



**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE
REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS EN USO.**

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil en Obras
Civiles y Gestión de la Construcción.

Héctor Puente Montero

Profesor Guía: Sr. Leonardo G. Meza Marín

Profesor Correferente: Sr. Carlos J. Coll Mori

Santiago, Chile 2011

Índice General

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Consideraciones Generales	1
1.2 Objetivos Generales.....	2
1.3 Objetivos Específicos.	2
Capítulo 2: Marco Teórico	3
2.1 Generalidades del reacondicionamiento térmico.....	3
2.2 Necesidad país de disminuir el consumo eléctrico.....	3
2.3 Necesidad de reacondicionamiento térmico.....	4
Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas	5
3.1 Exigencias y Normas.....	5
3.1.1 NCh1079 Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.....	5
3.1.2 NCh 853 Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.....	6
3.1.3 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).....	6
3.1.3.1 Exigencias en complejos de techumbres y muros perimetrales.....	7
3.1.3.2 Ventanas.....	8
Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación	10
4.1 Tipología de las viviendas en Chile.....	10
4.2 Materiales de los muros perimetrales de las viviendas en Chile.....	10
4.3 Tipología de las viviendas para la investigación.....	11
Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas	20
5.1 Transmitancias térmicas de las viviendas con muros de albañilería.....	20
5.2 Transmitancias térmicas de las viviendas con muros de hormigón.....	21
5.3 Transmitancias térmicas de las viviendas con muros de madera.....	22
5.4 Transmitancias térmicas de cielos de yeso-cartón.....	24
5.5 Transmitancias térmicas de cielos de madera.....	25
5.6 Transmitancias térmicas de puertas y ventanas.....	26
5.7 Transmitancias térmicas calculadas en las viviendas tipos.....	27

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.	28
6.1 Criterios para determinar el reacondicionamiento térmico.	28
6.2 Materiales aislantes y vidrios termopaneles a evaluar en el reacondicionamiento térmico.	29
6.2.1 Material aislante plancha de yeso-cartón + plancha de poliestireno expandido.....	30
6.2.2 Material aislante poliestireno expandido.	31
6.2.3 Material aislante lana de vidrio.....	33
6.2.4 Ventanas con vidrios termopaneles.	34
6.3 Espesores de aislantes térmicos requeridos en muros de hormigón armado.	35
6.3.1 Aislante interior de poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de hormigón.	35
6.3.2 Aislante exterior de poliestireno expandido en muros de hormigón.	36
6.4 Espesores de aislantes térmicos requeridos en muros de albañilería.....	37
6.4.1 Aislante interior poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de albañilería.	37
6.4.2 Aislante exterior de poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de albañilería. ...	38
6.5 Espesores de aislantes térmicos requeridos en muros de madera.....	39
6.5.1 Aislante de poliestireno expandido de baja densidad en muros de madera.	40
6.5.2 Aislante de lana de vidrio en muros de madera.	41
Datos del muro con aislante.....	41
Muros de madera exterior, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor.	41
6.6 Espesores de aislantes térmicos requeridos en cielos de yeso-cartón y cielos de madera....	42
6.6.1 Espesor de aislante lana de vidrio.....	42
Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.	44
7.1 Costos directos.....	44
7.1.1 Costos directos viviendas tipo 1. Muros de albañilería.	44
7.1.2 Costos directos viviendas tipo 2.Muros de albañilería.	45
7.1.3 Costos directos viviendas tipo 3.Muros de albañilería.	46
7.1.4 Costos directos viviendas tipo 4.Muros de hormigón.....	47
7.1.5 Costos directos viviendas tipo 5.Muros de madera.	48
7.1.6 Costos directos viviendas tipo 6.Muros de madera.	49
7.2 Secuencia constructiva para la colocación de aislante por el exterior.	50
7.3 Secuencia constructiva para la colocación de aislante por el interior.	51
7.3.1 Colocación de motas a las planchas.....	51

7.3.2 Montaje.....	52
7.3.3 Encuentro en ángulos internos.....	52
7.3.4 Resolución de las carpinterías.....	53
7.4 Secuencia constructiva para la colocación de lana de vidrio en muros de madera.....	53
7.5 Secuencia constructiva para la colocación de lana de vidrio en entretechos.....	54
7.6 Corte piso-cielo en muros de albañilería con cielo de yeso- cartón.....	54
7.7 Corte piso-cielo en muros de madera con cielo de yeso- cartón.....	55
7.8 Detalle de ventana.....	55
7.9 Corte piso-cielo en muros de hormigón.....	56
7.10 Detalle de aislante lana de fibra de vidrio en entretecho.....	56
Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.....	57
8.1 Costo del reacondicionamiento por el interior.....	57
8.2 Confort térmico.....	57
8.3 Demanda Energética de Calefacción.....	58
8.4 Demanda-Consumo.....	58
8.5 Supuestos para el análisis económico del reacondicionamiento térmico.....	59
8.6 Cálculo del Valor Presente Actual Neto (VAN).....	61
8.7 Rentabilidad y tiempo de recuperación de la inversión.....	61
Capítulo 9: Conclusiones.....	67
Bibliografía.....	69

Índice de tablas

Tabla 3.1: Valores mínimos de transmitancia térmica de la envolvente.	5
Tabla 3.2: Resistencias térmicas de superficie en $[m^2K/W]$	6
Tabla 3.3: Transmitancias térmicas para cada zona térmica.	8
Tabla 3.4: Conductividad térmica de perfilería de ventanas.	9
Tabla 3.5: Transmitancias térmicas de vidrios de ventanas.	9
Tabla 4.1: Tipología de las viviendas existentes antes del año 2000.	10
Tabla 4.2: Distribución de hogares de acuerdo a la composición de los muros perimetrales.	11
Tabla 4.3: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 1.	13
Tabla 4.4: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 2.	14
Tabla 4.5: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 3.	15
Tabla 4.6: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 4.	16
Tabla 4.7: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 5.	17
Tabla 4.8: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 6.	19
Tabla 5.1: Transmitancias térmicas de muros ,techumbres ,ventanas y puertas de las viviendas tipo.	27
Tabla 6.1: Zonas térmicas presentes en cada zona climática.	29
Tabla 6.2: Espesores y costos del aislante poliestireno expandido + plancha de yeso-cartón. ..	31
Tabla 6.3: Dimensiones comerciales y costos de la plancha de poliestireno expandido.	32
Tabla 6.4: Dimensiones comerciales y costos de las planchas de poliestireno expandido de baja densidad.	32
Tabla 6.5: Dimensiones y precios comerciales de la Lana de vidrio.	34
Tabla 6.6: Espesores de las planchas polistireno expandido + yeso-cartón para muros de hormigón.	36
Tabla 6.7: Espesores de las planchas de poliestireno expandido para muros de hormigón.	37
Tabla 6.8: Espesores de las planchas de poliestireno expandido + yeso-cartón para muros de albañilería.	38
Tabla 6.9: Espesores de las planchas de poliestireno expandido para muros de albañilería.	39
Tabla 6.10: Espesores de las planchas de poliestireno expandido para muros de madera.	41
Tabla 6.11: Espesores de los rollos de lana de vidrio para muros de madera.	42
Tabla 6.12: Espesores de los rollos de lana de vidrio para techumbres de madera y yeso-cartón.	43

Tabla 7.1: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 1	44
Tabla 7.2: Costo del reacondicionamiento térmico por el exterior de la vivienda tipo 1.....	45
Tabla 7.3: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 2.	45
Tabla 7.4: Costo del reacondicionamiento térmico por el exterior de la vivienda tipo 2.....	46
Tabla 7.5: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 3.	46
Tabla 7.6: Costo del reacondicionamiento térmico por el exterior de la vivienda tipo 3.....	47
Tabla 7.7: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 4.	47
Tabla 7.8: Costo del reacondicionamiento térmico con fibra de vidrio para la vivienda tipo 5.	48
Tabla 7.9: Costo del reacondicionamiento térmico con poliestireno expandido para la vivienda tipo 5.	48
Tabla 7.10: Costo del reacondicionamiento térmico con poliestireno expandido para la vivienda tipo 6.	49
Tabla 7.11: Costo del reacondicionamiento térmico con lana de vidrio en la vivienda tipo 6... 49	
Tabla 8.1: VAN de la vivienda tipo 1 sin reacondicionamiento térmico en La Serena.	62
Tabla 8.2: VAN de la vivienda tipo 1 con reacondicionamiento térmico en La Serena.	62
Tabla 8.3: VAN de la vivienda tipo 4 sin reacondicionamiento térmico en La Serena.	63
Tabla 8.4: VAN de la vivienda tipo 4 con reacondicionamiento térmico en La Serena.	63
Tabla 8.5: VAN de la vivienda tipo 1 en Punta Arenas sin reacondicionamiento térmico.	64
Tabla 8.6: VAN de la vivienda tipo 1 en Punta Arenas con reacondicionamiento térmico.	64
Tabla 8.7: VAN de la vivienda tipo 4 en Punta Arenas sin reacondicionamiento térmico.	65
Tabla 8.8: VAN de la vivienda tipo 4 en Punta Arenas con reacondicionamiento térmico.	65
Tabla 8.9: Tiempo de recuperación de la inversión y VAN de la vivienda tipo 1.	66
Tabla 8.10: Tiempo de recuperación de la inversión y VAN de la vivienda tipo 4.	66

Índice de figuras

Figura 1: Vivienda tipo 1.Muros de albañilería y cielo de yeso- cartón.....	14
Figura 2: Vivienda tipo 2.Muros de albañilería y cielo de yeso – cartón.....	16
Figura 3: Vivienda tipo 3 con muros de albañilería.....	18
Figura 4: Vivienda tipo 4.Muros de hormigón.....	19
Figura 5: Vivienda tipo 5.Muros de madera	20
Figura 6: Vivienda tipo 6.Muros de madera y cielo de madera.....	21
Figura 7: Corte de muro de albañilería.....	23
Figura 8: Corte de muro de hormigón.....	23
Figura 9: Corte del muro de madera.....	25
Figura 10: Flujos de calor a través del muro de madera.....	25
Figura 11: Cercha de madera sobre muros de albañilería.....	30
Figura 12: Cercha de madera sobre muros de madera.....	30
Figura 13: Placa de yeso-cartón + poliestireno expandido.....	33
Figura 14: Coeficiente de conductividad térmica vs densidad del aislante.....	33
Figura 15: Ejemplo de lana de vidrio rollo libre.....	34
Figura 16: Conductividad térmica & densidad aparente de la lana de vidrio.....	35
Figura 17: Ventana con doble vidriado hermético.....	36
Figura 18: Datos del muro con aislante.....	37
Figura 19: Datos del muro de hormigón con aislante.....	38
Figura 20: Datos del muro de albañilería con aislante por el interior.....	40
Figura 21: Datos del muro de albañilería con aislante exterior.....	40
Figura 22: Vista frontal del muro de madera.....	50
Figura 23: Corte transversal del muro de madera con aislante.....	51
Figura 24: Malla de fibra de vidrio para esquinas	52
Figura 25: Corte de las planchas.....	52
Figura 26: Aplicación de motas sobre las planchas.....	53
Figura 27: Encuentro de ángulos internos en muros	53
Figura 28: Uniones en L en ventanas.....	54
Figura 29: Ejemplo de muro perimetral exterior con aislante de lana de fibra de vidrio.....	53
Figura 30: Corte piso-cielo con muro de albañilería.....	54
Figura 31: Corte piso-cielo con muro de madera.....	55
Figura 32: Detalle de terminaciones de ventanas.....	55
Figura 33: Corte piso-cielo en muros de hormigón.....	56
Figura 34: Colocación del aislante de Lana de fibra de vidrio.....	56
Figura 35: Diagrama de confort térmico según Givoni.....	57
Figura 36: Demanda Eléctrica total anual & PIB real anual en el período 1970 - 2010.....	59
Figura 37: Equilibrio de largo plazo en el Mercado de la Energía Eléctrica (SIC)...	59
Figura 38: Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 1 en La Serena.....	62
Figura 39 : Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 4 en La Serena.....	63

Figura 40 : Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 1 en Punta Arenas.....	64
Figura 41 : Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 4 en Punta Arenas.....	65

Capítulo 1: Introducción.

Capítulo 1: Introducción.

1.1 Consideraciones Generales

Las viviendas en Chile hoy deben ser aisladas térmicamente. Así lo indica la reglamentación térmica existente desde marzo de 2000, mediante el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), donde se especifica que todas las edificaciones con destino habitacional tienen que cumplir con los requisitos térmicos establecidos en esta.

La deficiente aislación térmica del parque de soluciones constructivas existentes antes del año 2000 ha significado que estas viviendas queden fuera de las nuevas exigencias térmicas establecidas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción y en la Norma Chilena 1079.

Cabe preguntarse entonces cuáles son las condiciones térmicas del parque de viviendas existente construidas previamente al año 2000, las cuales son un porcentaje mayor del parque total de viviendas. También es necesario determinar los posibles mecanismos de reacondicionamiento térmico factibles de implementar en las diferentes zonas climáticas del país y finalmente realizar un análisis de la rentabilidad de invertir en reacondicionamiento térmico dado el ahorro en consumo de calefacción que se espera obtener.

En esta memoria se evaluarán las técnicas de reacondicionamiento térmico, su costo de ejecución, su proceso constructivo y su análisis de rentabilidad económica para algunos modelos típicos de vivienda utilizados en Chile.

En el año 2005 apareció con fuerza la necesidad de generar políticas estables para optimizar la utilización de este tipo de recursos. Fue en enero de ese año que el gobierno, a través del Ministerio de Energía, puso en marcha el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), y con ello lanzó la primera de las campañas en esta materia. Fue en esta campaña donde nació el subsidio al Reacondicionamiento Térmico para viviendas construidas antes de la existencia de la Norma de reglamentación térmica, cuyo objetivo apunta a mejorar el estándar térmico de la vivienda, el confort y lograr ahorros de energía para las familias y el país.

Capítulo 1: Introducción.

1.2 Objetivos Generales.

Evaluar las necesidades de reacondicionamiento térmico en edificación con destino habitacional en Chile, su factibilidad de ejecución y su rentabilidad económica.

1.3 Objetivos Específicos.

Analizar el requerimiento térmico de viviendas construidas previo al año 2000 en Chile.

Proponer diseños constructivos de aislación térmica para cada zona térmica y climática señalada en la NCh-1079 y en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Analizar el costo-beneficio de los diseños constructivos en las distintas zonas climáticas y térmicas establecidas en la NCh-1070 y en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Capítulo 2: Marco Teórico.

2.1 Generalidades del reacondicionamiento térmico.

La importancia de llevar adelante el cumplimiento de los nuevos requerimientos térmicos establecidos en la OGUC y en la NCh 1079, tanto en construcciones nuevas como en las existentes recae sobre los siguientes aspectos fundamentales:

Confort: El reacondicionamiento térmico busca mejorar las condiciones de confort térmico dentro de una vivienda, a través de la aplicación de sistemas, métodos y materiales, los cuales pueden ser ejecutados a través de una obra menor. Una construcción bien aislada mantendrá un estado de bienestar dentro de las viviendas.

Económico: Representa un ahorro de energía lo que se traduce en un mayor ahorro económico en los gastos familiares.

2.2 Necesidad país de disminuir el consumo eléctrico.

Chile vive momentos difíciles en cuanto al costo de la energía debido a los altos costos internacionales de los combustibles y a la pobre diversificación de su matriz energética.

Gran parte de la electricidad que se genera en Chile es a través de centrales hidroeléctricas, pero en la última década las centrales a carbón y petróleo diesel han ido creciendo dentro de la matriz energética del país. Esto ha llevado a que no sólo los consumidores paguen más por la electricidad, sino que también exista una mayor contaminación producto de los combustibles fósiles que se utilizan para generarla.

En las últimas décadas la tendencia de la demanda sigue aproximadamente la tendencia del Producto Interno Bruto. Como la energía eléctrica no es almacenable, la capacidad del sistema debe crecer en cuanto a potencia instalada y esto, a su vez lleva a mayores gastos energéticos. Con un uso eficiente de la energía, la demanda energética disminuirá y esto repercutirá en menores gastos.

Para el ciudadano común, es bueno y necesario que ahorre energía. Su economía particular será más eficiente, sus recursos se verán incrementados y esto hará más eficiente al sistema eléctrico. Por tanto, si hay ahorro de energía, es posible que el sistema soporte con eficiencia y confiabilidad las variaciones de la demanda.

2.3 Necesidad de reacondicionamiento térmico.

En Chile existe un alto porcentaje de viviendas que no cuentan con las condiciones mínimas de exigencias térmicas que exige la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción debido a que estas exigencias entraron en vigor en el año 2000. Por esta razón existe un gran porcentaje de viviendas que hoy en día no cumplen con dichas exigencias térmicas implicando un mayor consumo de energía para el país.

El calor generado por la calefacción en viviendas que no cuentan con reacondicionamiento térmico se filtra hacia el exterior a una mayor velocidad que una vivienda térmicamente aislada. Poco a poco, esos escapes obligan a consumir más energía de lo necesario, por lo que una correcta aislación permitirá reducir el gasto de energía y hará a la vivienda más comfortable.

Al invertir en una correcta aislación, la energía conservada dentro de la vivienda será un real ahorro ya que se reducirán los gastos en energía y además se estará contribuyendo a disminuir la emisión de contaminantes a la atmósfera producida por la generación eléctrica de formas de energías derivadas del petróleo. Si los costos de combustible y electricidad siguen aumentando, con mayor razón se justifica una inversión en dichas viviendas.

Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas.

Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas.

3.1 Exigencias y Normas.

A continuación se resumen los aspectos esenciales obtenidos de las normas chilenas para el cálculo de los requerimientos térmicos de las viviendas.

3.1.1 NCh1079 Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

Chile está caracterizado por nueve zonas climáticas según la norma NCh1079 -2008 (Ver anexo 1).

Las nueve zonas climáticas son:

- NL: Norte Litoral.
- ND: Norte Desértica.
- NVT: Norte Valle Transversal.
- CL: Central Litoral.
- CI: Central Interior.
- SL: Sur Litoral.
- SI: Sur Interior.
- SE: Sur Extremo.
- An: Andina

Una zona climática agrupa un conjunto similar de variables meteorológicas del lugar de emplazamiento del mismo.

En base a la descripción de cada zona, las recomendaciones que se estipulan para cada una de ellas son las siguientes:

Tabla 3.1: Valores mínimos de transmitancia térmica de la envolvente¹.

Zona	Nombre	Muros (W/m ² K)	Techumbre (W/m ² K)
NL	Norte Litoral	2	0,8
ND	Norte Desértica	0,5	0,4
NVT	Norte Valle Transversal	0,8	0,6
CL	Central Litoral	0,8	0,6
CI	Central Interior	0,6	0,5
SL	Sur Litoral	0,6	0,4
SI	Sur Interior	0,5	0,3
SE	Sur Extremo	0,4	0,25
An	Andina	0,3	0,25

¹ Tabla extraída de la NCh 1079.

Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas.

3.1.2 NCh 853 Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

Esta norma establece los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envoltente térmica, tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas.

Los procedimientos de cálculo que se establecen en esta norma están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la ley de Fourier, en régimen estacionario.

Los valores determinados según esta norma son útiles para el cálculo de transmisión de calor, potencia de calefacción, energía térmica y aislaciones térmicas de envoltentes en la edificación.

Tabla 3.2: Resistencias térmicas de superficie en $[m^2K/W]^2$.

Posición del elemento y sentido del flujo.	Resistencia térmica interior (Rsi) y exterior (Rse).			
	Elemento de separación con el exterior o local		Separación con otro local o cámara de aire. abierto.	
	Rsi	Rse	Rsi	Rse
Flujo horizontal en elementos verticales.	0,12	0,05	0,12	0,12
Flujo ascendente en elementos horizontales.	0,09	0,05	0,10	0,10
Flujo descendente en elementos horizontales.	0,17	0,05	0,17	0,17

3.1.3 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

Corresponde a la reglamentación térmica, entrada en vigencia en enero de 2007. En el artículo 4.1.10 se entregan exigencias en el modo constructivo y en valores mínimos a cumplir para la vivienda. Esta ordenanza considera una zonificación basada exclusivamente en criterios térmicos.

² Tabla extraída de la NCh 853.

Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas.

Para determinar la exigencia en las distintas comunas del país, el territorio nacional se dividió en 7 zonas térmicas, las que fueron definidas sobre la base del criterio de los Grados-Día de calefacción (GDc) anual, estimada para las diferentes comunas, haciendo uso de datos meteorológicos estadísticos acumulados en una serie de años.

El concepto de GDc de calefacción se define como una sumatoria de las diferencias entre la temperatura base (temperatura base: Es la temperatura a alcanzar en el interior de la vivienda, supuestamente de confort.) y la temperatura media diaria del ambiente exterior, dentro de un período dado (mes o año).

Ello indica que los GDc están directamente relacionados con las demandas de energía que por este concepto requiere la vivienda para lograr la temperatura interior base en el período considerado. Este parámetro se basa exclusivamente en una sola variable de clima: la temperatura media diaria exterior.

De este modo, las zonas térmicas de la Reglamentación Térmica no consideran a todo el conjunto de variables meteorológicas que definen un clima.

Por tanto puede ocurrir que entre zonas distintas existan similares temperaturas medias pero que las oscilaciones térmicas entre ellas sean diferentes

Debido a lo antes mencionado a la hora de tomar decisiones, en cuanto al diseño, remodelación o reparación de una vivienda deben tomarse en cuenta los requerimientos de la zonificación térmica y a su vez los requerimientos térmicos de la NCh 1079.

3.1.3.1 Exigencias en complejos de techumbres y muros perimetrales.

Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica "U" igual o menor, o una resistencia térmica total "Rt" igual o superior a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo.

Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas.

Tabla 3.3: Transmitancias térmicas para cada zona térmica³.

	Techumbre	Muros	Pisos
Zonas Térmicas	U (W /m ² K)	U (W /m ² K)	U (W /m ² K)
1	0,84	4,0	3,6
2	0,60	3,0	0,87
3	0,47	1,9	0,7
4	0,38	1,7	0,6
5	0,33	1,6	0,5
6	0,28	1,1	0,39
7	0,25	0,6	0,32

3.1.3.2 Ventanas.

Se considera complejo de ventana a los elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda.

Las ventanas son generalmente una de las superficies por donde más se pierde calor en las viviendas. La cantidad máxima de área de ventanas, según la reglamentación chilena, está determinada en la sección 2 del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción y depende de la zona térmica donde se encuentre ubicada la vivienda.

Existen diferentes materiales utilizados en la perfilería de ventanas, entre los cuales se tienen PVC, Aluminio, Acero y madera.

Los perfiles de PVC de calidad son los que ofrecen un mejor comportamiento térmico, mientras que la perfilería de acero y aluminio son las que tienen el peor comportamiento debido a su baja resistencia térmica.

