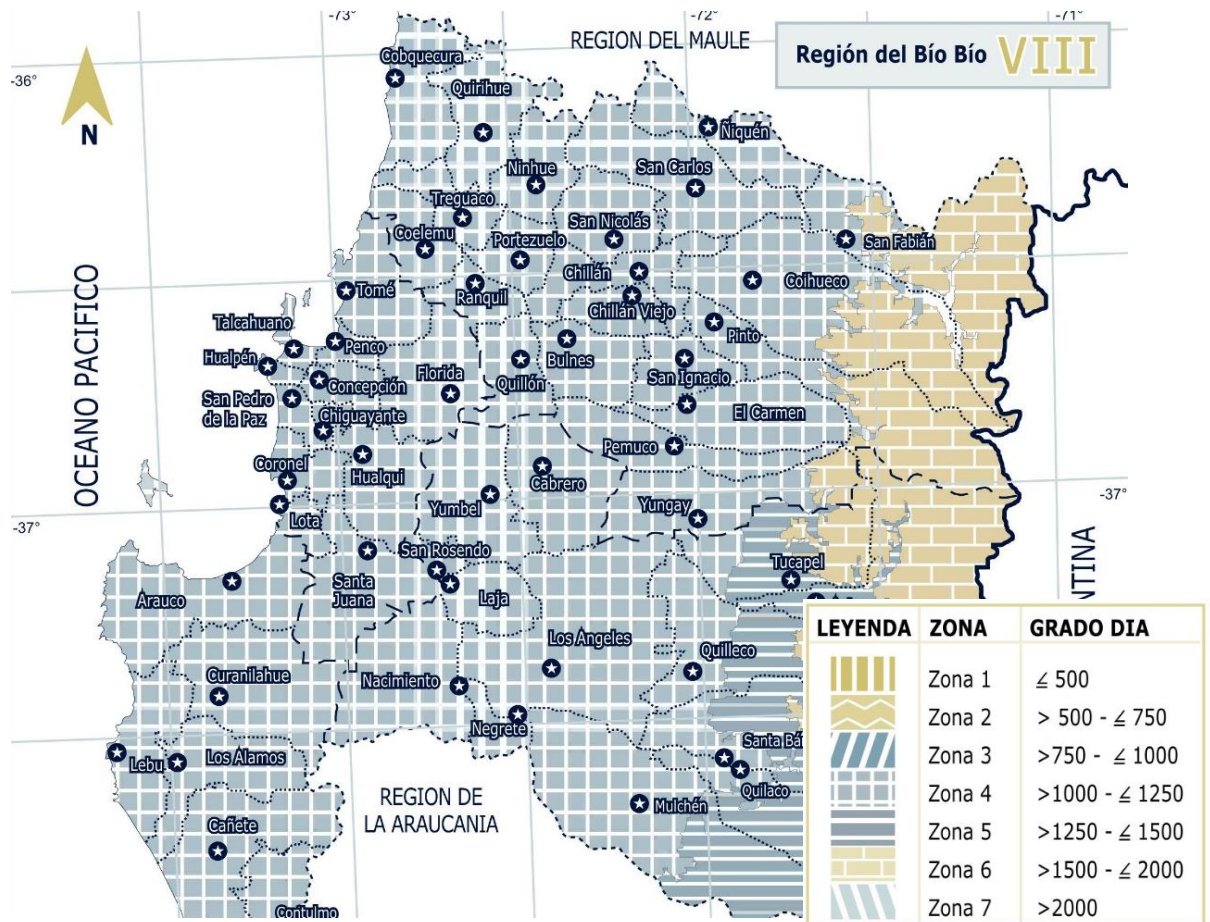


Figura 2: Mapa de zonificación térmica de la Región del Bio Bio.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte II

2.4. Exigencias de la reglamentación térmica.

La reglamentación, establece las condiciones mínimas para una buena aislación térmica en viviendas, esta versión está presente y forma parte en la ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC), en ella se incluye los estándares mínimos de aislamiento, que van variando dependiendo de la zonificación en que se encuentre la vivienda.

La primera reglamentación fue publicada en el año 2000, donde se mostraban los requisitos mínimos de aislación para techumbres. En el año 2007, se obtiene una segunda versión en donde se extiende la aislación para muros, pisos ventilados y ventanas. En el año 2013 es donde se empieza a emplear la clasificación térmica de manera global a la vivienda. Cabe recordar que Chile fue el primer país de Latinoamérica que ha incorporado un reglamento de construcción donde se exige un acondicionamiento térmico de las viviendas.

Los complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados son parte de la envolvente de la vivienda. Deben cumplir con una transmitancia térmica “U” igual o menor, o una resistencia térmica igual o superior a la zona señalada que corresponda el proyecto de arquitectura. Esta exigencia corresponde a la siguiente tabla:

Zona	Techumbre		Muros		Pisos ventilados	
	U (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	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

Tabla 1: Exigencias mínimas por la reglamentación térmica.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte I

2.4.1. Techumbre.

El complejo de techumbre está conformado por un conjunto de elementos constructivos que son cielo, cubierta, aislación térmica, cadenetas y vigas, las exigencias para la techumbre son las siguientes.

- **Definición del complejo de techumbre**

En el caso de mansardas o elementos inclinados, se considerara un complejo de techumbre todo elemento cuyo cielo tenga una inclinación de 60° sexagesimales, o menos, medidos desde la horizontal. Esta consideración es debido a que el flujo térmico cambia ascendentemente a horizontal cuando el ángulo es mayor a 60° .

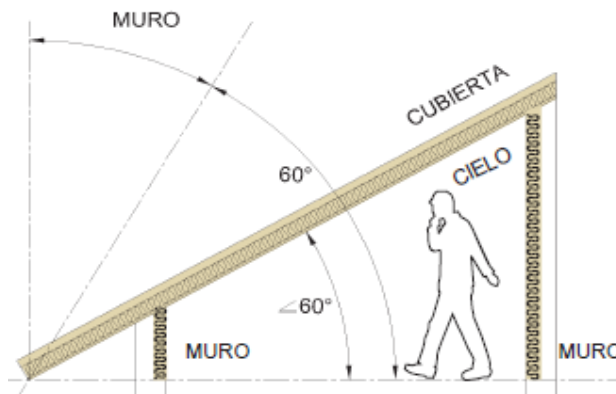


Figura 3: Cubierta con ángulo $\leq 60^\circ$.

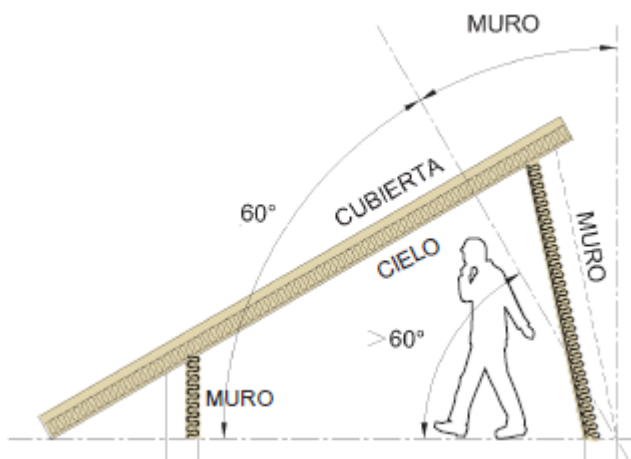


Figura 4: Elemento con un ángulo $\geq 60^\circ$.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

- **Forma de como asilar el sistema de techumbre**

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, solo podrán ser interrumpidos por elementos estructurales de la techumbre, tales como cerchas, vigas y/o tuberías, ductos o tuberías de instalaciones domiciliarias. Es por eso que el material aislante térmico o la solución constructiva especificada tiene que cubrir de manera continua toda la superficie del cielo, lugares como cadenas y soleras también cubriendo estas zonas tratando que sea lo más continuo posible y no contribuyan a posibles puentes térmico.

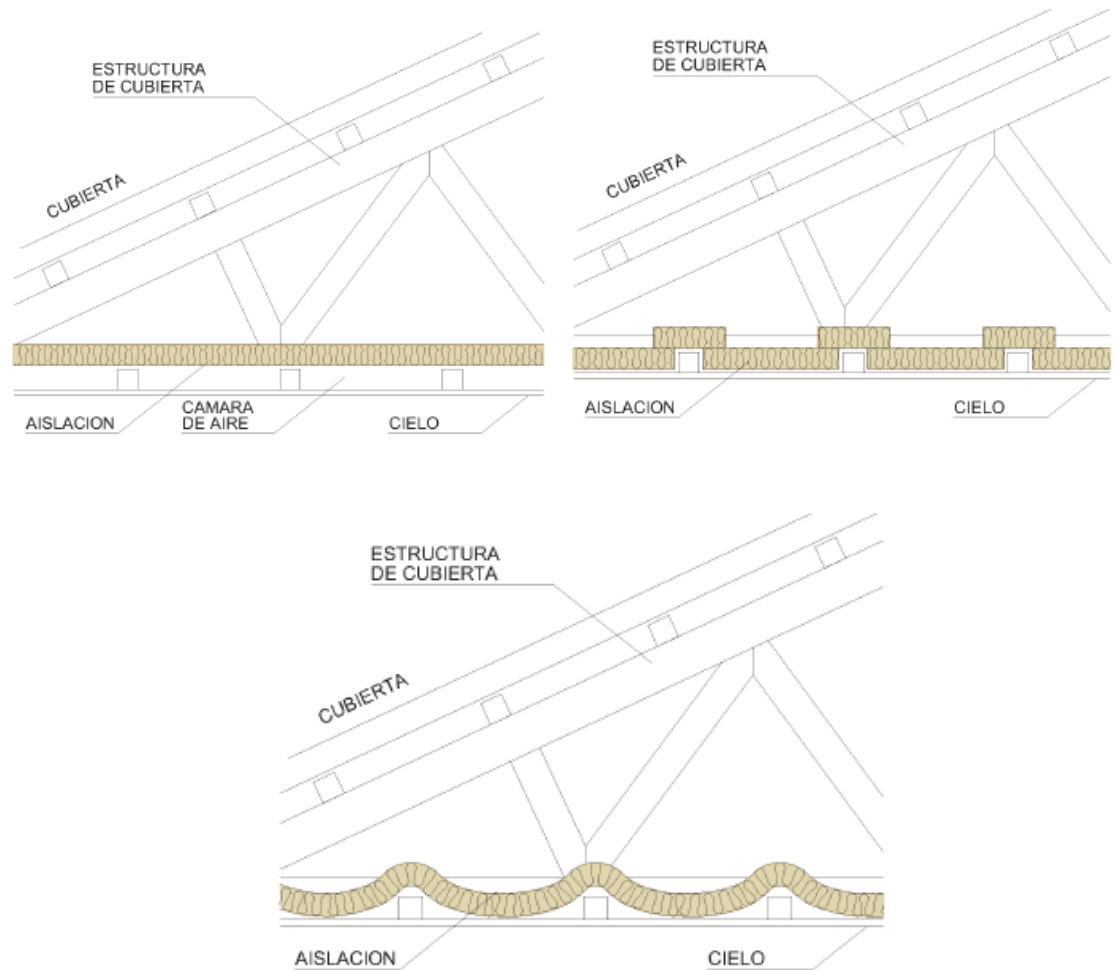


Figura 5: Formas de aplicación de la aislación térmica.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

- **Forma de como aislar unión de techo con muro**

Los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con el complejo de techumbre, tales como cadenas, vigas o soleras, conformando un elemento continuo por todo el contorno de los muros perimetrales. La unión de techumbre con un muro es un puente térmico que se debe evitar y si no es así minimizar el puente térmico de esta unión debido a que puede producir condensación afectando los materiales humedeciendo y deteriorándolos. Es por eso que este artículo muestra la forma de aislar esta unión alargando el aislante térmico hasta estas uniones como se puede ver en los siguientes esquemas.

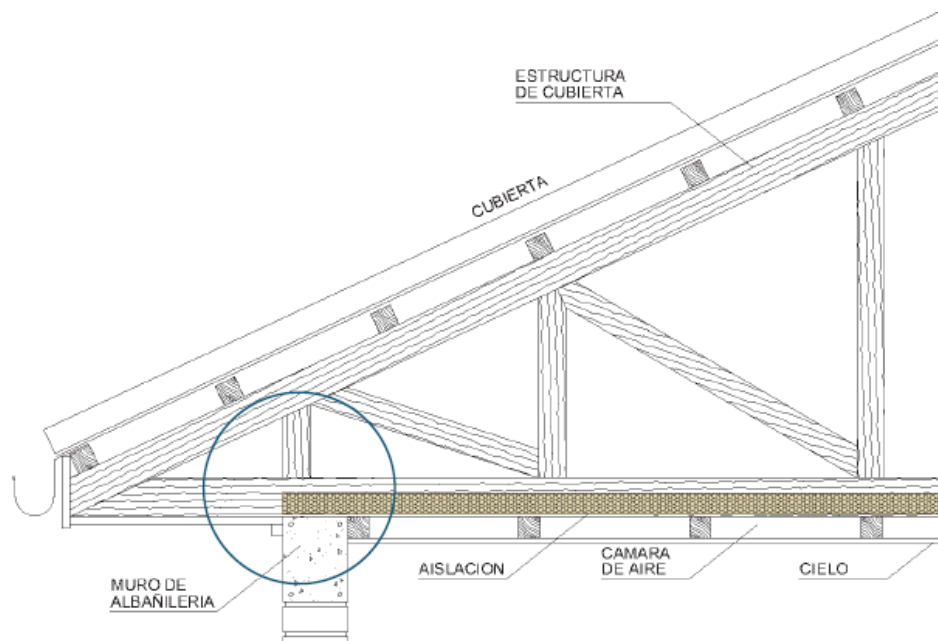


Figura 6: Encuentro de muro perimetral de albañilería y techumbre.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

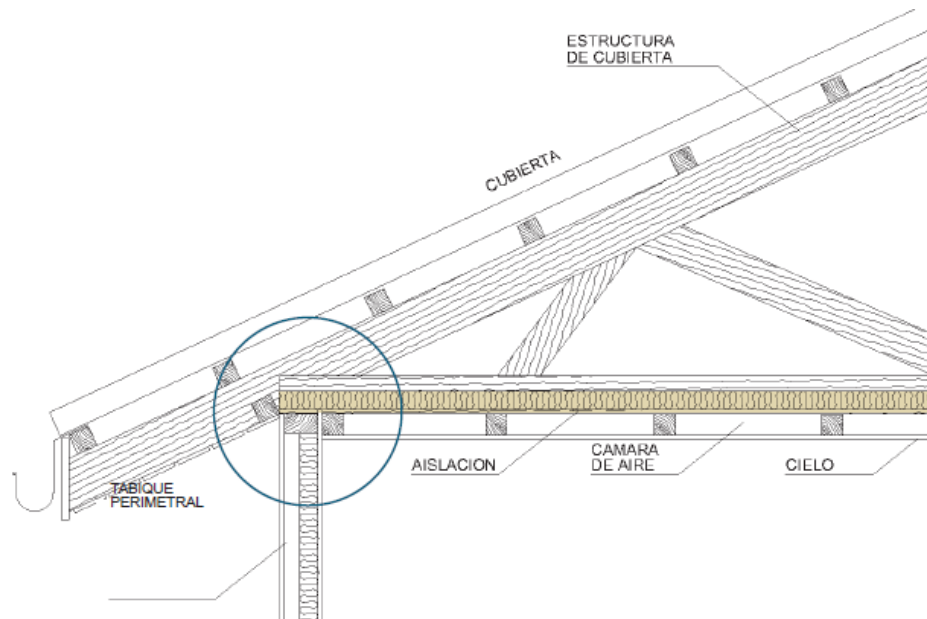


Figura 7: Encuentro de puro perimetral de madera y techumbre.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

- **Casos particulares de unión de muro con techumbre**

Para obtener una mayor continuidad en el aislamiento térmico de techumbre, todo muro o tabique que sea parte de esta tal como lucarna, antepecho, dintel u otro elemento que interrumpa el acondicionamiento térmico de la techumbre y delimite un local habitable o no, deberá cumplir con la misma exigencia que le corresponda al complejo de techumbre de la tabla 1.

