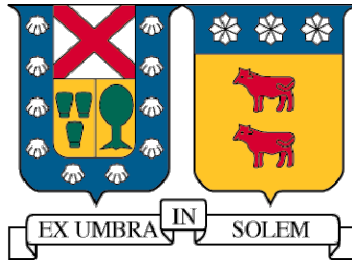


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



IMPACTO DEL TIPO DE AISLAMIENTO TERMICO EN LOS COSTOS DE LA ENERGIA DE CALEFACCION DE VIVIENDAS EN ZONAS EXTREMAS.

Memoria de Titulo presentada por
CLAUDIA PAOLA JARAMILLO FANTA

Como requisito parcial para optar al título de
Constructor Civil

Profesor Guía
SERGIO CARMONA MALATESTA

Fecha
Noviembre 2016

Agradecimiento

A todos los que me han acompañado en esta etapa amigos y familia.

INDICE

INDICE III	
ÍNDICE DE TABLAS	V
Resumen.....	7
Abstract	8
1. Introducción	9
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo general.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
1.2 Nomenclatura.....	12
2. Marco teórico.....	14
2.1 Clima y normativa	14
2.1.1 Zonificación climática de Chile.....	14
2.1.2 Descripción Normativa vigente para aislación en viviendas.....	15
2.1.2.1 Transmitancias térmicas	15
2.1.1.1 Soluciones constructivas en muros.....	15
2.2 Transferencia de calor y determinación de la transmitancia térmica de un material.....	16
3. Análisis comparativo.	18
3.1 Características generales de elementos constructivos a analizar.....	18
3.1.1 Hormigón Armado.....	18
3.1.2 Bloques de hormigón	19
3.1.3 Tabiquería Perimetral.....	19
3.1.4 Ladrillo confinado.....	21
3.2 Métodos de aislación a considerar	21
3.2.3 Poliestireno expandido:	22
3.2.2 Lana de fibra de vidrio.....	23
3.2.3 Poliuretano Proyectado.....	24
3.3 Métodos de energía a considerar.	24
3.3.1 Gas.....	25
3.3.2 Parafina	25
3.3.3 Leña	25
3.3.4 Electricidad.....	26
3.4 Método de evaluación económica del ahorro energético.....	26
4 Resultados	31

5	Conclusiones.....	57
6	Bibliografía	59
Anexo		60
Anexo 1.....		60
Anexo 2.....		76
Anexo 3.....		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Transmitancia térmica y resistencia térmica de muros	15
Tabla 3-1 Conductividad térmica del hormigón según su densidad, NCh 853, of 93.....	18
Tabla 3-2 Conductividad térmica de distintos paneles según su densidad, NCh 853 of 93	20
Tabla 3-3 Conductividad térmica de ladrillo macizo echo a máquina según su densidad, NCh 853, of 93.....	21
Tabla 3-4 Conductividad térmica de poliestireno expandido según su densidad, NCh 1070 of 84.	22
Tabla 3-5 Conductividad térmica de la lana de fibra de vidrio según su densidad aparente, NCh 853, of 93.....	23
Tabla 3-6 Conductividad térmica del poliuretano proyectado, NCh 853, of 93.	24
Tabla 3-7 Resumen tipos de energía y sus costos.....	26
Tabla 3-8 Grados días anuales por zona térmica.....	27
Tabla 4-1 Coste real de la energía “CRE”	31
Tabla 4-2 Coste de inversión equivalente “CIUE” por material aislante.....	32
Tabla 4-3 Ahorro anual equivalente uniforme neto “AAUEN” a=2%, zona 6.....	33
Tabla 4-4 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” a=10%, Zona 6	34
Tabla 4-5 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” a=20%, Zona 6	35
Tabla 4-6 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” a=2%, Zona 7	36
Tabla 4-7 Ahorro anual equivalente neto “AAUEN” a=10%, zona 7	37
Tabla 4-8 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” a=20%, zona 7.....	38
Tabla 4-9 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía a gas como calefacción, zona 6	40
Tabla 4-10 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía de parafina como calefacción, Zona 6.....	41
Tabla 4-11 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” Para distintos espesores de poliestireno en un muro de hormigón armado con energía a leña como calefacción, Zona 6.	42
Tabla 4-12 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía de electricidad como calefacción, zona 6	43
Tabla 4-13 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.....	45
Tabla 4-14 Ahorro de energía “AE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, zona 7.	46
Tabla 4-15 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, zona 7.	46
Tabla 4-16 Ahorro de energía “AE” para distintos espesores de lana de vidrio en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.....	47
Tabla 4-17 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de polieuretano proyectado en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.....	48

Tabla 4-18 Ahorro de energía “AE” para distintos espesores de poliuretano en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.....	49
Tabla 4-19 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos tipos de espesores de lana de fibra de vidrio en tabiquería perimetral con energía a gas como calefacción, Zona 7.....	49
Tabla 4-20 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana mineral en tabiquería perimetral con energía de parafina como calefacción, Zona 7.	50
Tabla 4-21 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana mineral en tabiquería perimetral con energía a leña como calefacción, Zona 7.	51
Tabla 4-22 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en tabiquería perimetral con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.	52
Tabla 4-23 Energía Requerida muro de albañilería con lana de fibra de vidrio con energía a gas como calefacción, Zona 6.	54
Tabla 4-24 Energía requerida muro de albañilería poliestireno expandido con energía a gas como calefacción, zona 6.....	54
Tabla 4-25 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distinto tipos de espesores de poliuretano en un muro de bloque de hormigón con energía de electricidad como calefacción, zona 7	55

Resumen

En climas extremos con temperaturas muy bajas gran parte del año es necesario que las viviendas utilicen métodos de calefacción y de aislación térmica para mantener una temperatura de confort en el lugar de habitación y mejorar la calidad de vida de las personas.

Los objetivos de esta memoria son comparar en los muros exteriores de una vivienda con distintos tipos de los aislantes térmicos y tipos de calefacción para determinar los beneficios económicos a largo plazo que se pueden obtener al invertir en mayores espesores de aislación térmica y al ahorrar en energía de calefacción en zonas térmicas extremas.

Para ello se determinó el coste de los distintos tipos de energía de calefacción, su eficiencia y cuanto se requiere en una zona térmica. Se calculó la diferencia entre la energía requerida para el espesor mínimo exigido por la norma y otros espesores mayores a este. Con esta diferencia se puede determinar cuál es el ahorro de energía al aumentar el espesor del aislamiento térmico.

La metodología permitió determinar los casos se obtienen un mayor ahorro económico al invertir en aislación térmica y que en cuáles no. Estos dependen principalmente de los costes y eficiencias de la energía utilizada para calefaccionar y de la transmitancia y costes del material aislante. Siempre al invertir en aislamiento térmico hay un ahorro de energía, pero no siempre se ve reflejado en un ahorro económico.

Abstract

In extreme weather with low temperatures a great part of the year is necessary that homes use methods to heat and thermally insulate to maintain a comfortable temperature in the room and improve the life quality of people.

The objectives of this report are compare in the exterior walls of a house with different types of thermal insulate and types of home heating to determine the economic long-term benefits to be gained by investing in greater thicknesses of thermal insulation and save heat energy in zones with extreme weather.

For this, the cost of different types of heating energy, the efficiency and how much is required in a thermal zone was determined. The difference between the energy required for the thermal insulate thickness established by the norm and a thicker thermal insulate was calculated. With this difference it was determined the energy savings by increasing the thickness of the insulation.

The analysis concludes that the method recommended long-term insulation is polyurethane projected as their cost is less than other insulation and has better transmittance value. Always investing in thermal insulation there is a saving of energy, but not always reflected in economic savings.

1. Introducción

Chile es un país con climas diversos, algunos de ellos extremos con temperaturas bajas gran parte del año. Las disposiciones generales para la construcción de viviendas consideran la confortabilidad y calidad de vida de las personas, por lo que establecen exigencias mínimas de materiales aislantes para que el lugar de habitación sea el más adecuado dependiendo de la zona climática.

Para mantener las viviendas a una temperatura de confort se utilizan diversos métodos de calefacción algunos de ellos producen gran contaminación como la leña, y otros que depende de recursos limitados como los derivados de combustible fósil. La energía más limpia es la electricidad pero tiene un coste muy elevado con respecto a los otros tipos de energía.

Un método para construir viviendas más eficientes, que consuman la menor cantidad de energía, es aumentar el espesor del aislante térmico ya que esto permite que la energía requerida para calefacciones sea menor. Esto adquiere un mayor impacto en zonas extremas donde la calefacción es utilizada a diario. Con una vivienda más eficiente las personas podrían ahorrar dinero y además tener un menor impacto ambiental.

Al colocar aislamiento térmico se logra disminuir la transmitancia térmica en las viviendas esto permite utilizar menos energía de calefacción para mantener la temperatura óptima de confort. Pero al aislar térmicamente una vivienda se aumenta su coste de construcción, por lo que es necesario analizar cuál es el beneficio económico en el tiempo si se realizar esta inversión.

En esta memoria se busca establecer una metodología que permita la comparación del coste de aumentar la aislación térmica y el coste de energía de calefacción, cual es el ahorro en calefacción que se logra al invertir en aislación térmica. Y aplicar esta metodología a algunos casos de vivienda en Chile.

Para lograr esto se analizará la transmitancia de 4 tipos de materiales utilizados en la construcción, hormigón armado, tabiquería perimetral, bloques de hormigón y albañilería armada. Se comparará los métodos de aislación, los costes de aislar y los costes de los distintos tipos de calefacción. Las fuentes de energía calorífica como calefacción a considerar son 4: electricidad, leña, parafina y gas. Los métodos de aislación térmica a considerar son 3: fibra de vidrio, poliestireno expandido y poliuretano.

Los espesores a comparar serán mayores a los espesores exigidos por el MINVU en la normativa vigente. Este análisis se realizara en 2 de las zonas climáticas establecidas por el MINVU en el manual de reglamentación térmica. Están 2 zonas son la zona 6 y la zona 7 ya que ambas zonas son las únicas que exigen aislación para todos los casos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar económicamente los beneficios de aumentar el espesor de los métodos de aislación exigidos en el MINVU al compararlos con los costos de la energía de calefacción en 2 zonas térmicas de Chile.

1.1.2 Objetivos específicos

- I. Comparar en los muros exteriores de una vivienda distintos espesores de los aislantes térmicos con los espesores mínimos exigidos por la normativa del MINVU en el artículo 4.1.10 del decreto nº 192, que entró en vigencia el 4 de enero del 2007. Los espesores a comparar serán mayores a los mínimos exigidos por el MINVU.
- II. Determinar los precios de los aislantes por metro cuadrado de vivienda y los precios de las energías por [MJ].
- III. Evaluar los beneficios económicos a largo plazo que se pueden obtener al invertir en mayores espesores de aislación térmica, determinando el ahorro anual uniforme neto.
- IV. Analizar el comportamiento de los distintos tipos de aislamientos exigidos por el MINVU con 4 tipos de energía de calefacción comparando las pérdidas de energía calórica.

1.2 Nomenclatura

A: Área [m^2]

AE: Ahorro de energía [MJ/año m^2]

AAUE: Valor del ahorro anual uniforme equivalente de la energía [$\$/\text{año}$]

AAUEN: Valor del ahorro anual uniforme equivalente neto de la energía [$\$/\text{año}$]

CE: Costo de la Energía [$\$/\text{MJ}$]

CI: coste de la inversión [$\$$]

CIUE: Costo de inversión uniforme equivalente [$\$$]

CRE: Costo real uniforme equivalente de la energía [$\$/\text{MJ}$]

Dt: Diferencia de temperatura [$^{\circ}\text{K}$]

e: Espesor [m]

Ec: Energía de calefacción requerida [MJ/año m^2]

Ecc: Energía requerida con un espesor mayor al exigida por la normativa [MJ/año m^2]

Ecs: Energía requerida con el aislamiento exigido por la normativa [MJ/año m^2]

GD: Grados día

GDA: Grados día anual

GDM: Grados día del mes

Kv: Conductancia térmica válida para un elemento [$\text{W/m}^2 \text{K}^{\circ}$]

MJ: Megajoules = 10^6 joules

Q: La cantidad de calor transmitida por un elemento o material en un tiempo unitario [W]

Rt: Resistencia térmica total [$\text{m}^2\text{K/W}$]

Rv: Resistencia térmica valida por unidad de superficie de cada capa de material [$\text{m}^2\text{K/W}$]

U: Transmitancia térmica [$\text{W/m}^2 \text{K}^\circ$]

Ω : Conductividad del material [W/m K°]

2. Marco teórico

El presente informe utiliza la normativa exigida por el MINVU para aislación térmica y fórmulas de calor que se pueden encontrar en la NCh 853.