En la siguiente tabla se dan ejemplos de algunos de los principales materiales de perfilería de ventanas y su respectiva conductividad térmica, estableciendo el buen comportamiento térmico del PVC.

³ Tabla extraída de la página 9 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Capítulo 3: Normas y exigencias térmicas.

Tabla 3.4: Conductividad térmica de perfilería de ventanas⁴.

Perfiles	Conductividad térmica [W/(m K)]
Aluminio	2,10
PVC	0,17

Además de la perfilería se debe seleccionar el tipo de vidriado a utilizar, dentro de los cuales existe una amplia gama, desde vidrios monolíticos simples hasta doble vidriado hermético (DVH).

Tabla 3.5: Transmitancias térmicas de vidrios de ventanas⁵.

Tipo de ventana	Transmitancia térmica
Perfil de aluminio con vidrio monolítico.	5,06
Perfil de aluminio con DVH	2,74
Perfil de madera con vidrio monolítico.	5,15
Perfil de madera con DVH.	2,83
Perfil de PVC con vidrio monolítico.	5,03
Perfil de PVC con DVH.	2,71

El tipo de vidriado influye enormemente en la transmitancia térmica total de la ventana, pudiendo reducirla hasta casi la mitad así como también influye su respectiva perfilería.

Por tanto una selección adecuada de ventanas es determinante para el buen funcionamiento energético de un edificio o vivienda. Es recomendable utilizar un sistema de ventanas con perfiles de PVC o Aluminio dada su baja transmitancia térmica o bien utilizar perfiles que incluyan cámaras herméticas de aire, con doble vidriado hermético.

⁴ Tabla extraída de la página 31 del manual Técnico de Aislación Térmica por el Exterior.

⁵ Tabla extraída de la página 32 del manual Técnico de Aislación Térmica por el Exterior.

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

4.1 Tipología de las viviendas en Chile.

Según los datos obtenidos de Instituto Nacional de Estadísticas de Resumen Análisis de Base de Datos del INE correspondiente al 28/03/2001 en base a un tamaño de muestra representativo se pueden determinar las tipologías de las viviendas existentes antes del año 2000.

Tabla 4.1: Tipología de las viviendas existentes antes del año 2000⁶.

Tipología	Número de viviendas	Porcentaje de viviendas. (%)
Casas de 1 piso de hasta 50 m ²	149.285	34,83
Casas de 1 piso entre 50 y 80 m ²	70.604	16,48
Departamentos de 3 pisos de hasta 50 m ²	51.177	11,94
Departamentos de 3 pisos entre 50 y 80 m ²	9.024	2,10
Departamentos de 5 o más pisos entre 50 y 100 m ²	37.869	8,84
Casas de 2 pisos de hasta 50 m ²	103.270	24,09
Casas de 2 pisos entre 100 y 140 m ²	7.342	1,72

De la tabla anterior se puede concluir que la mayoría de las viviendas o departamentos se concentran entre superficies menores o iguales a 50 m² y entre superficies que van desde los 50 m² hasta los 100 m².

En la elección de las dimensiones de superficie de planta se tomarán casas cercanas a los 50 m² y 80 m² respectivamente ya que estas determinan las superficies en planta más representativas de las viviendas antes del año 2000.

4.2 Materiales de los muros perimetrales de las viviendas en Chile.

De acuerdo a los datos obtenidos en el censo del año 2002 realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) donde se estudió la distribución de hogares de acuerdo a las distintas clasificaciones socioeconómicas se llega a las siguientes conclusiones.

En la tabla siguiente se muestra la distribución de hogares de acuerdo a la composición de los muros perimetrales de la vivienda por clasificación socioeconómica (10 categorías) donde aproximadamente el 73% de los hogares están distribuidos entre la sexta y octava categoría⁷.

⁶ Tabla extraída del Resumen Análisis de Bases de Datos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

⁷ Texto extraído del documento Metodología de Clasificación Socioeconómica de los Hogares Chilenos correspondiente al Instituto Nacional de Estadística (INE).

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

Tabla 4.2: Distribución de hogares de acuerdo a la composición de los muros perimetrales de la vivienda por clasificación socioeconómica⁸.

Material de muros perimetrales. Clasificación socioeconómica	Hormigón armado	Ladrillo	Paneles estructurales	Madera	Adobe
1	2.403	16.049	10.064	310.003	57.679
2	6.553	49.977	16.732	278.795	43.205
3	13.686	95.660	25.798	218.819	35.499
4	22.182	135.679	33.207	168.744	29.091
5	31.932	175.299	38.960	122.992	23.038
6	41.708	212.138	41.370	85.442	17.305
7	53.263	240.072	39.298	57.558	12.481
8	70.630	254.361	34.759	38.064	8.560
9	106.679	244.970	27.845	24.462	5.696
10	221.187	169.008	13.281	7.949	1.364
Total	570.223	1.593.233	281.305	1.312.848	233.909

De los datos obtenidos se puede concluir que entre los materiales más representativos de los muros perimetrales de las viviendas chilenas se encuentran los siguientes:

- Viviendas con muros de albañilería (Muros de ladrillos).
- Viviendas con muros de hormigón.
- Viviendas con muros de madera.

4.3 Tipología de las viviendas para la investigación.

Para la investigación se tomarán de acuerdo a los datos anteriores 6 tipos de viviendas. Tres con muros de albañilería donde variarán las superficies de planta y el número de pisos, un tipo de vivienda con muros de hormigón correspondiente a un edificio de viviendas y 2 tipos de viviendas con muros de madera.

Viviendas con muros de albañilería: Estarán compuestas por los mismos materiales de muros perimetrales, cielos, ventanas y puertas, este supuesto cumple el objetivo de unificar los cálculos del requerimiento térmico de dichas superficies para las 3 viviendas. Sus muros perimetrales son de ladrillo con revestimiento exterior de mortero de cemento e interior enlucido de yeso.

⁸ Datos extraídos del documento Metodología de Clasificación Socioeconómica de los Hogares Chilenos correspondiente al Instituto Nacional de Estadística (INE).

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

Vivienda con muros de hormigón: Corresponderá a un departamento ubicado entrepisos y se tomará como supuesto para el cálculo del requerimiento térmico que los departamentos superior e inferior se encuentran calefaccionados por lo que las pérdidas a través de la cubierta y el piso no serán significativas. Se despreciará el cálculo de la transmitancia térmica de los departamento del último piso debido a que este presentará pérdidas a través de su cubierta, significando estos departamentos un % pequeño del universo de departamentos con muros de hormigón armados a evaluar.

Viviendas con muros de madera: Estas viviendas presentaran muro-tabique perimetral exterior formado por una estructura de madera hecha con listones de pino radiata de 2 x 3 pulgadas cepillado. Esta estructura estará compuesta por pie-derechos distanciados entre ejes a 0.60 m, una solera inferior y otra superior. Esta estructuración de madera está forrada por una cara que limita al exterior con una plancha de terciado ranurado de pino de 18 mm de espesor atornillada a la estructura de madera y por el interior existe una plancha de pino cepillado de 12 mm de espesor.

- Vivienda tipo 1: Muros de albañilería con cielo de yeso cartón. Superficie de planta de 60,38m².

Figura 1: Vivienda tipo 1. Muros de albañilería y cielo de yeso- cartón.



En su cielo existe una plancha de yeso cartón que separa el entretecho con el interior de la casa realizando la función de falso techo. La cubierta descansa sobre costaneras de madera apoyadas sobre cerchas de madera.

Las ventanas cuentan con marcos de madera y vidrio simple de 3 mm de espesor con las siguientes dimensiones:

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

Tabla 4.3: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 1.

Dimensiones de ventanas (m)	Número de ventanas	Superficie (m ²)
1,70 x 1,0	1	1,7
1,0 x 1,0	2	2,0
1,0 x 2,0	1	2,0
1,7 x 2,0	1	3,4
0,5 x 0,5	2	0,5

Planta arquitectónica vivienda tipo 1.

Las unidades de medida de las cotas son en metros.



- Vivienda tipo 2: Muros de albañilería con cielo de yeso cartón. Superficie de planta de 81,9 m².

Figura 2: Vivienda tipo 2. Muros de albañilería y cielo de yeso – cartón.



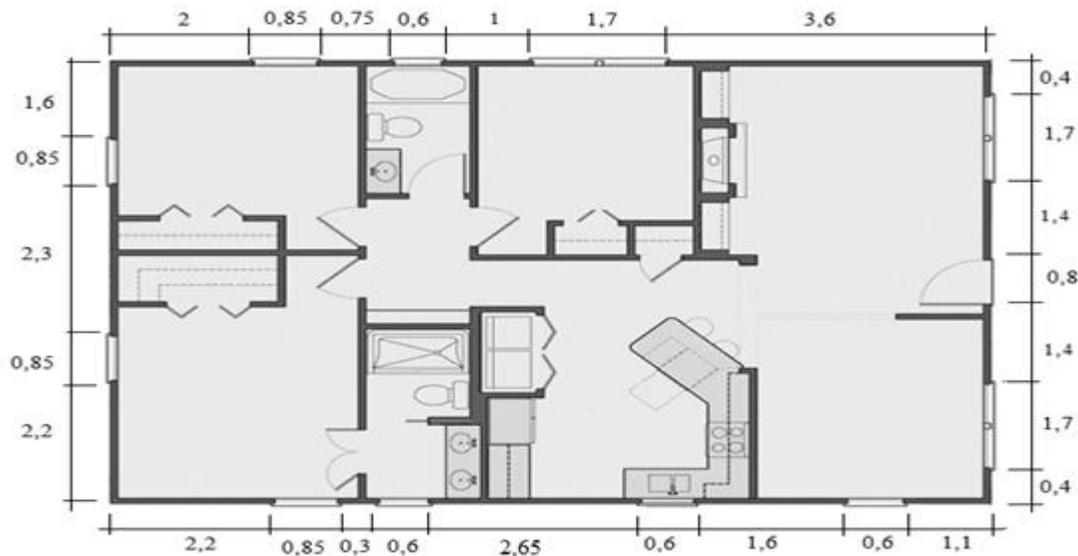
Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

En su cielo existe una plancha de yeso cartón que separa el entretecho con el interior de la casa realizando la función de falso techo. La cubierta descansa sobre costaneras de madera apoyadas sobre cerchas de madera.

Tabla 4.4: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 2.

Dimensiones de ventanas (m)	Número de ventanas	Superficie (m ²)
0,85 x 1,0	4	3,40
0,60 x 0,5	4	1,20
1,70 x 1,5	3	2,55

Planta arquitectónica vivienda tipo 2. Las unidades de medida de las cotas son en metro.



- Vivienda tipo 3: Muros de albañilería. Vivienda social. Superficie de planta de 42,84 m².

Figura 3: Vivienda tipo 3 con muros de albañilería.



Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

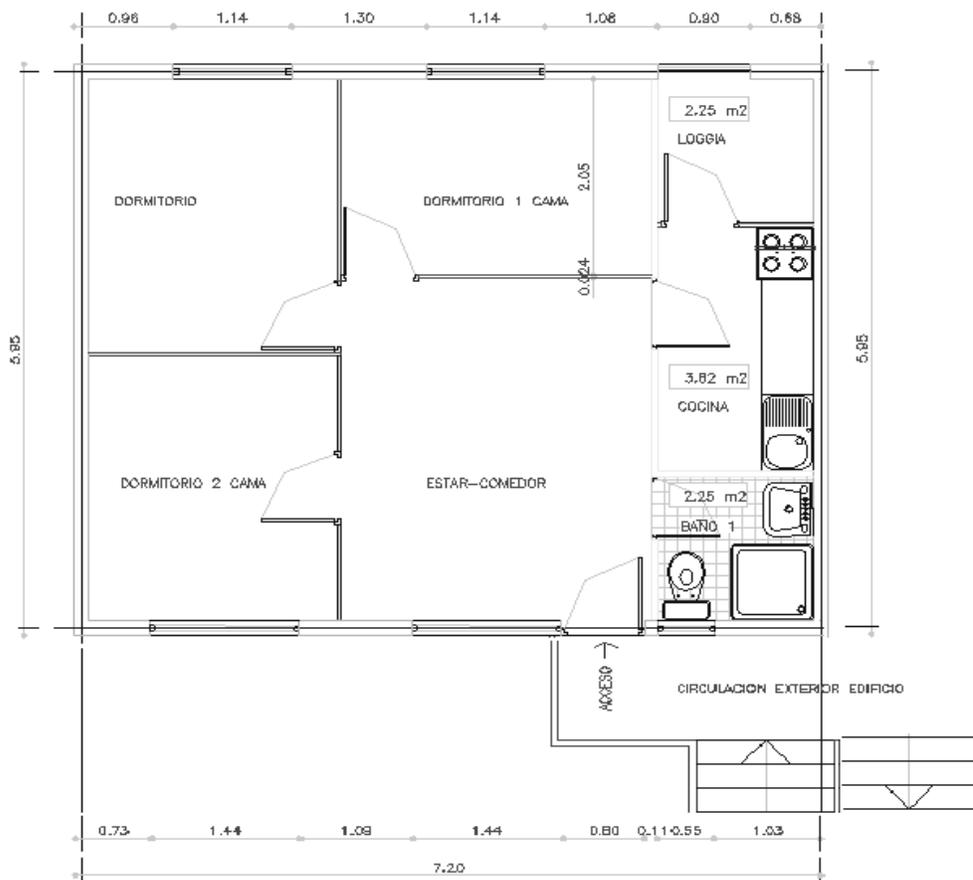
Corresponde a un edificio de viviendas sociales conformado por 3 pisos. Cada piso está conformado por una vivienda de 3 dormitorios pequeños, un living-comedor, cocina y baño. Los departamentos del último piso poseen cubierta ligera.

Tabla 4.5: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 3.

Dimensiones de ventanas (m)	Número de ventanas	Superficie (m ²)
1,14 x 1,00	2	2,280
1,44 x 1,00	2	2,880
0,90 x 0,90	1	0,810
0,55 x 0,55	1	0,302

Planta arquitectónica vivienda tipo 3.

Las unidades de medida de las cotas son en metros.



Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

- Vivienda tipo 4: Muros de Hormigón. Superficie de planta de 85,89 m².

Figura 4: Vivienda tipo 4. Muros de hormigón.



Esta vivienda cuenta con 2 dormitorios grandes y uno pequeño, living, comedor, cocina, dos baños y terraza. Presenta muros perimetrales de hormigón de 20 cm de espesor con revestimiento interior de enlucido de yeso. Su cielo y piso están hechos de losa de hormigón de 15 cm de espesor. Estas losas son colindantes a departamentos que se encuentran habitados y calefaccionados.

Las ventanas presentan marcos de aluminio y vidrio simple de 3 mm de espesor. Además presenta una puerta de vidrio que limita la terraza con la sala.

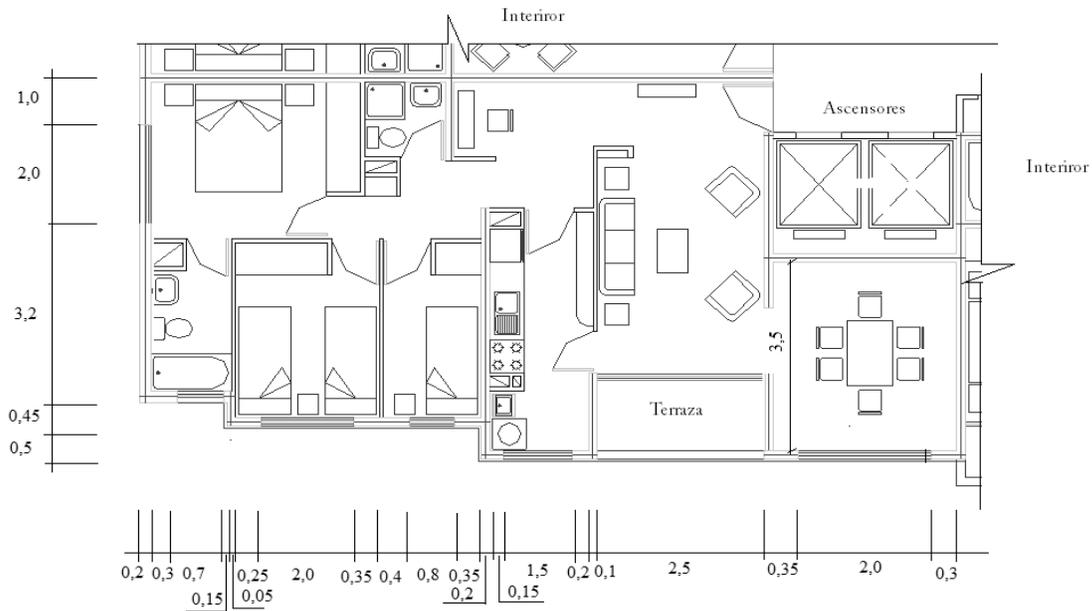
Tabla 4.6: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 4.

Dimensiones de ventanas (m)	Número de ventanas	Superficie (m ²)
2,0 x 1,5	3	3,00
0,8 x 1,5	1	1,20
0,7 x 1,5	1	1,05
1,5 x 1,5	1	2,25
2,5 x 2,0	1	5,00

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

Planta arquitectónica vivienda tipo 4.

Las unidades de medida de las cotas son en metros.



● Vivienda tipo 5: Muros de madera. Superficie de planta de 57,0m².

Esta vivienda cuenta con 2 habitaciones grandes de 12 metros cuadrados y una pequeña de 6 metros cuadrados, presenta living-comedor, cocina y baño.

Las ventanas están compuestas por marcos de madera y vidrio simple de espesor de 3mm.

Tabla 4.7: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 5.

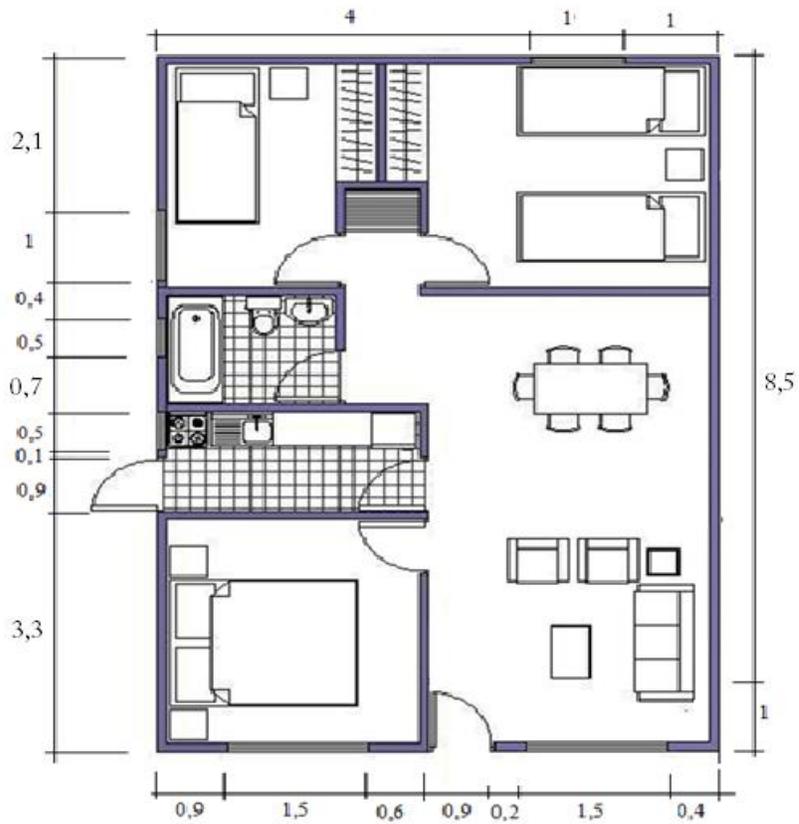
Dimensiones de ventanas (m)	Número de ventanas	Superficie (m ²)
0,5 x 0,5	1	0,25
0,5 x 1,0	1	0,5
1,0 x 1,0	2	2,0
1,5 x 1,75	2	5,25

Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

Figura 5: Vivienda tipo 5. Muros de madera.



Planta arquitectónica vivienda tipo 5. Las cotas son en metro.



Capítulo 4: Selección de viviendas para la investigación.

- Vivienda tipo 6: Muros de madera. Superficie de planta de 70,5 m².

Figura 6: Vivienda tipo 6. Muros de madera y cielo de madera.



Vivienda rural que presenta 3 habitaciones, baño, comedor, cocina y living comedor. Las ventanas son de marcos de madera y vidrio simple de 3 mm de espesor.

Tabla 4.8: Dimensiones y superficies de ventanas vivienda tipo 6.

Dimensiones de ventanas (m)	Número de ventanas	Superficie (m ²)
0,7 x 0,5	1	0,35
1,0 x 0,5	2	1,0
0,85x 0,5	1	0,425
1,50 x 1,7	2	5,1

Planta arquitectónica vivienda tipo 6. Las unidades de medida de las cotas son en metro.

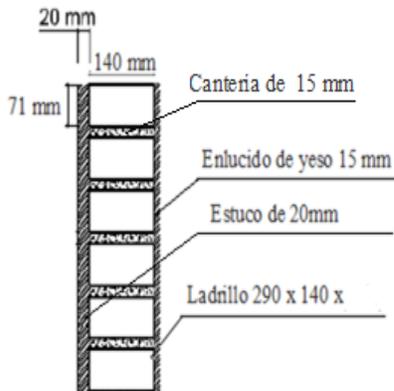


Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

5.1 Transmitancias térmicas de las viviendas con muros de albañilería.

Datos del muro de albañilería.

Figura 7: Corte de muro de albañilería.



Propiedades físicas y térmicas de los materiales del muro.

Muros de albañilería de ladrillo. Espesor de ladrillo 14cm.
Densidad aparente $d= 1000\text{kg/m}^3$ cantería de 1,5 cm.
Conductividad térmica del ladrillo $\lambda= 0,46\text{W/mK}$.

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.
Densidad aparente $d= 2000\text{kg/m}^3$.
Conductividad térmica mortero $\lambda= 1,40\text{W/mK}$

Revestimiento interior: Enlucido de yeso de espesor 1,5cm.
Densidad aparente $d= 800\text{kg/m}^3$.
Conductividad térmica enlucido de yeso $\lambda= 0,35\text{W/mK}$

$$U_{media} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

A través del muro circulan 2 flujos de calor que involucran a los siguientes materiales:

- Mortero de cemento - Enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + 0,05\right)} = 3,10 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

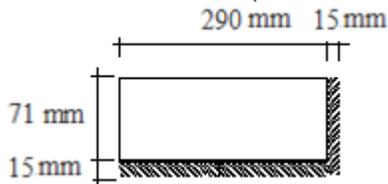
- Mortero de cemento -Ladrillo- Enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,14}{0,46} + 0,05\right)} = 1,89 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Por tanto:

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Dimensiones de mortero y ladrillo.