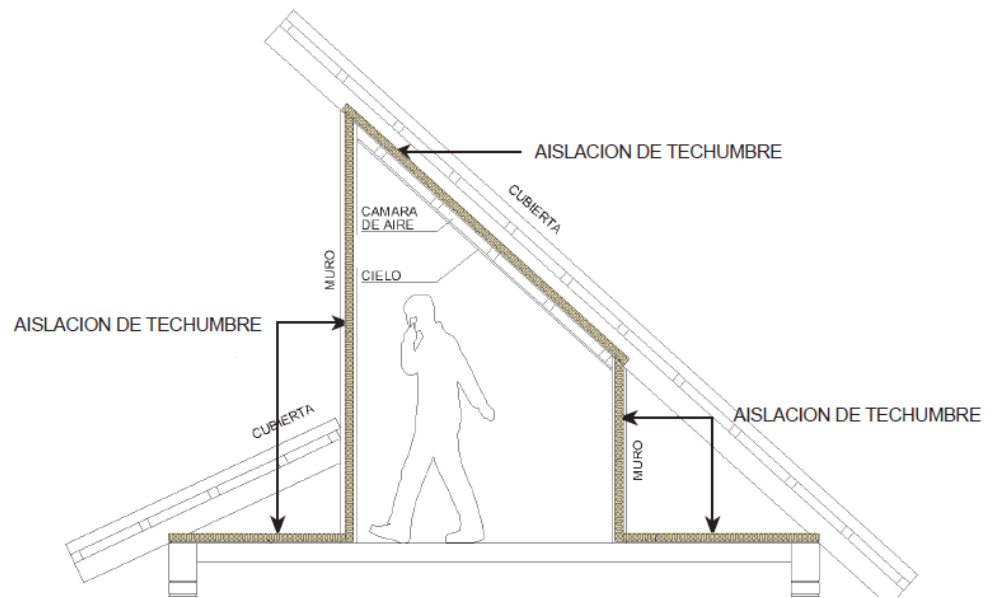


Figura 8: Muro de techumbre.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

- **Caso de existir vanos en el complejo de techumbre**

Para las ventanas o cámaras de aire que formen el complejo de techumbre de una vivienda emplazada entre las zonas 3 y 7, cuyo plano tenga una inclinación de 60° sexagesimales, se debe especificar una solución de doble vidrio hermético cuya transmitancia térmica debe ser menor igual o menor a $3.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

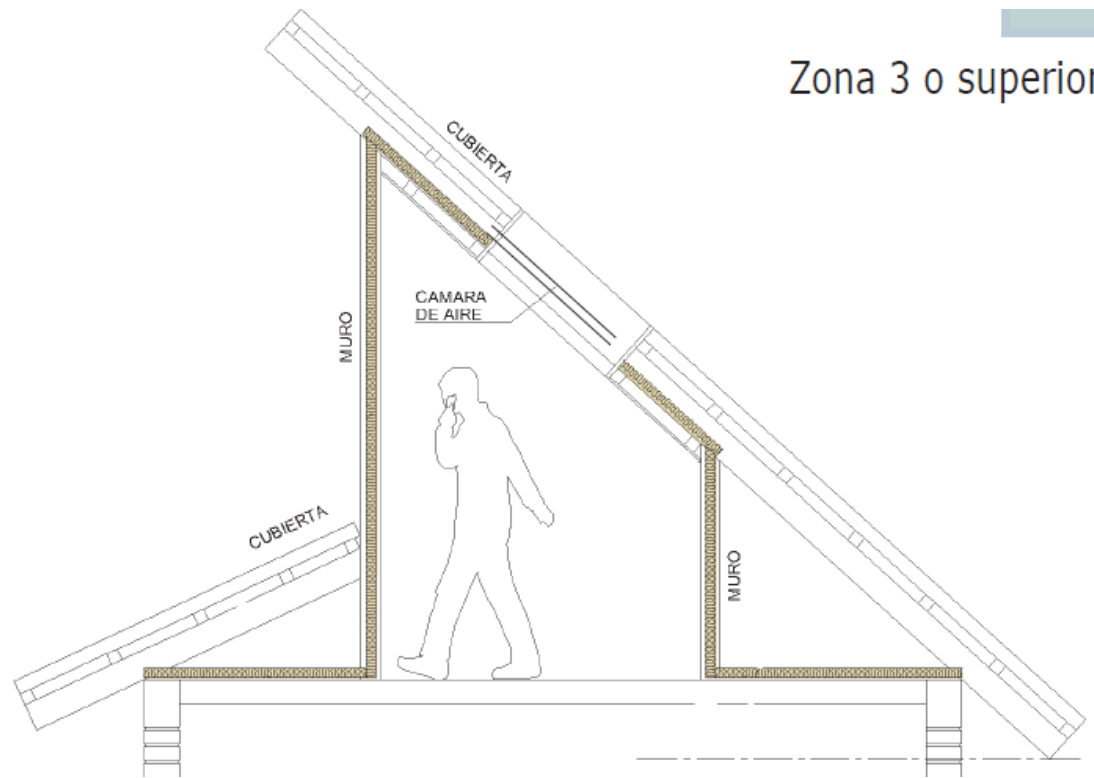


Figura 9: Forma correcta para ventanas en techumbre.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

2.4.2. Muros.

Se considera un complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y que cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación mayor a 60° sexagesimales medidos desde la horizontal, las exigencias de los muros son las siguientes.

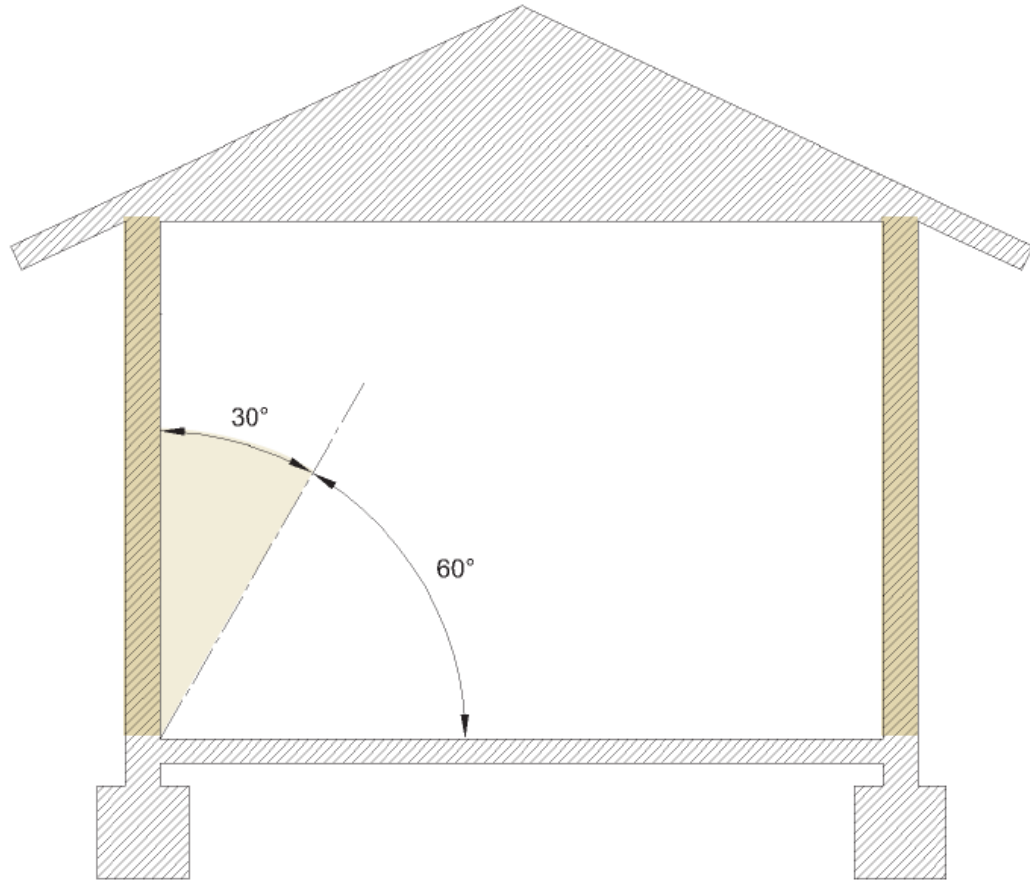


Figura 10: Complejo de muro mayor a 60° sexagesimales.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

Las exigencias de la tabla 1 son aplicables solo para muros y tabiques, soportantes y no soportantes que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos, esto no es aplicable para muros medianeros que separen las unidades independientes de la vivienda.

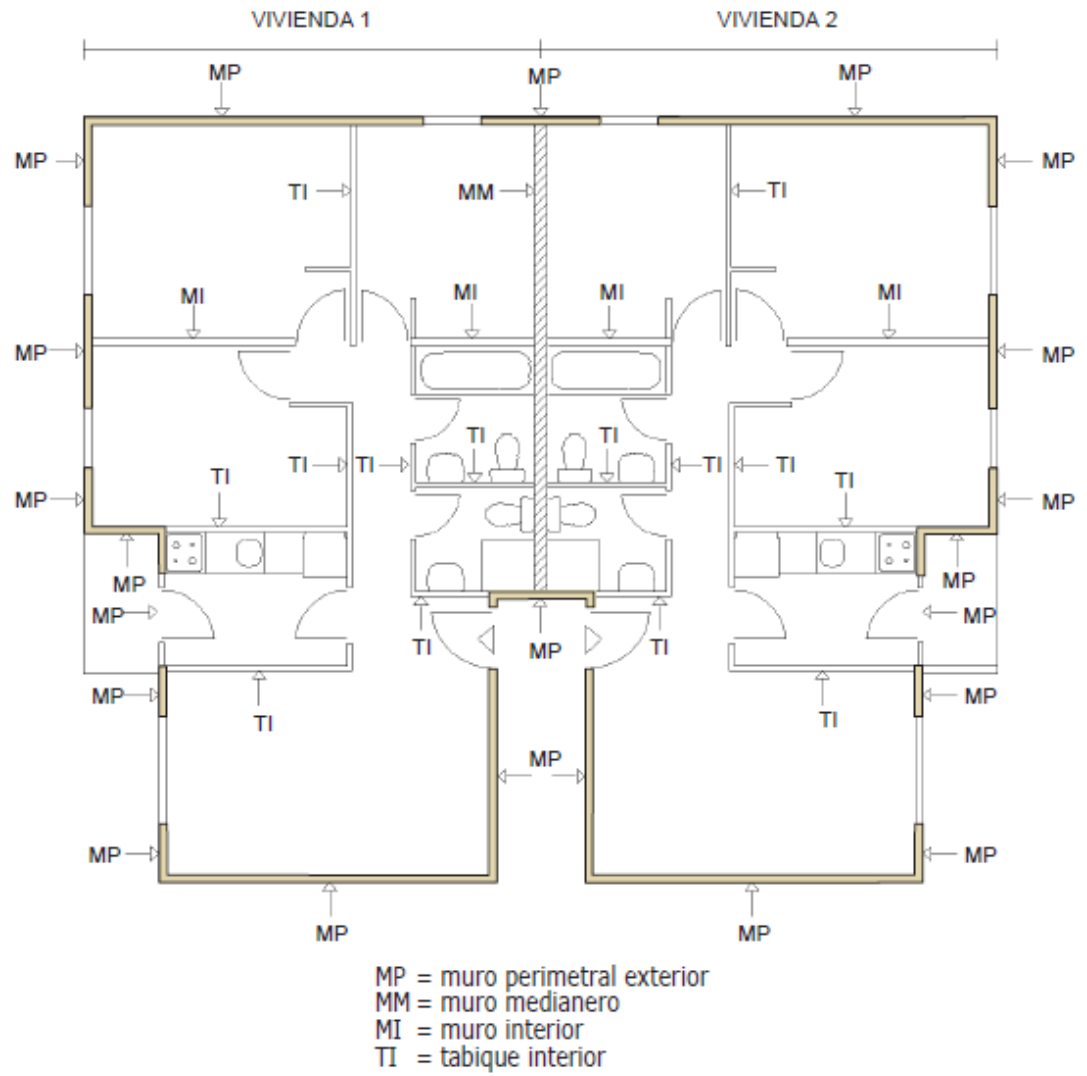


Figura 11: Esquema de vivienda sobre que muros es aplicable la tabla 1.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

Los recintos cerrados contiguos a una vivienda tales como bodegas, leñeras, estacionamientos e invernaderos, son considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación y solo les será aplicable las exigencias de la tabla 1 a los parámetros que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.

- **Manera correcta de como aislar los muros exteriores para algunas soluciones térmicas.**

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura solo podrán ser interrumpidos por elementos estructurales como pies derecho, diagonales estructurales y/o tuberías de las instalaciones domiciliarias.