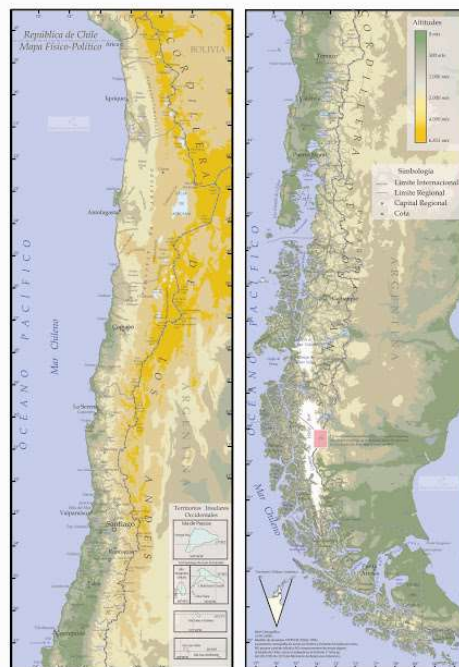
2.1 Clima y normativa

La normativa vigente se encuentra disponible en la página oficial del MINVU, donde se puede obtener la información sobre la división de zonas climáticas de Chile y exigencias de espesores de aislamiento térmico para cada una de las zonas.

2.1.1 Zonificación climática de Chile.

Chile está dividida por el MINVU en 7 zonas climáticas. Las cuales se encuentran detalladas en un mapa publicado en la página oficial del MINVU. Estos se encuentran en el anexo 1. La zonificación depende de los Grados-día anuales.

Mapa Físico de Chile



2.1.2 Descripción Normativa vigente para aislación en viviendas.

El artículo 4.1.10 del decreto nº 192, cuya última versión que entró en vigencia el 4 de enero del 2007, describe el acondicionamiento térmico exigido para viviendas.

2.1.2.1 Transmitancias térmicas

Este artículo señala la transmitancia térmica “U” máxima y resistencia térmica total “Rt” mínima de techumbre, muros y pisos ventilados dependiendo de las zonas climáticas establecidas por el MINVU. Los valores de “Rt” y de “U” para muros se encuentran indicados por la tabla 2-1.

Tabla 2-1 Transmitancia térmica y resistencia térmica de muros.

Zona	U [W/m ² *K]	Rt [m ² K/W]
1	4,0	0,25
2	3,0	0,33
3	1,9	0,53
4	1,7	0,59
5	1,6	0,63
6	1,1	0,91
7	0,6	1,67

2.1.1.1 Soluciones constructivas en muros.

La normativa exigida por el MINVU describe 17 tipos de muro los cuales corresponden a 5 elementos constructivos que son el muro de hormigón armado, el muro de ladrillo confinado, tabique perimetral soportante, bloques de hormigón y poliestireno expandido y estuco armado. Cada método constructivo puede ser aislado de distintas maneras. Los

muros especificados en la normativa con sus esquemas respectivos se encuentran en el anexo 2.

Para este informe solo se utilizaran 4 muros:

1. Tabique perimetral con aislante térmico con aislante térmico. Es el muro tipo 2 según la norma.
2. Muro de albañilería de ladrillo con aislante térmico adosado a cara exterior. Es el muro tipo 5 según la norma.
3. Muro de albañilería de bloques de hormigón con aislante térmico adosado a cara exterior. Es el muro tipo 9 según la norma.
4. Muro de hormigón armado con aislante térmico exterior. Es el muro tipo 14 en la norma.

2.2 Transferencia de calor y determinación de la transmitancia térmica de un material.

La cantidad de calor transmitida por un elemento o material en un tiempo unitario está definida por:

$$Q = Dt \times A \times U \text{ [Watts]}$$

Dt: Diferencia de temperatura [°K]

A: Área [m²]

U: Transmitancia [W /m² K°]

Para este estudio solo se utilizaran elementos constructivos homogéneos conformados por capas de distintos materiales. Para determinar la resistencia térmica total (Rt) del elemento por lo que se deben sumar las resistencias térmicas de las distintas capas de materiales.

Para determinar la transmitancia térmica válida de un elemento homogéneo conformado por más de una capa se utiliza el siguiente procedimiento:

- 1) Determinar la conductancia térmica válida para cada capa del elemento (K_v)

$$K_v = \frac{\Omega}{e} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Ω : Conductividad del material [W/m K]

e: Espesor [m]

- 2) Determinar la resistencia térmica válida por unidad de superficie de cada capa (R_v)

$$R_v = \frac{1}{K_v} \text{ [K m}^2\text{/W]}$$

- 3) Resistencia Térmica válida del elemento (R_t)

$$R_t = \sum R_{vi} \text{ [K/W]}$$

- 4) Transmitancia térmica válida (U)

$$U = \frac{1}{R_t} \text{ [W/m}^2\text{ K]}$$

Con las ecuaciones planteadas se puede calcular la transmitancia por metro cuadrado, esto nos permite obtener el valor de la cantidad de energía requerida por metro cuadrado para mantener una vivienda a la temperatura de confort. Esta varía dependiendo las distintas zonas climáticas de Chile, ya que la diferencia de temperatura [D_t] depende directamente de la zona en la que se encuentre ubicada la vivienda.

3. Análisis comparativo.

La investigación busca determinar el ahorro de energía al invertir en espesores mayores de aislante térmico a los que exige la norma del MINVU anteriormente descrita.

Para ello se determinara la cantidad de calor necesaria para calefaccionar un metro cuadrado de vivienda al año dependiendo del espesor del aislante y del tipo de energía. El coste de calefacción se comparara con los valores de inversión del aislante térmico para determinar para que situaciones en los distintos tipos de aislantes térmicos, muros y energías, se tiene mejores resultados económicos.

3.1 Características generales de elementos constructivos a analizar.

Existen diversos métodos y materiales para construir una vivienda, en esta memoria solo se analizaran 4 tipos de materiales utilizados en los muros exteriores de la vivienda. Estos se encuentran detallados a continuación.

3.1.1 Hormigón Armado

El hormigón armado es una mezcla de cemento, Arena y grava con una armadura metálica en su interior. Para este estudio se considerara un hormigón armado común sin aditivos ni áridos ligeros, los valores de conductividad de este tipo de hormigón se encuentra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Conductividad térmica del hormigón según su densidad, NCh 853, of 93

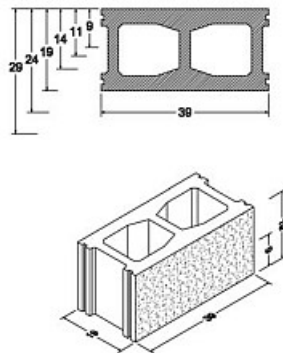
Densidad aparente [kg/m ³]	Ω [watts /mK]
2400	1,63

3.1.2 Bloques de hormigón

Son ladrillos de hormigón que se apilan y se unen con mortero para formar los muros. Los ladrillos poseen agujeros por donde va una armadura de barras de acero para reforzar el muro. Las características de densidad y conductividad son las mismas que las del hormigón común y estas se encuentran indicadas en la tabla 3-1

También se considerara que el ladrillo tiene un ancho de 140 mm y posee huecos por lo que el espesor de muro a considerar es 5 mm

Bloque de hormigón con sus medidas en mm



3.1.3 Tabiquería Perimetral

La tabiquería perimetral es una estructura metálica revestida con paneles de madera o fibrocemento y estructuras de madera. El material aislante se coloca entre ambas planchas del revestimiento. La conductividad térmica de los distintos tipos de paneles utilizados en la tabiquería perimetral se indica en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Conductividad térmica de distintos paneles según su densidad, NCh 853 of 93

Tipo de panel	Densidad aparente [kg/m ³]	Ω [watts /mK]
Fibro cemento	920	0,220
	1000	0,230
	1135	0,230
Álamo	380	0,091
Alerce	560	0,131
Coigüe	670	0,145
Lingue	640	0,136
Pino insigne	410	0,104
Raulí	580	0,121
Roble	800	0,157
Tableros de partículas de madera aglomerado	400	0,095
	420	0,094
	460	0,098
	560	0,102
	600	0,103
	620	0,105
	650	0,106
	850	0,230
	930	0,260
	1030	0,280

Como ejemplo para este informe se utilizara Tablero de partículas de madera aglomerado de 600 [kg/m²] con un Ω 0,103 [watts /m K] y el espesor a utilizar sea 0,09 [mm] ya que este es el espesor que la norma exige como mínimo.

3.1.4 Ladrillo confinado

Es ladrillo confinado consiste en construir un muro con ladrillos macizos y mortero que posee pilares a cada lado y una viga en la parte superior hecha de hormigón armado. Los valores de conductividad térmica para distintos tipos de densidad de ladrillo se encuentran en la tabla 3-3.

Tabla 3-3 Conductividad térmica de ladrillo macizo echo a máquina según su densidad, NCh 853, of 93

Densidad aparente [kg/m ³]	Ω [watts /mK]
1000	0,460
1200	0,530
1400	0,600
1800	0,790
2000	1,000

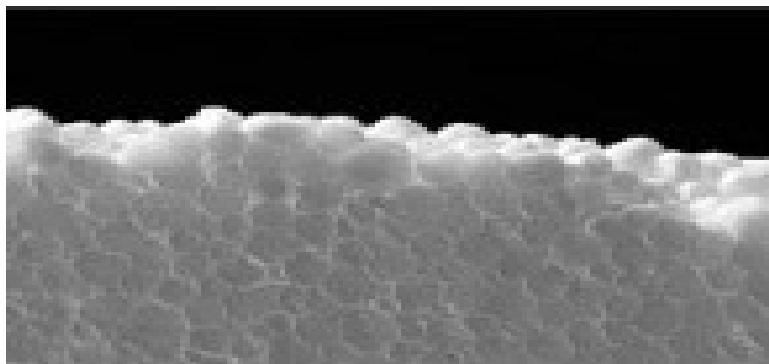
El valor que se utilizara para este informe es una densidad de 1400 [kg/m³] con un $\Omega=0,600$ [watts /mK]. El espesor a utilizar será el mínimo exigido por la norma de 0,14 [mm].

3.2 Métodos de aislación a considerar

La función de los materiales aislantes es disminuir el flujo de energía calórica del interior de la vivienda con el exterior o entre habitaciones de la misma vivienda.

En este trabajo se analizaran 3 aislamientos térmicos: poliestireno expandido, Lana de fibra de vidrio, poliuretano proyectado.

3.2.3 Poliestireno expandido:



Es un material plástico donde los polímeros que lo conforman son expandidos por energía térmica. Al ser expandido este material queda con pequeñas celdas de aire aisladas entre sí que permiten la aislación térmica. Comercialmente se vende en planchas de distintos tamaños y espesores. Los Valores de conductividad térmica “ Ω ” dependiendo de la densidad aparente se encuentran en la tabla 3-4.

Tabla 3-4 Conductividad térmica de poliestireno expandido según su densidad, NCh 1070 of 84.

Densidad aparente [kg/m ³]	Ω [watts /m K]
10	0,0425
15	0,0413
20	0,0384
25	0,0373
30	0,0361

El valor que exige la norma es un poliestireno expandido con una densidad de 10 [Kg/m³], con un valor de Ω igual a 0,0425 [W/m K].

El coste actual de este material es de 12.000 [\$/m²].

3.2.2 Lana de fibra de vidrio



Son fibras formadas por la mezcla de arena natural y vidrio reciclado unida por medio de una resina. El formato comercial son colchonetas, rollos o a granel nodular. Los Valores de conductividad térmica “ Ω ” dependiendo de la densidad aparente se encuentran en la tabla 3-5.

Tabla 3-5 Conductividad térmica de la lana de fibra de vidrio según su densidad aparente, NCh 853, of 93.

Densidad aparente [kg/m ³]	Ω [watts /m °K]
10	0,0440
11	0,0424
12	0,0410
13,1	0,0400

El valor de densidad aparente que indica la norma es de 11 [Kg/m³] con una conductividad térmica iguala a 0,0424 [W/m °K]

El coste actual de este material es de 28.500 [\$/m²]

3.2.3 Poliuretano Proyectado

Es un material plástico poroso formado por una reacción química entre unpoliol y isocianato además de aditivos, lo cual produce burbujas de gas que quedan atrapadas formando una espuma. El método de colocación es proyectar esta mezcla sobre el muro o techo la cual se expande cuando ocurre la reacción química.

Los Valores de conductividad térmica “ Ω ” dependiendo de la densidad aparente se encuentran en la tabla 3-6.

Tabla 3-6 Conductividad térmica del poliuretano proyectado, NCh 853, of 93.

Densidad aparente [kg/m ³]	Ω [watts /m °K]
30	0,024
40	0,025

La densidad aparente que indica la norma es de 30 [Kg/m³] Con un valor de densidad aparente de 0,024 [W/m °K].

El coste actual de este material es de 5.800 [\$/m²]

3.3 Métodos de energía a considerar.

Los tipos de energía a considerar son eléctrica, gas, parafina y leña.

Ya que en el mercado se encuentran diversos tipos de aparatos para cada tipo de energía es necesario determinar un consumo promedio y una eficiencia mínima para

cada tipo de energía. El resumen de los precios para cada tipo de energía por Megajoule se encuentra en la tabla 3-7.

3.3.1 Gas

La mayoría de las estufas usadas en las viviendas son de balones a gas, por lo tanto en este informe solo se consideraran este tipo de estufas.

Según las estufas que se encuentran en el mercado por el consumo de estas es de 254 a 327 [gr/hr] y su potencia es de 3000 a 4200 [Kcal/hr]. Para calcular el ahorro se tomaran los valores promedios tanto de consumo como de potencia, por lo tanto el valor que se utilizara de consumo será 291 [g/hr] y de potencia 3600 [kcal/hr].