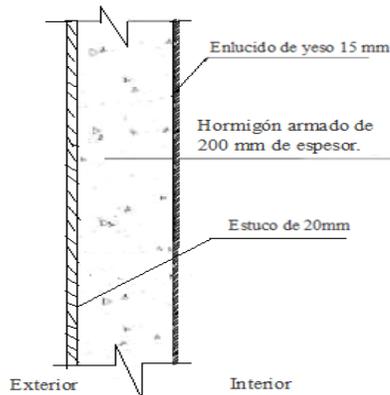
Área de mortero= 0,00564 m²

Área de ladrillo= 0,020 m²

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0174 + 0,038}{0,025} = 2,216 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

5.2 Transmitancias térmicas de las viviendas con muros de hormigón.

Figura 8: Corte de muro de hormigón.



Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

Muros de hormigón armado. Espesor de muro 20cm.

Densidad aparente $d= 2400 \text{ kg/m}^3$

Conductividad térmica $\lambda= 1,63 \text{ W/mK}$.

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d= 2000 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda= 1,40 \text{ W/mK}$.

Revestimiento interior: Enlucido de yeso de espesor 1,5cm.

Densidad aparente $d= 800 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica enlucido de yeso $\lambda=0,35 \text{ W/m}$

A través del muro circula un flujo de calor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,20}{1,63} + \frac{0,015}{0,35} + 0,05\right)} = \frac{1}{0,274} = 2,99 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

5.3 Transmitancias térmicas de las viviendas con muros de madera.

Datos del muro de madera.

Muros de madera, tablero terciado de madera de pino de 18 mm de espesor por el exterior.

Densidad aparente $d= 850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda= 0,23 \text{ W/mK}$.

Listones cepillados de pino radiata de 3"x 4 "(espesor de 10 cm).

Densidad aparente $d= 410 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda= 0,104 \text{ W/mK}$.

Cámara de aire de 10 cm de espesor.

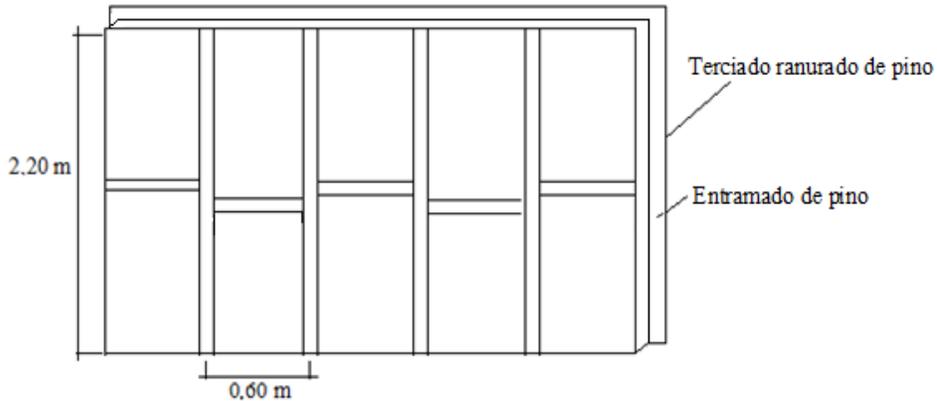
Muros de madera, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor por el interior.

Densidad aparente $d= 850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda= 0,23 \text{ W/mK}$.

Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

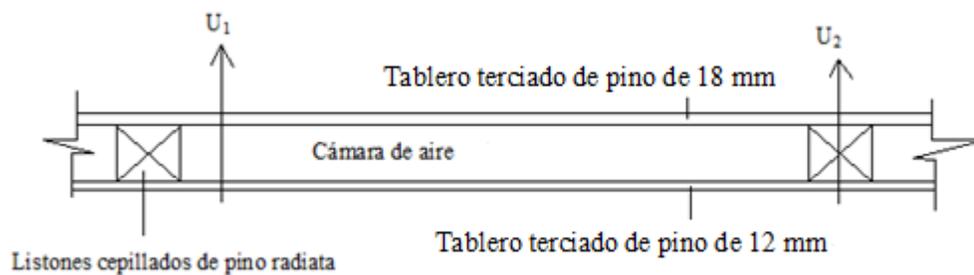
Figura 9: Corte del muro de madera.



$$U_{media} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

A través del muro circulan 2 flujos de calor que involucran a los siguientes materiales:

Figura 10: Flujos de calor a través del muro de madera.



- Tablero cepillado-Cámara de aire-Tablero cepillado.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}}$$

Donde:

$$R_i = \sum \frac{e}{\lambda} \text{ Resistencia térmica hacia el interior de la cámara de aire.}$$

Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

$R_e = \sum \frac{e}{\lambda}$ Resistencia térmica hacia el exterior de la cámara de aire.

$$R_i = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$R_e = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} = 0,078 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 0,078 + 0,05} = \frac{1}{0,45} \\ = 2,22 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

● Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = 0,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Dimensiones de listones y tablero.

$$\text{Área de listones} = 2,2 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} = 0,11 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de tablero} = 2,2 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 1,32 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0873 + 2,93}{1,43} = 2,11 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

5.4 Transmitancias térmicas de cielos de yeso-cartón.

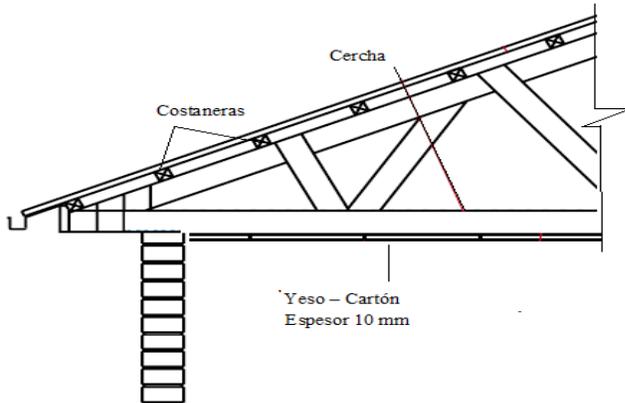
Datos del cielo.

Cielo de yeso cartón de espesor 1 cm. Limitando con un entretecho.

Densidad aparente $d = 700 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica $\lambda = 0,26 \text{ W/mK}$.

Figura 11: Cercha de madera sobre muros de albañilería.



$$U_{\text{cielo}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + 0,1)} = \frac{1}{0,23} = 4,34 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

5.5 Transmitancias térmicas de cielos de madera.

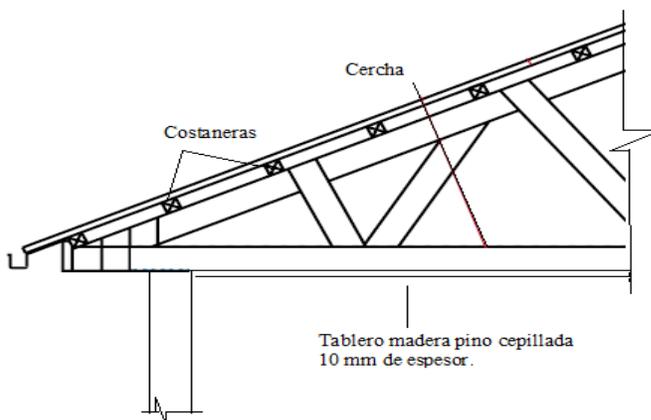
Datos del cielo.

Cielo de madera de pino cepillada de 10 mm de espesor. Costaneras de 1 X 4 pulgadas.

Existe entretecho.

Conductividad térmica de la madera de pino cepillada $\lambda = 0,20 \text{ W/mK}$.

Figura 12: Cercha de madera sobre muros de madera.



Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

$$U_{\text{cielo}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,20} + 0,1\right)} = \frac{1}{0,25} = 4,0 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

5.6 Transmitancias térmicas de puertas y ventanas.

Para el análisis térmico tomaremos como supuesto que todas las ventanas de las viviendas tipos están compuestas por vidrio simple de 3 mm de espesor, las pérdidas a través de los marcos de ventanas se despreciarán, por lo que el tipo de material de perfilería de ventana no alteraría el análisis.

En el caso de las puertas exteriores asumiremos que todas son del mismo tipo de madera, por tanto el coeficiente de conductividad térmica será el mismo para todas las tipologías.

Datos de ventanas.

Ventanas con vidrio simple.

Conductividad térmica del vidrio $\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$, espesor del vidrio 3 mm.

Densidad aparente $d = 2500 \text{ kg/m}^3$.

$$U_{\text{ventana}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,003}{1,2} + 0,05\right)} = \frac{1}{0,1725} = 5,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Datos de puertas.

Puertas de madera, todas con marcos de madera.

Conductividad térmica de la madera $\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$, espesor de la puerta 50 mm.

$$U_{\text{puerta}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,05}{0,16} + 0,05\right)} = \frac{1}{0,4825} = 2,07 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Capítulo 5: Análisis térmico de las viviendas.

5.7 Transmitancias térmicas calculadas en las viviendas tipos.

A continuación se resumen los valores de transmitancia térmica de muros, techumbres, ventanas y puertas calculadas en las viviendas tipos.

Tabla 5.1: Transmitancia térmica de muros, techumbres, ventanas y puertas de las viviendas tipo.

Viviendas tipo.	Transmitancia de muros. (W/m ² K)	Transmitancia de techumbres. (W/m ² K)	Transmitancia de ventanas. Vidrio simple. (W/m ² K)	Transmitancia de puertas exteriores. (W/m ² K)
1	2,21	4,34	5,79	2,07
2	2,21	4,34	5,79	2,07
3	2,21	-	5,79	2,07
4	2,99	-	5,79	5,79
5	2,11	4	5,79	2,07
6	2,11	4	5,79	2,07

Ningún valor de techumbre ni de muro está dentro de las norma NCh-1079. Las ventanas tampoco cumplen con las recomendaciones dadas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Para el cálculo del reacondicionamiento térmico se tendrá en cuenta los valores más exigentes de transmitancias dados por la NCh 1079 y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

6.1 Criterios para determinar el reacondicionamiento térmico.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ejecuta anualmente subsidios de reacondicionamiento térmico a través de uno de sus programas habitacionales, el Programa de Protección al Patrimonio Familiar. El objetivo de este subsidio es ejecutar proyectos de Mejoramiento de la Vivienda que consideren un acondicionamiento térmico de su envolvente, techos, muros y ventanas cumpliendo con lo establecido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. La ejecución de este proyecto se distribuye en las regiones de O'Higgins, Maule, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes. Para otorgar el subsidio se establecen puntajes que van por encima de las exigencias térmicas establecidas en la OGUC. Por tanto para realizar el reacondicionamiento térmico de las viviendas se cumplirá con las transmitancias térmicas más exigentes para cada zona climática establecidas en la NCh 1079 y para cada zona térmica definida en la OGUC, teniendo en cuenta que en cada zona climática estará presente una o varias de las zonas térmicas establecidas en la OGUC.

Las exigencias de transmitancias térmicas para muros establecidas en la NCh 1079 son mayores que las exigencias establecidas en la OGUC, por lo que al incorporar las exigencias térmicas de la NCh 1079 como criterio para nuestro diseño ayuda a un mayor ahorro energético de la vivienda y a su vez a obtener un mayor puntaje para las postulaciones a los subsidios que ofrece el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

En la siguiente tabla se definirá para cada zona climática la zona térmica a analizar tomando en cuenta la mayor densidad de población y construcciones habitacionales que se encuentren en ésta. No se tomarán en cuenta las zonas geográficas por encima de los 2000 metros sobre el nivel del mar ni tampoco las zonas con escasa densidad poblacional quedando excluida por estas características la zona climática Andina y las zonas térmicas con baja densidad poblacional que se encuentren incluidas en sus respectivas zonas climáticas.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Tabla 6.1: Zonas térmicas presentes en cada zona climática.

Zona climática.	Zona térmica dentro de la zona climática.	Ciudad principal.
Norte Litoral	1	La Serena
Norte Desértica	2	Calama
Norte Valles Transversales	1	Copiapó
Central Litoral	2	Valparaíso
Central Interior	3	Santiago
	4	Talca
Sur Litoral	4	Concepción
	5	Valdivia
	6	Puerto Montt
Sur Interior	5	Temuco ,Osorno
Sur Extremo	7	Punta Arenas

6.2 Materiales aislantes y vidrios termopaneles a evaluar en el reacondicionamiento térmico.

Los principales materiales a utilizar en el reacondicionamiento térmico serán el Poliestireno expandido y la Lana de vidrio.

El poliestireno expandido no debe estar expuesto a temperaturas altas, ni a fisuras provocadas por la degradación del material protector del mismo, ya que esto puede provocar la pérdida de sus propiedades térmicas. Una buena conservación de los materiales protectores del poliestireno como los morteros, la placa de yeso-cartón y las planchas de madera en muros de madera garantizan que éste mantenga sus propiedades térmicas inalterables en el tiempo, por lo que las viviendas que sufran un deterioro de estas superficies protectoras en el tiempo, deben realizar un mantenimiento de dichas superficies para evitar el deterioro del aislante y que con esto pierda sus propiedades térmicas.

En el caso de la Lana de vidrio su principal enemigo es la humedad, por lo que su uso en entretechos debe estar condicionado por un correcto funcionamiento de la cubierta, la cual debe impedir filtraciones de agua. Un adecuado mantenimiento y revisión de la cubierta permitirá un funcionamiento adecuado de las propiedades térmicas de la Lana de vidrio.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

6.2.1 Material aislante plancha de yeso-cartón + plancha de poliestireno expandido.

Para uso en revestimientos de muros perimetrales de viviendas la densidad mínima que debe tener el poliestireno expandido es de 15 kg/m^3 . Densidades menores a esta no cumplen con los requerimientos mecánicos adecuados para su correcto funcionamiento.

Es un producto que mejora notablemente la aislación térmica de la envolvente de una vivienda. Consiste en una placa de yeso-cartón a la que se le adhiere una plancha de poliestireno expandido de 15 kg/m^3 de densidad y 10 mm de espesor (el espesor puede variar según el requerimiento térmico), el poliestireno expandido se pega a la placa yeso-cartón en fábrica, es así como se obtiene una plancha conformada por ambos materiales que ofrece una excelente solución como revestimiento térmico de muros nuevos o antiguos.

Figura 13: Placa de yeso-cartón + poliestireno expandido.

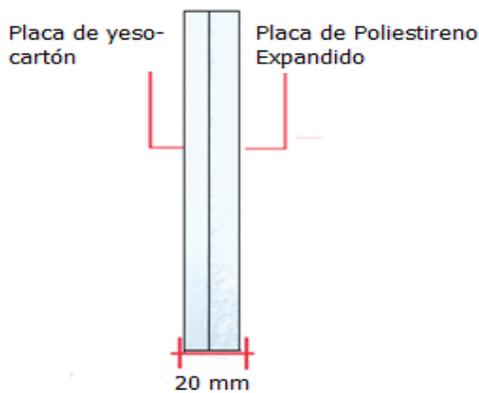
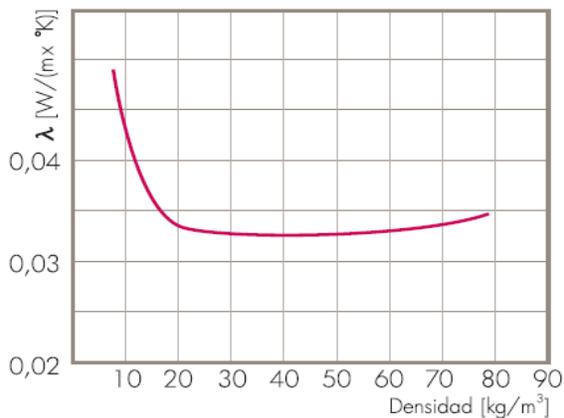


Figura 14: Coeficiente de conductividad térmica vs densidad del aislante.



Para una densidad de poliestireno expandido de 15 kg/m^3 el coeficiente de conductividad térmica es de $0,035 \text{ (W/mK)}$.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

El coeficiente de conductividad térmica placa de yeso- cartón es 0,26 (W/mK).

Tabla 6.2: Espesores y costos del aislante poliestireno expandido + plancha de yeso-cartón.

Espesor de la plancha de yeso-cartón.(mm)	Espesor del poliestireno expandido (mm).	Costo de las planchas (\$)
10	10	\$ 10.115+IVA
10	20	\$ 11.995+IVA
10	30	\$ 13.878+IVA
10	40	\$ 15.760+IVA
10	50	\$ 17.641+IVA
10	60	\$ 19.670+IVA
10	70	\$ 21.652+IVA
10	80	\$ 23.760+IVA
10	90	\$ 25.450+IVA

Nota: Las planchas se presentan en dimensiones de 1.20 x 2.40 mts y el espesor varía de acuerdo al requerimiento térmico. Los espesores de las planchas varían desde los 20 mm hasta los 100 mm.

6.2.2 Material aislante poliestireno expandido.

Para uso en revestimientos exterior e interior de muros perimetrales, es un producto que es inerte al contacto con los metales, ignifugo, resistente a los morteros usados en la construcción y posee baja permeabilidad al vapor de agua.

Este material no debe ser expuesto en forma permanente a temperaturas superiores a 80° C ya que puede perder sus características mecánicas y térmicas.

Es resistente a los procesos de envejecimiento y descomposición, manteniendo sus dimensiones inalteradas, lo que es muy importante ya que garantiza el cumplimiento de la reglamentación térmica a través del tiempo.

Para una densidad de polistireno expandido de 20 kg/m³ el coeficiente de conductividad térmica es de 0,035 (W/mK).

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Tabla 6.3: Dimensiones comerciales y costos de la plancha de poliestireno expandido.

Dimensiones comerciales de las planchas de poliestireno expandido.	Costo de las planchas (\$)
2m x 1m x 0,10m	\$ 1.220+IVA
2m x 1m x 0,20m	\$ 2.439+IVA
2m x 1m x 0,25m	\$ 3.049+IVA
2m x 1m x 0,30m	\$ 3.658+IVA
2m x 1m x 0,35m	\$ 4.267+IVA
2m x 1m x 0,40m	\$ 4.877+IVA
2m x 1m x 0,45m	\$ 5.487+IVA
2m x 1m x 0,50m	\$ 6.097+IVA
2m x 1m x 0,55m	\$ 6.706+IVA
2m x 1m x 0,60m	\$ 7.316+IVA
2m x 1m x 0,65m	\$ 7.926+IVA
2m x 1m x 0,70m	\$ 8.536+IVA
2m x 1m x 0,75m	\$ 9.145+IVA
2m x 1m x 0,80m	\$ 9.755+IVA

Tabla 6.4: Dimensiones comerciales y costos de las planchas de poliestireno expandido de baja densidad (10 Kg/m³).

Dimensiones comerciales de las planchas de poliestireno expandido de baja densidad.	Costo de las planchas (\$)
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,010m	\$ 157
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,020m	\$ 289
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,025m	\$ 430
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,030m	\$ 530
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,040m	\$ 627
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,050m	\$ 851
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,060m	\$ 1.092
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,080m	\$ 1.556
Poliestireno de 1m x 0,5m x 0,100m	\$ 2.290

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

6.2.3 Material aislante lana de vidrio.

Figura 15: Ejemplo de lana de vidrio rollo libre.

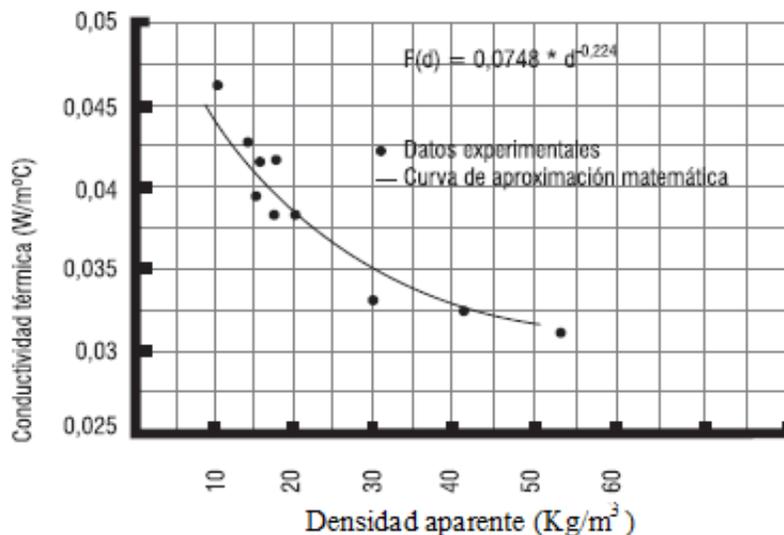


Sus principales usos son en aislación de tabiques, cielos modulares y techumbres. La lana de vidrio se fabrica en forma de rollos con un ancho de 0.60 m ó 1.20 m de longitud que puede ser de hasta 24 metros.

El material no lleva ningún tipo de recubrimiento y tiene una extraordinaria flexibilidad durante su instalación.

No es un material inflamable ni combustible por lo que no contribuye a la propagación del fuego.

Figura 16: Conductividad térmica & densidad aparente de la lana de vidrio.



Para una densidad de 15 Kg/m³ el coeficiente de conductividad térmica es 0,041 (W/mK).

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Tabla 6.5: Dimensiones y precios comerciales de la Lana de vidrio.

Tipo	Espesor (mm)	Ancho (m)	Largo (m)	Costo de los rollos (peso chileno).
Rollo libre	40	1,2	24	\$42.890
Rollo libre	50	1,2	24	\$49.990
Rollo libre	60	0,6	12	\$27990 x 2= \$55.980
Rollo libre	80	0,6	9,6	\$29455 x 2= \$58.910
Rollo libre	100	1,2	7,5	\$25.790
Rollo libre	120	1,2	7,5	\$29.990
Rollo libre	140	1,2	5,5	\$23.890
Rollo libre	160	1,2	5,5	\$27.990

Los rollos de 0,6m de ancho se venden en 2 unidades por paquete.
Los rollos de 1,2 m de ancho se venden en una unidad por bolsa.

Nota: La lana de vidrio rolo libre está disponible en todas las densidades.

6.2.4 Ventanas con vidrios termopaneles.

Figura 17: Ventana con doble vidriado hermético.



El doble vidriado hermético (DVH) es un termopanel compuesto por dos o más vidrios separados entre sí por un espacio de aire seco y quieto, herméticamente sellado al paso de la humedad y el vapor de agua. Es un componente fabricado a medida utilizando distintas combinaciones de vidrios de acuerdo al objetivo y a las propiedades que se quieren obtener, tales como vidrios incoloros o de color, reflectivos, de baja emisividad o vidrios de seguridad, que pueden ser templados o laminados.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Los termopaneles a tomar en cuenta en el reacondicionamiento serán de un solo tipo y tendrán las siguientes características técnicas.

Vidrios 4 mm interior y exterior, la cámara de aire entre ambos será de 12mm rellena con gas Argón en un 95%, perfiles de aluminio.