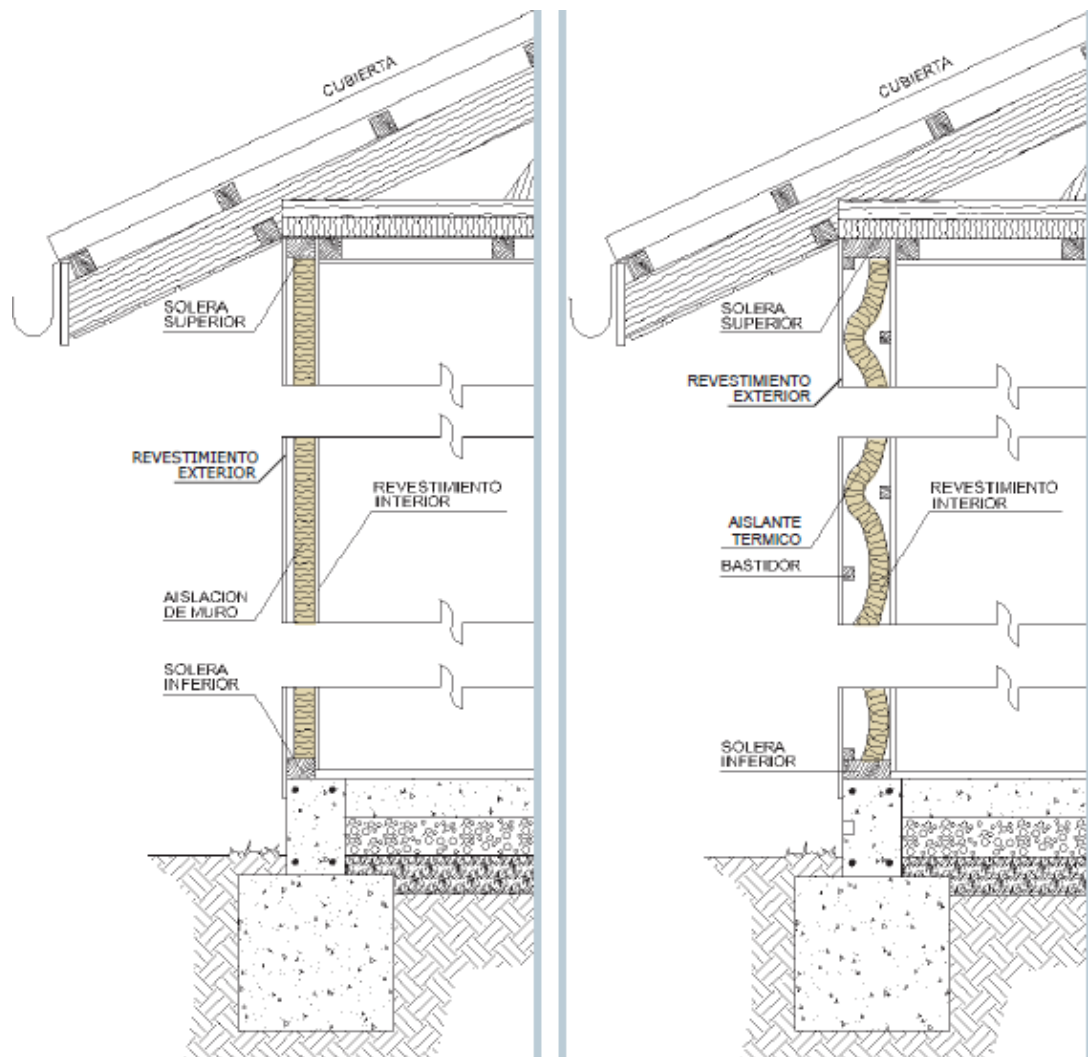


Figura 12: Forma de aislación para los muros de algunas soluciones térmicas para los muros

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

En el caso de albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh 2123, no será exigible el valor U de la tabla 1 en los elementos estructurales tales como pilares cadenas y vigas.

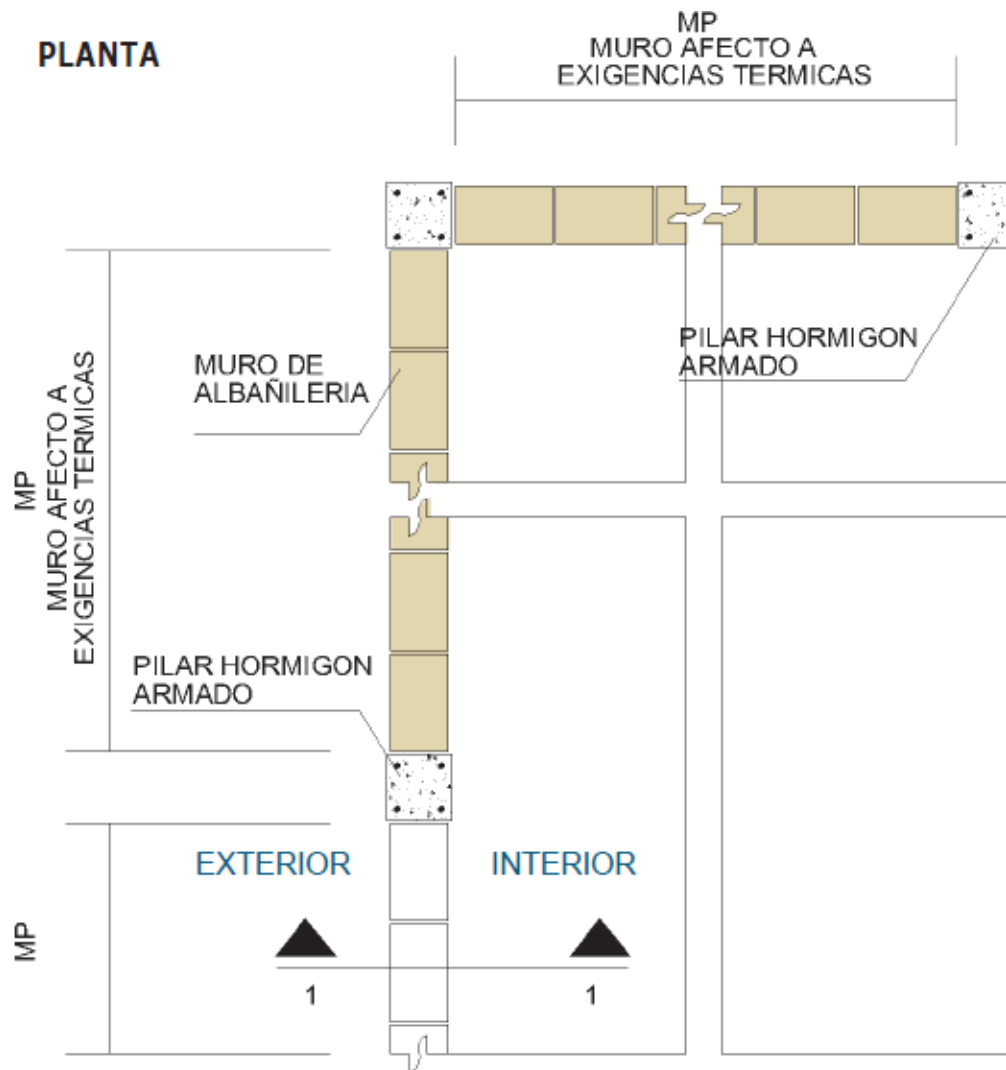


Figura 13: Vista de planta de un muro perimetral, indicando zonas de la exigencia térmica.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

CORTE 1 -1

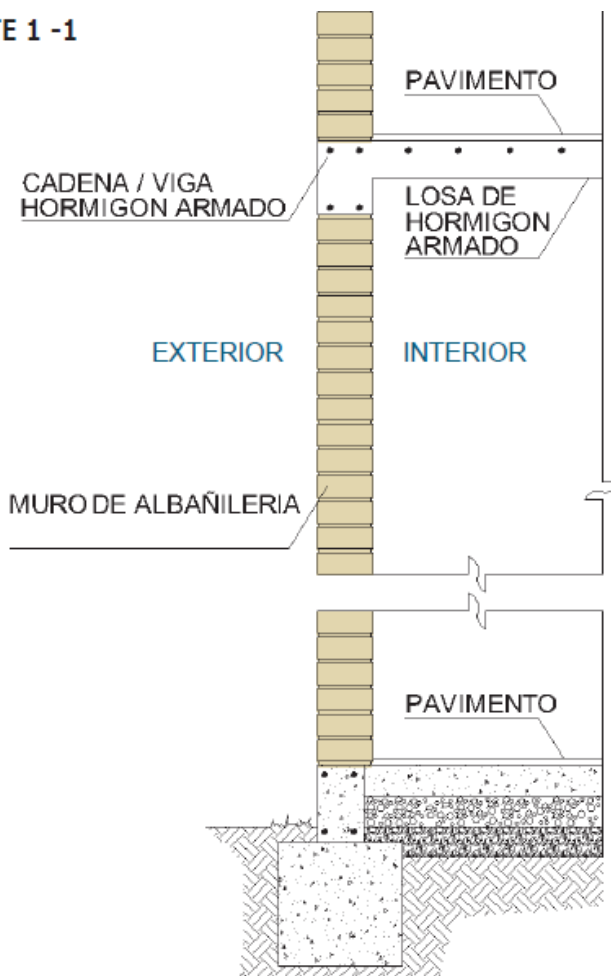


Figura 14: Corte 1-1 de la figura 13, indicando zonas de exigencia térmica.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

- **Exigencia sobre el muro si tiene una solución térmica.**

En el caso que el complejo de muro incorpore materiales aislantes, la solución constructiva deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada.

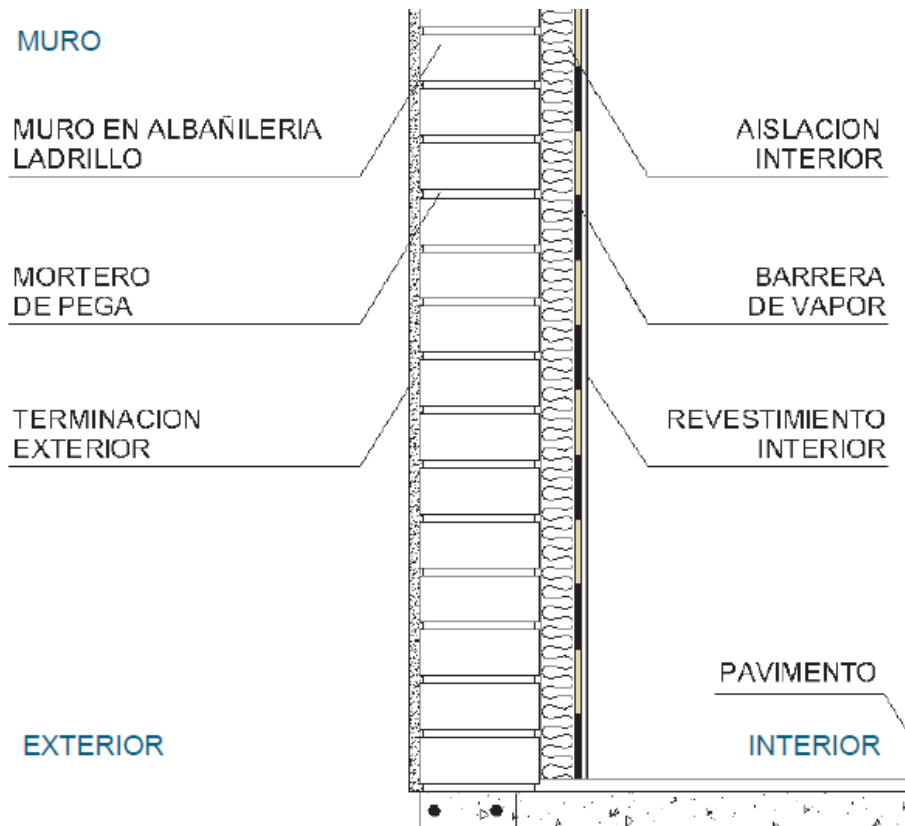


Figura 15: Corte transversal de un muro con detalles de protección a la humedad.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte III

En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberá considerarse como superficie de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas de otros materiales no tienen exigencias de acondicionamiento térmico.

2.4.3. Ventanas.

Se considera un complejo de ventanas a un elemento constructivo que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de vivienda, para determinar el cumplimiento del sistema de ventanas existen dos métodos especificados, para este caso se utilizara el método de U ponderado que es aplicable para ciertas zonas térmicas como 3; 4; 5; 6 y 7, este valor del U ponderado deberá tener un valor igual o menor al señalado de la zona en que se ubique el proyecto de arquitectura de acuerdo a la siguiente tabla:

Zona	U Ponderado (w/m ² K)
3	2.88
4	2.56
5	2.36
6	1.76
7	1.22

Tabla 2: Tabla de zonas exigidas por el método de U ponderado.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte I

Para poder determinar la trasmittancia térmica de la superficie vidriada se debe obtener el U ponderado de la vivienda usando la siguiente formulación:

$$\frac{(SM1 - U1) + (SM2 - U2) + (SMn \dots * Un \dots) + (SV * UV)}{STE} = U_{ponderado}$$

- Dónde:
- SM1 : Superficie del muro 1.
 - U1 : Trasmittancia térmica muro 1.
 - SM2 : superficie del muro 2.
 - U2 : Trasmittancia térmica muro 2.
 - SV : Superficie de ventanas.
 - UV : Trasmittancia térmica de ventana.
 - STE : Superficie total de los parámetros verticales de la envolvente.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte I

Si el proyecto de arquitectura contempla más de un tipo de ventanas, asimilados a distintos tipos de trasmittancia se ponderara toda la superficie vidriada con el valor de la trasmittancia térmica del vidrio monolítico.

2.4.4. Alternativa para cumplir las exigencias térmicas.

Para no utilizar la tabla 1 este reglamento da la posibilidad de usar una alternativa considerando el R100, este concepto está definido por la norma NCh 2251. El R100 es la resistencia térmica que tiene un material multiplicado por 100. Para considerar esta tabla los materiales deben estar certificados por un laboratorio de control técnico de calidad de construcción, estas delimitaciones del R100 se pueden ver en la siguiente tabla:

Zona	Techumbre R100(*)	Muros R100(*)	Pisos ventilados R100(*)
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

Tabla 3: Exigencias mínimas para de diferentes zonas utilizando el R100.

(*) Según la norma NCh 2250 R100 es el valor equivalente a la Resistencia térmica.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte I.

2.4.5. Soluciones genéricas constructivas.

Este punto se va a enfocar en las soluciones constructivas genéricas, para la envolvente de una vivienda, en el reglamento térmico presentan varias soluciones genéricas y que son clasificadas en dos categorías:

- Complejo de techumbre, muros y pisos.
- Complejo de ventanas.