El precio de los cilindros de gas de 15 kilos en promedio tiene un valor de \$12.000 CLP por lo que un gramo costaría 0,8 CLP. Estos precios son facilitados por el gobierno de Chile en la página gasenlinea.gob.cl en el año 2016.

3.3.2 Parafina

El valor de la parafina entregado por la ENAP en el año 2016 es de \$424 CLP por litro. El consumo de esta es entre 0,24 a 0,65 [lts/hr]. Una de estas estufas en promedio tiene una potencia de 2520 [Kcal]. Se considerara un consumo promedio de 0,45 [lts/hr].

3.3.3 Leña

En este informe se tomara como referencia la estufa a leña tipo “Bosca ©” ya otros modelos están prohibidas en algunas ciudades del país debido a ser altamente contaminante. El consumo de esta estufa se encuentra entre 2 y 2,2 kilogramo por hora y tienen una potencia entre 8,5 y 8,8 [KWH]. Se utilizara el valor de 2 [kg/hr] y 8,65 [KWH] que es equivalente a 7442 [Kcal]

El precio de la leña seca certificada es de 200[\$/kg].

3.3.4 Electricidad

El consumo de las estufas eléctricas varía entre los 1000 y 2000 [WH]. Para este informe se considerara que toda la energía entregada por la corriente eléctrica es entregada por la estufa en forma de calor, ya que las pérdidas son de un porcentaje muy bajo. El precio entregado por Chilectra en el año 2016 es de 112,360 [\$/KWH]. Se utilizara el valor promedio de 1500 [WH] que son equivalentes a 1290 [Kcal].

Tabla 3-7 Resumen tipos de energía y sus costos

Energía	coste \$ /kcal	Coste de la energía \$/MJ
Gas	0,065	15,455
Parafina	0,076	18,096
Leña	0,056	12,846
Electricidad	0,130	31,226

3.4 Método de evaluación económica del ahorro energético.

El método a continuación descrito es un extracto de la memoria “Determinación de espesores mínimo de muros y techumbre para la aislación térmica” de Canepa Gutierrez, Carla.

Para determinan la cantidad de calefacción requerida se utilizara el método grados días que considera la temperatura en un periodo de tiempo (24 horas).

Se define Grado-día (GD) como la temperatura promedio de diferencia diaria bajo 18,5°C en el exterior. Ya que la calefacción es necesaria en un recinto cerrado cuando la temperatura promedio en un periodo de 24 horas ambiente interior es menor a 18,5°C. Los grados-día del mes (GDM) y los grado-día anuales (GDA) se obtiene al sumar los GD en el periodo.

En un periodo de “n” días, la cantidad de GD. En base a una temperatura interior (ti) es:

$$GD = \sum_{k=1}^n (ti - te)$$

Los grados días dependerán la zona climática en la que está ubicada la vivienda. Para este estudio se consideraran las 7 zonas climáticas indicadas en el artículo 4.1.10 del decreto nº 192 del MINVU, y se analizara una vivienda tipo en cada una de estas zonas.

A continuación en la tabla 3-10 los grados días anuales entregados por el MINVU.

Tabla 3-8 Grados días anuales por zona térmica

Zona Climática	Grados día anuales
Zona 1	GDA ≤ 500
Zona 2	500 < GDA ≤ 750
Zona 3	750 < GDA ≤ 1000
Zona 4	1000 < GDA ≤ 1250
Zona 5	1250 < GDA ≤ 1500
Zona 6	1500 < GDA ≤ 2000

Zona 7	2000< GDA
--------	-----------

Para obtener la energía de calefacción requerida por metro cuadrado de vivienda construida en un periodo anual se tiene:

$$Ec = 0,0864 \times U \times GDA \text{ [MJ/año m}^2\text{]}$$

Ec: Energía de calefacción requerida [MJ/año m²]

U: Transmitancia térmica [W/m² °K]

GDA: Grados-día anual

El ahorro de energía entre un elemento aislado con el espeso mínimo exigido por la norma y un espesor mayor es:

$$AE = Ecs - Ecc \text{ [MJ/año m}^2\text{]}$$

Ecs: Energía requerida con el aislamiento exigido por la normativa [MJ/año m²]

Ecc: Energía requerida con un espesor mayor al exigida por la normativa [MJ/año m²]

El costo de los combustibles utilizados para calefacciones una vivienda varia en el tiempo, por lo que el ahorro anual de energía dependerá de esta variación. Es necesario buscar un valor equivalente uniforme de energía para el periodo de vida útil estimado del aislante térmico, que es aproximadamente de 20 años.

$$CRE = \frac{CE \times n \times ((1 + a)^n \times a)}{((1 + a)^n - 1)}$$

CRE: Costo real uniforme equivalente de la energía [\$/MJ]

n : Numero a considerar , vida útil de la vivienda

a : Incremento del costo de la energía en un periodo de tiempo

CE: Costo de la Energía [\$/MJ]

La variación del precio de los combustibles es muy difícil de predecir lo que se utilizaran 3 valores para “a”, el incremento del costo de la energía en un periodo de tiempo, Estos valores serán 2%, 10% y 20 %

$$AAUE = AE \times CRE$$

AAUE: Valor del ahorro anual uniforme equivalente de la energía [\$/año]

AE: Ahorro de la energía [\$/año]

Para determinar el Ahorro anual uniforme equivalente es necesario considerar el costo de inversión de los aislantes térmico. Para ello se debe determinar un valor equivalente de la inversión realizada en aislante térmico para los 20 años de vida útil, esto se hará tomando el interés del dinero dado por los bancos como está indicado a continuación:

$$CIUE = \frac{CI \times (1 + i)^n \times i}{(1 + i)^n - 1}$$

CIUE: Costo de inversión uniforme equivalente [\$/]

CI: coste de la inversión [\$/]

i : interés

n: años

El interés del dinero utilizado es de un 10%

Luego para obtener el ahorro anual uniforme equivalente neto se le debe restar al ahorro de energía el costo de la inversión realizada.

$$AAUEN = AAUE - CIUE \text{ [$/año]}$$

4 Resultados

1.1 Resultados

Realizando el análisis descrito en la metodología expuesta anteriormente para determinar los valores de ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN”, a continuación se presentan los resultados obtenidos para cada zona térmica estudiada.

También se presentan los resultados de Coste real de la energía “CRE” y de coste de la inversión equivalente “CIE” que calculan el valor de los costes en 20 años.

1.1.1 Costo real de la energía

En la tabla 4-1 se presentan los precios de cada energía por MJ y se detalla el coste real uniforme equivalente de la energía “CRE”, que calcula cual será en precio real de la energía en 20 años si esta varía un 2%, 10% y un 20%

Tabla 4-1 Coste real de la energía “CRE”

			Coste real de la energía "CRE" [\$ /MJ]		
Energía	Coste [\$ /kcal]	Coste de la energía [\$ /MJ]	a=2%	a=10%	a=20%
Gas	0,065	15,455	18,9035	36,3068	63,4757
Parafina	0,076	18,096	22,1338	42,5110	74,3226
Leña	0,056	12,846	15,7124	30,1777	52,7602
Electricidad	0,130	31,226	38,1936	73,3559	128,2493

1.1.2 Coste de la inversión equivalente

En la Tabla 4-2 se encuentran los distintos materiales aislantes por m² y su valor coste de inversión equivalente “CIUE” en 20 años.

Tabla 4-2 Coste de inversión equivalente “CIUE” por material aislante.

Material	Coste de la inversión [\$/m ²] Interés= 20% Años=20	CIUE [\$/m ²]
Poliestireno	\$ 12.000,00	\$ 1.409,52
Fibra de vidrio	\$ 28.500,00	\$ 3.347,60
Poliuretano	\$ 6.800,00	\$ 798,73

1.2 Ahorro anual uniforme equivalente neto

Con la metodología descrita anteriormente en el punto 3.5 se calcula para cada tipo de muro el ahorro que obtiene al aumentar el espesor del aislante térmico. Se realiza el cálculo para los distintos tipos de materiales aislantes, para las distintas energías y distintas zonas térmicas.

Se considera 3 casos de precio de energía suponiendo que varían de aquí a 20 años en un 2%, 10% y 20%.

Los ahorros indicados en las tablas 4-3, 4-4, 4-5 ,4-6 ,4-7 ,4-8 a continuación son por m² de vivienda construida.

Tabla 4-3 Ahorro anual equivalente uniforme neto "AAUEN" $\alpha=2\%$, zona 6

		Zona 6					
		Espesores		AAUEN 2 % [\$ /año]			
Elemento constructivo	Tipo de aislación	Espesor mínimo [m]	Espesor [m]	Gas	Parafina	Leña	Electricidad
Tabiquería perimetral	Poliestireno Expandido	0,03	0,10	1.424,88	1.909,23	946,40	4.317,23
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	- 519,87	- 36,66	-997,23	2.365,67
	Poliuretano	0,03	0,07	562,33	794,91	332,57	1.951,21
Albañilería confinada	Poliestireno Expandido	0,02	0,08	3.145,77	3.924,19	2.376,78	7.794,19
	Fibra de vidrio	0,03	0,08	- 822,84	-391,40	-1.249,05	3.691,62
	Poliuretano	0,03	0,07	562,33	794,91	332,57	1.951,21
Bloques de hormigón	Poliestireno Expandido	0,03	0,10	1.424,88	1.909,23	946,40	4.317,23
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	- 519,87	-36,66	-997,23	2.365,67
	Poliuretano	0,03	0,07	562,33	794,91	\$ 332,57	1.951,21
Hormigón armado	Poliestireno Expandido	0,40	0,10	1.424,88	1.909,23	\$ 946,40	4.317,23
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	- 519,87	-36,66	-997,23	2.365,67
	Poliuretano	0,03	0,07	562,33	794,91	332,57	1.951,21

Tabla 4-4 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUEN" $\alpha=10\%$, Zona 6

		Zona 6					
		Espesores		AAUEN 10 % [\$/año]			
Elemento constructivo	Tipo de aislación	Espesor mínimo [m]	Espesor [m]	Gas	Parafina	Leña	Electricidad
Tabiquería perimetral	Poliestireno Expandido	0,03	0,10	4.034,32	4.964,58	3.115,33	9.589,47
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	2.083,43	3.011,50	1.166,60	7.625,50
	Poliuretano	0,03	0,07	1.815,36	2.262,07	1.374,07	4.482,90
Albañilería confinada	Poliestireno Expandido	0,02	0,08	7.339,51	8.834,57	5.862,56	16.267,42
	Fibra de vidrio	0,03	0,08	1.501,53	2.330,17	682,94	8.387,90
	Poliuretano	0,03	0,07	1.815,36	2.262,07	1.374,07	4.482,90
Bloques de hormigón	Poliestireno Expandido	0,03	0,10	1.424,88	1.909,23	946,40	4.317,23
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	2.083,43	3.011,50	1.166,60	7.625,50
	Poliuretano	0,03	0,07	1.815,36	2.262,07	1.374,07	4.482,90
Hormigón armado	Poliestireno Expandido	0,40	0,10	4.034,32	4.964,58	3.115,33	9.589,47
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	2.083,43	3.011,50	1.166,60	7.625,50
	Poliuretano	0,03	0,07	1.815,36	2.262,07	1.374,07	4.482,90

Tabla 4-5 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUEN" $\alpha=20\%$, Zona 6

		Zona 6					
		Espesores		AAUEN 20 % [\$/año]			
Elemento constructivo	Tipo de aislación	Espesor mínimo [m]	Espesor [m]	Gas	Parafina	Leña	Electricidad
Tabiquería perimetral	Poliestireno Expandido	0,03	0,10	8.108,03	9.734,42	6.501,35	17.820,18
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	6.147,55	7.770,12	4.544,65	15.836,85
	Poliuretano	0,03	0,07	3.771,53	4.552,50	\$3.000,01	8.435,22
Albañilería confinada	Poliestireno Expandido	0,02	0,08	13.886,54	16.500,38	11.304,37	29.495,35
	Fibra de vidrio	0,03	0,08	5.130,22	6.578,93	3.699,05	15.719,46
	Poliuretano	0,03	0,07	3.771,53	4.552,50	3.000,01	8.435,22
Bloques de hormigón	Poliestireno Expandido	0,03	0,10	1.424,88	1.909,23	946,40	4.317,23
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	6.147,55	7.770,12	4.544,65	15.836,85
	Poliuretano	0,03	0,07	3.771,53	4.552,50	3.000,01	8.435,22
Hormigón armado	Poliestireno Expandido	0,40	0,10	8.108,03	9.734,42	6.501,35	17.820,18
	Fibra de vidrio	0,03	0,10	6.147,55	7.770,12	\$4.544,65	15.836,85
	Poliuretano	0,03	0,07	3.771,53	4.552,50	3.000,01	8.435,22

Tabla 4-6 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUEN" $\alpha=2\%$, Zona 7