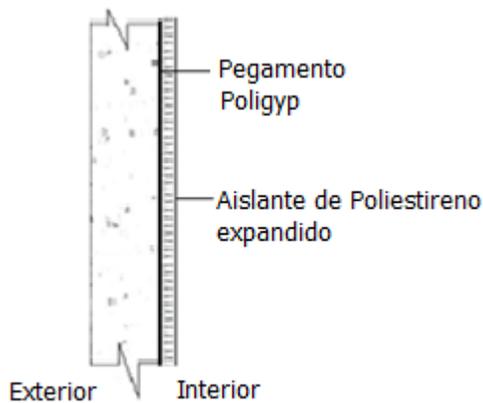
La transmitancia térmica de la siguiente ventana con doble vidrio hermético es de $2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

El precio por metro cuadrado de termopanel con perfiles de aluminio varía en función del ancho de la cámara de aire, el tipo de vidrio y el espesor de este. Para el tipo de ventana escogida el precio por metro cuadrado de termopanel es de \$ 94.990.

6.3 Espesores de aislantes térmicos requeridos en muros de hormigón armado.

Para los cálculos de espesores ver anexo 2.

6.3.1 Aislante interior de poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de hormigón.



Muros de hormigón armado. Espesor de muro 20 cm.

Densidad aparente $d = 2400 \text{ kg/m}^3$

Conductividad térmica $\lambda = 1,63 \text{ W/m}$.

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d = 2000 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda = 1,40 \text{ W/mK}$.

Aislante yeso-cartón + poliestireno expandido.

Plancha de yeso- cartón de 10 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda = 0,26 \text{ W/mK}$.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

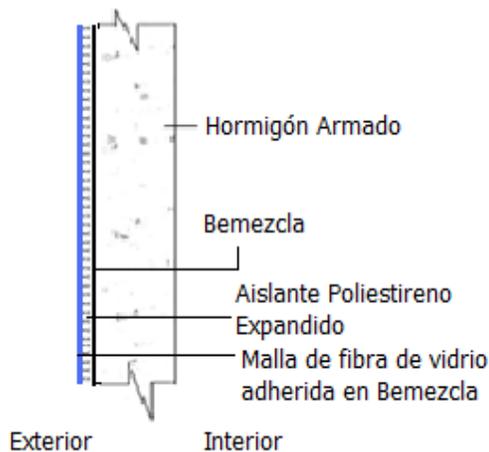
Plancha de poliestireno de densidad 15 kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$.

Tabla 6.6: Espesores de las planchas polistireno expandido + yeso-cartón para muros de hormigón.

Aislantes	Zona climática	Espesor de plancha (mm).	Transmitancias térmicas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Polistireno expandido + yeso-cartón	NL	20	1,58
	ND	70	0,48
	NVT	50	0,68
	CL	50	0,68
	CI	60	0,56
	SL	60	0,56
	SI	70	0,48
	SE	90	0,43

6.3.2 Aislante exterior de poliestireno expandido en muros de hormigón.

Figura 19: Datos del muro de hormigón con aislante.



Muros de hormigón armado. Espesor de muro 20cm.

Densidad aparente $d = 2400 \text{ kg/m}^3$

Conductividad térmica $\lambda = 1,63 \text{ W/mK}$

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d = 2000 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda = 1,40 \text{ W/mK}$.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Revestimiento interior: Enlucido de yeso de espesor 1,5 cm.

Densidad aparente $d= 800\text{kg/m}^3$.

Conductividad térmica enlucido de yeso $\lambda= 0,35\text{W/mK}$.

Plancha de poliestireno de densidad 20kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,035\text{W/m}$.

Tabla 6.7: Espesores de las planchas de poliestireno expandido para muros de hormigón.

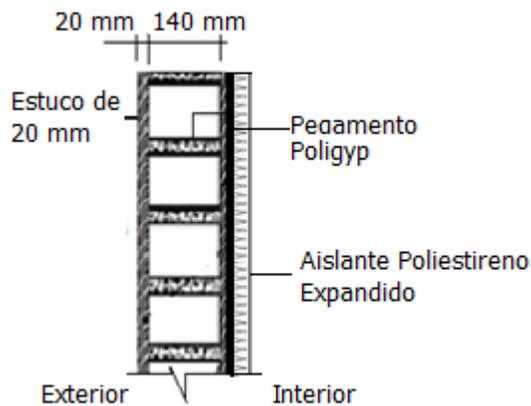
Aislantes	Zona climática	Espesor de plancha (mm).	Transmitancias térmicas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Poliestireno Expandido	NL	10	1,57
	ND	60	0,48
	NVT	35	0,74
	CL	35	0,74
	CI	50	0,57
	SL	50	0,57
	SI	60	0,48
	SE	80	0,38

6.4 Espesores de aislantes térmicos requeridos en muros de albañilería.

Para los cálculos de espesores ver anexo 2.

6.4.1 Aislante interior poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de albañilería.

Figura 20: Datos del muro de albañilería con aislante por el interior.



Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Muros de albañilería de ladrillo. Espesor de ladrillo 14cm.
 Densidad aparente $d=1000\text{kg/m}^3$ cantería de 1,5 cm.
 Conductividad térmica del ladrillo $\lambda=0,46\text{W/mK}$

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.
 Densidad aparente $d= 2000\text{kg/m}^3$.
 Conductividad térmica mortero $\lambda= 1,40\text{W/mK}$

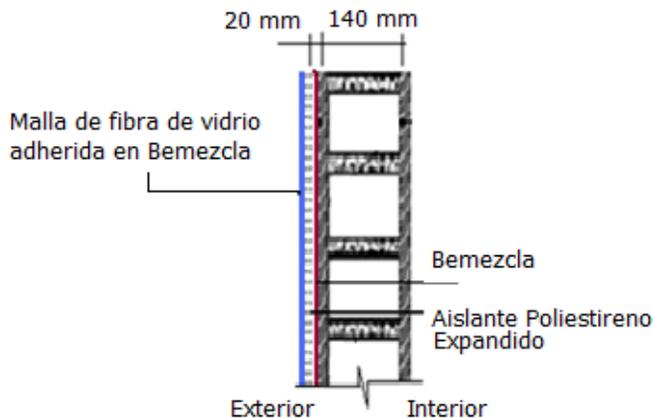
Aislante Yeso-cartón + Poliestireno.
 Plancha de yeso- cartón de 10 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda= 0,26\text{W/mK}$.
 Plancha de poliestireno de densidad 15kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda= 0,035\text{W/mK}$.

Tabla 6.8: Espesores de las planchas de poliestireno expandido + yeso-cartón para muros de albañilería.

Aislantes	Zona climática	Espesor de plancha (mm).	Transmitancias térmicas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Poliestireno expandido + yeso-cartón	NL	20	1,38
	ND	70	0,47
	NVT	40	0,78
	CL	40	0,78
	CI	60	0,54
	SL	60	0,54
	SI	70	0,47
	SE	90	0,37

6.4.2 Aislante exterior de poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de albañilería.

Figura 21: Datos del muro de albañilería con aislante exterior.



Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Datos del muro con aislante.

Muros de albañilería de ladrillo. Espesor de ladrillo 14cm.

Densidad aparente $d=1000\text{kg/m}^3$ cantería de 1,5 cm.

Conductividad térmica del ladrillo $\lambda= 0,46\text{W/mK}$

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d= 2000\text{kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda= 1,40\text{W/mK}$.

Revestimiento interior: Enlucido de yeso de espesor 1,5cm.

Densidad aparente $d= 800\text{kg/m}^3$.

Conductividad térmica enlucido de yeso $\lambda= 0,35\text{W/mK}$.

Aislante Poliestireno Expandido.

Plancha de poliestireno de densidad 20kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,035\text{W/mK}$.

Tabla 6.9: Espesores de las planchas de poliestireno expandido para muros de albañilería.

Aislantes	Zona climática	Espesor de plancha (mm).	Transmitancias térmicas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Poliestireno expandido	NL	10	1,35
	ND	55	0,49
	NVT	30	0,77
	CL	30	0,77
	CI	50	0,53
	SL	50	0,53
	SI	55	0,49
	SE	75	0,39

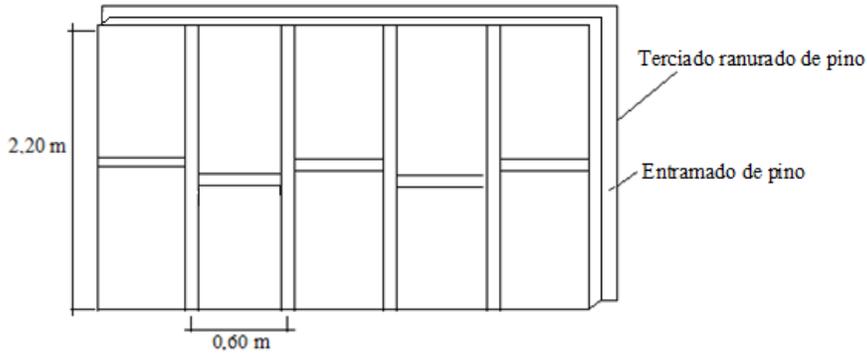
6.5 Espesores de aislantes térmicos requeridos en muros de madera.

Para cálculos de espesores ver anexo 2.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

6.5.1 Aislante de poliestireno expandido de baja densidad en muros de madera.

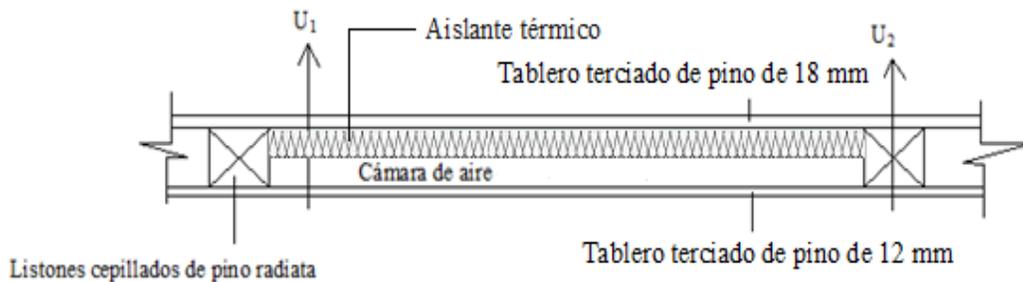
Figura 22: Vista frontal del muro de madera.



Muro-tabique perimetral exterior: El elemento está formado por una estructura de madera hecha con listones de pino radiata de 2"x3" cepillado.

Está compuesto por pie-derechos distanciados entre ejes a 0.60 m, una solera inferior y otra superior. Esta estructuración de madera está forrada por una cara que limita al exterior con una plancha de terciado ranurado de pino de 18 mm de espesor atornillada a la estructura de madera.

Figura 23: Corte transversal del muro de madera con aislante.



Datos del muro.

Muros de madera, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor por el exterior.

Densidad aparente $d=850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,23 \text{ W/mK}$.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Listones cepillados de pino radiata de 3"x 4" (espesor de 10 cm).

Densidad aparente $d=410 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,104 \text{ W/mK}$.

Poliestireno expandido de densidad 10 kg/m^3 .

Conductividad térmica $\lambda=0,037 \text{ W/mK}$.

Muros de madera, tablero terciado de madera de pino de 18 mm de espesor por el exterior.

Densidad aparente $d=850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,23 \text{ W/mK}$.

Tabla 6.10: Espesores de las planchas de poliestireno expandido para muros de madera.

Aislantes	Zona climática	Espesor de plancha (mm).	Transmitancias térmicas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Poliestireno expandido	NL	10	1,26
	ND	60	0,49
	NVT	30	0,78
	CL	30	0,78
	CI	50	0,6
	SL	50	0,6
	SI	60	0,49
	SE	100	0,36

6.5.2 Aislante de lana de vidrio en muros de madera.

Datos del muro con aislante.

Muros de madera exterior, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor.

Densidad aparente $d= 850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda= 0,23 \text{ W/mK}$.

Coefficiente de conductividad térmica de la lana de vidrio $\lambda= 0,043 \text{ W/mK}$

Densidad aparente 10 kg/m^3

Listones cepillados de pino radiata de 3"x 4" (espesor de 10 cm).

Densidad aparente $d= 410 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda= 0,104 \text{ W/mK}$.

Muros de madera interior, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor.

Densidad aparente $d= 850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda= 0,23 \text{ W/mK}$.

Tabla 6.11: Espesores de los rollos de lana de vidrio para muros de madera.

Aislantes	Zona climática	Espesor de plancha (mm).	Transmitancias térmicas (W/m ² K)
Lana de fibra de vidrio	NL	40	0,72
	ND	80	0,47
	NVT	40	0,72
	CL	40	0,72
	CI	60	0,56
	SL	60	0,56
	SI	80	0,47
	SE	100	0,4

6.6 Espesores de aislantes térmicos requeridos en cielos de yeso-cartón y cielos de madera.

Para los cálculos de espesores de aislante ver anexo 3.

6.6.1 Espesor de aislante lana de vidrio.

Los cálculos también serán válidos para los cielos de madera ya que solo difieren en el coeficiente de conductividad térmica, $\lambda=0,26\text{W/mK}$ para cielo de yeso- cartón y $\lambda=0,20\text{W/mK}$ para cielo de madera, manteniendo iguales sus espesores.

Datos del cielo con aislante de lana vidrio.

Cielo de yeso cartón de espesor 1 cm. Limitando con un entretecho.

Densidad aparente $d=700\text{kg/m}^3$.

Conductividad térmica $\lambda= 0,26\text{W/mK}$.

Aislante Lana de vidrio.

Densidad aparente 15kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda= 0,043\text{W/mK}$.

Capítulo 6: Evaluación del reacondicionamiento térmico requerido.

Tabla 6.12: Espesores de los rollos de lana de vidrio para techumbres de madera y yeso-cartón.

Aislantes	Zona climática	Zona térmica	Espesor (mm).	Transmitancias térmicas (W/m ² K)
Lana de vidrio	NL*	1	50	0,710
	ND *	2	100	0,375
	NVT*	1	60	0,590
	CL*	2	60	0,590
	CI	3*	80	0,460
		4*	100	0,375
		4*	100	0,375
	SL	5*	120	0,330
		6*	140	0,279
	SI*	5	140	0,279
	SE*	7	160	0,250

Nota: Las zonas climáticas o térmicas marcadas con (*) serán las de mayor recomendación de transmitancias térmicas, por tanto serán estas las que determinarán el diseño térmico de techumbres en el reacondicionamiento.

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

7.1 Costos directos.

Para los cálculos de los costos directos ver anexo 4.

7.1.1 Costos directos viviendas tipo 1. Muros de albañilería.

Para la zona Norte-Litoral no se tendrá en cuenta el reacondicionamiento térmico de los muros debido a que para cumplir con las recomendaciones térmicas de la Norma Chilena 1079 se necesitaría un espesor de aislante muy pequeño, inferior al existente en el mercado.

Tabla 7.1: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 1.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	171.103	911.904	1.083.007
ND	2	812.462	201.663	911.904	1.926.029
NVT	1	647.030	189.073	911.904	1.748.007
CL	2	647.030	189.073	911.904	1.748.007
CI	3	754.502	197.863	911.904	1.864.269
	4	754.502	201.663	911.904	1.868.069
SL	4	754.502	201.663	911.904	1.868.069
	5	754.502	231.063	911.904	1.897.469
	6	754.502	260.033	911.904	1.926.439
SI	5	812.462	260.033	911.904	1.984.399
SE	7	912.149	301.033	911.904	2.125.086

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

Tabla 7.2: Costo del reacondicionamiento térmico por el exterior de la vivienda tipo 1.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	171.103	911.904	1.083.007
ND	2	1.078.587	201.663	911.904	2.192.154
NVT	1	958.864	189.073	911.904	2.059.841
CL	2	958.864	189.073	911.904	2.059.841
CI	3	1.054.662	197.863	911.904	2.164.429
	4	1.054.662	201.663	911.904	2.168.229
SL	4	1.054.662	201.663	911.904	2.168.229
	5	1.054.662	231.063	911.904	2.197.629
	6	1.054.662	260.033	911.904	2.226.599
SI	5	1.078.587	260.033	911.904	2.250.524
SE	7	1.174.353	301.033	911.904	2.387.920

7.1.2 Costos directos viviendas tipo 2.Muros de albañilería.

Tabla 7.3: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 2.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	178.635	679.178	857.813
ND	2	1.041.361	286.565	679.178	2.007.104
NVT	1	800.709	196.605	679.178	1.676.492
CL	2	800.709	196.605	679.178	1.676.492
CI	3	939.527	205.395	679.178	1.825.100
	4	939.527	286.565	679.178	1.905.270
SL	4	939.527	286.565	679.178	1.905.270
	5	939.527	328.565	679.178	1.947.270
	6	939.527	339.235	679.178	1.957.940
SI	5	1.041.361	339.235	679.178	2.059.774
SE	7	1.165.269	363.870	679.178	2.208.317

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

Tabla 7.4: Costo del reacondicionamiento térmico por el exterior de la vivienda tipo 2.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	178.635	679.178	857.813
ND	2	1.286.508	286.565	679.178	2.252.251
NVT	1	1.126.920	196.605	679.178	2.002.703
CL	2	1.126.920	196.605	679.178	2.002.703
CI	3	1.255.012	205.395	679.178	2.139.585
	4	1.255.012	286.565	679.178	2.220.755
SL	4	1.255.012	286.565	679.178	2.220.755
	5	1.255.012	328.565	679.178	2.262.755
	6	1.255.012	339.235	679.178	2.273.425
SI	5	1.255.012	339.235	679.178	2.273.425
SE	7	1.414.240	363.870	679.178	2.457.288

7.1.3 Costos directos viviendas tipo 3.Muros de albañilería.

Tabla 7.5: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 3.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total (\$)
NL	1	-	595.825	595.825
ND	2	791.201	595.825	1.387.026
NVT	1	625.793	595.825	1.221.618
CL	2	625.793	595.825	1.221.618
CI	3	733.265	595.825	1.329.090
	4	733.265	595.825	1.329.090
SL	4	733.265	595.825	1.329.090
	5	733.265	595.825	1.329.090
	6	733.265	595.825	1.329.090
SI	5	791.201	595.825	1.387.026
SE	7	908.033	595.825	1.503.858

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

Tabla 7.6: Costo del reacondicionamiento térmico por el exterior de la vivienda tipo 3.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total (\$)
NL	1	-	595.825	595.825
ND	2	1.000.394	595.825	1.596.219
NVT	1	884.330	595.825	1.480.155
CL	2	884.330	595.825	1.480.155
CI	3	977.226	595.825	1.573.051
	4	977.226	595.825	1.573.051
SL	4	977.226	595.825	1.573.051
	5	977.226	595.825	1.573.051
	6	977.226	595.825	1.573.051
SI	5	1.000.394	595.825	1.596.219
SE	7	1.093.290	595.825	1.689.115

7.1.4 Costos directos viviendas tipo 4.Muros de hormigón.

Tabla 7.7: Costo del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda tipo 4.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total (\$)
NL	1	-	759.920	759.920
ND	2	516.739	759.920	1.276.659
NVT	1	442.291	759.920	1.202.211
CL	2	442.291	759.920	1.202.211
CI	3	478.099	759.920	1.238.019
	4	478.099	759.920	1.238.019
SL	4	478.099	759.920	1.238.019
	5	478.099	759.920	1.238.019
	6	478.099	759.920	1.238.019
SI	5	516.739	759.920	1.276.659
SE	7	594.611	759.920	1.354.531

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

7.1.5 Costos directos viviendas tipo 5. Muros de madera.

Tabla 7.8: Costo del reacondicionamiento térmico con fibra de vidrio para la vivienda tipo 5.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	119.930	759.920	879.859
ND	2	282.444	200.480	759.920	1.242.844
NVT	1	234.384	131.910	759.920	1.126.214
CL	2	234.384	131.910	759.920	1.126.214
CI	3	273.654	137.770	759.920	1.171.344
	4	273.654	200.480	759.920	1.234.054
SL	4	273.654	200.480	759.920	1.234.054
	5	273.654	229.880	759.920	1.263.454
	6	273.654	234.960	759.920	1.268.534
SI	5	282.444	234.960	759.920	1.277.324
SE	7	312.034	271.860	759.920	1.343.814

Tabla 7.9: Costo del reacondicionamiento térmico con poliestireno expandido para la vivienda tipo 5.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	119.930	759.920	879.850
ND	2	247.800	200.480	759.920	1.208.200
NVT	1	173.054	131.910	759.920	1.064.884
CL	2	173.054	131.910	759.920	1.064.884
CI	3	215.747	137.770	759.920	1.113.437
	4	215.747	200.480	759.920	1.176.147
SL	4	215.747	200.480	759.920	1.176.147
	5	215.747	229.880	759.920	1.205.547
	6	215.747	234.960	759.920	1.210.627
SI	5	247.800	234.960	759.920	1.242.680
SE	7	407.134	271.860	759.920	1.438.914

Capítulo 7: Costos y soluciones constructivas.

7.1.6 Costos directos viviendas tipo 6. Muros de madera.

Tabla 7.10: Costo del reacondicionamiento térmico con poliestireno expandido para la vivienda tipo 6.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	177.795	653.056	830.851
ND	2	262.397	259.935	653.056	1.175.388
NVT	1	183.155	195.765	653.056	1.031.976
CL	2	183.155	195.765	653.056	1.031.976
CI	3	228.416	204.555	653.056	1.086.027
	4	228.416	259.935	653.056	1.141.407
SL	4	228.416	259.935	653.056	1.141.407
	5	228.416	297.735	653.056	1.179.207
	6	228.416	338.395	653.056	1.219.867
SI	5	262.397	338.395	653.056	1.253.848
SE	7	431.315	391.695	653.056	1.476.066

Tabla 7.11: Costo del reacondicionamiento térmico con lana de vidrio en la vivienda tipo 6.

Zona climática	Zona térmica	Costo aislante muro (\$)	Costo aislante Cielo(\$)	Costo ventanas(\$)	Costo directo total(\$)
NL	1	-	177.795	653.056	830.851
ND	2	288.485	259.935	653.056	1.201.476
NVT	1	240.425	195.765	653.056	1.089.246
CL	2	240.425	195.765	653.056	1.089.246
CI	3	279.695	204.555	653.056	1.137.306
	4	279.695	259.935	653.056	1.192.686
SL	4	279.695	259.935	653.056	1.192.686
	5	279.695	297.735	653.056	1.230.486
	6	279.695	338.395	653.056	1.271.146
SI	5	288.485	338.395	653.056	1.279.936
SE	7	318.075	391.695	653.056	1.362.826

7.2 Secuencia constructiva para la colocación de aislante por el exterior.

Se remueven los restos de pinturas antiguas, grasas, manchas etc. Después las partículas sueltas que quedan se limpian con brocha o escobillón.