En el caso del complejo de techumbre, muros y pisos ventilados se distinguen las siguientes subcategorías:

- Soluciones sin aislantes térmicos: No tiene aislación térmica, por lo tanto, el coeficiente de trasmittancia térmica está representado básicamente por alguna cámara de aire o por el espesor significativo de la techumbre, muro o piso.
- Soluciones con aislamiento térmico: El coeficiente de trasmittancia térmica de la solución constructiva puede estar dado por el espesor del aislante térmico (R100) y/o por la sumatoria de la resistencia térmica de las distintas capas de material que componen la solución constructiva.

En relación a la solución con aislante térmico se pueden tener 3 categorías:

- Aislante térmico en cara exterior: Aislante térmico en cara exterior de la estructura de techumbre, muro y pisos.
- Aislante térmico interior: Aislante térmico incorporado al interior de la estructura de techumbre, muro o piso.
- Aislante en cara interior: Aislante térmico en cara interior de la estructura de techumbre, muro o piso.

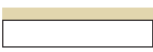


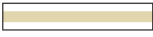

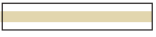



	Techumbre	Muros	Pisos
Aislante térmico en cara exterior	exterior  interior	exterior interior 	interior  exterior
Aislante térmico interior	exterior  interior		interior  exterior
Aislante en cara interior	exterior  interior		interior  exterior

Figura 16: Esquema de soluciones constructivas, considerando aislantes térmicos.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte IV

El manual presenta muchas formas y soluciones genéricas para poder cumplir con la exigencia térmica. Este estudio se enfocara en la solución con aislante térmico en su cara exterior especialmente en los muros de albañilería.

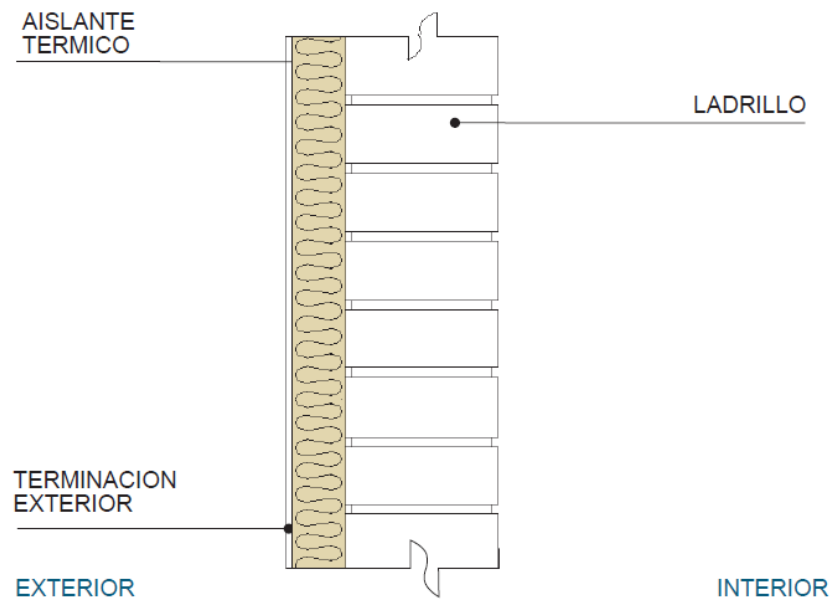


Figura 17: Muro de albañilería de ladrillo con aislante térmico adosado a su cara exterior.

Fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica parte IV

2.5. Demanda energética.

Para el análisis energético de un edificio o vivienda se necesita saber el flujo de energía que hay en la construcción y el entorno (temperatura ambiente, temperatura exterior, cargas de iluminación y calor sensible de la actividad de una persona), es decir, realizar un estudio comparativo de cómo se comporta una vivienda con su entorno considerando las ganancias y pérdidas de energía.

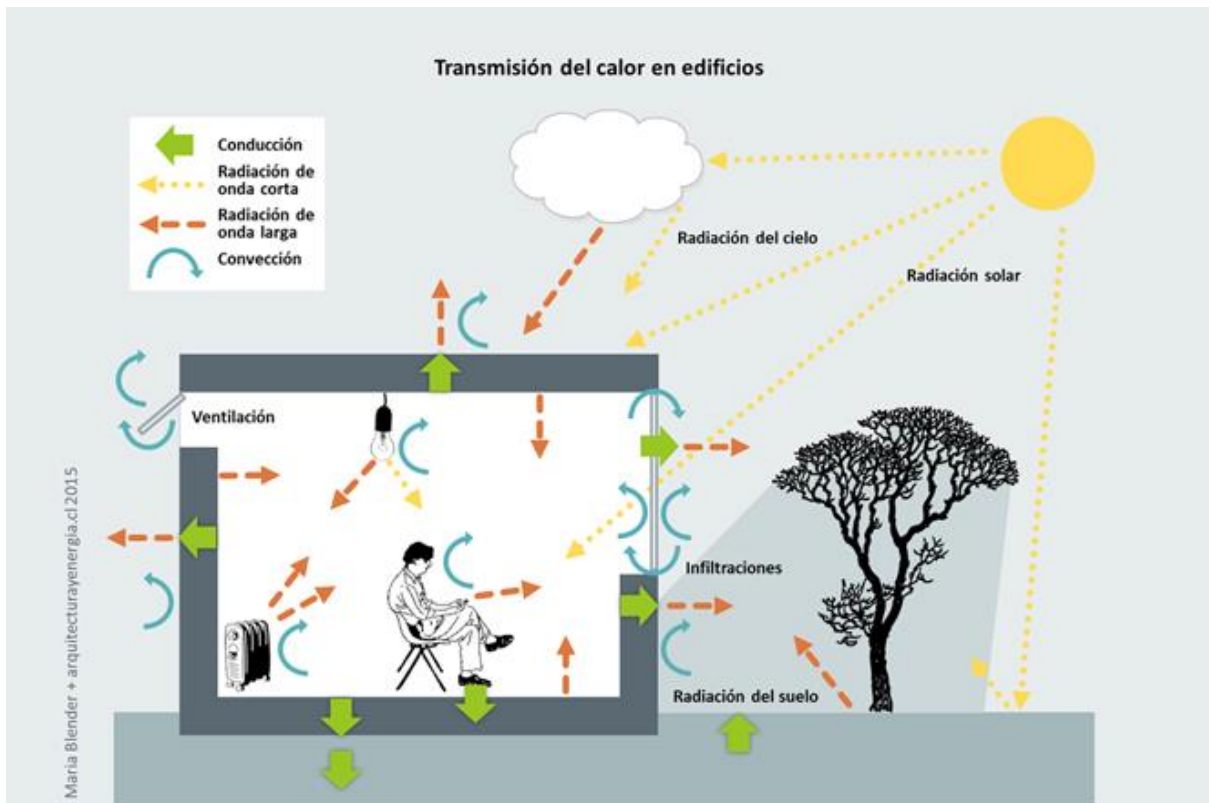


Figura 21: Esquema ilustrativo de comportamiento de pérdidas y ganancias de energía.

Fuente: www.arquitecturayenergia.cl

Como se puede ver en la figura 21 se presenta un esquema en donde están los factores más importantes en una vivienda. Donde se ve el flujo de calor aportado por el Sol, iluminación, calefactores y calor corporal de una persona (esta carga va a variar dependiendo de la actividad que se esté realizando). Como otros elementos que son aplicados a este concepto es la pérdida de calor debido a los materiales representados por las flechas verdes y el flujo de aire que hay en la vivienda.

Los elementos que aportan calor son:

- **Ganancias solares:** La radiación solar que incide en la vivienda puede generar importantes ganancias de calor, estas se obtienen de forma indirecta por medio de las superficies expuestas en el exterior (muros y cubiertas) la mejor forma de obtener este calor es mediante las ventanas, debido a eso es relevante tener una buena orientación de la vivienda. Es decir una mayor superficie de ventanas, preferentemente hacia el norte, dispuestas hacia el recorrido del sol, así se logra maximizar las ganancias solares.
- **Ganancias internas:** las ganancias internas provienen de las fuentes de calor que están situadas dentro de la vivienda. Estas incluyen las personas, la iluminación, equipos eléctricos y artefactos de cocina, prácticamente es todo lo que consume energía también genera calor.

Las pérdidas de calor:

- **Por conducción:** cuando existen pérdidas o ganancias de calor por la envolvente de vivienda, la cantidad de calor que se puede perder dependerá de las características térmicas de las soluciones constructivas, de la superficie expuesta hacia el exterior dependiendo de las diferencias de temperatura que hayan en el exterior e interior.
- **Ventilación:** Las pérdidas por ventilación ocurren cuando el aire exterior ingresa a la vivienda renovando o expulsando el aire interior hacia afuera. Esta ventilación puede darse de forma voluntaria por medio de ventanas y puertas pero también está la manera involuntaria que depende de la infiltración del aire debido a fisuras o aberturas de la envolvente.

2.6. Cálculo de cargas térmicas.

Para poder calentar el aire de una vivienda y aumentar el confort de está se debe calentar el aire y evaporar la humedad presente para esto se divide en dos conceptos.

- Calor sensible es necesario para calentar el aire de la zona.
- Calor latente necesario para evaporar la humedad o condensar el agua.

El cálculo de las cargas sensibles corresponde a todos los elementos que aportan calor. Como se muestra en la siguiente formula:

$$Q_s = Q_{sr} \pm Q_{srt} \pm Q_{si} \pm Q_{sai}$$

Dónde:

- Qs : Carga térmica sensible en Watt.
- Qsr : Carga debida a la radiación solar en Watt.
- Qsrt : Carga transmisión y radiación de paredes y techos exteriores en Watt.
- Qsi : Carga por filtraciones de aire en Watt.
- Qsai : Carga debida a aportaciones internas en Watt.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.1. Carga por radiación solar.

La radiación solar atraviesa las superficies translucidas y transparentes aportando calor en las zonas interiores de la vivienda. Implica que aumente la temperatura interior. Esta carga se obtiene mediante la siguiente formula:

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F$$

Dónde:

- Qsr : Carga térmica por radiación solar a través del cristal.
- S : Superficie translucida expuesta a radiación en m².
- R : Radiación solar que atraviesa la superficie en W/m².
- F : Factor de corrección de la radiación en función del vidrio.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.2. Carga por transmisión y radiación de paredes y techos.

La carga por transmisión y radiación que transmite a través de las paredes y techos que limitan con el exterior se calculó como sigue:

$$Q_{srt} = U \cdot S \cdot (T_i - T_{ec})$$

Donde

- Qrst : Carga a través de paredes y techos exteriores en Whatt.
- U : Coeficiente global de transmitancia térmica en W/m²K.
- S : Superficie de cada muro expuesto en m².
- Tec : Temperatura de exterior en C°.
- Ti : Temperatura interior en C°.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

Las temperaturas de interior es definida la tablas A1 (Anexo 1) de la norma NCh 1078 “Ingeniería sanitaria-artefactos eléctricos de calefacción, condiciones básicas para el funcionamiento” en ella se muestra las temperaturas de diseño considerando el uso interior del edificio y la ubicación de esta. La temperatura exterior de diseño también la define esta norma la cual para la zona de Concepción es de 5°C.

2.6.3. Carga transmitida por el aire exterior.

La carga transmitida por la ventilación de aire exterior se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta t$$

Dónde:

- Qsi : Carga de ventilación de aire en Whatt..
- V : Caudal de aire de ventilación en m³/s.
- ρ : Densidad de aire, valor 1.18 kg/m³.
- Ce : Calor específico de aire, Valor 1012 J/kgC°.
- Δt : Diferencia de temperatura exterior e interior en C°.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.4. Carga por aportaciones internas.

La ganancia de cargas debido a las aportaciones internas de una vivienda, es decir, generadas dentro de la vivienda. Corresponden a tres aportes que son la iluminación, la carga que generan los ocupantes y la carga de aparatos o artefactos electrónicos. Esta carga se calcula mediante la siguiente formula:

$$Q_{sai} = Q_{sil} \pm Q_{sp} \pm Q_{se}$$

Dónde: Q_{sil} : Carga sensible debido a la iluminación.
 Q_{sp} : Debida a ocupantes de local.
 Q_{se} : Debida a aparatos existentes.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.4.1. Carga sensible por iluminación.

Para el cálculo de la carga térmica sensible que aporta la iluminación de la vivienda se considerara que la potencia de las lámparas de iluminación (considerando ampollitas de 100 Watt) la energía aportada se trasforma en calor sensible. Esta carga se obtiene mediante la siguiente forma:

$$Q_{sil,incandescente} = n \cdot Pot_{Lampara,incandescente}$$

Dónde: N : Numero de ampollitas.
 Pot : Potencia de las bombillas en W.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.4.2. Carga sensible a la ocupación

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona (Q_{sp}), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:

- Radiación: debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- Convección: ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
- Conducción: originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- Respiración: lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- Evaporación cutánea: este aporte de calor puede ser importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, estas dependen de la actividad que se esté realizando. Esta carga es calculada de la siguiente forma:

$$Q_{sp} = n \cdot C_{Sensible, persona}$$

Dónde: N : Número de ocupantes del local.

 C_{sensible} : Calor sensible por actividad en W, según tabla (Anexo 2).

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.4.3. Carga sensible debida a aparatos existentes.

Todo aparato electrónico o artefacto genera algún tipo de calor, por lo tanto, es considerado una carga sensible que aporta a la vivienda. Para determinar la cantidad de energía que aportan a los espacios se considerara la potencia de los electrodomésticos y una estimación de horas de funcionamiento.

2.6.5. Carga latente transmitida por flujo de aire exterior.

Las cargas latentes son variación de energía que es afectada, no por la cantidad o flujo de aire, si no, que es debido a la variación de humedad que hay entre el interior e exterior. Esta carga se puede calcular como sigue:

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l,agua} \cdot \Delta w$$

Dónde: Q_{li} : Carga térmica latente de ventilación en W.
 V : Caudal de ventilación en m^3/s .
 ρ : Densidad del aire en kg/m^3 .
 C_l : Calor específico del agua en kJ/kg .
 Δw : Diferencia de humedad en exterior e interior.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.6.6. Carga latente por ocupación.

Como también en las cargas sensibles existe un factor de carga que genera la persona, esta varía dependiendo de la actividad que se esté realizando. Este factor se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{lp} = n \cdot C_{latente, persona}$$

Dónde: n : Número de personas de ocupación.
 $C_{latente}$: Calor latente por persona en W, según tabla (Anexo 2).