		Zona 7					
		Espesores		AAUEN 2% [\$/año]			
Elemento constructivo	Tipo de aislación	Espesor mínimo [m]	Espesor [m]	Gas	Parafina	Leña	Electricidad
Tabiquería perimetral	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	- 108,01	114,40	- 327,72	1.220,11
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	-2.049,15	- 1.827,27	- 2.268,35	- 724,16
	Poliuretano	0,04	0,09	628,29	872,14	387,39	2.084,48
Albañilería confinada	Poliestireno Expandido	0,05	0,12	412,60	723,97	105,00	2.271,96
	Fibra de vidrio	0,05	0,12	- 1.529,77	- 1.219,14	- 1.836,65	325,22
	Poliuretano	0,03	0,08	1.030,65	1.343,26	721,83	2.897,43
Bloques de hormigón	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	- 108,01	114,40	- 327,72	1.220,11
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	- 2.049,15	- 1.827,27	- 2.268,35	- 724,16
	Poliuretano	0,04	0,09	684,98	938,52	434,51	2.199,03
Hormigón armado	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	- 108,01	114,40	- 327,72	1.220,11
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	- 2.049,15	- 1.827,27	- 2.268,35	- 724,16
	Poliuretano	0,04	0,09	628,29	872,14	387,39	2.084,48

Tabla 4-7 Ahorro anual equivalente neto "AAUEN" $\alpha=10\%$, zona 7

		Zona 7					
		Espesores		AAUEN 10 % [\$/año]			
Elemento constructivo	Tipo de aislación	Espesor mínimo [m]	Espesor [m]	Gas	Parafina	Leña	Electricidad
Tabiquería perimetral	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	1.090,21	1.517,37	668,22	3.641,04
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	- 853,76	- 427,60	- 1.274,75	1.691,07
	Poliuretano	0,04	0,09	1.942,05	2.410,40	1.479,37	4.738,86
Albañilería confinada	Poliestireno Expandido	0,05	0,12	2.090,09	2.688,12	1.499,32	5.661,26
	Fibra de vidrio	0,05	0,12	143,78	740,39	- 445,61	3.706,54
	Poliuretano	0,03	0,08	2.714,83	3.315,24	2.121,70	6.300,23
Bloques de hormigón	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	1.090,21	1.517,37	668,22	3.641,04
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	- 853,76	-427,60	- 1.274,75	1.691,07
	Poliuretano	0,04	0,09	2.050,93	2.537,89	1.569,88	4.958,86
Hormigón armado	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	1.090,21	1.517,37	668,22	3.641,04
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	- 853,76	- 427,60	- 1.274,75	1.691,07
	Poliuretano	0,04	0,09	1.942,05	2.410,40	1.479,37	4.738,86

Tabla 4-8 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUEN" $\alpha=20\%$, zona 7

		Zona 7					
		Espesores		AAUEN 20 % [\$/año]			
Elemento constructivo	Tipo de aislación	Espesor mínimo [m]	Espesor [m]	Gas	Parafina	Leña	Electricidad
Tabiquería perimetral	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	2.960,79	3.707,60	2.223,02	7.420,45
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	1.012,42	1.757,47	276,39	5.461,59
	Poliuretano	0,04	0,09	3.993,01	4.811,84	3.184,10	8.882,72
Albañilería confinada	Poliestireno Expandido	0,05	0,12	4.708,91	5.754,44	3.676,04	10.952,43
	Fibra de vidrio	0,05	0,12	2.756,43	3.799,50	1.725,99	8.985,26
	Poliuretano	0,03	0,08	5.344,08	6.393,79	4.307,10	11.612,49
Bloques de hormigón	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	2.960,79	3.707,60	2.223,02	7.420,45
	Fibra de vidrio	0,03	0,12	1.012,42	1.757,47	276,39	5.461,59
	Poliuretano	0,04	0,09	4.183,38	5.034,74	3.342,34	9.267,35
Hormigón armado	Poliestireno Expandido	0,06	0,12	2.960,79	3.707,60	2.223,02	7.420,45
	Fibra de vidrio	0,06	0,12	1.012,42	1.757,47	276,39	5.461,59
	Poliuretano	0,04	0,09	3.993,01	4.811,84	3.184,10	8.882,72

1.3 Análisis de resultados

Si se observa tablas 4-9, 4-10, 4-11 ,4-12 ,4-13 ,4-14 se puede concluir que el ahorro en la Zona 6 es mayor que en la zona 7. Esto se debe que la diferencia entre los espesores mínimos exigidos por la norma y los espesores aumentados es mayor en la zona 6, por lo que la inversión extra que se debe hacer con respecto a lo que exige la normativa es también mayor en la 6. Es difícil considerar mayores espesores para la zona 7 ya que al aumentar el espesor del aislante también se reducen los metros cuadrados habitables de una vivienda.

Al comparar solo la variable de energía se observa que en todos los casos el mayor ahorro se produce en la calefacción con electricidad. Esto se debe a que la energía eléctrica cuesta casi el doble por [MJ] que el resto de las energías consideradas. Para ejemplificar esto tomaremos una vivienda de hormigón armado ubicado en la zona 6 con aislación térmica de poliestireno.

A continuación se encuentran detalladas en las tablas 4-9, 4-10, 4-11, 4-12 y en los gráficos 1, 2, 3, 4 donde se aumentan los espesores del poliestireno y se puede observar que los valores de ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” siempre son mayores para la electricidad, esto se repite para todos los casos de muro en ambas zonas y para todo los tipos de aislante.

Al contrario los menores valores de “AAUEN” son para el tipo de energía a leña esto se debe a que es la energía con menos coste por lo que la variación del espesor del aislante térmico no influye tanto a largo plazo, ya que en muchos casos es más caro invertir en material aislante que en leña.

Tabla 4-9 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía a gas como calefacción, zona 6

Resumen	Hormigón armado, poliestireno, gas		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]
0,040	-\$ 397,23	\$ 534,71	\$ 1.989,61
0,050	\$ 210,14	\$ 1.701,25	\$ 4.029,08
0,060	\$ 615,05	\$ 2.478,94	\$ 5.388,73
0,080	\$ 1.121,20	\$ 3.451,05	\$ 7.088,29
0,100	\$ 1.424,88	\$ 4.034,32	\$ 8.108,03

Grafico 1 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con gas como calefacción, Zona 6.

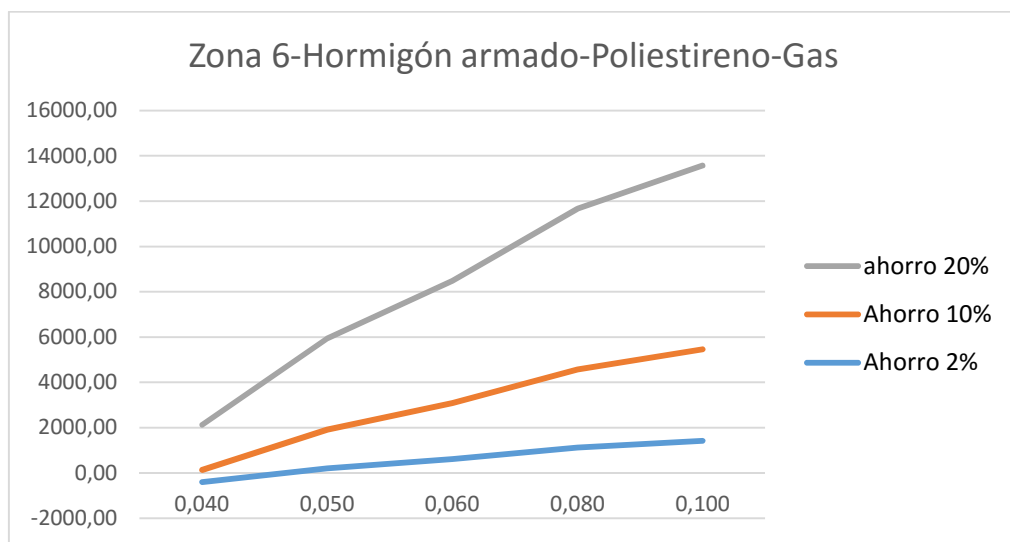


Tabla 4-10 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía de parafina como calefacción, Zona 6.

Resumen	Hormigón armado-poliestireno-parafina		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]
0,040	-\$ 224,25	\$ 866,95	\$ 2.570,46
0,050	\$ 486,91	\$ 2.232,83	\$ 4.958,45
0,060	\$ 961,02	\$ 3.143,41	\$ 6.550,44
0,080	\$ 1.553,65	\$ 4.281,64	\$ 8.540,43
0,100	\$ 1.909,23	\$ 4.964,58	\$ 9.734,42

Grafico 2 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía de parafina como calefacción, Zona 6

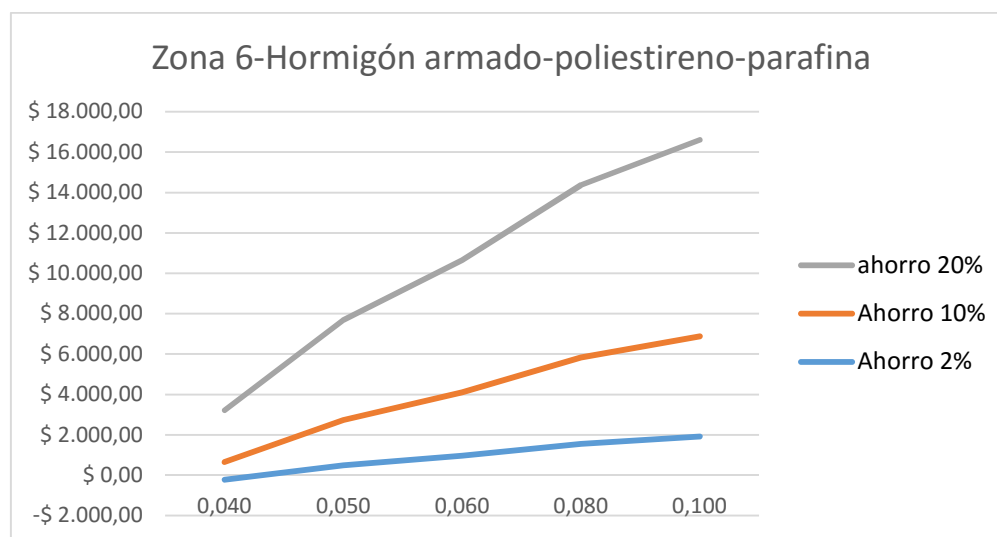


Tabla 21 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno en un muro de hormigón armado con energía a leña como calefacción, Zona 6.

Tabla 4-11 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” Para distintos espesores de poliestireno en un muro de hormigón armado con energía a leña como calefacción, Zona 6.

Resumen	Hormigón armado-poliestireno-leña		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]
0,040	-\$ 568,12	\$ 206,50	\$ 1.415,79
0,050	-\$ 63,28	\$ 1.176,11	\$ 3.110,98
0,060	\$ 273,28	\$ 1.822,52	\$ 4.241,10
0,080	\$ 693,98	\$ 2.630,53	\$ 5.653,76
0,100	\$ 946,40	\$ 3.115,33	\$ 6.501,35

Grafico 3 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno en un muro de hormigón armado con energía a leña como calefacción, Zona 6.

Grafico 3 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno en un muro de hormigón armado con energía a leña como calefacción, Zona 6.

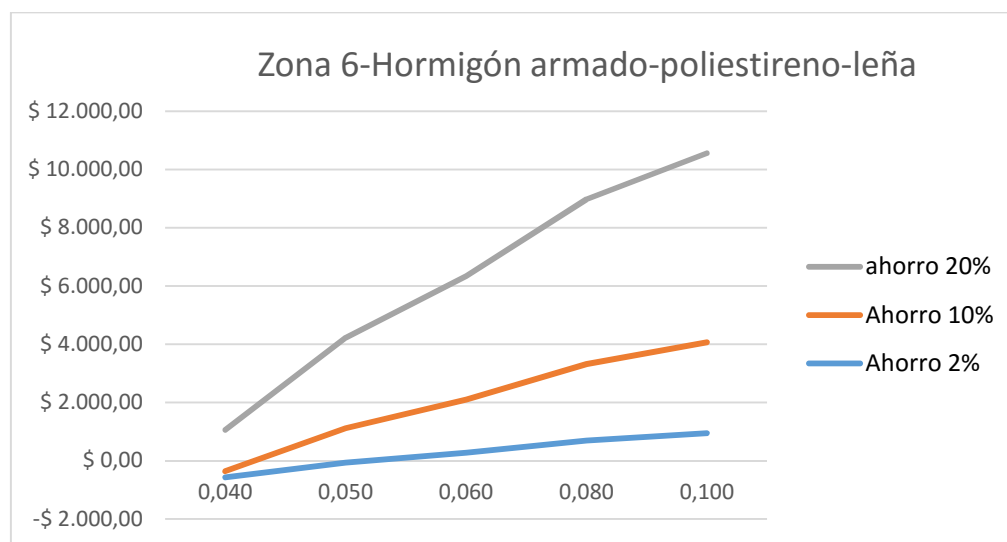
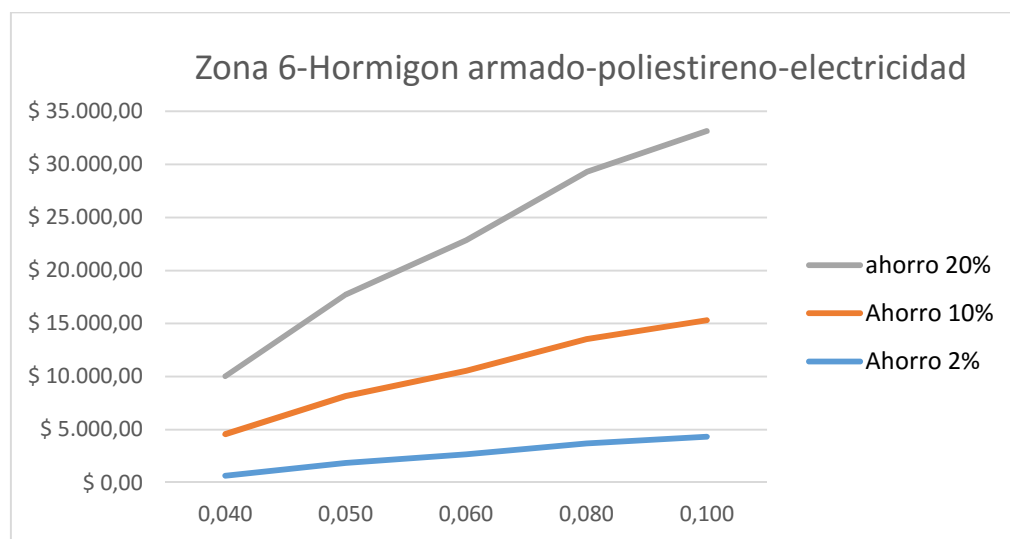


Tabla 4-12 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía de electricidad como calefacción, zona 6

Resumen	Hormigón armado poliestireno electricidad		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$ /año]	AAUEN 10% [\$ /año]	AAUEN 20% [\$ /año]
0,040	\$ 635,75	\$ 2.518,69	\$ 5.458,23
0,050	\$ 1.862,91	\$ 4.875,62	\$ 9.578,88
0,060	\$ 2.681,02	\$ 6.446,90	\$ 12.325,98
0,080	\$ 3.703,65	\$ 8.411,00	\$ 15.759,85
0,100	\$ 4.317,23	\$ 9.589,47	\$ 17.820,18

Grafico 4 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de hormigón armado con energía de electricidad como calefacción, Zona 6.