Para adherir la plancha de aislante de poliestireno expandido se aplica sobre una de sus caras un recubrimiento completo con Bemezcla, esto se realiza con una llana dentada. El espesor de Bemezcla será de aproximadamente de 6mm.

Las uniones de la planchas nunca deben ser coincidentes con las piernas de los marcos de ventanas, tanto en horizontal como en vertical. Estas deben realizarse en uniones en “L”.

Una vez adherido el poliestireno al muro se procede a colocar el recubrimiento y refuerzo base. Este será a base de malla de fibra de vidrio con Bemezcla.

Sobre la superficie de poliestireno se coloca una capa de Bemezcla donde se hunde la malla de fibra de vidrio y posteriormente se procede a la terminación con Bemezcla cubriendo totalmente la malla con un espesor total de capa base de 3mm.

En el recubrimiento de las uniones entre dos planchas de Termopol la malla de fibra de vidrio se instala en espesores de 15 cm, a lo largo de las uniones de los paneles.

En las esquinas de los muros se colocará la malla de fibra de vidrio esquinero, propia para dicho detalle.

Figura 24: Malla de fibra de vidrio para esquinas.



7.3 Secuencia constructiva para la colocación de aislante por el interior.

Se comienza trazando una línea auxiliar en el piso, como mínimo, se considerará un espesor de 0,5 cm. Estas auxiliares permitirán aplomar perfectamente el revestimiento térmico.

Las planchas serán cortadas según sea la altura del muro a revestir. Se medirá la altura de piso a losa-cielo y se trasladará esta cota sobre la plancha del Sistema Poligyp. Luego se trazará la línea de corte y se cortará con sierra circular o serrucho de mano. El corte siempre se deberá realizar por el lado de la placa de yeso – cartón. Las placas de yeso-cartón siempre deberán quedar separadas del nivel del piso terminado como mínimo 10 mm para evitar la absorción de humedad por capilaridad.

Figura 25: Cortes de las planchas.



7.3.1 Colocación de motas a las planchas.

Estas “motas” se colocarán siempre del lado del poliestireno expandido en caso de tratarse de obras nuevas o sobre los muros a revestir si son obras antiguas.

Las “motas” de pegamento serán distribuidas a lo largo y a lo ancho de las planchas distanciadas cada 40 cm en el sentido longitudinal y en el transversal. Las mismas serán de aproximadamente 10 cm de diámetro y un espesor de 5 cm aprox. Se dispondrán aprox. 10 motas por m² de plancha.

Figura 26: Aplicación de motas sobre las planchas.



7.3.2 Montaje.

El proceso de montaje consiste en tomar las planchas con las “motas” de pegamento y apoyarlas en la base inferior utilizando como guía la línea auxiliar que se marcó en el replanteo, las planchas deberán quedar separadas del nivel de piso terminado, como mínimo 1 cm. Luego se presionan de tal modo que las motas se expandan para cubrir el total de área a adherir.

7.3.3 Encuentro en ángulos internos.

Cuando se tienen que resolver encuentros de ángulos internos en dos muros a revestir se deben traslapar las planchas entre sí, a los efectos de no generar puentes térmicos en los espacios que pudieren quedar entre ellas.

Figura 27: Encuentro de ángulos internos en muros.



7.3.4 Resolución de las carpinterías.

Las uniones de las planchas nunca deben ser coincidentes con las piernas de los marcos de puertas ni de ventanas, tanto en horizontal como en vertical. Estas deben desplazarse como mínimo 20 cm de las piernas de marcos y cabezales, realizando uniones en “L”.

Figura 28: Uniones en L en ventanas.



7.4 Secuencia constructiva para la colocación de lana de vidrio en muros de madera.

Se procederá a retirar el tablero cepillado de madera interior para colocar el aislante (poliestireno o lana de vidrio) entre el entramado del muro, una vez colocado el aislante se procede a la colocación del tablero de madera cepillado interior y luego se hace la terminación final a base de pintura.

En el caso de lana de vidrio se deberá realizar el corte con cuchillo cartonero, guantes y anteojos.

Figura 29: Ejemplo de muro perimetral exterior con aislante de lana de fibra de vidrio.



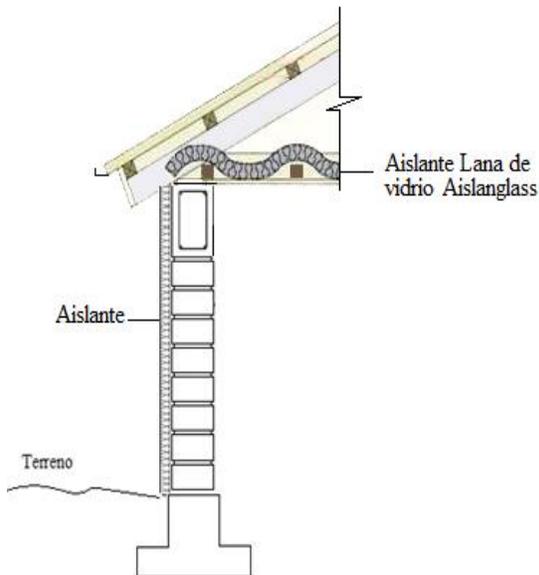
7.5 Secuencia constructiva para la colocación de lana de vidrio en entretechos.

El aislante se colocara sobre las vigas de la estructura secundaria para así evitar los puentes térmicos y poder lograr una mayor eficiencia en la aislación.

Se retirará el recubrimiento exterior de la cercha (lugar por donde se accederá al interior de esta) y se irá colocando el aislante a lo largo de toda la techumbre, teniendo en cuenta que hay que apoyarse sobre las vigas de la estructura secundaria para evitar daños en el cielo. Una vez colocado el aislante se procede a colocar el recubrimiento exterior de la cercha.

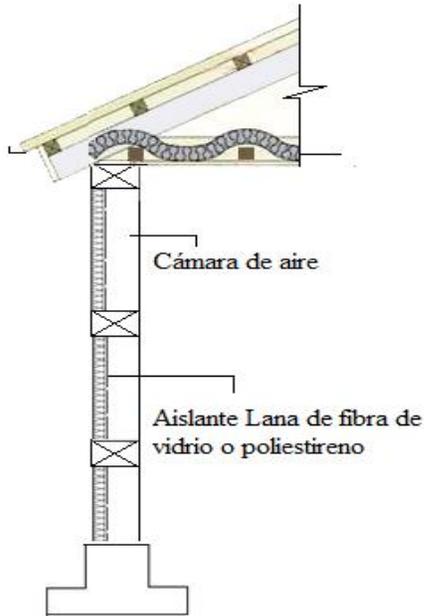
7.6 Corte piso-cielo en muros de albañilería con cielo de yeso- cartón.

Figura 30: Corte piso-cielo con muro de albañilería.



7.7 Corte piso-cielo en muros de madera con cielo de yeso- cartón.

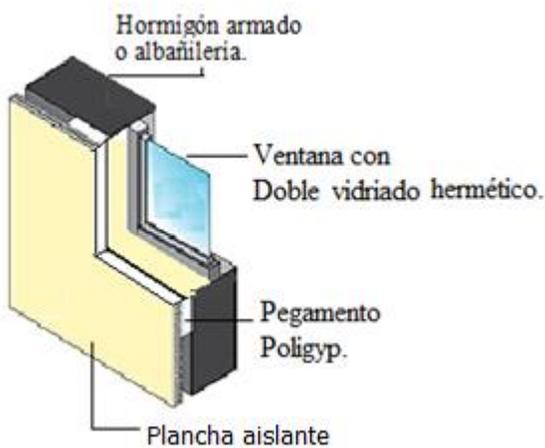
Figura 31: Corte piso-cielo con muro de madera.



7.8 Detalle de ventana.

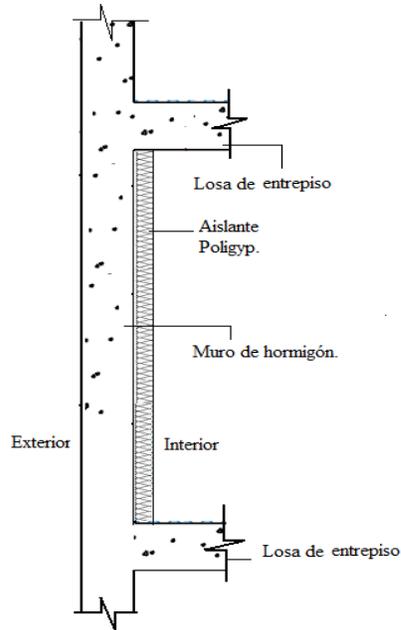
Cuando el espesor del revestimiento aplicado sobre muro existente quede fuera del plano de la carpintería, se rematará en torno a la misma rellenando el espacio con pegamento Poligyp.

Figura 32: Detalle de terminaciones de ventanas.



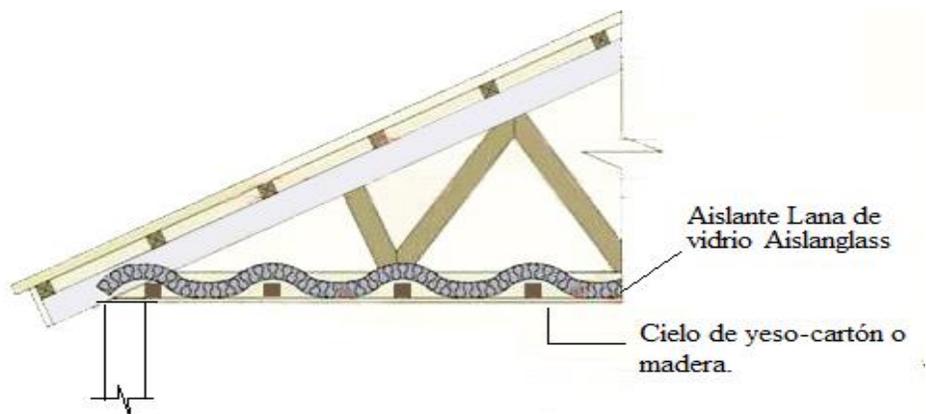
7.9 Corte piso-cielo en muros de hormigón.

Figura 33: Corte piso-cielo en muros de hormigón.



7.10 Detalle de aislante lana de fibra de vidrio en entretecho.

Figura 34: Colocación del aislante de Lana de fibra de vidrio.



El aislante en el entretecho se colocará entre cerchas, en la zona donde se encuentre la cercha hay que colocar sobre el cordón inferior de esta lana de fibra de vidrio para evitar los puentes térmicos ya que estos llevan a fugas de calor.

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

8.1 Costo del reacondicionamiento por el interior.

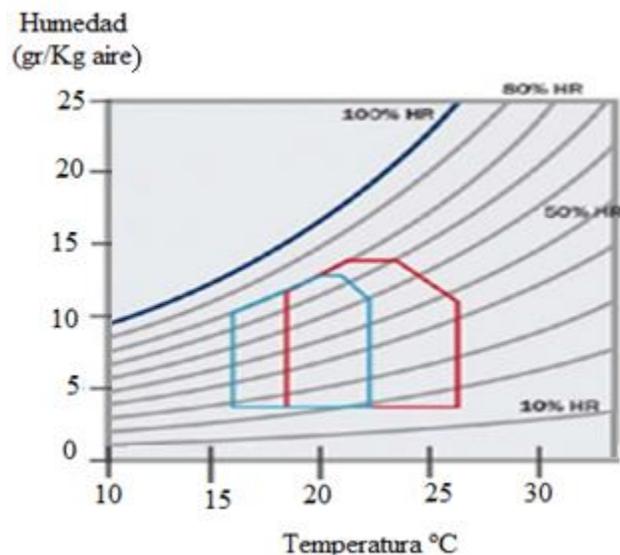
El análisis económico se llevará a cabo sobre los costos del reacondicionamiento térmico por el interior de la vivienda ya que este es más barato que el reacondicionamiento por el exterior.

8.2 Confort térmico.

El confort térmico representa el sentirse bien desde el punto de vista del ambiente higrotérmico exterior de la persona.

Un adecuado control de la temperatura del medio ambiente que circunda el cuerpo humano elimina el esfuerzo fisiológico de acomodación, obteniéndose con ello un mayor confort y por tanto una mejora del bienestar físico y de las condiciones de salubridad.

Figura 35: Diagrama de confort térmico según Givoni.



El diagrama de Givoni plantea que para la época de verano la temperatura máxima aceptada como confortable es de alrededor de los 27°C, teniendo una humedad relativa de entre 20% y 50%. Mientras que en invierno la temperatura mínima considerada como confortable es de 16°C con una humedad relativa de alrededor del 30% al 80%. También se puede apreciar que las condiciones consideradas confortables en verano incluyen una zona considerable de las de invierno y viceversa, por lo que al encontrarse en el punto de intersección de ambas zonas se está cumpliendo con las condiciones consideradas como confortables tanto en invierno como en verano.

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

Según el diagrama de Givoni se tomará como referencia dentro de la vivienda una temperatura de confort térmico de 15°C para los meses de invierno. Esta temperatura de confort es la temperatura a la que se calefaccionarán las viviendas durante el invierno, teniendo en cuenta que en la mayoría de las viviendas chilenas de medios y bajos ingresos no se calefacciona a más de 15 grados como promedio durante las horas requeridas, esto debido a que el costo de calefacción es elevado.

8.3 Demanda Energética de Calefacción.

La demanda de energía en calefacción (DEC) de un edificio o vivienda se calcula con el objetivo de conocer cuanta energía térmica adicional hay que incorporar a una vivienda con el fin de mantenerla a una temperatura de confort.

$$DEC = \frac{\text{Pérdidas totales} \cdot (T_i - T_e) \cdot \text{horas de calefacción}}{\text{Superficie de planta}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right)$$

Dónde:

Pérdidas totales: Dado que entre el ambiente exterior e interior de una vivienda median superficies de distintas características (techos, muros, ventanas, puertas y pisos) las cuales presentan un nivel de aislación térmica diferente la demanda energética de calefacción dependerá de las pérdidas por estas superficies para su cálculo.

Pérdidas a través de los muros exteriores = U muro x Superficie de muro.

Pérdidas a través de los pisos = K piso x Superficie de piso.

Pérdidas a través de las ventanas = U ventana x Superficie de ventana.

T_i: Es la temperatura de confort a la que estará el interior de la vivienda. (°C).

T_e: Temperatura exterior media mensual. (°C). Corresponde a la temperatura media diaria en los meses de invierno. (Datos extraídos de la NCh-1079.)

Para el cálculo de la demanda de energía de calefacción se tomará como supuesto que las viviendas tipos no cuentan con ningún tipo de aislación térmica para ninguna zona climática donde se encuentren.

8.4 Demanda-Consumo.

La demanda de energía de calefacción es la cantidad de energía que un sistema debe suministrar a una vivienda para mantener las condiciones de confort. El consumo es la cantidad de energía que se debe suministrar al sistema para que este atienda a la demanda.

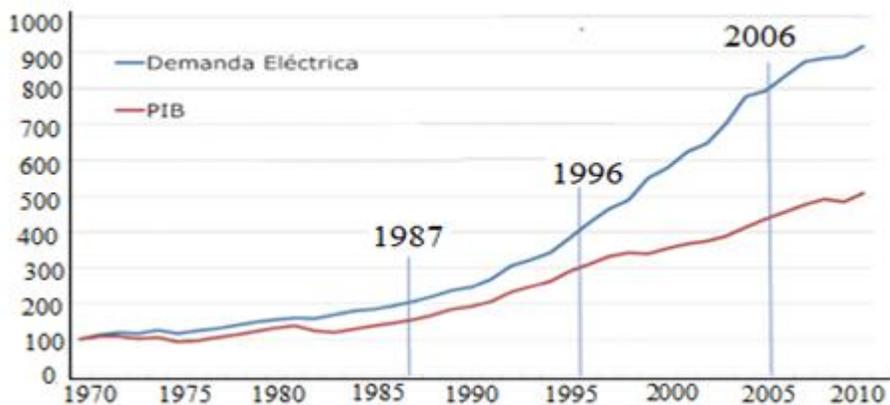
Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

Como los sistemas tienen pérdidas, el consumo suele ser superior a la demanda no obstante las diferencias no son muy considerables en los sistemas eficientes, por lo que se considerará para el análisis del gasto energético de calefacción que la demanda es igual al consumo.

8.5 Supuestos para el análisis económico del reacondicionamiento térmico.

- 1- Que el producto interno bruto PIB y la Demanda de energía crecen igual al 5%.

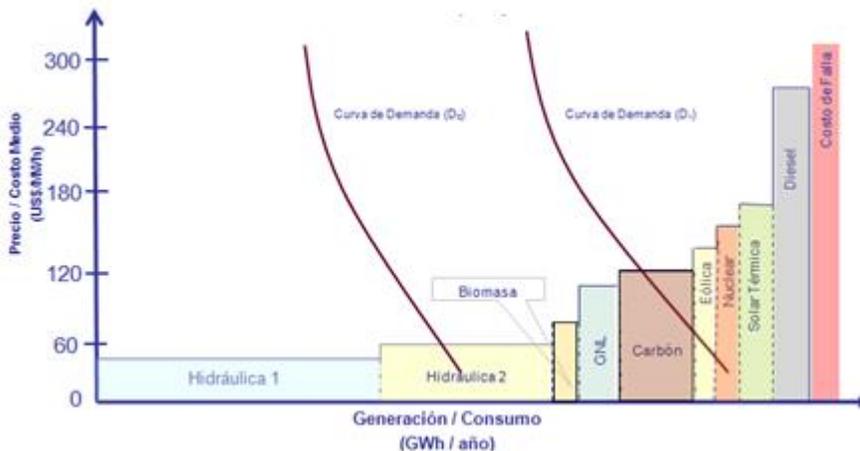
Figura 36: Demanda Eléctrica total anual & PIB real anual en el período 1970-2010



Fuente: AIE & Ministerio de Energía (Balance de Energía).

- 2- Los proyectos en proyección en la CNE apuntan al carbón en los próximos años.

Figura 37: Equilibrio de largo plazo en el Mercado de la Energía Eléctrica (SIC).



Fuente: Ing Civil Industrial, UGM, Mario Troncoso Lagos.

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

Los precios en la actualidad están regidos por los precios del carbón, debido a que la mayoría de proyectos energéticos a realizar en plazos de 5 años corresponden al carbón. Es de suponer que la curva de demanda no se moverá de este.

3- El precio del kwh se mantendrá igual los próximos 5 años.

El precio del kWh en Chile es un precio variable, depende de los precios internacionales del petróleo, de la matriz energética de Chile, los proyectos energéticos a futuro para dicha matriz entre otros factores, además de variar de una región a otra.

En conformidad a lo dispuesto en la Ley Eléctrica vigente en Chile, las tarifas de distribución para los clientes finales se fija por el Ministerio de Economía. Esta fijación se realiza en base a estudios encargados a consultores expertos, tanto por las empresas como por el Ministerio de Energía que es el organismo regulador del sector energético chileno. Estas son variables dependiendo de las regiones y compañías a las que pertenezcan las viviendas.

Para el cálculo del precio de la energía de calefacción se tomará como referencia para el análisis un valor aproximado de \$125 el kWh para todas las regiones de Chile, por tanto:

Costo de Energía = \$125 x Consumo.

4- El costo de inversión va a ser igual a los costos fijos.

8.6 Cálculo del Valor Presente Actual Neto (VAN).

El Valor Actual Neto se puede definir como el Valor presente de una inversión a partir de una tasa de descuento, una inversión inicial y una serie de pagos futuros. Su principal objetivo es actualizar todos los flujos futuros al período inicial cero y compararlos para verificar si los beneficios son mayores que los costos.

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t : Son los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 : Es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n : Es el número de períodos considerado.

K : Es el tipo de interés.

El tipo de interés del mercado estará compuesto por el interés fijado por el Banco Central de Chile (2,9%) y la tasa de oportunidad del mercado 7,1%.

Se analizará el Valor Actual Neto de las viviendas sin reacondicionamiento térmico y con reacondicionamiento térmico.

El número de períodos a analizar será de 5 años, debido a que pasado este tiempo las viviendas requieren de mantenimiento para conservar las propiedades térmicas de los aislantes; además, los costos de energía variarán pasado este período, el nivel de decisión para invertir es mucho más atractivo en un plazo medianamente pequeño que en uno mucho más largo.

8.7 Rentabilidad y tiempo de recuperación de la inversión.

A continuación se ejemplificará las viviendas tipo 1 y tipo 4 ubicadas en las zonas climáticas Norte-Litoral y Sur Extremo ya que corresponden a las zonas más cálidas y más frías del país, para ver las demás viviendas tipo ver anexo 5.

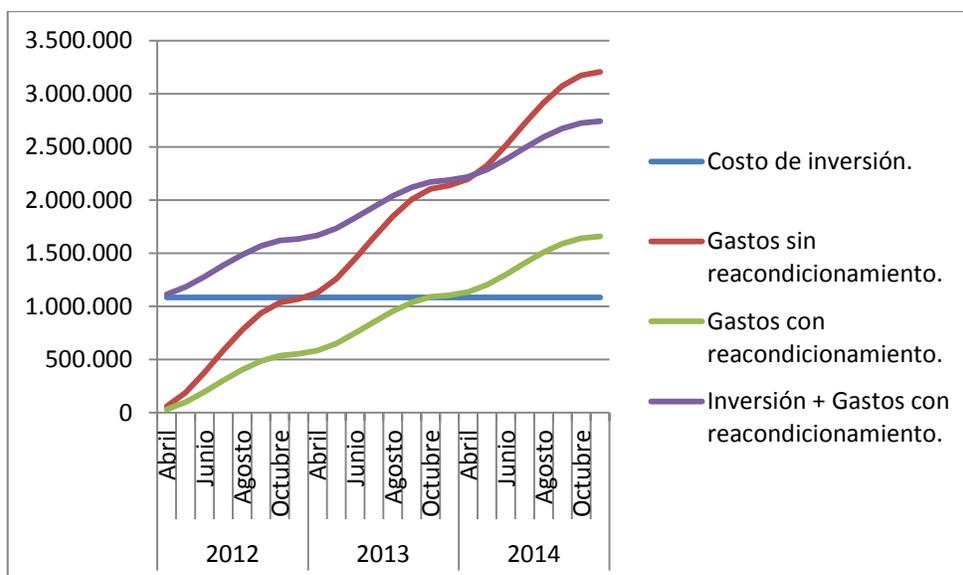
❖ Zona Norte-Litoral.

Viviendas tipo 1: Muros de albañilería y cielo de yeso cartón. Planta de 60,38m².

Para esta zona solo se realizó el reacondicionamiento térmico de las techumbres, la ciudad a analizar para el cálculo de la Demanda Energética de Calefacción es La Serena.

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

Figura 38: Tiempo de amortización de la inversión para la vivienda tipo 1 en La Serena



A partir de los 2 años y 5 meses la inversión en el reacondicionamiento térmico empezará a generar menos gastos en calefacción.