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

2.7. Inercia térmica.

El mayor problema que presenta una vivienda en el punto de vista térmico es mantener la vivienda en una temperatura confortable en la mayor cantidad de horas, aumentando la eficiencia energética. Para esto es necesario entender el concepto de inercia térmica, que se define como, la capacidad que tiene una masa en conservar la energía e ir liberándola progresivamente. Esta propiedad no está relacionada a un material como la conductividad, si no, que está más relacionada a un parámetro físico que se presenta en un cerramiento de una vivienda.

Tener una vivienda que tenga una buena inercia térmica significa un gran beneficio a la vivienda, debido a que en el invierno los recintos cerrados son calefaccionados durante el día, y en la noche es necesario mantener la misma temperatura del día, es aquí donde la inercia térmica de los materiales pesados (vigas y muros) amortiguan la baja de temperatura con el calor cedido de los materiales. En el verano ocurre de manera distinta, durante en el día la superficie expuesta al soleamiento y radiación del Sol. La envolvente de la vivienda absorbe el calor desde el exterior y evita que aumente la temperatura interior.

Si bien utilizar materiales pesados para aprovechar un mayor amortiguamiento de energía es recomendable utilizar aislación térmica exterior de la vivienda. Esto se debe a que el calor obtenido en el invierno se mantenga dentro de los materiales pesados y el aislante exterior no permita su pérdida de calor hacia el exterior, esto se debe a que el aislante térmico tiene una mayor resistencia térmica impidiendo está perdida. En el verano debido al soleamiento del sol en el exterior el aislante impide el ingreso de calor a la vivienda mejorando el confort interior. Como se puede ver en los siguientes gráficos, en ellos se puede ver en forma teórica cómo se comportan las diferentes viviendas al solo agregar una aislación exterior. En la figura 22 de la vivienda sin aislante exterior las curvas de temperaturas tienen una diferencia de temperaturas muy pequeña y en comparación a la figura 23 el delta de temperatura es mucho mayor alcanzando una mejor inercia térmica la vivienda con aislación exterior.

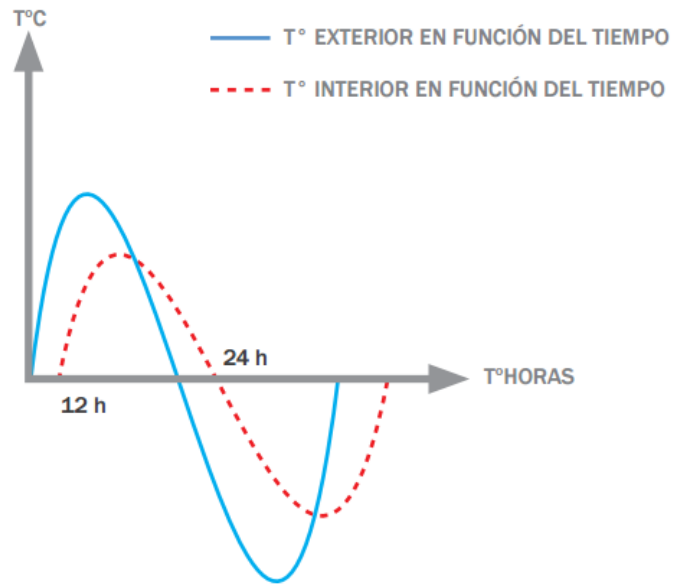


Figura 22: comportamiento térmico de una vivienda no aislada.

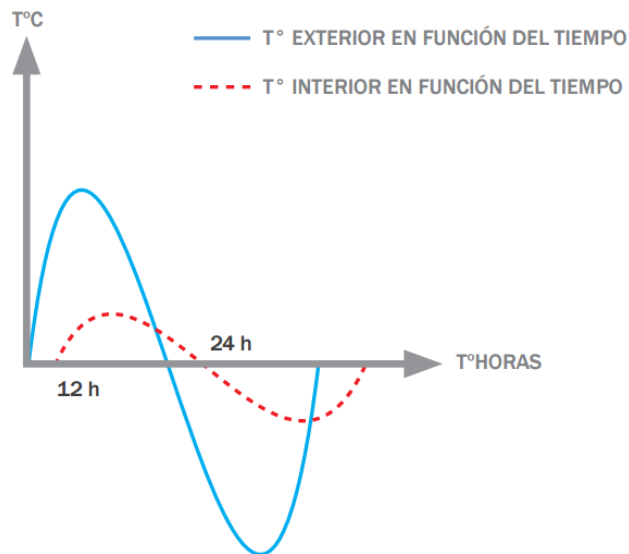


Figura 23: Comportamiento térmico de una vivienda aislada térmicamente en el exterior.

Fuente: Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso

Como se ha dicho todo elemento que pertenece a la envolvente de la vivienda tiene la capacidad de almacenar energía, al aplicar una fuente de calor esta debe calentar los elementos de la casa (muros y techos) y luego poder calefaccionar el interior. En el caso de poseer revestimiento exterior la energía que se use en calentar se va a mantener en su interior

y durante la noche o cuando se necesite, los materiales irán cediendo calor ya que son retenidos por la envolvente térmica que impide la pérdida de temperatura.

El método de cálculo de este concepto no hay un parámetro para poder calcular la inercia térmica, pero sí hay parámetro que se pueden utilizar como una alternativa de cálculo. Este parámetro es definido como admitancia térmica (Y), este se define como la capacidad de absorción de calor periódico de los materiales o elementos constructivos. La admitancia se calcula con la siguiente formulación:

$$Y = \sqrt{k \cdot \rho \cdot ce \cdot \omega}$$

- Donde
- Y : Admitancia térmica del material (W/m²°C).
 - K : Conductividad térmica (W/m²°C).
 - Ce : Calor específico (J/kg°C).
 - ρ : Densidad (kg/m³).
 - ω : Velocidad angular de la onda de temperatura diurna $\omega = 2\pi/24$.

Fuente: Capítulo 8, Arquitectura bioclimática.

3. Capítulo 3: Análisis y resultados.

La elección de usar una solución térmica exterior a las otras es porque tiene un mejor comportamiento en el muro a 3 fenómenos que son los siguientes:

- Puntos de rocío: Ocurre cuando el vapor de agua empieza a condensarse a cierta temperatura. Este efecto es un enemigo número uno para los elementos constructivos. Si hay presencia de agua dentro de un muro aumenta la probabilidad de formación de hongo y degradación en los materiales.

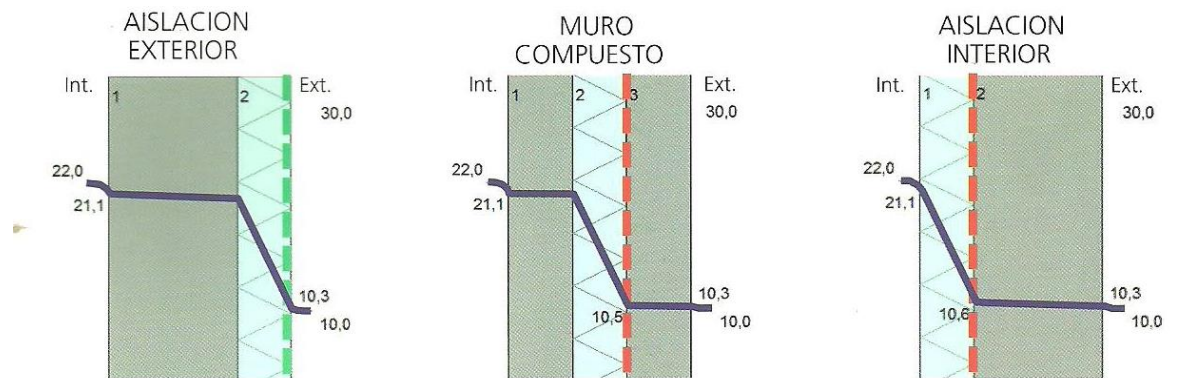


Figura 18: Esquema de punto de rocío en relación a la ubicación del material aislante.

Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.

Es la figura 18, se puede ver los gradientes de temperatura en las distintas ubicaciones del material aislante, en la aislación exterior el punto de rocío se genera en la zona exterior del muro a una temperatura de 10,3 grados Celsius generando agua en la zona exterior y aislando todo material constructivo. En el muro compuesto y de aislación exterior los puntos de rocío se generan más o menos a la misma temperatura pero debido a la ubicación del aislante térmico la formación de agua se produce entre la capa de aislación y el muro afectando la vida útil de esta construcción.

- Dilatación térmica: la dilatación térmica es la deformación de los elementos debido a los cambios de temperatura. Estos cambios de volumen pueden dañar el muro haciendo que se generen grietas permitiendo intrusión de agua en la construcción.

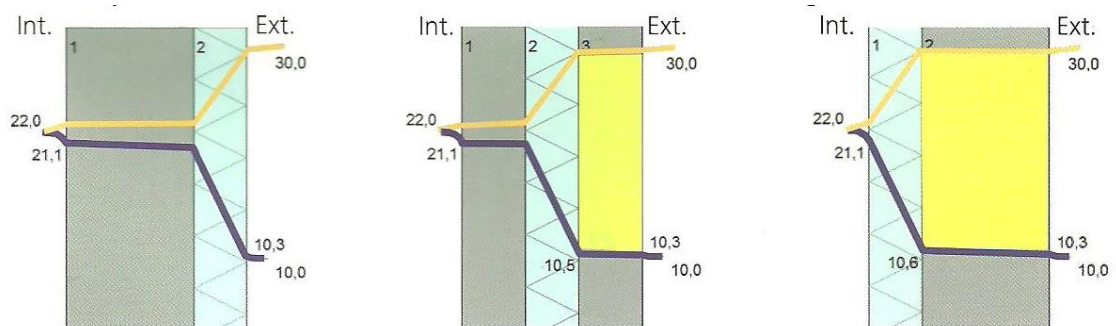


Figura 19: Esquema de dilatación térmica en relación a la ubicación del material aislante.

Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.

En la figura 19 se muestran dos líneas que corresponden a los cambios de temperatura de en condición de verano (amarillo) y condición de invierno (Azul) y las zonas amarillas corresponden a los cambios de volumen que se pueden generar. En la solución de aislante térmico exterior no hay alteración de volumen ya que el gradiente de temperatura cambia en las zonas de aislación impidiendo este fenómeno, en cambio a las otras soluciones se producen cambios de volumen que pueden generar alteraciones y afectar la durabilidad de la construcción.

- Capacidad térmica: Se refiere a la cantidad de energía que hace falta para elevar la temperatura de un material, esto depende del tipo de material que se use.

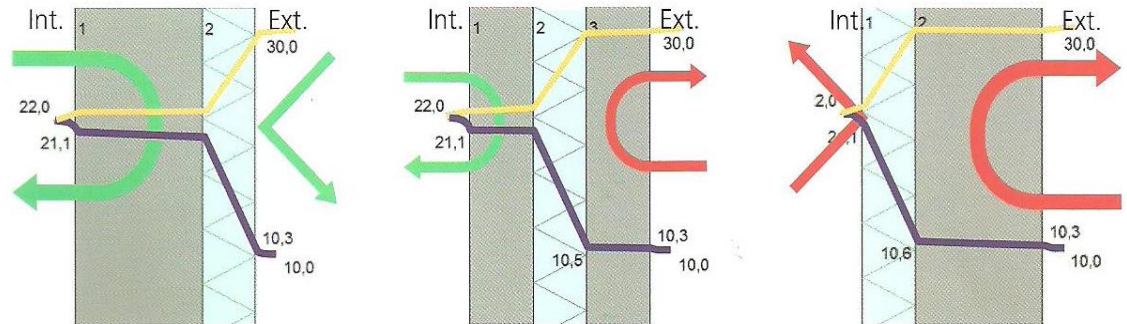


Figura 20: Esquema de capacidad térmica en relación a la ubicación del material aislante.

Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.

En la figura 20 se puede ver el comportamiento de la energía a través del muro, en la solución de aislación exterior, el flujo de energía interior se mantiene debido al aislante exterior impidiendo la pérdida de energía. En el muro compuesto ocurre el mismo fenómeno de la solución exterior, pero en una menor cantidad, como se puede apreciar en el esquema, como último usando la solución de aislación interior la energía se refleja impidiendo el flujo de energía.

Usando la solución exterior se puede minimizar o anular los puntos de rocío y la dilatación térmica aumentando la durabilidad de la construcción y mejorando el flujo de energía.

3.1. Casa de estudio.

La vivienda que se estudio es una vivienda de 79 m² habitables de dos pisos, compuesta por muros de albañilería confinada en su primer y segundo piso, losas de hormigón armado para el primer y segundo piso, la estructura de la cubierta comprende de Metalcon. En su interior está compuesta por tabiquería de volcometal instalados de acuerdo a lo que especifique el fabricante. Puertas y ventanas corresponden a puertas interiores tipo MDF y puerta de acceso de madera nativa, las ventanas serán de marco de aluminio con un vidrio de 5 mm. de espesor.



Figura 24: Casa tipo.

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Trasmittancia térmica de la vivienda tipo.

Cada elemento que forma la vivienda techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados deben cumplir con la exigencia térmica que pide el reglamento térmico artículo 4.1.10 tabla 1 en ella se presentan los rangos de trasmittancia exigidos dependiendo de la ubicación de la vivienda, para este estudio la zona térmica es la 4 que corresponde a la zona de Concepción, los resultados de trasmittancia térmica de todos los elementos que comprenden la envolvente térmica son los siguientes:

Trasmittancia térmica de la envolvente de vivienda					
Muro de albañilería					
Elemento	Espesor	Conductividad térmica	Resistencia térmica	U	U exigido
Ladrillo	0.14	0.46	0.30	2.23	1.7
Mortero	0.14	1.4	0.1		
Cubierta					
Cubierta de yeso	0.05	0.24	0.21	0.58	0.38
Polietileno	0.05	0.038	1.32		
Ventanas					
Complejo de ventana				4.04	3.6
Puerta					
Madera	0.05	0.103	0.49	1.53	

Tabla 4: Tabla de trasmittancia térmica de cada elemento constructivo de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia

Todos los elementos de la envolvente térmica de la vivienda sin ninguna solución térmica no están cumpliendo con los requerimientos que exige el reglamento térmico vigente. Muros de albañilería cubierta y ventanas están fuera de esta normativa, es decir, que la vivienda está perdiendo calor y entregándolo hacia el exterior, para lograr el cumplimiento de esta se debería cambiar el tipo de aislante en el caso de la techumbre o aumentar el espesor de esta, cambiar el tipo de ventana a otro tipo de material y vidrio, para en caso del muro existen distintas soluciones que son desarrolladas más adelante viendo el cambio que ocurre solo con mejorar los muros. El elemento de la puerta no tiene una exigencia mínima en la

reglamentación pero es incorporada para poder realizar un buen análisis de envolvente térmica, ya que esta es parte del cerramiento de la vivienda.