Para analizar el comportamiento de los materiales aislantes es necesario considerar el valor de la conductividad térmica de cada uno. El valor del poliestireno expandido y la lana de fibra de vidrio es muy similar, poliestireno expandido $\Omega=0,0425$ [Wm/K] y lana de vidrio $\Omega=0,0424$ [Wm/K], Por lo que la energía que transmite a través de los muros en ambos casos es muy similar, en cambio el valor del poliuretano proyectado es $\Omega=0,025$ [Wm/K] este valor al ser menor significa que la pérdida de calor perdida también es menor, por lo que es un mejor material aislante si solo analizamos su resistencia térmica.

La lana de vidrio tiene un mayor precio por metro cuadrado que el poliestireno expandido, como se puede observar en la tabla 4-2, y como ambos poseen una resistencia térmica muy similar en la mayoría de los casos invertir en aumentar el espesor del poliestireno expandido produce mayores valores de ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUEN" en la zona 7. La lana mineral en muchos tiene un "AAUEN" negativo, lo que significa que el dinero invertido en aumentar el espesor es mayor que el costo de la energía.

En todos los casos de la zona 7 el "AAUEN" es mayor en el poliuretano proyectado esto se debe a que tiene una mejor resistencia térmica que los otros 2 materiales y además es un material que posee un menor precio por metro cuadrado por lo tanto el valor de aumentar el espesor es menor y el beneficio es mayor.

Es necesario considerar que el "AAUEN" compara el comportamiento del mismo material con espesores distintos lo que nos permite determinar si es conveniente o no aumentar el espesor de ese material aislante en particular, pero no indica por sí solo si un material aislante es más económico que otro o si produce un mejor ahorro.

Para comparar los 3 materiales aislantes, poliestireno expandido, poliuretano proyectado y lana de vidrio, tomaremos de ejemplo un muro de albañilería confinada en la zona 7 con electricidad como método de calefacción. Estos resultados se encuentran en las tablas 4-13, 4-14, 4-15, 4-16, 4-17, 4-18 y gráficos 5, 6, 7.

En las 4-14, 4-16, 4-18 el ahorro de energía “AE” para el poliestireno expandido y para la lana de vidrio son muy similares en cambio el valor de “AE” para el poliuretano expandido es casi el doble. En cambio los valores de “AAUEN” no reflejan esta relación, ya que como se mencionó este indicador solo sirve para analizar el ahorro al comparar el material con distintos espesores.

Tabla 4-13 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUEN” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

Resumen	albañilería-poliestireno-electricidad		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]
0,040	-\$ 357,66	\$ 610,71	\$ 2.122,47
0,050	\$ 957,15	\$ 3.135,98	\$ 6.537,45
0,060	\$ 1.746,04	\$ 4.651,15	\$ 9.186,44
0,080	\$ 2.271,96	\$ 5.661,26	\$ 10.952,43

Grafico 5 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, zona 7.

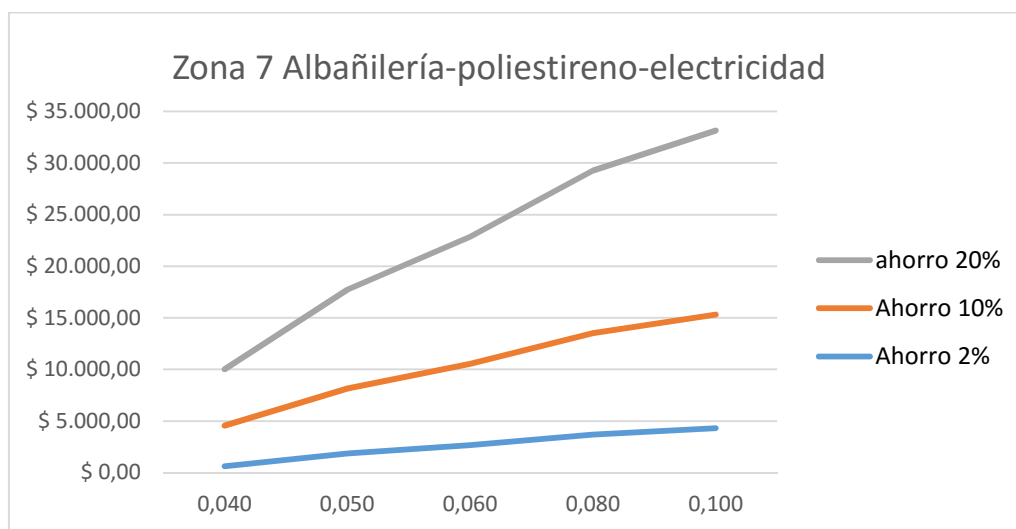


Tabla 4-14 Ahorro de energía "AE" para distintos espesores de poliestireno expandido en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, zona 7.

Espesor aislación [m]	Conductividad térmica " Ω "	Rt [m2 K/ W]	Transmitancia del conjunto "U" [m2 K/ W]	Ec requerida [MJ/año m2]	AE [MJ/año m2]
0,050	0,0425	1,1765	5,1357	998,383	0
0,060		1,4118	4,9940	970,843	27,540
0,080		1,8824	4,8170	936,418	61,965
0,100		2,3529	4,7107	915,763	82,620
0,120		2,8235	4,6399	901,993	96,390

Tabla 4-15 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUEN" para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, zona 7.

Resumen	albañilería-lana de vidrio-electricidad		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]
0,040	-\$ 2.298,22	-\$ 1.332,13	\$ 176,07
0,050	-\$ 986,50	\$ 1.187,20	\$ 4.580,67
0,060	-\$ 199,47	\$ 2.698,80	\$ 7.223,42
0,080	\$ 325,22	\$ 3.706,54	\$ 8.985,26

Grafico 6 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUE" para distintos espesores de lana de vidrio en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

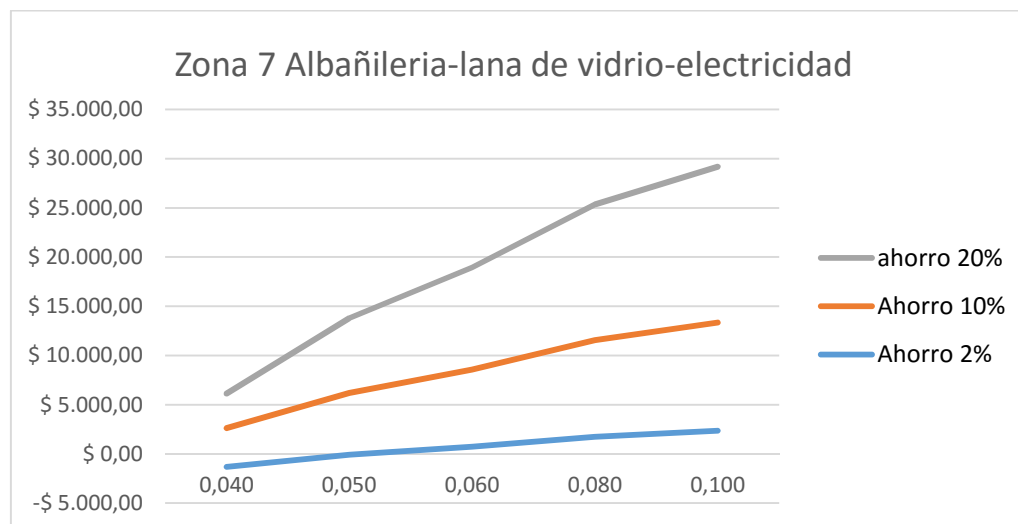


Tabla 4-16 Ahorro de energía "AE" para distintos espesores de lana de vidrio en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

Espesor aislación [m]	Conductividad térmica " Ω "	Rt [m2 K/ W]	Transmitancia del conjunto "U" [m2 K/ W]	Ec requerida [MJ/año m2]	AE [MJ/año m2]
0,050	0,0424	1,1792	5,1337	997,994	0
0,060		1,4151	4,9924	970,519	27,475
0,080		1,8868	4,8157	936,175	61,819
0,100		2,3585	4,7097	915,568	82,426
0,120		2,8302	4,6390	901,831	96,163

Tabla 4-17 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliuretano proyectado en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

Resumen	albañilería-poliuretano-electricidad			
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]	
0,041	\$ 661,71	\$ 2.006,23	\$ 4.105,22	
0,051	\$ 1.549,42	\$ 3.711,20	\$ 7.086,05	
0,061	\$ 2.146,08	\$ 4.857,16	\$ 9.089,56	
0,071	\$ 2.574,67	\$ 5.680,32	\$ 10.528,70	
0,081	\$ 2.897,43	\$ 6.300,23	\$ 11.612,49	

Grafico 7 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliuretano proyectado en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

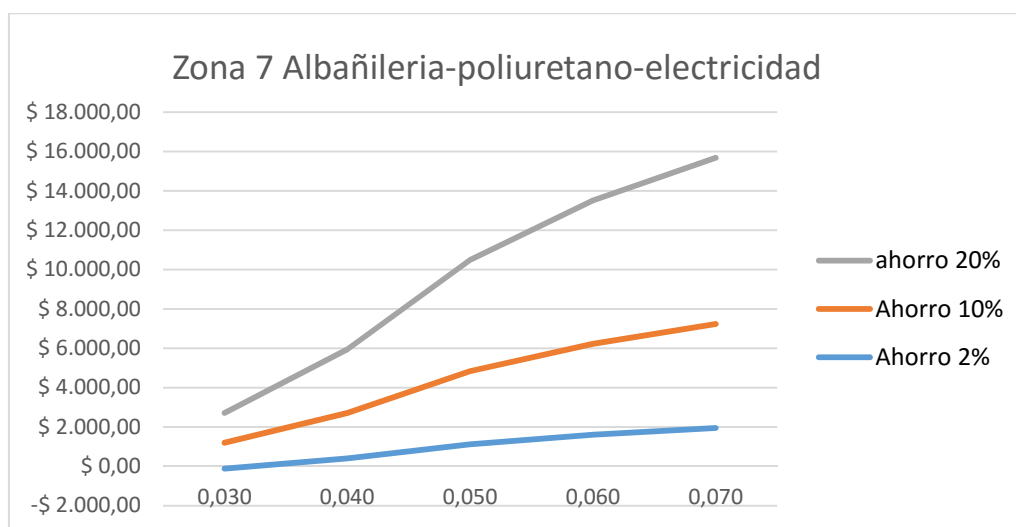


Tabla 4-18 Ahorro de energía "AE" para distintos espesores de poliuretano en un muro de albañilería con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

Espesor aislación [m]	Conductividad térmica " Ω "	Rt [m2 K/ W]	Transmitancia del conjunto "U" [m2 K/ W]	Ec requerida [MJ/año m2]	AE [MJ/año m2]
0,016	0,0250	0,6400	34,1625	5165,370	0
0,026		1,0400	33,5615	5074,505	90,865
0,036		1,4400	33,2944	5034,120	131,250
0,046		1,8400	33,1435	5011,294	154,076
0,056		2,2400	33,0464	4996,620	168,750
0,066		2,6400	32,9788	4986,393	178,977

Como se menciona anteriormente la lana de vidrio no es rentable en muchos casos, ya que posee un alto coste, Esto se puede observar en los gráficos 8, 9,10, 11 y tablas 4-19, 4-20, 2-21, 4-22 de tabiquería perimetral de la zona 7. Donde mucho valores de "AAUEN" son negativo o muy pequeños.