Tabla 8.1: VAN de la vivienda tipo 1 sin reacondicionamiento térmico en La Serena.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 1.068.520	\$ 1.068.520	\$ 1.068.520	\$ 1.068.520	\$ 1.068.520
Valor Presente Neto	\$ 4.050.531				

Tabla 8.2: VAN de la vivienda tipo 1 con reacondicionamiento térmico en La Serena.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 552.285	\$ 552.285	\$ 552.285	\$ 552.285	\$ 552.285
Inversión	\$ 1.083.007				
	\$ 1.635.292	\$ 552.285	\$ 552.285	\$ 552.285	\$ 552.285
Valor Presente Neto	\$ 3.078.146				

La comparación del VAN de la vivienda sin reacondicionamiento con la vivienda con reacondicionamiento térmico indica que es rentable invertir en aislación térmica en el plazo de 5 años fijado anteriormente.

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

Viviendas tipo 4: Muros de hormigón. Planta de 85,89 m².

Para este tipo de vivienda en la zona climática Norte-Litoral la inversión en reacondicionamiento térmico en un plazo de 5 años no es rentable.

La superficie vidriada es muy pequeña para que los aportes en menos gastos puedan llevarse a cabo a corto plazo.

Figura 39 : Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 4 en La Serena.

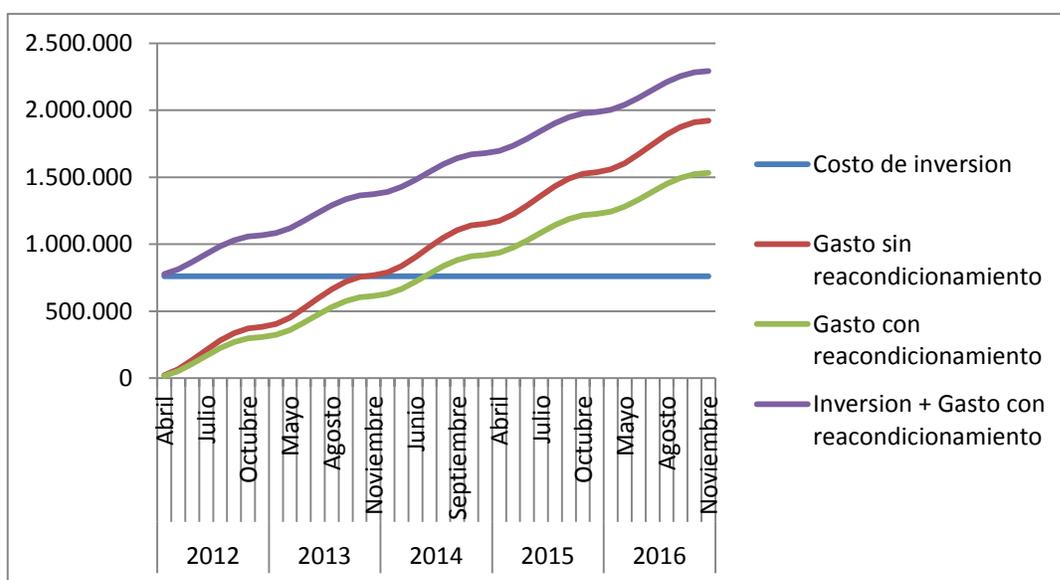


Tabla 8.3: VAN de la vivienda tipo 4 sin reacondicionamiento térmico en La Serena.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 384.219	\$ 384.219	\$ 384.219	\$ 384.219	\$ 384.219
Valor Presente Neto	\$ 1.456.492				

Tabla 8.4: VAN de la vivienda tipo 4 con reacondicionamiento térmico en La Serena.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$306.392	\$306.392	\$306.392	\$306.392	\$306.392
Inversión	\$759.920				
	\$ 1.066.312	\$306.392	\$306.392	\$306.392	\$306.392
Valor Presente Neto	\$ 1.852.303				

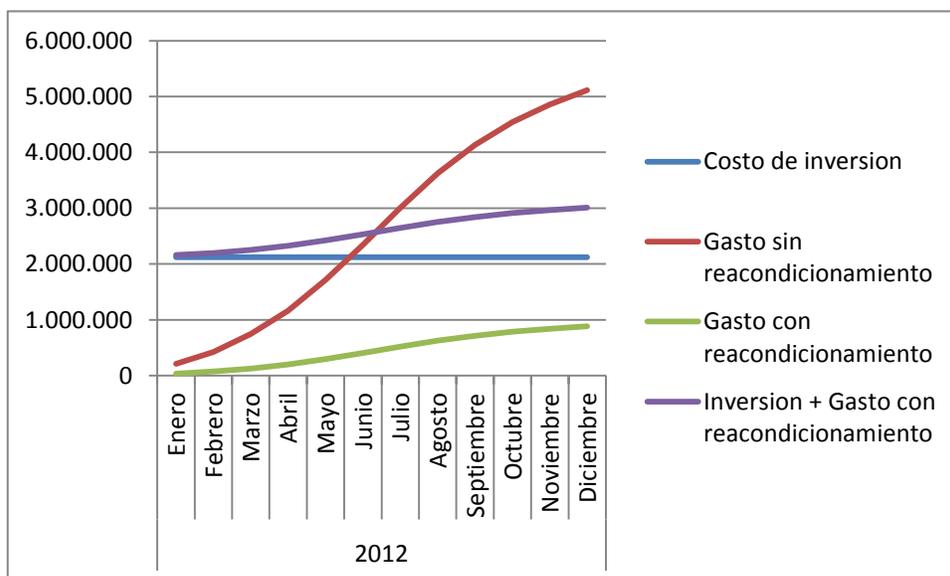
Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

❖ Zona Sur-Extremo.

La ciudad a analizar para el cálculo de la Demanda Energética de Calefacción es Punta Arenas.

Viviendas tipo 1: Muros de albañilería y cielo de yeso cartón. Planta de 60,38m².

Figura 40 : Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 1 en Punta Arenas.



A partir de los 6 meses la inversión en el reacondicionamiento térmico empezará a generar menos gastos en calefacción.

Tabla 8.5: VAN de la vivienda tipo 1 en Punta Arenas sin reacondicionamiento térmico.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 5.111.562	\$ 5.111.562	\$ 5.111.562	\$ 5.111.562	\$ 5.111.562
Valor Presente Neto	\$ 19.376.842				

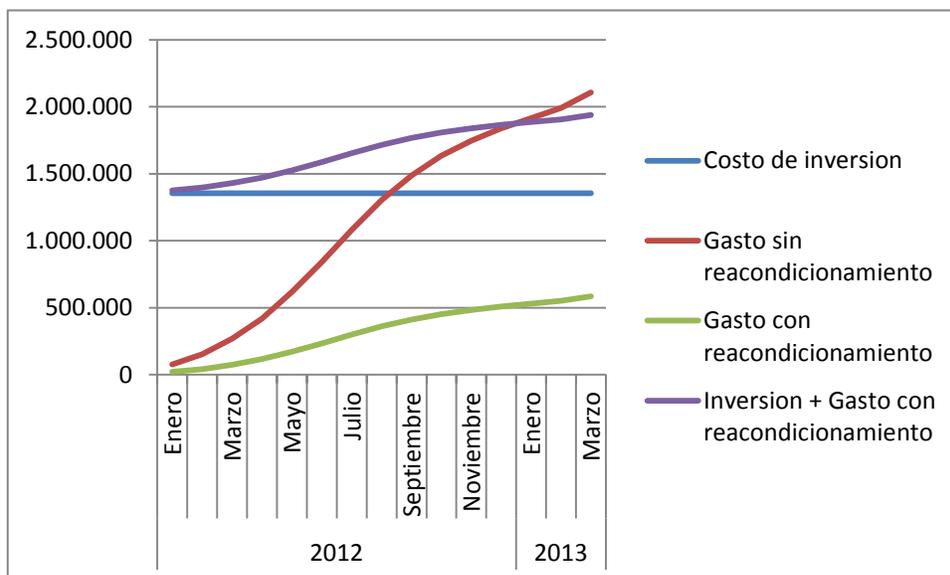
Tabla 8.6: VAN de la vivienda tipo 1 en Punta Arenas con reacondicionamiento térmico.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 885.903	\$ 885.903	\$ 885.903	\$ 885.903	\$ 885.903
Inversión	\$ 2.125.086				
	\$ 3.010.989	\$ 885.903	\$ 885.903	\$ 885.903	\$ 885.903
Valor Presente Neto	\$ 5.290.166				

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

Viviendas tipo 4: Muros de hormigón. Planta de 85,89 m².

Figura 41 : Tiempo de amortizacion de la inversion para la vivienda tipo 4 en Punta Arenas.



A partir de 1 año la inversión en el reacondicionamiento térmico empezará a generar menos gastos en calefacción.

Tabla 8.7: VAN de la vivienda tipo 4 en Punta Arenas sin reacondicionamiento térmico.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 1.838.019	\$ 1.838.019	\$ 1.838.019	\$ 1.838.019	\$ 1.838.019
Valor Presente Neto	\$ 6.967.538				

Tabla 8.8: VAN de la vivienda tipo 4 en Punta Arenas con reacondicionamiento térmico.

Años	2012	2013	2014	2015	2016
Gastos	\$ 509.343	\$ 509.343	\$ 509.343	\$ 509.343	\$ 509.343
Inversión	\$ 1.354.531				
	\$ 1.863.874	\$ 509.343	\$ 509.343	\$ 509.343	\$ 509.343
Valor Presente Neto	\$ 3.162.203				

Capítulo 8: Análisis económico del reacondicionamiento térmico.

A continuación se resume el tiempo de recuperación de inversión y el Valor Presente Neto de cada vivienda en su respectiva zona climática.

Tabla 8.9: Tiempo de recuperación de la inversión y VAN de la vivienda tipo 1.

Ciudad.	Tiempo de recuperación de la inversión. (Meses).	Valor Presente Neto sin reacondicionamiento térmico. (\$)	Valor Presente Neto con reacondicionamiento térmico. (\$)
La Serena	29	4.050.531	3.078.146
Calama	19	6.068.792	3.288.118
Copiapó	43	2.518.891	2.259.490
Valparaíso	33	3.106.455	2.415.872
Santiago	20	5.036.314	2.802.439
Talca	19	5.627.681	2.879.632
Concepción	18	6.511.071	3.065.077
Temuco	17	8.366.543	3.390.440
Valdivia	16	8.669.370	3.498.893
Puerto Montt	10	10.436.153	3.824.220
Punta Arenas	6	19.376.842	5.290.166

Tabla 8.10: Tiempo de recuperación de la inversión y VAN de la vivienda tipo 4.

Ciudad.	Tiempo de recuperación de la inversión. (Meses).	Valor Presente Neto sin reacondicionamiento térmico. (\$)	Valor Presente Neto con reacondicionamiento térmico. (\$)
La Serena	Mayor a 5 años	1.456.492	1.852.303
Calama	34	2.182.219	1.785.491
Copiapó	Mayor a 5 años	905.744	1.390.018
Valparaíso	Mayor a 5 años	1.117.020	1.955.405
Santiago	43	1.811.067	1.676.113
Talca	42	2.053.605	1.739.716
Concepción	35	2.341.254	1.836.134
Temuco	29	3.008.448	2.024.861
Valdivia	27	3.117.338	2.071.705
Puerto Montt	23	3.752.636	2.347.338
Punta Arenas	12	6.967.538	3.162.203

Capítulo 9: Conclusiones.

Capítulo 9: Conclusiones.

Sobre la base de lo expuesto a través de esta tesis se pueden extraer desde ella las principales conclusiones.

Se tomó como criterio el uso de las transmitancias térmicas más exigentes establecidas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) o en la NCh 1079 debido a que esto beneficiará a los propietarios de las viviendas ubicadas desde la región del Maule hacia el sur en la obtención de mayores puntajes para las postulaciones a los subsidios de reacondicionamiento térmico que ofrece el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, además de obtenerse viviendas con estándares más eficientes de ahorro energético.

Se puede concluir que en la zona climática norte litoral no es necesario el reacondicionamiento térmico de los muros debido a que las recomendaciones de transmitancias térmicas para muros perimetrales de la NCh 1079 están muy cercanas a los que se obtienen con el material original (albañilería, hormigón, madera). En cambio para los techos sí es necesaria la colocación de aislantes, ya que los valores de transmitancias no están cercanos a los recomendados. A medida que nos desplazamos hacia el sur del país existen mayores exigencias de transmitancias térmicas tanto de muros como techos, esto conlleva a que exista un potencial de ahorro energético mucho mayor hacia estas zonas y por tanto una mayor velocidad de recuperación de la inversión en el reacondicionamiento.

Las pérdidas de calor a través de las superficies de los muros y techos de las viviendas analizadas son mayores que las pérdidas de calor que ocurren por las superficies de ventanas, esto debido a que los muros y techos ocupan superficies mayores a las de ventanas y por tanto las fugas de calor son mayores por estas superficies.

El costo de reacondicionamiento de ventanas es muy elevado respecto al costo de muros y techos por lo que se recomienda para las viviendas ubicadas en la zona norte y central reacondicionar con mayores exigencias térmicas muros y/o techos en vez de invertir en ventanas. Al mejorar muros o techos con estándares mayores a los planteados en la presente tesis se obtendrían por similares costos de inversión mayores ahorros en calefacción además de existir una mayor velocidad de recuperación de la inversión.

Con el transcurso del tiempo las viviendas requieren de mantenimientos para conservar las propiedades térmicas de sus aislantes. Además, los costos de energía en un plazo mayor a 5 años varían dependiendo de los nuevos proyectos que ingresen a la matriz energética del país, por lo que se puede concluir que un plazo de 5 años para analizar la rentabilidad de esta inversión es mucho más aproximado que plazos mayores a este.

Debido a que el reacondicionamiento térmico está dirigido a las familias de viviendas en uso construidas antes del año 2000, los aislantes a utilizar en el reacondicionamiento estuvieron determinados por sus bajos coeficientes de transmitancias térmicas, sus bajos costos de instalación y su facilidad de instalar considerando que son poco invasivos.

Capítulo 9: Conclusiones.

Para el análisis de los costos se tomó como referencia el aislante por el interior de la vivienda debido a que este es aproximadamente un 20 % más barato que por el exterior. Además en departamentos es más factible aislar por el interior debido a que al aislar por el exterior se tendrían que poner de acuerdo todos los copropietarios del edificio. Además se generarían mayores gastos producto de una mayor complejidad en su instalación.

Bibliografía.

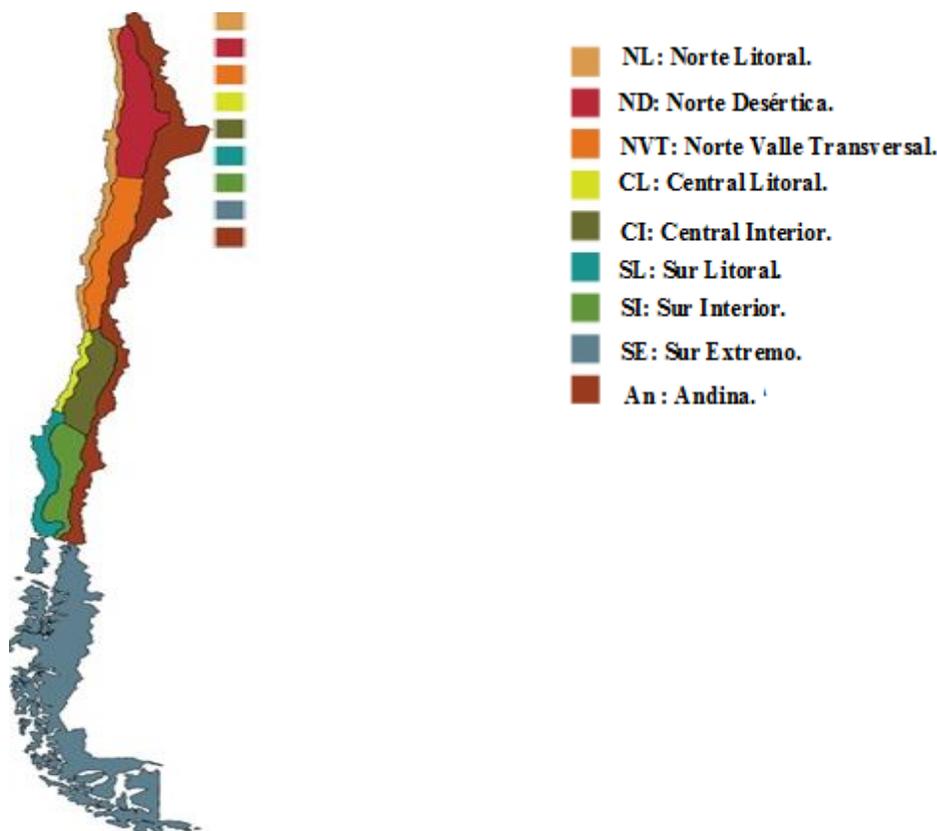
- 1- Norma Chilena 1079 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- 2- Norma Chilena 853 Acondicionamiento térmico-Envolvente térmica de edificios- Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
- 3- Chile-Ministerio de Vivienda y Urbanismo “Ordenanza General de Urbanismo y Construcción”. Capítulo 4: Zonificación térmica.
- 4- Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción. Manual Técnico de Aislación Térmica Exterior.
- 5- Instituto Nacional de Estadística. Documento Metodología de Clasificación Socioeconómica de los Hogares Chilenos.
- 6- Instituto Nacional de Estadística. Resumen Análisis de Bases de Datos.

Sitios de referencia.

- 7- Homecenter Sodimac
Sitio web: www.sodimac.cl
- 8- Asociación de la industria eléctrica.
Sitio web: www.aie.cl
- 9- Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica.
Sitio web: www.mart.cl

Anexo 1
Zonas climáticas.

Mapa de zonificación climática habitacional de la NCh 1079-2008.



Norte litoral -NL

Esta zona se ubica a lo largo del litoral, consta de un clima árido desértico costero desde Arica hasta el norte de la Serena, con un ancho que no sobrepasa los 50 km y abarca la cadena de la cordillera de la costa, en este sector la temperatura media es de 18°C. También consta de un clima árido de estepa cálida húmeda desde la Serena hasta el río Aconcagua con un ancho que no sobrepasa los 30 km, en este sector la temperatura media es de 15°C.

Norte Desértica-ND

Esta zona consta de variados climas áridos, el clima de desierto propiamente tal se ubica en la depresión central comprendida entre la cordillera de la costa y los primeros faldeos de la cordillera de los Andes, y desde el límite con Perú hasta los 26° de latitud sur (entre Potrerillos y Chañaral), en este sector la oscilación térmica es de 20°C en verano y de 30°C en invierno, en este sector las temperaturas medias exteriores por lo general se ubican en el rango de confort.

Norte Valles Transversales-NVT

Esta zona consta de variados climas áridos, el clima desértico marginal bajo se ubica por la depresión intermedia hacia el sur de Pueblo Hundido. El clima desértico de gran heliofanía se ubica por los valles desde la cuenca del río Elqui hasta el río Aconcagua. Las temperaturas medias exteriores por lo general se ubican en el rango de confort. Además esta zona posee mucha radiación solar por la ausencia de nubosidad.

Central Litoral-CL y Central Interior-CI

Esta zona consta de un clima templado mediterráneo, se ubica desde el valle del río Aconcagua hasta la cuenca del río Itata (al norte de Concepción), en este sector la temperatura media es de 14°C, la cual se reduce levemente de norte a sur y se reduce mayormente de mar a cordillera. Sin embargo, lo más importante es la oscilación térmica diaria que aumenta hacia la cordillera y se reduce levemente hacia el sur, con menos de 9°C en Valparaíso, llegando a 17°C en Quilpué y a casi 20°C en Los Andes. En este sector se encuentra la mayor densidad poblacional, la cual es superior a 100 habitantes/km².

Sur litoral-SL y Sur interior-SI

Esta zona consta de un clima templado cálido lluvioso, se extiende desde la hoya del río Biobío hasta el canal de Chacao. En este sector la temperatura media va desde los 13°C en Concepción hasta los 11°C en el canal de Chacao, la cual se reduce levemente de norte a sur y de mar a cordillera. Se producen temperaturas extremas máximas y mínimas más extremas que en los climas templados mediterráneos. La oscilación térmica diaria aumenta hacia la cordillera, llegando a 15°C en Concepción, a 16°C en Contulmo y a 10°C en puerto Domínguez. Las heladas son frecuentes excepto en la costa y alrededor de los lagos. Zona bastante húmeda.

Sur Extremo-SE y Andina-AN

Esta zona consta de un clima templado-frío lluvioso, se extiende desde el canal de Chacao al sur. En este sector la temperatura media es del orden de 10°C y la oscilación térmica diaria es muy baja. Zona muy húmeda.

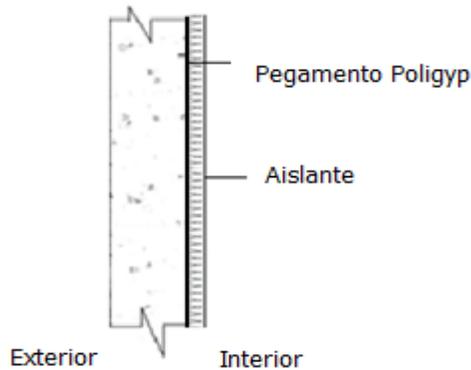
Anexo 2

Cálculo del espesor de aislante térmico en muros de hormigón, albañilería y madera.

➤ **Cálculo del espesor de aislante térmico en muros de hormigón.**

- ❖ Aislante térmico interior de poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de hormigón armado.

Datos del muro



Muros de hormigón armado. Espesor de muro 20cm.

Densidad aparente $d=2400 \text{ kg/m}^3$

Conductividad térmica $\lambda=1,63 \text{ W/mK}$.

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d=2000 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda=1,40 \text{ W/mK}$.

Aislante yeso-cartón + poliestireno expandido.

Plancha de yeso- cartón de 10 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda=0,26 \text{ W/mK}$.

Plancha de poliestireno de densidad 15 kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$.