3.1.2. Demanda térmicas de vivienda tipo.

Para obtener la demanda térmica, clasificación energética y ahorro de calefacción se utilizó la herramienta entregada por la página de clasificación energética utilizada por el ministerio de vivienda y urbanismo para realizar las clasificaciones de sus estudios.

En esta herramienta se ingresan valores de transmitancia térmica y parámetros arquitectónicos de la vivienda, con esto el Excel entrega valores de la demanda energética que se necesita para poder estar en una zona de confort. Para esta vivienda, sin ninguna solución térmica en sus muros, la demanda de energía es de 203.3 kWh/m² al año, es decir, que al día se necesitan 43.3 kWh/día.

3.1.3. Cargas térmicas.

Todos los aportes entregados a la vivienda mediante la radiación, perdidas de energía vía la transmisión de los elementos y flujos de aire son entregados mediante las siguientes tablas calculadas según las formulas del punto 2.6 Calculo de cargas termicas

Carga de radiación solo a través de un cristal			
S (m ²)	R (W/m ²)	F	Qsr (W)
5.6	4500	0.53	4477

Tabla 5: Tabla de energía aportada por la radiación solar.

Fuente: Elaboración propia.

Vivienda con albañilería					
Elemento	U (W/m ² K)	Área (m ²)	Ti (C°)	Tec (C°)	Qsrt (W)
Albañilería	2.23	79.02	20	5.0	3803.6
Hormigón	1.72	32.2			
Cubierta	0.58	37.3			

Tabla 6: Carga de transmisión de paredes y techos.

Fuente: Elaboración propia.

Carga transmitida por el aire exterior				
V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	Ce (J/kgC°)	Δt (C°)	Qsi (W)
0.45	1.18	1012	15	9941

Tabla 7: Carga transmitida por el aire exterior.

Fuente: Elaboración propia.

Estas son las cargas que se producen diferencias entre el exterior e interior de la vivienda, porque siempre está presente el delta de temperatura, en donde se hace la diferencia de la mínima temperatura registrada en el invierno y la temperatura de confort que uno quiere obtener dentro de la vivienda. También existen los aportes internos que ocurren dentro de la vivienda que son las siguientes:

Carga sensible por iluminación		
N	Pot (W)	Qsil (W)
5	100	500

Tabla 8: Cargas aportadas por la iluminación.

Fuente: Elaboración propia.

En este cálculo se estimó que en un día estarán 5 ampolletas de 100 W prendidas aportando energía a la vivienda.

Carga sensible a la ocupación		
N	C (W)	Qsp (W)
4	72	288

Tabla 9: Carga de ocupación de las personas debido a la actividad que se esté realizando según la tabla de anexo 1.

Fuente: Elaboración propia.

Carga debida a aparatos existentes	
Artefacto	Carga (W/h)
Cocina	35
Refrigerador	180
Televisión	486
Computador	270
Microondas	300
Total	1271

Tabla 10: Carga aportada por los aparatos existentes.

Fuente: Elaboración propia.

Estas tres cargas internas que aportan dentro de la vivienda son sumadas para aportar a la carga de calefacción sensible final. También, existe un aporte de cargas latentes que son aportados por las diferencias de humedad que pueda tener la casa, es por eso también se tiene la suma de cargas latentes que son las siguientes.

Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior						
V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	Cl (kJ/kg)	W ex(%)	W in(%)	Δw	Qli
0.45	1.18	2257	0.94	0.6	0.34	407.5

Tabla 11: Carga latente por el aire exterior.

Fuente: Elaboración propia.

También existe una carga latente de la actividad de la persona la cual es:

Carga latente por ocupación		
N	Cl (W)	Qlp (W)
4	42	168

Tabla 12: carga latente de ocupación dependiendo de la actividad de la persona.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Admitancia térmica.

Como ya fue explicado anteriormente, la admitancia térmica es solo un parámetro para poder cuantificar la inercia térmica. Para esto se consideraron los elementos constructivos en formas individuales y sumadas. Con esto se puede saber cuánta es la cantidad de energía que puede almacenar la vivienda como se puede ver en la siguiente tabla:

Admitancia térmica			
Muro de albañilería			
U (W/mK)	Ce (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	Y (W/m ² K)
0.55	750	1000	328.6
Cubierta			
0.038	30	1200	18.9
Pilares Hormigón			
0.34	837	2200	404.9
Total			752

Tabla 13: Admitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica.

Fuente: Elaboración propia.

La admitancia térmica total es de 752 W/m²K, se puede decir que la vivienda sin ninguna solución térmica tiene la capacidad de almacenar energía y luego liberarla, pero al no tener una solución que contenga el calor esta se va perdiendo de a poco hacia el exterior, luego se va a realizar una comparación entre las tres viviendas en donde se mostrará que la admitancia térmica de esta vivienda es muy inferior en comparación a las otras.

3.2. Modelo vivienda tipo con solución STO.

La vivienda con esta solución corresponde a una solución de revestimiento exterior que comprende de una plancha de polietileno expandido de alta densidad, con un espesor de tres cm, esta plancha corresponde al aislante térmico, luego corresponde a la terminación como se puede apreciar en la siguiente imagen.



Figura 25: Esquema de revestimiento exterior solución STO.

Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.

Esta solución en general se puede apreciar de la siguiente manera:



Figura 26: Vivienda tipo con la solución STO.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la vivienda no presenta alguna modificación en la estructura, es una solución que no afecta el método constructivo, una vez terminada la construcción de la vivienda se puede aplicar esta solución.

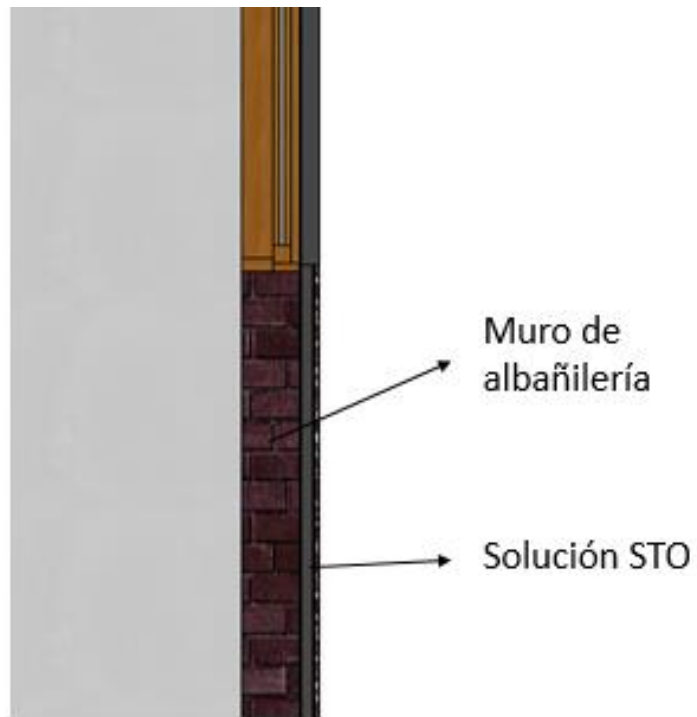


Figura 27: Corte transversal de un muro con solución STO.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Trasmittancia térmica de vivienda tipo con solución STO.

Para este caso, donde la solución es agregar planchas de polietileno expandido a la parte exterior de la vivienda, con el objetivo de disminuir la trasmittancia térmica haciendo que la vivienda sea más eficiente y principalmente cumplir con el manual de aplicación térmica. Como se presentará a continuación, la tabla de trasmittancia térmica de la vivienda.

Trasmittancia térmica de la envolvente de vivienda					
Muro de albañilería con solución STO					
Elemento	Espesor	Conductividad térmica	Resistencia térmica	U	U exigido
Aislapol alta densidad	0.03	0.038	0.79	0.75	1.7
Mortero de pega	0.005	1.4	0.004		
Acabado	0.01	2.33	0.004		
Cubierta					
Cubierta de yeso	0.05	0.24	0.208	0.58	0.38
Polietileno	0.05	0.038	1.316		
Ventanas					
Complejo de ventana				4.04	3.6
Puerta					
Madera	0.05	0.103	0.485	1.53	

Tabla 14: Tabla de trasmittancia térmica con la solución exterior STO.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 14 al agregar planchas de polietileno expandido de alta densidad (20 Kg/m³) la trasmittancia térmica baja un 66% respecto al muro de albañilería sin tener solución térmica, así cumpliendo la exigencia térmica. Los otros parámetros de ventana y cubierta no son modificados, ya que los objetivos de este proyecto es realizar un análisis comparativo de los muros de la vivienda por lo que estos elementos se mantienen para el estudio.

3.2.2. Demanda térmica con solución STO.

La demanda térmica es cantidad de energía que se necesita para tener una temperatura de confort en su interior, al aplicar una solución térmica de forma lógica se entiende que la demanda de la vivienda debe bajar ya que al impedir que la energía se pierda por los muros la cantidad de energía debe ser menor, usando el análisis que es entregado por la herramienta del gobierno la demanda térmica al aplicar la solución STO es de 141 kWh/m² al año que se traduce a 30.9 kWh/día. Al comparar ambas demandas, al agregar solo una solución térmica la demanda baja un 31%.

3.2.3. Cargas térmicas de la vivienda.

Las cargas aportadas a la vivienda van a ser similares a la casa sin una solución térmica, debido que el único punto que es alterado debido al mejoramiento térmico de la vivienda es la carga por transmisión. Estas cargas son las siguientes:

Carga de radiación solo a través de un cristal			
S (m ²)	R (W/m ²)	F	Qsr (W)
5.6	4500	0.53	4477

Tabla 15: Carga de la radiación solar.

Fuente: Elaboración propia.

Vivienda con solución STO					
Elemento	U (W/m ² K)	Área (m ²)	Ti (C°)	Tec (C°)	Qsrt (W)
Murto STO	0.75	79.02	20	5	1560
Cubierta	0.58	37.3			
Hormigón STO	0.73	32.2			

Tabla 16: Carga por transmisión a través de los elementos de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Carga transmitida por el aire exterior				
V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	Ce (J/kgC°)	Δt (C°)	Qsi (W)
0.45	1.18	1012	15	8061

Tabla 17: carga por transmisión a través del aire.

Fuente: Elaboración propia.

Como también fue explicado en la vivienda anterior existen cargas internas aportadas a la vivienda debido a la iluminación, artefactos de la vivienda y la actividad de las personas que estén en ella es por eso que las cargas internas son las siguientes:

Carga sensible por iluminación		
N	Pot (W)	Qsil (W)
5	100	500

Tabla 18: Carga interna aportada por iluminación.

Fuente: Elaboración propia.

Carga sensible a la ocupación		
N	C (W)	Qsp (W)
4	72	288

Tabla 19: Carga aportada por la actividad de las personas.

Fuente: Elaboración propia.

Carga debida a aparatos existentes	
Artefacto	Carga (W/h)
Cocina	35
Refrigerador	180
Televisión	486
Computador	270
Microondas	300
Total	1271

Tabla 20: Carga aportada por los artefactos existentes de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que la anterior vivienda las cargas latentes debido a la variación de humedad son las siguientes:

Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior						
V (m3/s)	ρ (kg/m3)	Cl (kJ/kg)	W ex(%)	W in(%)	Δw	Qli
0.45	1.18	2257	0.94	0.6	0.34	407.5

Tabla 21: Carga latente de la vivienda debido a los flujos de aire.

Fuente: Elaboración propia.

Carga latente por ocupación		
N	Cl (W)	Qlp (W)
4	42	168

Tabla 22: Carga latente de la personas.

Fuente: Elaboración propia.

Las cargas sensibles y latentes de la vivienda son similares debido a que no se modifica las temperaturas de diseño y las propiedades del aire siguen siendo las mismas. El punto donde la carga térmica baja es cuando se considera la transmisión de los elementos donde la solución de la STO.

3.2.4. Admitancia térmica.

Como se ha dicho anteriormente, la admitancia térmica es un parámetro para cuantificar la inercia térmica, pero se sabe que al tener una solución exterior hace que la vivienda tenga una buena inercia térmica debido a que la calefacción que se aplica en su interior el calor es almacenado en los elementos de la envolvente y no son liberados hacia el exterior ya que la solución térmica impide que se pierda más calor hacia el exterior. Debido a esto, cuando la calefacción se apague los elementos de la envolvente van a aporta más energía hacia el interior, mejorando el confort de la vivienda, al cuantificar este punto se traduce a la siguiente tabla:

Admitancia térmica			
Muro de albañilería			
U (W/mK)	Ce (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	Y (W/m ² K)
0.55	750	1000	328.6
Cubierta			
0.038	30	1200	18.9
Pilares Hormigón			
0.34	837	2200	404.9
Solución STO			
1.256	1200	1050	643.7
Total			1396

Tabla 23: Admitancia térmica de la vivienda con solución STO.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Modelo vivienda tipo con solución de placa FG1.

Esta solución es similar a la solución de la STO, es una solución de revestimiento exterior. Pero, tiene la particularidad que la transmitancia térmica del elemento mineral es mucho menor a la del polietileno expandido de alta densidad, otra particularidad es que no es necesario tener una terminación debido a que el panel cumple con los fines térmicos, resistente al fuego y estéticos.

La instalación de esta solución es muy similar a la de la STO, la forma de instalación es agregar mortero de pega a los muros, luego aplicar las planchas FG1.



Figura 27: Vivienda tipo con la solución con panel.

Fuente: Elaboración propia.

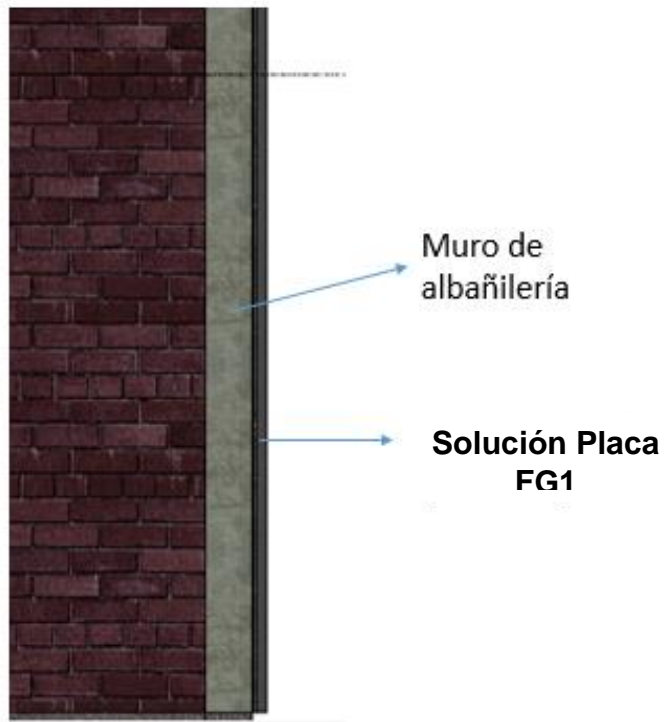


Figura 28: Corte transversal con panel de perlita expandida.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Trasmittancia térmica vivienda tipo con solución con planchas FG1.