Tabla 4-19 Ahorro anual uniforme equivalente neto "AAUE" para distintos tipos de espesores de lana de fibra de vidrio en tabiquería perimetral con energía a gas como calefacción, Zona 7.

Resumen	Tabiquería perimetral-landa de vidrio-gas		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]
0,080	-\$ 2.698,38	-\$ 2.100,68	-\$ 1.167,59
0,100	-\$ 2.308,84	-\$ 1.352,53	\$ 140,42
0,120	-\$ 2.049,15	-\$ 853,76	\$ 1.012,42

Grafico 8 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en un muro de tabiquería perimetral con energía a gas como calefacción, zona 7.

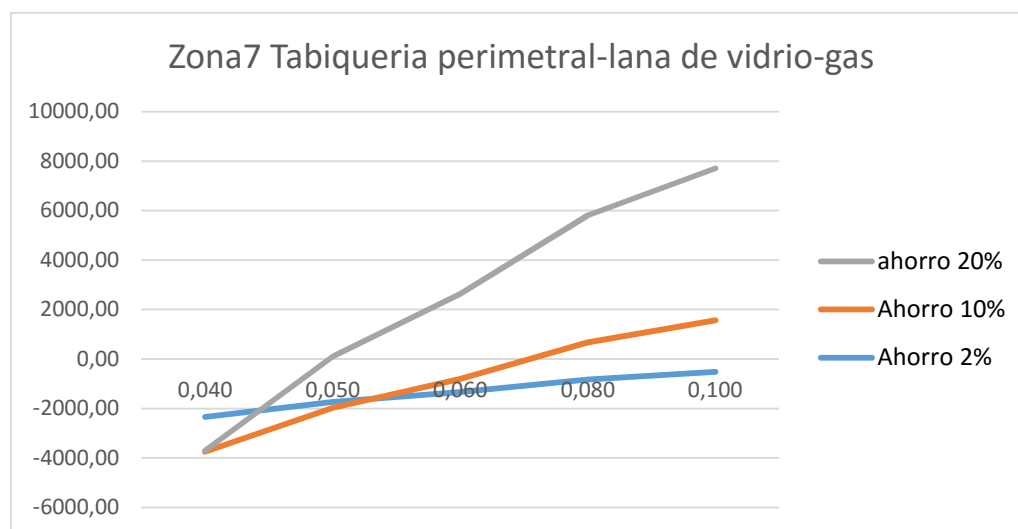


Tabla 4-20 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana mineral en tabiquería perimetral con energía de parafina como calefacción, Zona 7.

Resumen	Tabiquería perimetral-landa de vidrio-parafina			
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]	
0,080		-\$ 2.587,43	-\$ 1.887,60	-\$ 795,06
0,100		-\$ 2.131,34	-\$ 1.011,60	\$ 736,46
0,120		-\$ 1.827,27	-\$ 427,60	\$ 1.757,47

Grafico 9 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana de vidrio en un muro de tabiquería perimetral con energía de parafina como calefacción, zona 7.

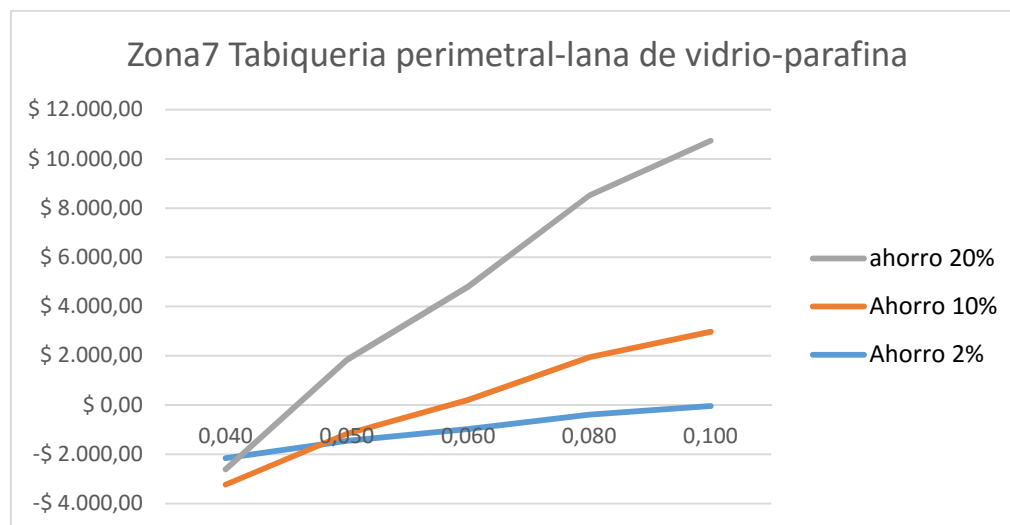


Tabla 4-21 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana mineral en tabiquería perimetral con energía a leña como calefacción, Zona 7.

Resumen	Tabiquería perimetral-lana de vidrio-leña			
Espeor [m]	AAUEN 2% [\$ /año]	AAUEN 10% [\$ /año]	AAUEN 20% [\$ /año]	
0,080	- \$ 2.807,973	- \$ 2.311,175	- \$ 1.535,603	
0,100	- \$ 2.484,198	- \$ 1.689,321	- \$ 448,405	
0,120	- \$ 2.268,347	- \$ 1.274,752	\$ 276,393	

Grafico 10 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en un muro de tabiquería perimetral con energía de leña como calefacción, Zona 7.

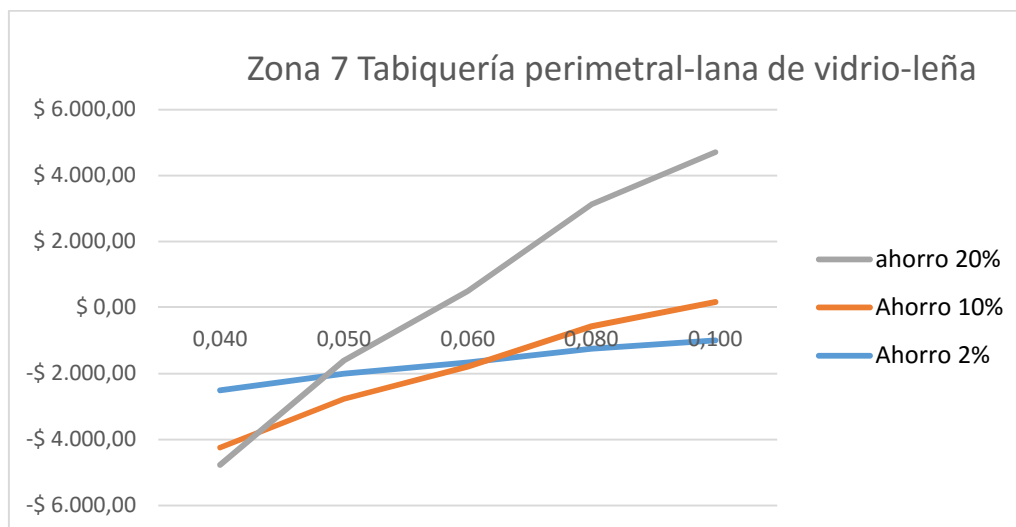
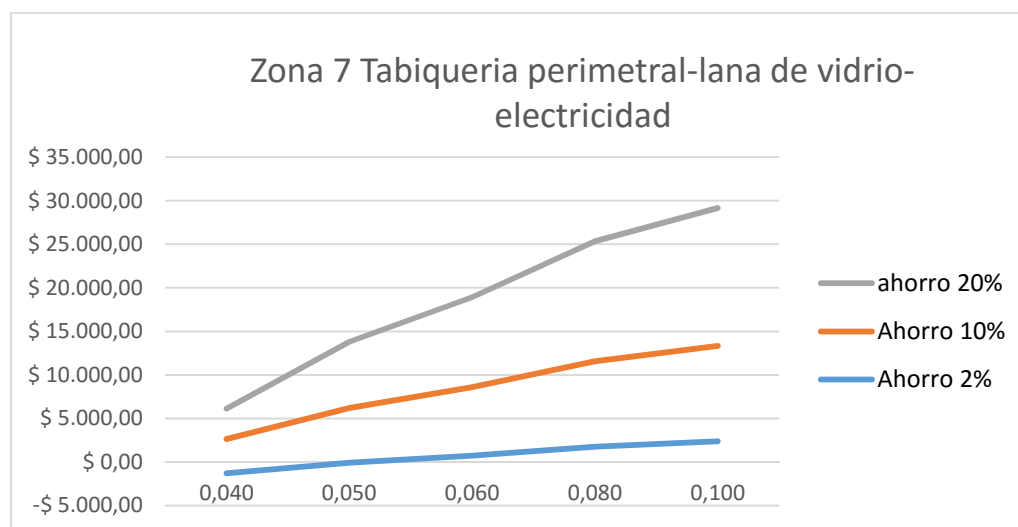


Tabla 4-22 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en tabiquería perimetral con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

Resumen	Tabiquería perimetral-lana de vidrio-electricidad			
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$/año]	AAUEN 10% [\$/año]	AAUEN 20% [\$/año]	
0,080	-\$ 2.035,88	-\$ 828,26	\$ 1.056,99	
0,100	-\$ 1.248,85	\$ 683,34	\$ 3.699,75	
0,120	-\$ 724,16	\$ 1.691,07	\$ 5.461,59	

Grafico 11 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de lana de fibra de vidrio en un muro de tabiquería perimetral con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.



En la zona 6 en los muros de albañilería confinada se encuentra una diferencia con el resto de la normativa. Como se mencionó anteriormente el poliestireno y la lana de vidrio poseen valores de conductividad térmica " Ω " muy similares y para todos los tipos de muro la norma exige el mismo espesor para ambos materiales aislantes excepto en la zona 6 los muros de albañilería confinada que exige un espesor de 0,03 [m] para la lana de vidrio y un 0,02 [m] para el poliestireno.

En la tabla 4-23 y 4-24 se compara la energía requerida para el mismo tipo de muro, zona térmica y energía de calefacción. Los valores de energía requerida " E_c " para espesores iguales son muy similares para en ambos materiales aislante, por ejemplo para 0,03 m el " E_c " de la lana de vidrio es de 861,696 [MJ/año m²] y el " E_c " del poliestireno expandido es de 862,20 [MJ/año m²] y sin embargo las exigencias para cada aislante son distintas. No está claro por qué la norma hace esta diferencia y exige espesores distintos para caso tan similares.

Tabla 4-23 Energía Requerida muro de albañilería con lana de fibra de vidrio con energía a gas como calefacción, Zona 6.

Espesor aislación [m]	Conductividad térmica " Ω "	Rt [m2 K/ W]	Transmitancia del conjunto "U" [m2 K/ W]	Ec requerida [MJ/año m2]	AE [MJ/año m2]
0,030	0,0424	0,7075	5,6990	861,696	0
0,040		0,9434	5,3457	808,272	53,424
0,050		1,1792	5,1337	776,218	85,478
0,060		1,4151	4,9924	754,848	106,848
0,070		1,6509	4,8914	739,584	122,112
0,080		1,8868	4,8157	728,136	133,560

Tabla 4-24 Energía requerida muro de albañilería poliestireno expandido con energía a gas como calefacción, zona 6.

Espesor aislación [m]	Conductividad térmica " Ω "	Rt [m2 K/ W]	Transmitancia del conjunto "U" [m2 K/ W]	Ec requerida [MJ/año m2]
0,020	0,0425	0,4706	6,4107	969,300
0,030		0,7059	5,7024	862,200
0,040		0,9412	5,3482	808,650
0,050		1,1765	5,1357	776,520
0,060		1,4118	4,9940	755,100
0,080		1,8824	4,8170	728,325

Con respecto a la variación de los precios de la energía en el tiempo podemos observar en la tabla 4-25 y grafico 12 que mientras mayor la variación del coste de la energía mayor es el valor de "AAUEN", además de que la pendiente de la curva es mayor cuando la variación es mayor. Es difícil poder predecir correctamente el comportamiento de la energía en los próximos 20 años pero si es altamente probable que este aumente por lo que es necesario analizar más de un caso de variación.

En el grafico 13 se puede observar la variación que ha tenido el petróleo en 40 años, el valor de este combustible afecta directamente el precio de la parafina y del gas. Si tomamos como ejemplo el periodo de 1996 a 2006 el valor varia de \$20

por barril a \$100. De esto se puede concluir que los precios no tienen una razón de cambio constante y que es difícil predecir cómo estos variarían de aquí a 20 años.

Tabla 4-25 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos tipos de espesores de poliuretano en un muro de bloque de hormigón con energía de electricidad como calefacción, zona 7

Resumen	Bloques de hormigón-poliuretano-electricidad		
Espesor [m]	AAUEN 2% [\$ /año]	AAUEN 10% [\$ /año]	AAUEN 20% [\$ /año]
0,046	\$ 322,17	\$ 1.354,11	\$ 2.965,11
0,056	\$ 1.042,75	\$ 2.738,08	\$ 5.384,72
0,066	\$ 1.544,97	\$ 3.702,66	\$ 7.071,12
0,076	\$ 1.915,03	\$ 4.413,40	\$ 8.313,72
0,086	\$ 2.199,03	\$ 4.958,86	\$ 9.267,35

Grafico 12 Ahorro anual uniforme equivalente neto “AAUE” para distintos espesores de poliuretano proyectado en un muro de bloque de hormigón con energía de electricidad como calefacción, Zona 7.