- Fijando una transmitancia térmica de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ correspondiente al requerimiento térmico para muros de la zona climática Norte-Litoral obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}}$$

$$2,0 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$2,0 E = 0,01092$$

$$E = 0,00546 \text{ m}$$

$$E = 5,46 \text{ mm}$$

Las planchas se comercializan a partir de los 10 mm de espesor, por tanto la plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 10 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,01}{0,035} + 0,05\right)} = 1,58 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,8 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de la zona climática Norte- Valle Transversal y Central-Litoral obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,8 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,8 E = 0,0253$$

$$E = 0,0317 \text{ m}$$

$$E = 31,7 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 40 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,04}{0,035} + 0,05\right)} = 0,68 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,6 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de las zonas climáticas Sur -Litoral y Central-Interior obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,6 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,6 E = 0,0277$$

$$E = 46,1 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 50 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,05}{0,035} + 0,05\right)} = 0,56 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,5 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de las zonas climáticas Norte-Desértica y Sur-Interior obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,5 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,5 E = 0,02898$$

$$E = 0,0579 \text{ m}$$

$$E = 57,9 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 60 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,06}{0,035} + 0,05\right)} = 0,48 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,4 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de la zona climática Sur-Extremo obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,4 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,4 E = 0,0301$$

$$E = 0,0754 \text{ m}$$

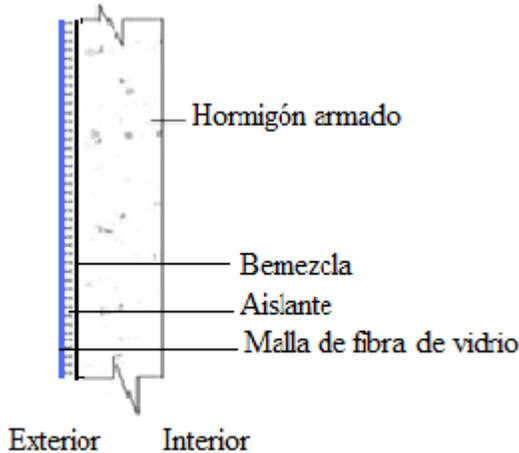
$$E = 75,4 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 80 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,08}{0,035} + 0,05\right)} = 0,43 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- ❖ Aislante térmico exterior de poliestireno expandido en muros de hormigón armado.

Datos del muro



Muros de hormigón armado. Espesor de muro 20cm.

Densidad aparente $d=2400 \text{ kg/m}^3$

Conductividad térmica $\lambda=1,63 \text{ W/mK}$

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d=2000 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda=1,40 \text{ W/mK}$.

Revestimiento interior: Enlucido de yeso de espesor 1,5cm.

Densidad aparente $d=800 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica enlucido de yeso $\lambda=0,35 \text{ W/mK}$.

Aislante poliestireno expandido.

Plancha de poliestireno de densidad 20 kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,035 \text{ W/m}$.

- Fijando una transmitancia térmica de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ correspondiente al requerimiento térmico para muros de la zona climática Norte-Litoral obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}}$$

$$2,0 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,15}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)}$$

$$2,0 E = 0,0106$$

$$E = 5,3 \text{ mm}$$

Las planchas se comercializan en espesores de 10 mm, por tanto la plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 10 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{0,634}$$

$$= 1,57 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,8 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de las zonas climáticas Norte- Valle Transversal y Central-Litoral obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,8 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,15}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,8 E = 0,0252$$

$$E = 0,0315m$$

$$E = 31,5 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 35 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,035}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,349}$$

$$= 0,74 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,6 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de las zonas climáticas Sur -Litoral y Central-Interior obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,6 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,15}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,6 E = 0,0276$$

$$E = 0,0461m$$

$$E = 46,1 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 50 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,05}{0,035} + 0,05\right)} = 0,57 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,5 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de las zonas climáticas Norte-Desértica y Sur-Interior obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,5 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,15}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,5 E = 0,0289$$

$$E = 0,0578m$$

$$E = 57,8 \text{ mm}$$

La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 60 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,06}{0,035} + 0,05\right)} = 0,48 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

- Fijando una transmitancia térmica de 0,4 W/m²K correspondiente al requerimiento térmico para muros de la zona climática Sur-Extremo obtendremos el espesor necesario de poliestireno.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$$0,4 = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,15}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{E}{0,035} + 0,05\right)} =$$

$$0,4 E = 0,0301$$

$$E = 0,0752m$$

$$E = 75,2 \text{ mm}$$

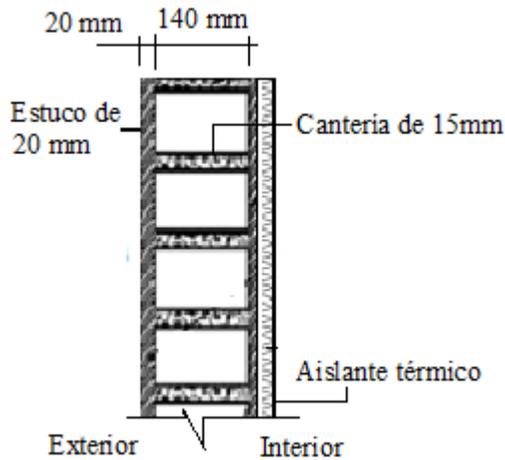
La plancha a utilizar para cumplir con el requerimiento térmico es de 80 mm de espesor.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,08}{0,035} + 0,05\right)} = 0,38 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

➤ **Cálculo del espesor de aislante térmico en muros de albañilería.**

- ❖ Aislante térmico interior de poliestireno expandido + yeso-cartón en muros de albañilería.

Datos del muro



Muros de albañilería de ladrillo. Espesor de ladrillo 14cm.

Densidad aparente $d=1000\text{kg/m}^3$ cantería de 1,5 cm.

Conductividad térmica del ladrillo $\lambda=0,46\text{W/mK}$.

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.

Densidad aparente $d=2000\text{kg/m}^3$.

Conductividad térmica mortero $\lambda=1,40\text{W/mK}$

Aislante yeso-cartón + poliestireno expandido.

Plancha de yeso- cartón de 10 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda=0,26\text{W/mK}$.

Plancha de poliestireno de densidad 15kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,035\text{W/mK}$.

- Fijando un espesor de 10 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + yeso-cartón + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,01}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{0,59} = 1,69 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

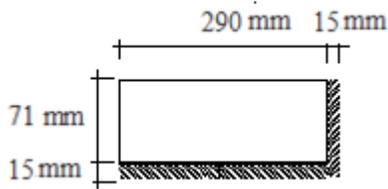
Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + yeso-cartón+ poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,01}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{0,79} = 1,26 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Por tanto:

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Dimensiones de mortero y ladrillo.



Área de mortero=0,00564 m²

Área de ladrillo=0,020 m²

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00953 + 0,0252}{0,025} = 1,38 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Norte-Litoral.

● Fijando un espesor de 30 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + yeso-cartón + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,03}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,179} = 0,85 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + yeso-cartón+ poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,03}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,379} = 0,72 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00479 + 0,0145}{0,025} = 0,78 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte valle transversal y Central litoral.

● Fijando un espesor de 50 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + yeso-cartón + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,05}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,7372} = 0,57 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + yeso-cartón+ poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,05}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,94} = 0,51 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0032 + 0,0102}{0,025} = 0,54 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Sur- litoral y Central-interior.

● Fijando un espesor de 60 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + yeso-cartón + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,06}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{2,036} = 0,49 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + yeso-cartón+ poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,06}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{2,232} = 0,45 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00276 + 0,009}{0,025} = 0,47 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte-desértica y Sur – interior.

● Fijando un espesor de 80 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + yeso-cartón + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,08}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{2,60} = 0,38 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + yeso-cartón+ poliestireno expandido.

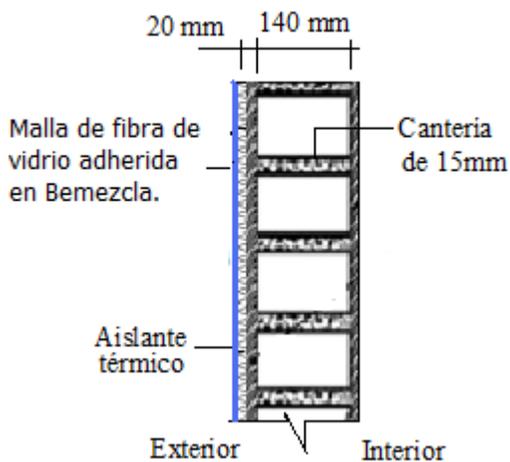
$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,08}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{2,80} = 0,35 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00214 + 0,007}{0,025} = 0,37 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Sur extremo.

❖ Aislante térmico exterior de poliestireno expandido en muros de albañilería.

Datos del muro



Muros de albañilería de ladrillo. Espesor de ladrillo 14cm.

Densidad aparente $d=1000\text{kg/m}^3$ cantería de 1,5 cm.

Conductividad térmica del ladrillo $\lambda=0,46\text{W/mK}$.

Revestimiento de estuco de mortero de cemento y espesor de 2cm.
 Densidad aparente $d=2000\text{kg/m}^3$.
 Conductividad térmica mortero $\lambda=1,40\text{W/mK}$.

Revestimiento interior: Enlucido de yeso de espesor 1,5cm.
 Densidad aparente $d=800\text{kg/m}^3$.
 Conductividad térmica enlucido de yeso $\lambda=0,35\text{W/mK}$

Plancha de poliestireno expandido de densidad 20kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,035\text{W/mK}$.

• Fijando un espesor de 10 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + poliestireno expandido + enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,01}{0,035} + 0,05\right)} = 1,63 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

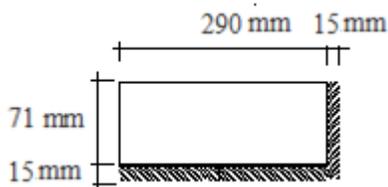
Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + Enlucido de yeso + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,01}{0,035} + 0,05\right)} = 1,23 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Dimensiones de mortero y ladrillo.



Área de mortero= $0,00564 \text{ m}^2$
 Área de ladrillo= $0,020 \text{ m}^2$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00919 + 0,0246}{0,025} = 1,35 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Norte-Litoral.

● Fijando un espesor de 30 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + poliestireno expandido + enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,03}{0,035} + 0,05\right)} = 0,84 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + Enlucido de yeso + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,03}{0,035} + 0,05\right)} = 0,72 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0047 + 0,0144}{0,025} = 0,77 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte -valle transversal y Central – litoral.

● Fijando un espesor de 50 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + poliestireno expandido + enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,05}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,75}$$

$$= 0,57 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + Enlucido de yeso + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,05}{0,035} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,95} = 0,51 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0032 + 0,0102}{0,025} = 0,53 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Sur - litoral y Central – interior.

● Fijando un espesor de 55 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + poliestireno expandido + enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,055}{0,035} + 0,05\right)} = 0,53 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + Enlucido de yeso + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,055}{0,035} + 0,05\right)} = 0,476 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00298 + 0,0095}{0,025} = 0,498 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte - desértica y Sur- interior.

● Fijando un espesor de 75 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Mortero de cemento + poliestireno expandido + enlucido de yeso.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,16}{1,40} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,075}{0,035} + 0,05\right)} = 0,406 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Mortero de cemento + ladrillo + Enlucido de yeso + poliestireno expandido.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,02}{1,40} + \frac{0,14}{0,46} + \frac{0,015}{0,35} + \frac{0,075}{0,035} + 0,05\right)} = 0,374 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

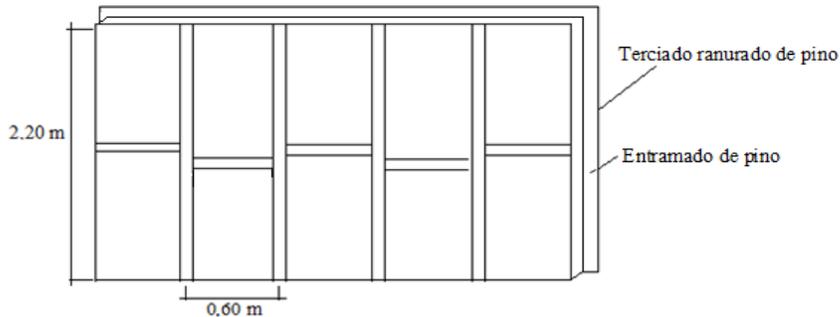
$$U_{media\ muro} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00228 + 0,0074}{0,025} = 0,39 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Sur extremo.

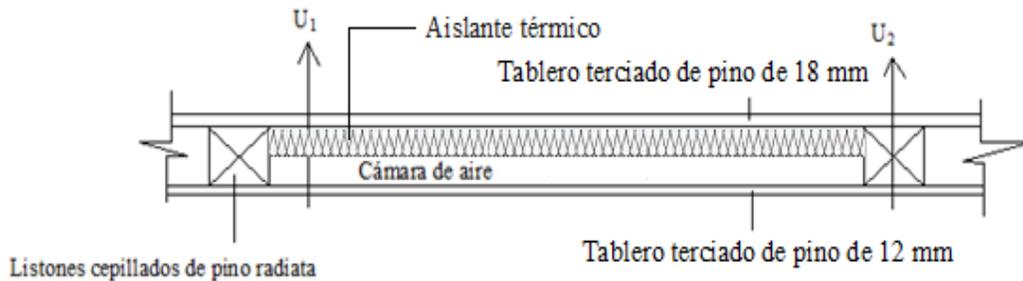
➤ **Cálculo del espesor de aislante térmico en muros de albañilería.**

❖ Aislante térmico de poliestireno expandido en muros de madera.

Datos del muro



Sección transversal del muro con aislante.



Muros de madera, tablero terciado de madera de pino de 18 mm de espesor por el exterior.

Densidad aparente $d=850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,23 \text{ W/mK}$.

Listones cepillados de pino radiata de 3"x 4" (espesor de 10 cm).

Densidad aparente $d=410 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,104 \text{ W/mK}$.

Poliestireno expandido de densidad 10 kg/m^3 .

Conductividad térmica $\lambda=0,037 \text{ W/mK}$.

Muros de madera, tablero terciado de madera de pino de 18 mm de espesor por el exterior.

Densidad aparente $d=850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,23 \text{ W/mK}$.

● Fijando un espesor de 10 mm de poliestireno expandido obtendremos:

El espesor de la cámara de aire es de 90 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - Cámara de aire - poliestireno expandido -tablero cepillado.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}}$$

Donde:

$$R_{\text{i}} = \sum \frac{e}{\lambda} \text{ Resistencia térmica de los los materiales que estan hacia al interior de la cámara de aire.}$$

$$R_{\text{e}} = \sum \frac{e}{\lambda} \text{ Resistencia térmica de los los materiales que estan hacia el exterior de la cámara de aire.}$$

$$R_{\text{i}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$R_{\text{e}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,01}{0,037} = 0,348 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 0,348 + 0,05} = 1,29 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = 0,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}}$$

Dimensiones de listones y tablero.

$$\text{Área de listones} = 2,2\text{m} \times 0,05\text{m} = 0,11 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de tablero} = 2,2 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 1,32 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}} = \frac{0,0869 + 1,7028}{1,43} = 1,26 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Norte- litoral.

● Fijando un espesor de 30 mm de poliestireno expandido obtendremos:

El espesor de la cámara de aire es de 70 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - Cámara de aire - poliestireno expandido -tablero cepillado.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}}$$

$$R_{\text{i}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$R_{\text{e}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,03}{0,037} = 0,888 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 0,888 + 0,05} = \frac{1}{1,26} = 0,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = \frac{1}{1,26} = 0,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}}$$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}} = \frac{0,0869 + 1,03}{1,43} = 0,78 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte -Valle transversal y Central- litoral.

● Fijando un espesor de 50 mm de poliestireno expandido obtendremos:

El espesor de la cámara de aire es de 50 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - Cámara de aire - poliestireno expandido -tablero cepillado.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}}$$

$$R_{\text{i}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$Re = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,05}{0,037} = 1,29 \left(\frac{m^2}{K.W} \right)$$

$$U1 = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 1,29 + 0,05} = \frac{1}{1,72} = 0,58 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U2 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = \frac{1}{1,26} = 0,79 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Por tanto:

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0869 + 0,7656}{1,43} = 0,60 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Central- interior y Sur – litoral.

● Fijando un espesor de 60 mm de poliestireno expandido obtendremos:

El espesor de la cámara de aire es de 40 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - Cámara de aire - poliestireno expandido -tablero cepillado.

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}}$$

$$R_i = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{m^2}{K.W} \right)$$

$$Re = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,06}{0,037} = 1,7 \left(\frac{m^2}{K.W} \right)$$

$$U1 = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 1,7 + 0,05} = 0,476 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05\right)} = 0,79 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Por tanto:

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0869 + 0,628}{1,43} = 0,499 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Sur- interior y Norte-desértica.

● Fijando un espesor de 100 mm de poliestireno expandido obtendremos:

Flujo 1: Tablero cepillado - poliestireno expandido -tablero cepillado

$$U_1 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,037} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05\right)} = \frac{1}{3,0} = 0,33 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05\right)} = 0,79 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Por tanto:

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0869 + 0,435}{1,43} = 0,36 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Sur extremo.

❖ Aislante térmico de Lana de fibra de vidrio en muros de madera.

Datos del muro.

Muros de madera exterior, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor.

Densidad aparente $d=850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,23 \text{ W/mK}$.

Coefficiente de transmitancia térmica de la lana de vidrio $\lambda=0,043 \text{ W/mK}$.

Densidad aparente 10 kg/m^3

Listones cepillados de pino radiata de 3"x 4" (espesor de 10 cm).

Densidad aparente $d=410 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,104 \text{ W/mK}$.

Muros de madera interior, tablero terciado de madera de pino de 12 mm de espesor.

Densidad aparente $d=850 \text{ kg/m}^3$.

Conductividad térmica de la madera $\lambda=0,23 \text{ W/mK}$.

● Fijando un espesor de 40 mm de lana de fibra de vidrio obtendremos:

Espesor de la cámara de aire de 60 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - cámara de aire – lana de fibra de vidrio -tablero cepillado.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}}$$

$$R_{\text{i}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$R_{\text{e}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,04}{0,043} = 1,01 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 1,01 + 0,05} = \frac{1}{1,382} = 0,72 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = \frac{1}{1,26} = 0,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}}$$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0869 + 0,95}{1,43} = 0,72 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte- valle transversal, Central- litoral y Norte- Litoral

● Fijando un espesor de 60 mm de lana de fibra de vidrio obtendremos:

Espesor de la cámara de aire de 40 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - cámara de aire – lana de fibra de vidrio -tablero cepillado.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}}$$

$$R_i = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{m^2}{K \cdot W} \right)$$

$$R_e = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,06}{0,043} = 1,47 \left(\frac{m^2}{K \cdot W} \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 1,47 + 0,05} = 0,542 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = 0,79 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0869 + 0,715}{1,43} = 0,56 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Central- interior y Sur- litoral.

- Fijando un espesor de 80 mm de lana de fibra de vidrio obtendremos:

Espesor de la cámara de aire de 20 mm.

Flujo 1: Tablero cepillado - cámara de aire – lana de fibra de vidrio -Tablero cepillado.

$$U_{\text{muro}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}}$$

$$R_{\text{i}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,012}{0,23} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$R_{\text{e}} = \sum \frac{e}{\lambda} = \frac{0,018}{0,23} + \frac{0,08}{0,043} = 1,86 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{W}} \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{i}} + R_{\text{g}} + R_{\text{e}} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{0,12 + 0,052 + 0,15 + 1,86 + 0,05} = 0,44 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = 0,79 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Por tanto:

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}}$$

$$U_{\text{media muro}} = \frac{1}{R_{\text{t}}} = \frac{\sum U_{\text{i}} \cdot A_{\text{i}}}{\sum A_{\text{i}}} = \frac{0,0869 + 0,591}{1,43} = 0,47 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de las zonas climáticas Norte desértica y Sur interior

- Fijando un espesor de 100 mm de lana de fibra de vidrio obtendremos:

Flujo 1: Tablero cepillado – lana de fibra de vidrio -Tablero cepillado

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,043} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05 \right)} = \frac{1}{2,64} = 0,37 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Flujo 2: Tablero cepillado-Listones cepillados -Tablero cepillado.

$$U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,12 + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,1}{0,104} + \frac{0,018}{0,23} + 0,05\right)} = \frac{1}{1,26} = 0,79 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Por tanto:

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$U_{media \text{ muro}} = \frac{1}{R_t} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{0,0869 + 0,48}{1,43} = 0,40 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de los muros de la zona climática Sur extremo.

Anexo 3

Cálculo del espesor de aislante térmico en cielos de yeso-cartón y madera.

❖ Aislante térmico de Lana de vidrio en techos de madera.

Datos del cielo.

Los cálculos serán válidos para los techos de madera ya que solo difieren en el coeficiente de conductividad térmica, $\lambda=0,23$ W/mK para techo de yeso- cartón y $\lambda=0,20$ W/mK para techo de madera.

Cielo de yeso cartón de espesor 1 cm. Limitando con un entretecho.

Densidad aparente $d=700\text{kg/m}^3$.

Conductividad térmica $\lambda=0,26$ W/mK.

Aislante lana de vidrio.

Densidad aparente 15kg/m^3 y conductividad térmica $\lambda=0,043$ W/mK.

● Fijando un espesor de 50 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,05}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{1,40} = 0,71 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Cumple con el requerimiento térmico de la zona climática Norte- litoral.

● Fijando un espesor de 60 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,06}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{1,67} = 0,59 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Cumple con los requerimientos térmicos para la zona climática Norte litoral, Norte valle transversal y Central litoral y con las zonas térmicas 1 y 2.

● Fijando un espesor de 80 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,08}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{2,13} = 0,469 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Cumple con los requerimientosa térmicos para la zona climática Central interior y con las zonas térmicas 1 y 2.

● Fijando un espesor de 100 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,1}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{2,66} = 0,37 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)$$

Cumple con los requerimientos térmicos para la zona climática Norte-desértica, Sur-litoral y para la zona térmica 3.

● Fijando un espesor de 120 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,12}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{3,03} = 0,33 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con los requerimientos térmicos para la zona climática Norte-desértica y Sur-litoral y con las zonas térmicas 3, 4 y 5.

● Fijando un espesor de 140 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,14}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{3,58} = 0,27 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con los requerimientos térmicos para la zona climática Norte-desértica y Sur-litoral y con las zonas térmicas 3, 4, 5 y 6.

● Fijando un espesor de 160 mm de lana de vidrio obtendremos:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{\left(0,1 + \frac{0,01}{0,26} + \frac{0,16}{0,043} + 0,01\right)} = \frac{1}{4,01} = 0,25 \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

Cumple con los requerimientos térmicos para la zona climática Sur-extremo y con todas las zonas térmicas.

Anexo 4

Cálculo de los costos directos del reacondicionamiento térmico.

➤ Para viviendas tipo 1 de muros de albañilería con $60,38\text{m}^2$ de superficie de planta y cielo de yeso-cartón.

❖ Aislante exterior de poliestireno expandido.

El área a cubrir por el aislante es de $66,1\text{m}^2$, considerando una altura de piso a cielo de 2,2 m.

La cantidad de planchas de poliestireno expandido se calculó con pérdidas de 5 %.

Los metros cuadrados de malla de fibra de vidrio se calcularon con un 5 % de pérdidas.

El esquinero se vende por unidad, una unidad son 2,5 metros lineales.

Tamaño de envases del empaste Bemezcla: Sacos de papel de 25 Kg.

Rendimiento: 1.20 Kg/m^2 por cada milímetro de espesor. Se consideró una pérdida de material de 5%.