Con esta solución se busca alcanzar similares resultados que la solución de la STO, con un costo de inversión similar y una instalación más eficiente. Debido a esto los valores de la trasmittancia térmica son los siguientes:

Trasmittancia térmica de la envolvente de vivienda					
Muro de albañilería con solución de placa FG1					
Elemento	Espesor	Conductividad térmica	Resistencia térmica	U	U exigido
Mortero de pega	0.005	1.4	0.004	0.86	1.7
Placa FG1	0.04	0.065	0.615		
Cubierta					
Cubierta de yeso	0.05	0.24	0.208	0.58	0.38
Polietileno	0.05	0.038	1.316		
Ventanas					
Complejo de ventana				4.04	3.6
Puerta					
Madera	0.05	0.103	0.485	1.53	

Tabla 24: Trasmittancia térmica de la vivienda con solución la placa FG1.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver al aplicar otro tipo de solución a la vivienda también está bajo los límites de la que exige la reglamentación térmica. Como se aprecia la solución de la placa FG1 tiene una trasmittancia similar a la otra solución presentada, en esta no es necesario hacer un acabado arquitectónico debido a que la plancha de perlita tiene una acabado similar.

3.3.2. Demanda térmica.

Al considerar una nueva solución térmica, la demanda en comparación a la vivienda, en su estado actual, debe ser menor, como ocurre en la primera solución. Considerando la herramienta de clasificación energética la demanda asociada a la solución de la placa FG1 es de 145.5 kWh/m² al año es decir 31.9 kWh/día bajando la demanda a un 28% en comparación a la vivienda normal sin solución térmica y comparado a la vivienda con solución STO existe una diferencia de un 3% entre estas.

3.3.3. Cargas térmicas.

Igual que la solución de la STO las cargas latentes y sensibles son iguales excepto a la carga por transmisión como se detalla a continuación:

Carga de radiación solo a través de un cristal			
S (m ²)	R (W/m ²)	F	Qsr (W)
5.6	4500	0.53	4477

Tabla 25: Carga de radiación a través del cristal.

Fuente: Elaboración propia.

Vivienda con solución de perlita expandida					
Elemento	U (W/m ² K)	Área (m ²)	Ti (C°)	Tec (C°)	Qsrt (W)
Placa FG1	0.86	79.0	20	5	1749
Cubierta	0.58	37.3			
Hormigo con FG1	0.83	32.2			

Tabla 26: Carga de transmisión de los elementos.

Fuente: Elaboración propia.

Carga transmitida por el aire exterior				
V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	Ce (J/kgC°)	Δt (C°)	Qsi (W)
0.45	1.18	1012	15	8061

Tabla 27: Cargas debido al aire exterior.

Fuente: Elaboración propia.

Igual que las otras dos cargas térmicas las cargas asociadas al interior de la vivienda son las siguientes:

Carga sensible por iluminación		
N	Pot (W)	Qsil (W)
5	100	500

Tabla 28: Carga por iluminación.

Fuente: Elaboración propia.

Carga sensible a la ocupación		
N	C (W)	Qsp (W)
4	72	288

Tabla 29: Carga de ocupación debido a la actividad de la persona.

Fuente: Elaboración propia.

Carga debida a aparatos existentes	
Artefacto	Carga (W/h)
Cocina	35
Refrigerador	180
Televisión	486
Computador	270
Microondas	300
Total	1271

Tabla 30: Cargas aportadas por los artefactos de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Las cargas térmicas sensibles son iguales a las anteriores debido a que no hay cambios que afecten debido a que están en condiciones similares, solo cambia la carga de transmisión debido a los elementos de la vivienda que se agrega la solución de perlita expandida.

Al igual que las viviendas anteriores también hay cargas latentes de la vivienda que son las siguientes:

Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior						
V (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	Cl (kJ/kg)	W ex(%)	W in(%)	Δw	Q _{li}
0.45	1.18	2257	0.94	0.6	0.34	407.5

Tabla 31: Carga latente debido al aire exterior.

Fuente: Elaboración propia.

Carga latente por ocupación		
N	Cl (W)	Qlp (W)
4	42	168

Tabla 32: Carga latente debido a la actividad de la persona.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Admitancia térmica.

Al ser una solución térmica exterior va a tener una mejor inercia térmica. La vivienda en comparación a la casa sin soluciones térmicas, debido a las razones explicadas anteriormente, a esto la admitancia térmica de la solución de perlita expandida es la siguiente

Admitancia térmica			
Muro de albañilería			
U (W/mK)	Ce (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	Y (W/m ² K)
0.55	750	1000	328.6
Cubierta			
0.038	30	1200	18.9
Pilares Hormigón			
0.34	837	2200	404.9
Placa FG1			
0.73	837	450	268.8
Total			1021

Tabla 33: Admitancia térmica de la vivienda con solución de perlita expandida.

Fuente: Elaboración propia.

Al saber que tener una solución exterior da como resultado una buena inercia térmica, en comparación a la solución de la STO tiene una menor admitancia térmica, debido a las propiedades físicas de esta placa son menores a una plancha de polietileno expandido. Pero al ser menor en comparación a la solución de la STO, tener un recubrimiento exterior genera inercia térmica, evitando pérdidas de calor y gastar más dinero para mantener la temperatura de confort durante las horas que no se esté usando la calefacción.

3.4. Comparación de resultados.

El objetivo de este proyecto es realizar la comparación energética considerando la situación actual y usando dos soluciones térmicas, estos casos ya fueron desarrollados de manera individual, pero corresponde realizar una comparación para concluir y saber qué diferencias tienen. A continuación se presenta una tabla comparativa en donde se encuentra la vivienda en la situación actual junto con las soluciones.

	Situación actual	Solución STO	Solución placa FG1
Superficie Útil	79 (m ²)	79 (m ²)	79 (m ²)
Demanda de calefacción	203.3 (kWh/m ² a)	141.3 (kWh/m ² a)	146 (kWh/m ² a)
Carga de calefacción total	-5568(W)	-3325 (W)	-3513 (W)
Trasmittancia térmica pared	2.23 W/(m ² K)	0.76 W/(m ² K)	0.86 W/(m ² K)
Trasmittancia térmica Cubierta	0.58 W/(m ² K)	0.58 W/(m ² K)	0.58 W/(m ² K)
Trasmittancia térmica vidrio	5.8 W/(m ² K)	5.8 W/(m ² K)	5.8 W/(m ² K)
Trasmittancia pilares de hormigón	1.72 W/(m ² K)	0.73 W/(m ² K)	0.83 W/(m ² K)
Admittancia térmica	752 W/(m ² K)	1396 W/(m ² K)	1021 W/(m ² K)
Clasificación energética	F	D	D
Ahorro de energía	-13%	20%	18%

Tabla 34: Comparación de resultados térmicos y clasificación energética.

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar la vivienda en su situación actual a otras soluciones térmicas, se puede concluir de manera inmediata que cualquier solución térmica que se aplique a una vivienda va a mejorar en el ahorro de energía. En la vivienda actual utilizando la herramienta del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, la vivienda da como resultado pérdidas de energía de un 13%, esto puede ocurrir debido a las filtraciones de aire que puede tener la vivienda, por la superficie vidriada y la alta transmitancia térmica de los materiales de la envolvente, que no están cumpliendo el reglamento. Al usar una solución térmica en los muros la situación energética de la vivienda aumenta de manera positiva debido que ya no se pierde energía, este ahorro se debe a la inercia térmica que tiene ahora la vivienda impidiendo que el calor interior de la casa se pierda sino que se almacena en los materiales para que después se libere.

Otro elemento a considerar al usar una solución térmica es que la demanda de energía al año es menor un 30 % para la solución de la STO y un 28% con la solución de la placa FG1, se debe a las mismas razones explicadas anteriormente, porque la inercia térmica ayuda en verano el ingreso de calor exterior hacia adentro de la casa y en invierno almacenando energía haciendo que la demanda para calefaccionar una vivienda sea menor al solo aplicar estas soluciones.

Las cargas térmicas, como se sabe son el calor aportado a la vivienda, al analizar las tres viviendas sin usar una fuente de calefacción las cargas térmicas son negativas. Debido a que el calor ganado no es suficiente para mantener la vivienda en su temperatura de confort y que es necesario agregar una fuente de calor. En los tres casos es necesario tener una estufa para aumentar las cargas, pero si en las viviendas con solución exterior se puede usar un calefactor con menor potencia que implicara un menor costo de inversión o usar la misma fuente de calor que la vivienda actual pero se utilizara en una menor cantidad de tiempo en ambos casos existe un ahorro de dinero.

El parámetro que se utilizó para cuantificar la inercia térmica según los resultados las tres viviendas tienen una capacidad de almacenar energía, la vivienda en su situación actual (sin solución térmica) tiene una admitancia térmica de $752 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, debido que es capaz de mantener el calor en sus elementos, pero al no tener un aislante en el exterior este

calor almacenado se va perdiendo a medida que pasan las horas y no va a ser capaz de devolverlo a su interior. Las viviendas con soluciones térmicas tienen una mayor capacidad de almacenar energía, la solución STO tiene una mejor capacidad debido a que tiene una mejor densidad en sus materiales que la solución FG1, pero si en ambas el calor se podrá almacenar en los muros, debido que el aislante impedirá que el calor se pierda y así poder recuperar esta energía en las horas que no se calefacción la vivienda.

Los ahorros energéticos que entrega la herramienta del ministerio de vivienda se pueden usar para determinar cuánto tiempo se puede recuperar la inversión, pero también con esto se puede saber si mi vivienda está perdiendo o ahorrando energía. Como en la vivienda en su situación actual a no entrar dentro de los parámetros establecidos por la normativa existe una pérdida de energía y a la vez una mala clasificación energética. En comparación a los casos que si tiene una solución térmica el ahorro de energía es mayor y mejora su nota en su clasificación.

4. Capítulo 4: Análisis económico de las soluciones térmicas.

Tener un completo análisis térmico de la vivienda conociendo su demanda energética y el ahorro estimado de energía, se puede hacer una estimación de cuánto dinero se va a ahorrar mensualmente para calefacciones una vivienda usando distintas fuentes de calor y así cumplir con la exigencia térmica en sus muros.

Para realizar el análisis de inversión y ahorro, se utilizó el ahorro de energía entregado por la herramienta del MINVU (Tabla 34), para cada solución térmica hay un ahorro energía. Todo el diseño térmico de la vivienda fue realizado en el periodo de otoño invierno por lo que la cantidad de meses para el análisis es de seis meses. La inversión de cada solución considerando mano de obra y materiales fue analizada mediante la herramienta de Análisis de Precios Unitario (A.P.U.).

Para tener un completo análisis en la inversión, se usaran distintas fuentes de calefacción con sus gastos mensuales para saber el comportamiento dependiendo de las distintas fuentes, los valores a utilizar son parámetros estimativos por la guía de calefacción sustentable para las zonas Rancagua – Curicó – Talca – Chillan – Concepción y Los Ángeles.

4.1. Inversión Solución STO.

Para determinar los costos de esta solución térmica, se solicitó un presupuesto al área comercial STO Chile, en la cual se nos entregó un detalle de los materiales por metro cuadrado a utilizar. En este presupuesto, no se considera la mano de obra que debe ser especializada y tampoco el precio del polietileno expandido de alta densidad. Debido a falta de estos parámetros se realizaron nuevos análisis de precios unitarios de forma independiente la instalación del revestimiento de polietileno expandido y la terminación de la solución. (El detalle del A.P.U. se puede ver en el anexo 3).

Sumando ambos análisis se tiene que el precio por metro cuadrado \$25.063. La cantidad de metros cuadrados de la vivienda que se deben cubrir es de 80 m², multiplicando estos dos números se tiene que la inversión total para la solución de la STO es de \$2.005.047.

Considerando la inversión inicial y el ahorro que produce esta solución térmica y considerando distintas fuentes de calefacción se obtiene los siguientes resultados:

	Sistemas de calefacción			
	Leña	Parafina	Gas licuado	Electricidad
Gasto mensual	\$ 40.500	\$ 50.000	\$ 63.000	\$ 144.000
Ahorro	33%	33%	33%	33%
Ahorro mensual	\$ 13.365	\$ 16.500	\$ 20.790	\$ 47.520
Ahorro periodo de invierno	\$ 80.190	\$ 99.000	\$ 124.740	\$ 285.120
Inversión por metro cuadrado	\$ 25.063	\$ 25.063	\$ 25.063	\$ 25.063
Inversión total STO	\$ 2.005.047	\$ 2.005.047	\$ 2.005.047	\$ 2.005.047

Tabla 35: Tabla resumen de inversión-tiempo de recuperación de distintas fuentes de calefacción.

Fuente: Elaboración propia.

Para cumplir con la norma en los muros es necesario invertir en alguna solución térmica, la solución que actualmente se encuentra en el mercado tiene un costo de inversión de \$25.063 por metro cuadrado. Considerando que esta solución genera un ahorro de energía de calefacción de un 33% en comparación a la vivienda que no tiene un sistema de protección, implica un ahorro de dinero mensual que varía dependiendo del sistema de calefacción que se esté utilizando

4.2. Solución de placa FG1.

Ya se tiene un análisis económico de la vivienda con la solución comercial que actualmente está, pero se tiene que comparar el costo que se tiene para el revestimiento exterior con la placa FG1. Al alcanzar valores similares en su demanda y cargas energéticas ahora se debe saber cuándo es el costo que hay que invertir en esta solución.

Como también en la solución comercial para determinar la inversión total se realizó un análisis de precio unitario. En esta solución se considera una mano de obra mucho más eficiente debido a que la instalación es de manera más rápida y no es necesario tener una mano de obra calificada. (El detalle del precio unitario se encuentra en el anexo 3).

Al realizar este análisis se tiene que construir un metro cuadrado de solución de perlita tiene un costo de \$26.465, considerando 80 m² que se debe cubrir se tiene una inversión total de \$2.117.229.