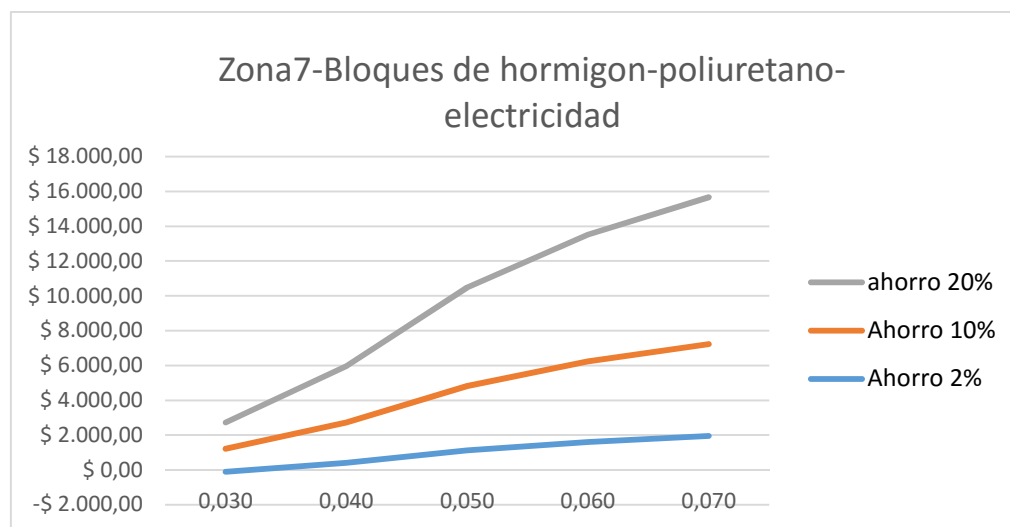
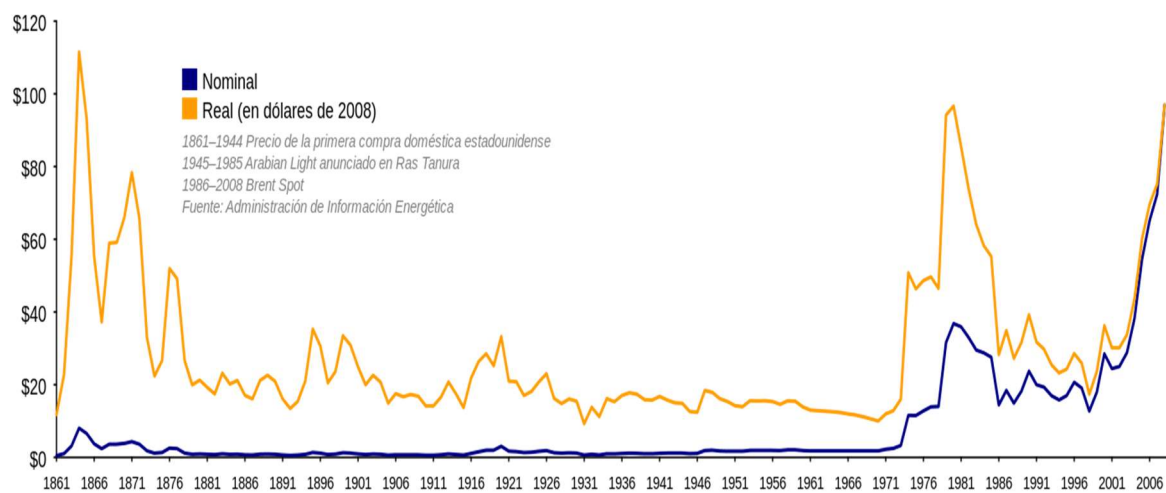


Grafico 13 Precio del petróleo de 1861 a 2006, fuente adm. De información energética.



5 Conclusiones

Las personas que viven en zonas extremas de Chile utilizan la calefacción gran parte del día para poder tener una temperatura de confort dentro de sus viviendas. Invertir en mayores espesores de aislamiento térmico podría significar un gran ahorro económico para estas personas. Por ejemplo en la tabla 4-25 se puede observar que se aumenta el espesor del poliuretano proyectado del valor exigido por la norma de 36 mm a 46 mm se pueden ahorrar \$ 2.965,11 de energía eléctrica por m² de vivienda. Si consideramos una vivienda social de aproximadamente 55 m² el ahorro total será de \$163.081,05 anuales. Esto no se cumple para todos los casos observados, hay situaciones donde el costo de inversión de aumentar el espesor del aislante térmico es mayor que el costo de la energía de calefacción utilizada.

Por lo anteriormente expuesto podemos concluir que al aumentar los espesores de los materiales aislantes se produce una menor pérdida de calor por lo que invertir en un mayor espesor de aislante térmico produce un ahorro económico en energía de calefacción, pero en algunos casos este ahorro no es mayor a la inversión inicial. En estos casos no sería conveniente aumentar el espesor indicado en la normativa del MINVU.

Los resultados “AAUEN” de la zona 6 no se pueden comparar o correlacionar con los resultados de la zona 7 porque ambos casos son comparados a distintos espesores mínimos exigidos por la norma y por los valores a de referencia a comparar son distintos. Sin embargo el comportamiento de los materiales aislantes y el de las energías de calefacción es igual en ambas zonas.

De los tres aislantes térmicos comparados en esta memoria el que tiene mejores resultados económicos es el poliuretano expandido, ya que su valor “ Ω ” de conductividad térmica es aproximadamente la mitad que el valor del poliestireno expandido y la landa de vidrio, por lo que produce una menor pérdida de calor y por

lo tanto un menor consumo de energía de calefacción. Además su precio de mercado es inferior que el de los otras aislantes comparados en esta memoria. Esto permite tener una mayor aislación por menor costo y por un espesor de material aislante menor.

El tipo de calefacción a utilizar es determinante a la hora de escoger el aislante, las viviendas que utilizan leña necesitan menos espesores de aislación que las que utilizan otros métodos de energía, ya que la leña es la energía más económica con un precio de 12,846 [\$/MJ]. Pero a pesar de ser el más económico no es la alternativa más recomendable ya que es considerada una energía contaminante y está siendo prohibido en varias zonas del país especialmente en ciudades con una alta densidad demográfica como por ejemplo la región metropolitana.

En el caso de calefaccionar la vivienda con electricidad, siempre es recomendable aumentar el espesor del aislante, ya que este tipo de energía es el más costoso de los métodos de calefacción con un precio de 31,226 [\$/MJ], Tabla 4-11 más del doble que la parafina y el gas.

En la zona 6 el muro de albañilería confinada exige un espesor distinto para el poliestireno expandido y para la lana mineral. Esto no es consistente con el resto de exigencia para espesores de estos materiales ya que al tener valores muy similares de transmitancia el espesor exigido para ambos es siempre en mismo. La razón por que la norma hace esto no está clara.

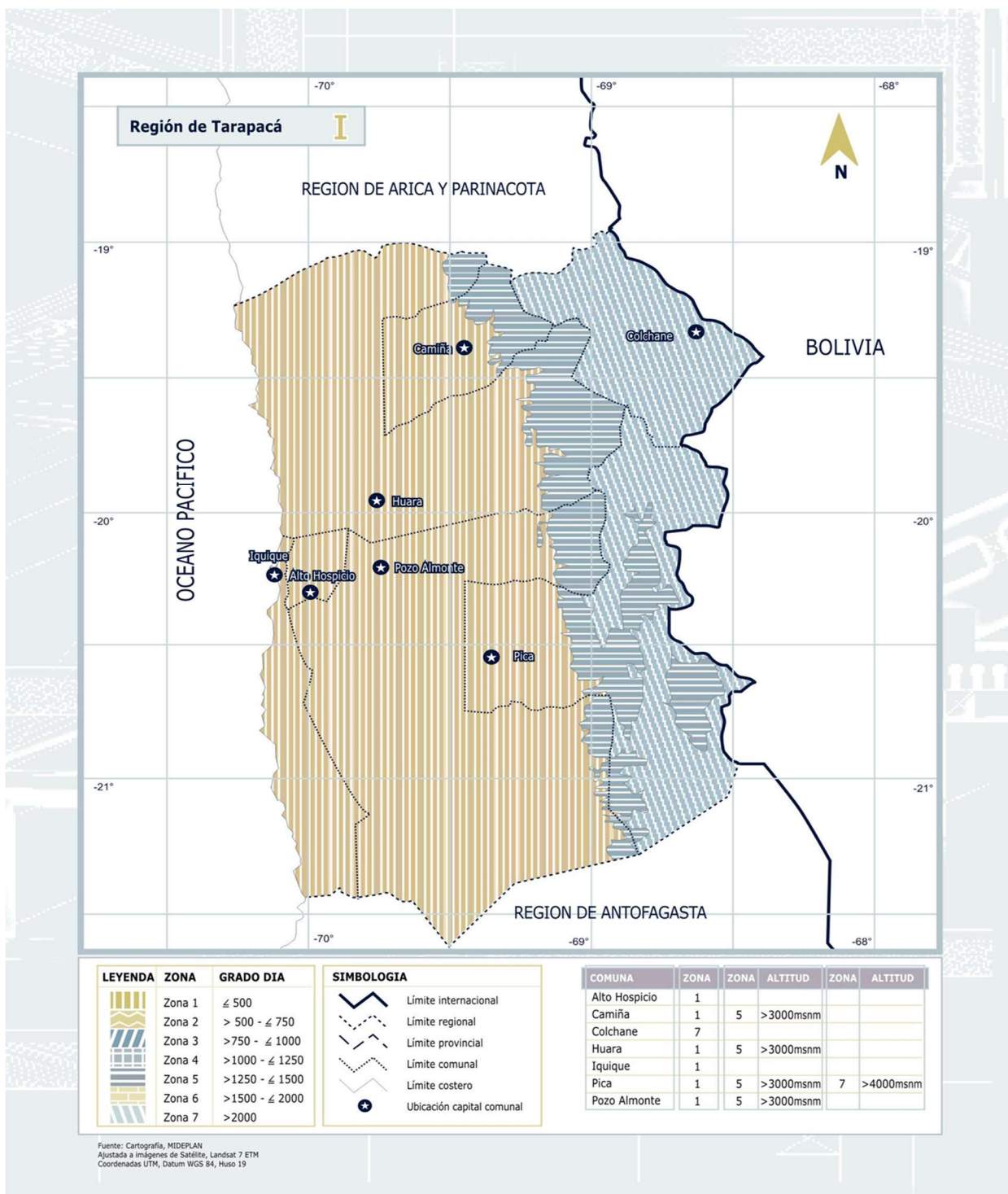
Con respecto a la metodología utilizada esta es muy versátil ya que permite que se puedan analizar otros casos con distintas condiciones como por ejemplo, un caso más específico conociendo los grados días anuales exacto del lugar donde se construirá la vivienda, o también realizar el análisis de algún tipo de material constructivo o aislante térmico que no esté normado por el MINVU, solo es necesario conocer el valor de su transmitancia térmica y espesor para predecir el ahorro de energía.