Mano de Obra.

Un maestro y un ayudante con un rendimiento de $50\text{ m}^2/\text{día}$.

Las leyes sociales corresponden a un porcentaje del valor por unidad de mano de obra.

Para el precio unitario el % de leyes sociales es: (% salud + % AFP) / Sueldo Liquidado del obrero.

Maestro de primera: 20 000 pesos al día.

Ayudante: 15 000 pesos al día.

Precios Unitarios: Todos los valores son referentes a 1 m^2 .

Esquinero.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Malla de fibra de vidrio.	No	5	\$2.172	\$10.710

Pintura.

Pintura latex \$8.800 por galón.

Rendimiento: 17m^2 es un galón de pintura por tanto 1 m^2 es 0,06 galones.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$800	\$800
Pintura latex	gl	0,06	\$8.800	\$528
				\$1.328

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Empaste de planchas de poliestireno expandido con bemezcla(6mm).	Sacos	0,33	\$13.641	\$4.501
Malla de fibra de vidrio para refuerzo.	m ²	1,05	\$3.091	\$3.246
Empaste de malla con bemezcla(3mm).	Sacos	0,165	\$13.641	\$2.251
Mano de obra, maestro de primera.	h/d	0,02	\$20.000	\$400
Mano de obra, ayudante.	h/d	0,02	\$15.000	\$300
Leyes sociales	%	20,64	-	\$145
				\$10.843

El costo que variará es el producido por el espesor del aislante manteniéndose constante todos los demás. Por tanto:

$$CD = (\$10.843 + 1.328) \times 66,1 \text{ m}^2 + \$10.710 + \text{Costo de la plancha}$$

$$= \$ 815.213 + \text{Costo de la plancha}$$

- Costo directo total para 10 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

Se necesitan 31 planchas de poliestireno expandido para cubrir el área a aislar. El total de planchas a comprar son 33 ya que incluiremos el 5% de pérdidas de estas.

$$33 \text{ planchas} \times \$ 1.452 = \$47.910$$

$$CD = \$ 815.843 + \$ 47.910 = \$ 863.130$$

- Costo directo total para 30 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$33 \text{ planchas} \times \$ 4.353 = \$ 143.650$$

$$CD = \$ 815.843 + \$ 143.650 = \$ 958.864$$

- Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$33 \text{ planchas} \times \$ 7.256 = \$ 239.448$$

$$CD = \$ 815.843 + \$ 239.448 = \$ 1.054.662$$

- Costo directo total para 55 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$33 \text{ planchas} \times \$ 7.981 = \$ 263.373$$

$$CD = \$ 815.843 + \$ 263.373 = \$ 1.078.$$

- Costo directo total para 75 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$33 \text{ planchas} \times \$ 10.883 = \$ 359.139$$

$$CD = \$ 815.843 + \$ 359.139 = \$ 1.174.353$$

- ❖ Aislante interior de poliestireno expandido + yeso - cartón.

El área a cubrir por el aislante es de $61,66\text{m}^2$, considerando una altura de piso a cielo de 2,2 m. La cantidad de plancha de aislante se calculó con pérdidas de 5 %.

Pegamento Poligyp en sacos de 30 kg.

Rendimiento: $3,5 \text{ Kg/m}^2$ de Poligyp. Se considera una pérdida de material de 5%.

Motas de pegamento de 10 cm de diámetro y 5 cm de espesor espaciadas cada 40 cm en las planchas.

Cinta celulosa de 45 metros de longitud para las juntas. Se considera pérdidas de 5%.

Masilla base para juntas en sacos de 30 kg. Se considera pérdidas de 5%.

Rendimiento: 0,35 Kg por metro cuadrado de plancha de aislante.

Mano de obra.

Un maestro y un ayudante con un rendimiento de $50\text{m}^2/\text{día}$.

Precios Unitarios: Todos los valores son referentes a 1 m².

Descripcion.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Empaste de planchas Poligyp.	Sacos	0,17	\$8.663	\$1.472,71
Cinta celulosa para juntas.	U	0,1	\$1.683	\$168,3
Masilla base para juntas.	Sacos	0,017	\$8.663	\$147,27
Mano de obra, maestro de primera.	h/d	0,016	\$20.000	\$320
Mano de obra, ayudante.	h/d	0,016	\$15.000	\$240
Leyes sociales	%	20,64	-	\$116
				\$2.464,28

Pintura.

Pintura latex \$8800 por galón.

Rendimiento: 17m² es un galón de pintura por tanto 1 m² es 0,06 galones.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$800	\$800
Pintura latex	gl	0,06	\$8.800	\$528
				\$1.328

El costo que variará es el producido por el espesor del aislante manteniéndose constante todos los demás. Por tanto:

$$CD = (\$2.464,28 + 1.328) \times 66,1 \text{ m}^2 + \text{Costo de la plancha}$$

$$= \$ 250.670 + \text{Costo de la plancha}$$

- Costo directo total para 20 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

Se necesitaran 22 planchas para cubrir el área a aislar. El total de planchas a comprar serán 24 ya que incluiremos el 5% de pérdidas de estas.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 12.037 = \$ 288.888$$

$$CD = \$ 250.670 + \$ 288.888 = \$ 539.558$$

- Costo directo total para 40 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 16.515 = \$ 396.360$$

$$CD = \$ 250.670 + \$ 396.360 = \$ 647.030$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 20.993 = \$ 503.832$$

$$CD = \$ 250.670 + \$ 503.832 = \$ 754.502$$

- Costo directo total para 70 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 23.408 = \$ 561.792$$

$$CD = \$ 250.670 + \$ 561.792 = \$ 812.462$$

- Costo directo total para 90 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 27.562 = \$ 661.479$$

$$CD = \$ 250.670 + \$ 661.479 = \$ 912.149$$

- ❖ Aislante de lana de fibra de vidrio para el entretecho.

El área a cubrir por el aislante es de $60,38 \text{ m}^2$.

La cantidad de rollos de aislante de fibra de vidrio que se necesita es de 3 rollos, en este se incluyen las pérdidas.

Todos los valores son referentes a 1 m^2 .

Colocación de aislante: Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m^2	1	\$350	\$350

$$\$ 350 \times 60,38\text{m}^2 = \$ 21.133. \text{ Este precio no variará.}$$

● Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 49.990 = \$ 149.970$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 149.970 = \$ 171.103$$

● Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 55.980 = \$ 167.940$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 167.940 = \$ 189.073$$

● Costo directo total para 80 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 58.910 = \$ 176.730$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 176.730 = \$ 197.863$$

● Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$7 \text{ rollos} \times \$ 25.790 = \$ 180.530$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 180.530 = \$ 201.663$$

● Costo directo total para 120 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$7 \text{ rollos} \times \$ 29.990 = \$ 209.930$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 209.930 = \$ 231.063$$

● Costo directo total para 140 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$10 \text{ rollos} \times \$ 23.890 = \$ 238.900$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 238.900 = \$ 260.033$$

● Costo directo total para 160 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$10 \text{ rollos} \times \$ 27.990 = \$ 279.900$$

$$\text{CD} = \$ 21.133 + \$ 279.900 = \$ 301.033$$

➤ Para viviendas tipo 2 de muros de albañilería con 81,9 m² de superficie de planta y cielo de yeso-cartón.

❖ Aislante exterior de poliestireno expandido.

Solo varía el precio unitario del esquinero de malla de fibra de vidrio.

Esquinero.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Malla de fibra de vidrio.	No	4	\$2172	\$8.688

$$CD = (\$10.843 + 1.328) \times 76,14 \text{ m}^2 + \$8.688 + \text{Costo de la plancha}$$

$$= \$ 935.388 + \text{Costo de la plancha}$$

Se necesitan 44 planchas de poliestireno expandido para cubrir el área a aislar.

● Costo directo total para 10 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$44 \text{ planchas} \times \$ 1.452 = \$63.888$$

$$CD = \$ 935.388 + \$ 63.888 = \$ 999.276$$

● Costo directo total para 30 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$44 \text{ planchas} \times \$ 4.353 = \$191.532$$

$$CD = \$ 935.388 + \$ 191.532 = \$ 1.126.920$$

● Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$44 \text{ planchas} \times \$ 7.256 = \$ 319.624$$

$$CD = \$ 935.388 + \$ 319.624 = \$ 1.255.012$$

● Costo directo total para 55 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$44 \text{ planchas} \times \$ 7.980 = \$ 351.120$$

$$CD = \$ 935.388 + \$ 351.120 = \$ 1.286.508$$

- Costo directo total para 75 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$44 \text{ planchas} \times \$ 10.883 = \$ 478.852$$

$$CD = \$ 935.388 + \$ 478.852 = \$ 1.414.420$$

- ❖ Aislante interior de poliestireno expandido + yeso - cartón.

Solo varía el área a aislar.

$$CD = (\$2.464,28 + 1.328) \times 76,14 \text{ m}^2 + \text{Costo de la plancha} \\ = \$ 288.744 + \text{Costo de la plancha}$$

- Costo directo total para 20 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

Se necesitaran 31 planchas para cubrir el área a aislar.

$$31 \text{ planchas} \times \$ 12.037 = \$ 373.147$$

$$CD = \$ 288.744 + \$ 373.147 = \$ 661.891$$

- Costo directo total para 40 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$31 \text{ planchas} \times \$ 16.515 = \$ 511.965$$

$$CD = \$ 288.744 + \$ 511.965 = \$ 800.709$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$31 \text{ planchas} \times \$ 20.993 = \$ 650.783$$

$$CD = \$ 288.744 + \$ 650.783 = \$ 939.527$$

- Costo directo total para 70 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$31 \text{ planchas} \times \$ 23.407 = \$ 752.617$$

$$CD = \$ 288.744 + \$ 752.617 = \$ 1.041.361$$

- Costo directo total para 90 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$31 \text{ planchas} \times \$ 28.275 = \$ 876.525$$

$$CD = \$ 288.744 + \$ 876.525 = \$ 1.165.269$$

- ❖ Aislante de lana de fibra de vidrio para el entretecho.

El área a cubrir por el aislante de lana de fibra de vidrio es de 81,9 m².

$$\$ 350 \times 81,9 \text{ m}^2 = \$ 28.665. \text{ Este precio no variará.}$$

- Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 49.990 = \$ 149.970$$

$$CD = \$ 28.665 + \$ 149.970 = \$ 178.635$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 55.980 = \$ 167.940$$

$$CD = \$ 28.665 + \$ 167.940 = \$ 196.605$$

- Costo directo total para 80 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 58.910 = \$ 176.730$$

$$CD = \$ 28.665 + \$ 176.730 = \$ 205.395$$

- Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$10 \text{ rollos} \times \$ 25.790 = \$ 257.900$$

$$CD = \$ 28.665 + \$ 257.900 = \$ 286.565$$

- Costo directo total para 120 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$10 \text{ rollos} \times \$ 29.990 = \$ 299.900$$

$$CD = \$ 28.665 + \$ 328.565 = \$ 357.230$$

- Costo directo total para 140 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$13 \text{ rollos} \times \$ 23.890 = \$ 310.570$$

$$\text{CD} = \$ 28.665 + \$ 310.570 = \$ 339.235$$

- Costo directo total para 160 mm de espesor de aislante de lana de fibra de vidrio.

$$13 \text{ rollos} \times \$ 27.990 = \$ 363.870$$

$$\text{CD} = \$ 28.665 + \$ 363.870 = \$ 392.535$$

- Para viviendas tipo 3 de muros de albañilería con $42,84 \text{ m}^2$ de superficie de planta.

Solo varía el área a aislar.

$$\begin{aligned} \text{CD} &= (\$2.464,28 + 1.328) \times 60,5 \text{ m}^2 + \text{Costo de la plancha} \\ &= \$ 229.433 + \text{Costo de la plancha} \end{aligned}$$

- Costo directo total para 20 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

Se necesitaran 24 planchas para cubrir el área a aislar.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 12.037 = \$ 288.888$$

$$\text{CD} = \$ 229.433 + \$ 288.888 = \$ 518.321$$

- Costo directo total para 40 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 16.515 = \$ 396.360$$

$$\text{CD} = \$ 229.433 + \$ 396.360 = \$ 625.793$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 20.993 = \$ 503.832$$

$$\text{CD} = \$ 229.433 + \$ 503.832 = \$ 733.265$$

- Costo directo total para 70 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 23.407 = \$ 561.768$$

$$\text{CD} = \$ 229.433 + \$ 561.768 = \$ 791.201$$

- Costo directo total para 90 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$24 \text{ planchas} \times \$ 28.275 = \$ 678.600$$

$$\text{CD} = \$ 229.433 + \$ 678.600 = \$ 908.033$$

- Para viviendas tipo 4 de muros de hormigón con $85,89 \text{ m}^2$ de superficie de planta

Solo varía el área a aislar.

$$\begin{aligned} \text{CD} &= (\$2.464,28 + 1.328) \times 37,5 \text{ m}^2 + \text{Costo de la plancha} \\ &= \$ 142.211 + \text{Costo de la plancha} \end{aligned}$$

- Costo directo total para 20 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

Se necesitan 16 planchas para cubrir el área a aislar.

$$16 \text{ planchas} \times \$ 12.037 = \$ 192.592$$

$$\text{CD} = \$ 142.211 + \$ 192.592 = \$ 334.803$$

- Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$16 \text{ planchas} \times \$ 18.755 = \$ 300.080$$

$$\text{CD} = \$ 142.211 + \$ 300.080 = \$ 442.291$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$16 \text{ planchas} \times \$ 20.993 = \$ 335.888$$

$$\text{CD} = \$ 142.211 + \$ 335.888 = \$ 478.099$$

- Costo directo total para 70 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$16 \text{ planchas} \times \$ 23.408 = \$ 374.528$$

$$CD = \$ 142.211 + \$ 374.528 = \$ 516.739$$

- Costo directo total para 90 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido + yeso-cartón.

$$16 \text{ planchas} \times \$ 28.275 = \$ 452.400$$

$$CD = \$ 142.211 + \$ 452.400 = \$ 594.611$$

➤ Para viviendas tipo 5 de muros de madera con 57,0 m² de superficie de planta y cielo de madera.

❖ Aislante poliestireno expandido de baja densidad.

El área a cubrir por el aislante es de 63m², considerando una altura de piso a cielo de 2,2 m.

La cantidad de plancha de aislante se calculó con pérdidas de 5 %.

Se necesitan 133 plachas de aislante en este cálculo están incluidas las pérdidas.

Mano de Obra: Un maestro de segunda.

Precios Unitarios.

Todos los valores son referentes a 1 m².

Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$300	\$300

Pintura latex \$8800 por galón.

Rendimiento: 17m² es un galón de pintura por tanto 1 m² es 0,06 galones.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$800	\$800
Pintura latex	gl	0,06	\$8.800	\$528
				\$1.328

$$\begin{aligned} \text{CD} &= \$ 1.628 \times 63\text{m}^2 + \text{costo de la plancha} \\ &= \$ 102.564 + \text{costo de la plancha} \end{aligned}$$

- Costo directo total para 10 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$133 \text{ planchas} \times \$ 157 = \$ 20.881$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 20.881 = \$ 123.445$$

- Costo directo total para 30 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$133 \text{ planchas} \times \$ 530 = \$ 70.490$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 70.490 = \$ 173.054$$

- Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$133 \text{ planchas} \times \$ 851 = \$ 113.183$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 113.183 = \$ 215.747$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$133 \text{ planchas} \times \$ 1.092 = \$ 145.236$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 145.236 = \$ 247.800$$

- Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido.

$$133 \text{ planchas} \times \$ 2.290 = \$ 304.570$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 304.570 = \$ 407.134$$

❖ **Aislante Lana de vidrio.**

El área a cubrir por el aislante es de 63 m^2 , considerando una altura de piso a cielo de 2,2 m.

La cantidad de rollos de aislante que se necesita es de 3 rollos en este se incluyen las pérdidas.

Todos los valores son referentes a 1 m^2 .

Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$350	\$350

El costo de la pintura es el mismo que para el aislante de poliestireno expandido.

$$\begin{aligned} \text{CD} &= \$ 1.628 \times 63\text{m}^2 + \text{costo de la plancha} \\ &= \$ 102.564 + \text{costo de la plancha} \end{aligned}$$

● Costo directo total para 40 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 42.890 = \$ 128.670$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 128.670 = \$ 234.384$$

● Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 55.980 = \$ 167.940$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 167.940 = \$ 270.504$$

● Costo directo total para 80 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 58.910 = \$ 176.730$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 176.730 = \$ 273.654$$

● Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 25.790 = \$ 206.320$$

$$\text{CD} = \$ 102.564 + \$ 206.320 = \$ 312.034$$

❖ Aislante lana de vidrio en el cielo de madera. Planta de 57 m².

El área a cubrir por el aislante lana de vidrio es de 57,0 m².

Todos los valores son referentes a 1 m².

Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$350	\$350

$$\begin{aligned} \text{CD} &= \$ 350 \times 57\text{m}^2 + \text{costo de la plancha} \\ &= \$ 19.950 + \text{costo del rollo} \end{aligned}$$

● Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$2 \text{ rollos} \times \$ 49.990 = \$ 99.980$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 99.980. = \$ 119.930$$

● Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$2 \text{ rollos} \times \$ 55.980 = \$ 111.960$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 111.960 = \$ 131.910$$

● Costo directo total para 80 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$2 \text{ rollos} \times \$ 58.910 = \$ 117.820$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 117.820 = \$ 137.710$$

● Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$7 \text{ rollos} \times \$ 25.790 = \$ 180.530$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 180.530 = \$ 200.480$$

● Costo directo total para 120 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$7 \text{ rollos} \times \$ 29.990 = \$ 209.930$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 209.930 = \$ 229.880$$

● Costo directo total para 140 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$9 \text{ rollos} \times \$ 23.890 = \$ 215.010$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 215.010 = \$ 234.960$$

● Costo directo total para 160 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$9 \text{ rollos} \times \$ 27.990 = \$ 251.910$$

$$\text{CD} = \$ 19.950 + \$ 251.910 = \$ 271.860$$

- Para viviendas tipo 6 de muros de madera con 79,5 m² de superficie de planta y cielo de madera.
- ❖ Aislante poliestireno expandido.

El área a cubrir por el aislante es de 66,6 m², considerando una altura de piso a cielo de 2,2 m.

La cantidad de plancha de aislante se calculó con pérdidas de 5 %.

Se necesitan 141 plachas de aislante, en este cálculo están incluidas las pérdidas.

Mano de Obra: Un maestro de segunda.

Precios Unitarios.

Todos los valores son referentes a 1 m².

Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$300	\$300

Pintura latex \$8800 por galón.

Rendimiento: 17m² es un galón de pintura por tanto 1 m² es 0,06 galones.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$800	\$800
Pintura latex	gl	0,06	\$8800	\$528
				\$1.328

$$CD = \$ 1.628 \times 66,6m^2 + \text{costo de la plancha}$$

$$= \$ 108.424 + \text{costo de la plancha}$$

- Costo directo total para 10 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido

$$141 \text{ plachas} \times \$ 157 = \$ 22.137$$

$$CD = \$ 108.424 + \$ 22.137 = \$ 130.562$$

- Costo directo total para 30 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido

$$141 \text{ plachas} \times \$ 530 = \$ 74.730$$

$$CD = \$ 108.424 + \$ 74.730 = \$ 183.155$$

- Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido

$$141 \text{ planchas} \times \$ 851 = \$ 119.991$$

$$CD = \$ 108.424 + \$ 119.991 = \$ 228.416$$

- Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido

$$141 \text{ planchas} \times \$ 1.092 = \$ 153.972$$

$$CD = \$ 108.424 + \$ 153.972 = \$ 262.396$$

- Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de poliestireno expandido

$$141 \text{ planchas} \times \$ 2.290 = \$ 322.890$$

$$CD = \$ 108.424 + \$ 322.890 = \$ 431.315$$

- ❖ Aislante Lana de vidrio.

El área a cubrir por el aislante es de $66,6 \text{ m}^2$, considerando una altura de piso a cielo de 2,2 m.

La cantidad de rollos de aislante Aislanglass que se necesita es de 3 rollos en este se incluyen las perdidas.

Todos los valores son referentes a 1 m^2 .

Colocación de aislante.

Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m^2	1	\$350	\$350

El costo de la pintura es el mismo que para el aislante de poliestireno expandido.

$$CD = \$ 1.628 \times 66,6 + \text{costo de la plancha} \\ = \$ 108.425 + \text{costo del rollo}$$

● Costo directo total para 40 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 42.890 = \$ 128.670$$

$$\text{CD} = \$ 108.425 + \$ 128.670 = \$ 240.425$$

● Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 55.980 = \$ 167.940$$

$$\text{CD} = \$ 108.425 + \$ 167.940 = \$ 279.695$$

● Costo directo total para 80 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 58.910 = \$ 176.730$$

$$\text{CD} = \$ 108.425 + \$ 176.730 = \$ 288.485$$

● Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$8 \text{ rollos} \times \$ 25.790 = \$ 206.320$$

$$\text{CD} = \$ 108.425 + \$ 206.320 = \$ 318.075$$

❖ Aislante lana de vidrio en el cielo de madera. Planta de 79,5 m².

El área a cubrir por el aislante lana de vidrio es de 79,5 m².

Todos los valores son referentes a 1 m².

Se considera retiro de tablero cepillado interior y colocación de este una vez instalado el aislante.

Descripción.	Unidad.	Cantidad.	Precio Unitario.	Total.
Mano de Obra	m ²	1	\$350	\$350

$$\begin{aligned} \text{CD} &= \$ 350 \times 79,5 \text{ m}^2 + \text{costo de la plancha} \\ &= \$ 27.825 + \text{costo del rollo} \end{aligned}$$

● Costo directo total para 50 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 49.990 = \$ 149.970$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 149.970 = \$ 177.795$$

● Costo directo total para 60 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 55.980 = \$ 167.940$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 167.940 = \$ 195.765$$

● Costo directo total para 80 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$3 \text{ rollos} \times \$ 58.910 = \$ 176.730$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 176.730 = \$ 204.555$$

● Costo directo total para 100 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$9 \text{ rollos} \times \$ 25.790 = \$ 232.110$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 176.730 = \$ 259.935$$

● Costo directo total para 120 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$9 \text{ rollos} \times \$ 29.990 = \$ 269.910$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 269.910 = \$ 297.735$$

● Costo directo total para 140 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$13 \text{ rollos} \times \$ 23.890 = \$ 310.570$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 310.570 = \$ 338.395$$

● Costo directo total para 160 mm de espesor de aislante de lana de vidrio.

$$13 \text{ rollos} \times \$ 27.990 = \$ 363.870$$

$$\text{CD} = \$ 27.825 + \$ 363.870 = \$ 391.695$$

Anexo 7

Cálculo de la demanda energética de calefacción.

Ver documento Cálculo de la demanda energética de calefacción en el Cd adjunto a la memoria.