Para saber el ahorro mensual e inversión final para la vivienda de estudio se puede ver en la siguiente tabla

	Sistemas de calefacción			
	Leña	Parafina	Gas licuado	Electricidad
Gasto mensual	40500	50000	63000	144000
Ahorro	31%	31%	31%	31%
Ahorro mensual	\$ 12.555	\$ 15.500	\$ 19.530	\$ 44.640
Ahorro periodo de invierno	\$ 75.330	\$ 93.000	\$ 117.180	\$ 267.840
Inversión por metro cuadrado	\$ 26.465	\$ 26.465	\$ 26.465	\$ 26.465
Inversión total de placa FG1	\$ 2.117.229	\$ 2.117.229	\$ 2.117.229	\$ 2.117.229

Tabla 36: Tabla resumen de inversión total y ahorro mensual de distintas fuentes de calefacción.

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las inversiones, esta solución es un poco más cara que la de polietileno expandido (STO), pero usar esta placa tiene otro beneficio, al estar formada por un compuesto mineral esta es resistente al fuego no así la solución de la STO. Como también usando esta solución se está cumpliendo la exigencia de la norma térmica para sus muros.

5. Capítulo 5: Conclusiones.

Construir de manera sustentable son los objetivos de la construcción del futuro, con la implementación de la norma chilena NCh 853 y la aplicación de la reglamentación térmica, los elementos de la envolvente térmica de la vivienda en estudio, no cumplen con los requisitos mínimos de transmitancia térmica, es decir que el calor que hay en la vivienda se va a perder por todos los elementos haciendo que sea poco eficiente. Al no cumplir con la norma vigente es necesario implementar soluciones adicionales. Es por eso que implementar una solución térmica o crear nuevos aislantes ayuda no solo en cumplir con esta norma, sino que también en generar un ahorro en la vivienda haciendo que sea más eficiente. Considerando lo anterior se puede hacer los siguientes comentarios.

1. La vivienda de estudio sin ninguna solución térmica no cumple con el reglamento térmico, donde exige una transmitancia mínima en muros, cubiertas y ventanas, esto se debe al uso de materiales de construcción de poca resistencia térmica. Al no estar cumpliendo con la norma esta presenta pérdidas de energía de un 13% ya que el calor que hay en esta se va perdiendo a través de los elementos de la envolvente y de manera mucho más rápida, al no tener ningún material aislante que impida esta fuga de calor. Considerando estos puntos desfavorables se traduce en la nota que obtiene mediante su clasificación energética, la cual es F, considerada como una vivienda de alto consumo de energético. Según los resultados de la admitancia térmica va a existir almacenamiento de calor en los elementos constructivos pero no va a existir inercia térmica, debido al no tener una solución térmica en su cara exterior el calor que se almacenara para luego ir hacia el exterior y no será reutilizada para cuando sea necesario.
2. Ahora si se considera la primera solución térmica que consiste en polietileno expandido de alta densidad, el análisis térmico de calefacción mejora considerablemente. Con solo aplicar una solución térmica a los muros se tiene una clasificación energética D, siendo considerada como una vivienda que presentan un consumo medio. La clasificación mejora, ya que aplicando esta solución la

transmitancia térmica al muro baja un 66% respecto al muro original, no solo se cumple con la norma si no que se supera por un amplio margen, traduciendo esto a un ahorro de energía de un 33% para la vivienda. Considerar una solución térmica exterior no solo se cumple con la norma si no que también genera el fenómeno de inercia térmica en donde los elementos almacenaran calor, para luego que sea reutilizada cuando no haya presencia de una fuente de calor.

3. Haciendo el tercer y último análisis térmico, compuesta por la placa de material mineral de alta resistencia térmica, se generan ahorros a la vivienda en un 31%, esto se debe a que se cumple con la norma térmica bajando en un 61% la transmitancia térmica original. Considerando que esta solución está en un estudio previo tiene grandes ahorros térmicos ya que es clasificada con nota D, vivienda de consumo medio. Como se mencionó utilizando una solución exterior genera el concepto de inercia térmica, por eso que utilizar esta solución también va a generar este fenómeno ya que este aislante también impedirá que el calor se valla hacia el exterior.
4. Invertir en una de estas soluciones implica una gran cantidad de dinero, para esta vivienda considerando cualquiera de las dos soluciones esta sobre los dos millones de pesos. Considerando que una vivienda tiene una larga vida útil, invertir en una solución como esta que produce ahorro de energía y se traduce a un ahorro en el bolsillo. Hay que considerar que estas inversiones son al largo plazo, mejorando la calidad de vida y la vida útil de los materiales de la vivienda. Ahora, el motivo de la inversión inicial de la STO se tiene que produce un 33% de ahorro de energía invirtiendo \$2.005.047 en comparación a la placa FG1 que produce un ahorro de 31% con una inversión inicial de \$2.117.229. Con estos datos se puede decir que la solución comercial STO es un poco mejor en tema de energía y más barata en inversión, pero al usar la placa con el compuesto mineral se tiene una instalación más fácil evitando mano de obra calificada y sin necesidad de tener una terminación arquitectónica. A la vez, usar esta solución la hace resistente al fuego, debido que el principal elemento de esta solución es de un material mineral evitando que se deteriore al contacto del fuego, aspecto que no ocurre en la solución comercial debido a que usa elementos sintéticos, en vez de proteger la vivienda del fuego se transforman

en un material combustible y también hace que se pierda esta inversión en el caso de la catástrofe.

Al hacer el análisis térmico a la vivienda con ambas soluciones queda demostrado que utilizar recubrimientos a los muros ayuda en el ahorro de energía para la casa, pero no solo con invertir en una sola solución hará que nuestra vivienda sea la más óptima, sino que es recomendable invertir en otras soluciones que ayuden en la envolvente térmica como el cambio de ventanas de aluminio a ventanas de termopanel y eliminar las filtraciones de puertas y ventanas.

6. Capítulo 6: Referencias bibliográficas.

6.1. Bibliografía.

- Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh 853. Of 91: Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancia térmicas.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Jornada de Acreditación, Sistema de calificación energética de viviendas, ejercicios de cálculo de transmitancia térmica.
- Gobierno de Chile, MINVU. Manual de aplicación de la reglamentación térmica, Ordenanza general de urbanismo y construcciones artículo 4.1.10, 2013.
- Manual de acondicionamiento térmico, CDT la cámara chilena de la construcción.
- StoTherm. Sistema de aislamiento exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de vivienda, 2014.
- McQuiston, Faye C. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, 2003.
- Gallegos Miguel, Cristhian Andrés. Soluciones constructivas de aislamiento térmica, 2008.
- Manual de gestor energético, sector construcción; Agencia chilena de eficiencia energética, primera edición abril 2014.

6.2. Linkografía.

- <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>
- <http://www.lirquen.cl/site/archivos/Catalogo-Lirquen.pdf>
- <http://www.calefaccionsustentable.cl/rancagua-curico-talca-chillan-concepcion-los-angeles/>
- [http://www.lafarge.com.es/6.1.3_ESP_-_Thermal mass in buildings corp ESP.pdf](http://www.lafarge.com.es/6.1.3_ESP_-_Thermal_mass_in_buildings_corp_ESP.pdf)
- [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/Reacondicionamiento termico viviendas.pdf](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/Reacondicionamiento_termico_viviendas.pdf)
- <http://www.arquitecturayenergia.cl>
- http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52355_pdf.pdf

Anexo 1

Tipo de local	Temperatura interior °C
Viviendas	
Cuarto de estar, comedor	20
Dormitorio	18
Cocina	18
Antesalas	15
Baño	20
Caja de escalera	10
Hospitales	
Dormitorios (Durante el día)	22
Dormitorios (Durante la noche)	15
Sala de rayos	22
Sala de estar	21
Salas de recuperación	23
Baños	20
Escuelas	
Sala de clases	20
Talleres y laboratorios	15 a 18
Cuarto medico	23
Cuarto de baño	20
Aulas	18
Gimnasios	15
Hoteles	
Dormitorios	18
Comedores, sala de estar	20
Baños	18
Cocina y lavaderos	16

Tabla A1: Temperatura interior de diseño dependiendo de distintos locales.

Tipo de local	Temperatura interior °C
Oficinas	
Oficinas general	18
Oficina privadas	20
Archivos	15
Tienda	
Locales de uso común	18
Sala de prueba	21
Fabricas	
Sala de trabajo, sentado	19
Sala de trabajo, liviano	17
Sala de trabajo, pesado	16
Fundiciones	15
Comedores	18
Oficinas	20
Baños y vestuario	17

Tabla A2: Continuación tabla de temperatura de diseño interior

Anexo 2

Grado de actividad	Aplicación típica	Calor total, hombres adultos		Calor total ajustado		Calor sensible		Calor latente	
		Btu/hr	W	Btu/hr	W	Btu/hr	W	Btu/hr	W
Sentado en un teatro	Teatro (matiné)	390	114	330	97	225	66	105	31
Sentado en un teatro	Teatro (función nocturna)	390	114	350	103	245	72	105	31
Sentado haciendo trabajo ligero	Oficinas, hoteles y departamentos	450	132	400	117	245	72	155	45
Realizando trabajo moderado de oficina	Oficinas, hoteles y departamentos	475	139	450	132	250	73	200	59
Parado, haciendo trabajo ligero	Tienda de departamentos	550	162	450	132	250	73	200	59
Caminando o de pie	Farmacias y bancos	550	162	500	146	250	73	250	73
Realizando trabajo sedentario	Restaurante	490	144	550	162	275	81	275	81
Haciendo trabajo de banco ligero	Fabrica	800	235	750	220	275	81	475	139
Bailando a ritmo moderado	Salón de baile	900	264	850	249	305	89	545	160
Caminando, haciendo trabajo de maquinaria ligero	Fabrica	1000	293	1000	293	375	110	625	183
Jugando a los bolos	Boliche	1500	550	1450	425	580	170	870	255
Realizando trabajo pesado	Fabrica	1500	550	1450	425	580	170	870	255
Manejando maquinaria pesada	Fabrica	1600	469	1600	469	635	186	965	283
Haciendo rutinas atléticas	Gimnasio	2000	586	1800	528	710	208	1090	320

Tabla A2: Tasas de calor proveniente de ocupantes de los espacios acondicionados.

Anexo 3

Revestimiento exterior STO											
Descripción											
Unid	\$/m2										
Fecha	05-09-2016										
Mano de obra	unid		R. indep.		R. conjunto		1/R.		Precio unid		Precio total
Albañil	\$/día	16	m2/día	16	m2/día	0.0625	día/m2	25.000	\$/día	1.563	\$/m2
Ayudante	\$/día	16	m2/día	16	m2/día	0.0625	día/m2	17.000	\$/día	1.063	\$/m2
								Leyes Sociales	20%	525	\$/m2
								Subtotal		3.150	\$/m2
Materiales											
Aislapol alta densidad	\$/Unidad	0.50	m2/Unidad	0.5	m2/Unidad	2.0000	Unidad/m2	2.025	\$/Unidad	4.050	\$/m2
Adhesivo y capa base	\$/m2	5	m2/Tineta	5	m2/Tineta	0.20	Tinera/m2	25.261	\$/Tineta	5052	\$/m2
Malla fibra de vidrio refuerzo de capa base	\$/m2	39.13	m2/Rollo	39.13	m2/Rollo	0.03	Rollo/m2	49.445	\$/Rollo	1264	\$/m2
Cinta adhesiva sellos de canto	\$/m2	90	m2/Rollo	90	m2/Rollo	0.01	Rollo/m2	11.256	\$/Rollo	125	\$/m2
Esquineros	\$/m2	16.67	m2/Tira	16.67	m2/Tira	0.06	Tira/m2	25.424	\$/Tira	1525	\$/m2
								Perdidas	10%	797	\$/m2
								Subtotal		12.813	\$/m2
Equipo											
								Subtotal			
								Valor Total		15.963	\$/m2

Tabla A.3.1: Análisis de precio unitario de revestimiento exterior STO.

Terminación exterior de STO											
Descripción											
Unid	\$/m2										
Fecha											
Cantidad	1 m2										
Mano de obra	unid	R. indep.		R. conjunto		1/R.		Precio unid		Precio total	
Albañil	\$/día	10	m2/día	10	m2/día	0.1000	día/m2	25.000	\$/día	2.500	\$/m2
Ayudante	\$/día	10	m2/día	10	m2/día	0.1000	día/m2	17.000	\$/día	1.700	\$/m2
								Leyes Sociales	20%	840	\$/m2
								Subtotal		5.040	\$/m2
Materiales											
Aparejo base o pintura de terminación	\$/m2	76	m2/Tineta	76	m2/Tineta	0.01	Tinera/m2	39.147	\$/Tineta	515	\$/m2
Acabado protector y decorativo	\$/m2	11.03	m2/tineta	11.03	m2/tineta	0.09	Tinera/m2	35.034	\$/Tineta	3176	\$/m2
								Perdidas	10%	369	\$/m2
								Subtotal		4.060	\$/m2
Equipo											
								Subtotal			
								Valor Total		9.100	\$/m2

Tabla A.3.2: Análisis de precio unitario para terminación exterior de STO.

Anexo 4

Revestimiento exterior con perlita											
Descripción											
Unid	\$/m2										
Fecha											
Cantidad	1 m2										
Mano de obra	unid	R. indep.		R. conjunto		1/R.		Precio unid		Precio total	
Albañil	\$/día	32	m2/día	32	m2/día	0.0313	día/m2	20.000	\$/día	625	\$/m2
Ayudante	\$/día	32	m2/día	32	m2/día	0.0313	día/m2	10.000	\$/día	313	\$/m2
								Leyes Sociales	20%	188	\$/m2
								Subtotal		1.125	\$/m2
Materiales											
Adhesivo	\$/m2	10	m2/Tineta	10	m2/Tineta	0.10	Tineta/m2	25.261	\$/Tineta	2526	\$/m2
Frague 1 kg	\$/m2	4	m2/Bolsa	4	m2/Bolsa	0.25	Bolsa/Saco	1.232	\$/Bolsa	308	\$/m2
Placa de perlita expandida	\$/m2	1	m2/Placa	1	m2/Placa	1.00	Placa/m2	18.638	\$/Placa	18638	\$/m2
Pintura Tineta	\$/m2	40	m2/tineta	40	m2/tineta	0.03	tineta/m2	68.842	\$/tineta	1721	\$/m2
								Perdidas	10%	2.147	\$/m2
								Subtotal		25.340	\$/m2
Equipo											
								Subtotal			
								Valor Total		26.465	\$/m2

Tabla A.4: Análisis de precio unitario de revestimiento exterior de perlita.