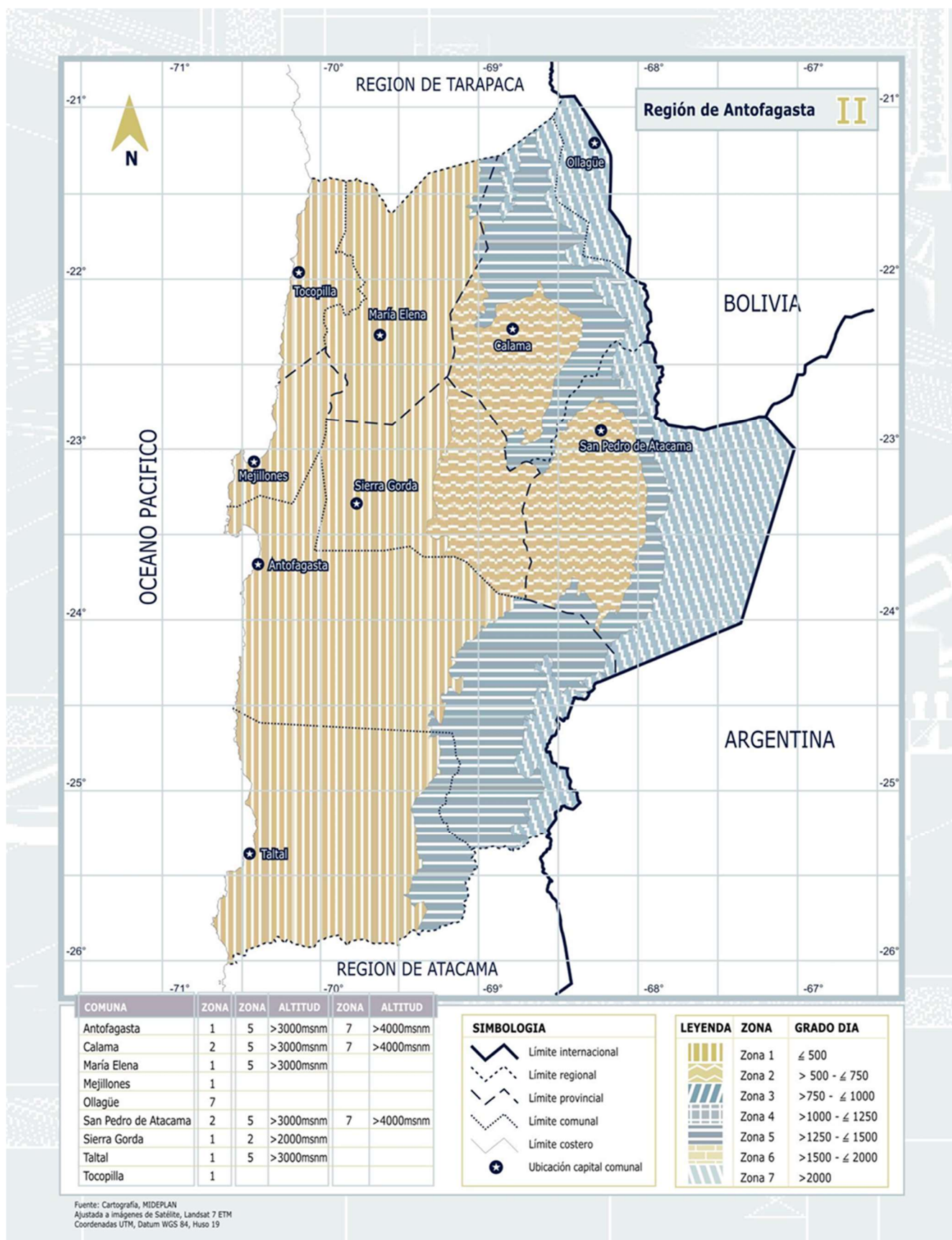
6 Bibliografía

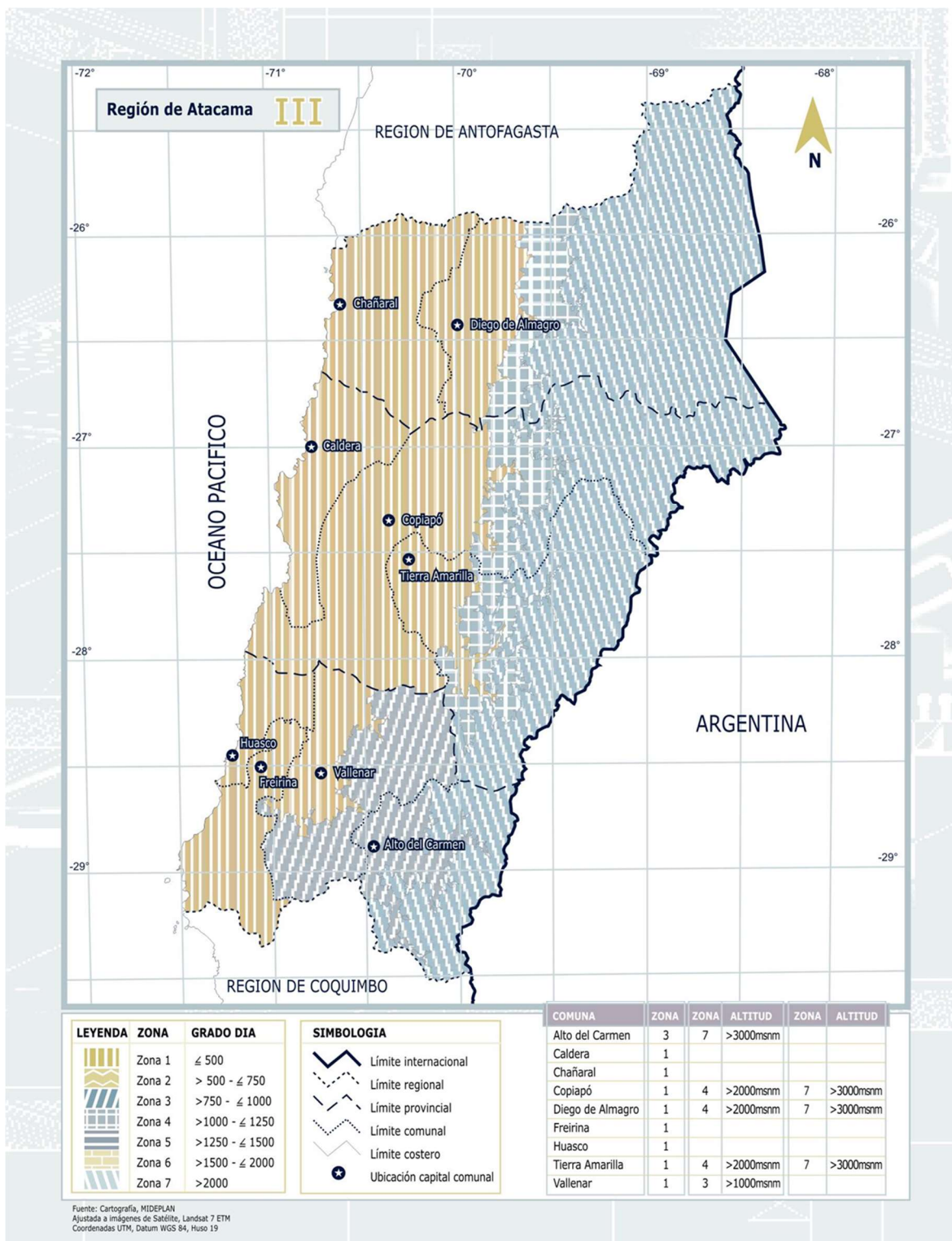
- “Determinación de espesores mínimos de muros y techumbres para la aislación térmica “ Canepa Gutierrez, Carla.
- gasenlinea.gob.cl
- NCh 853, of 94
- www.minvu.cl
- www.chilectra.cl
- www.termochile.cl
- www.aislapur.cl
- www.polypur.cl
- www.easy.cl
- www.sodimac.cl

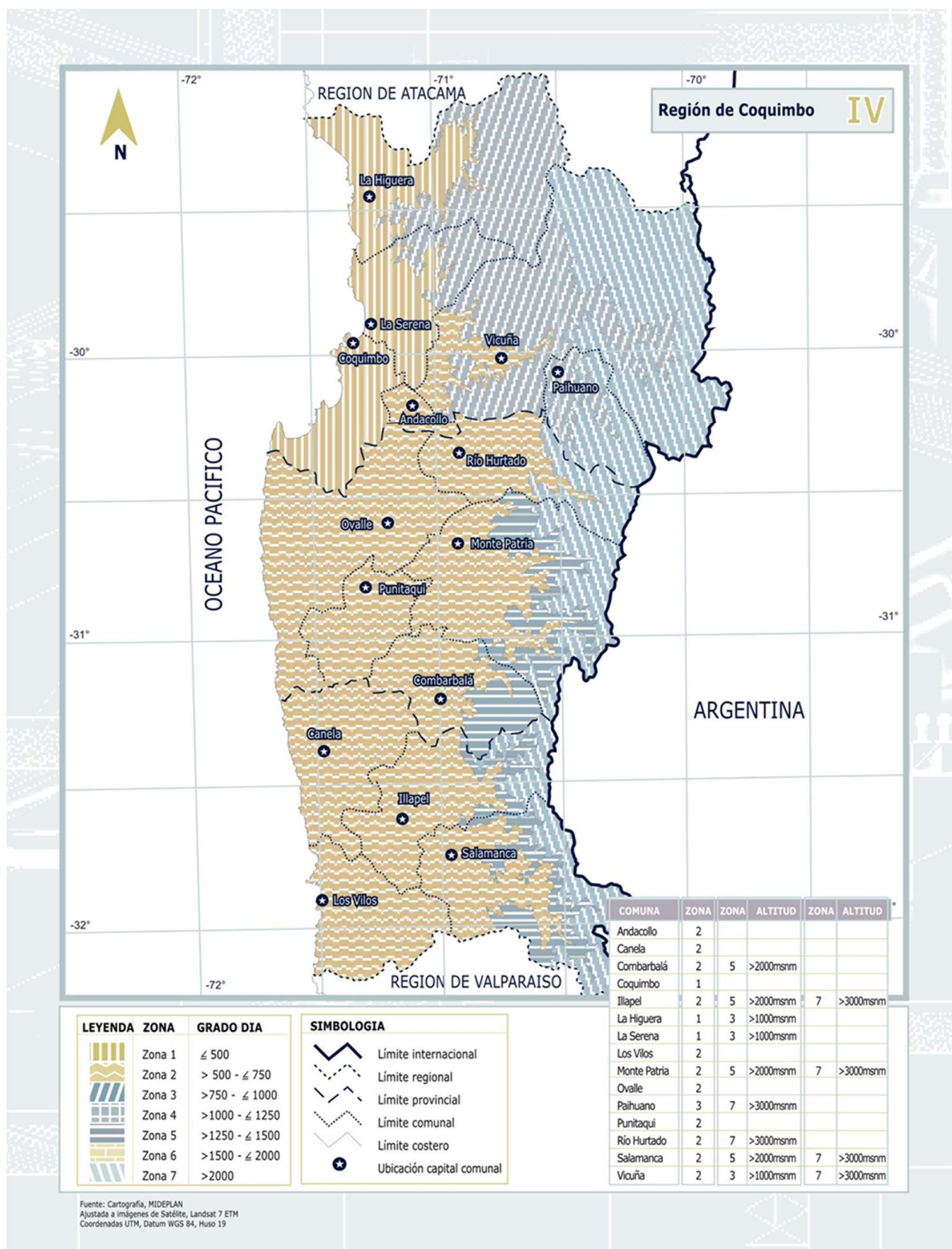
Anexo

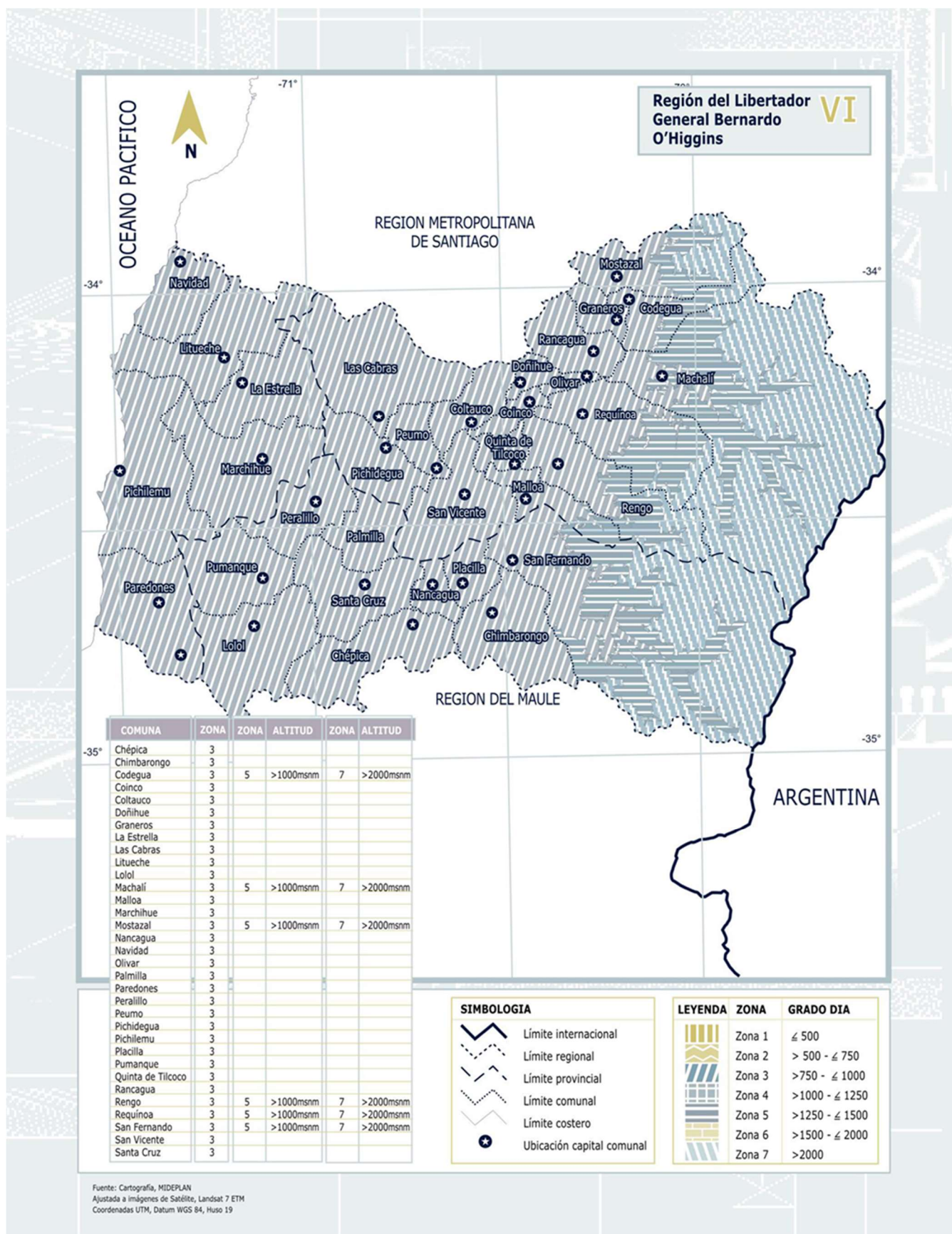
Anexo 1.

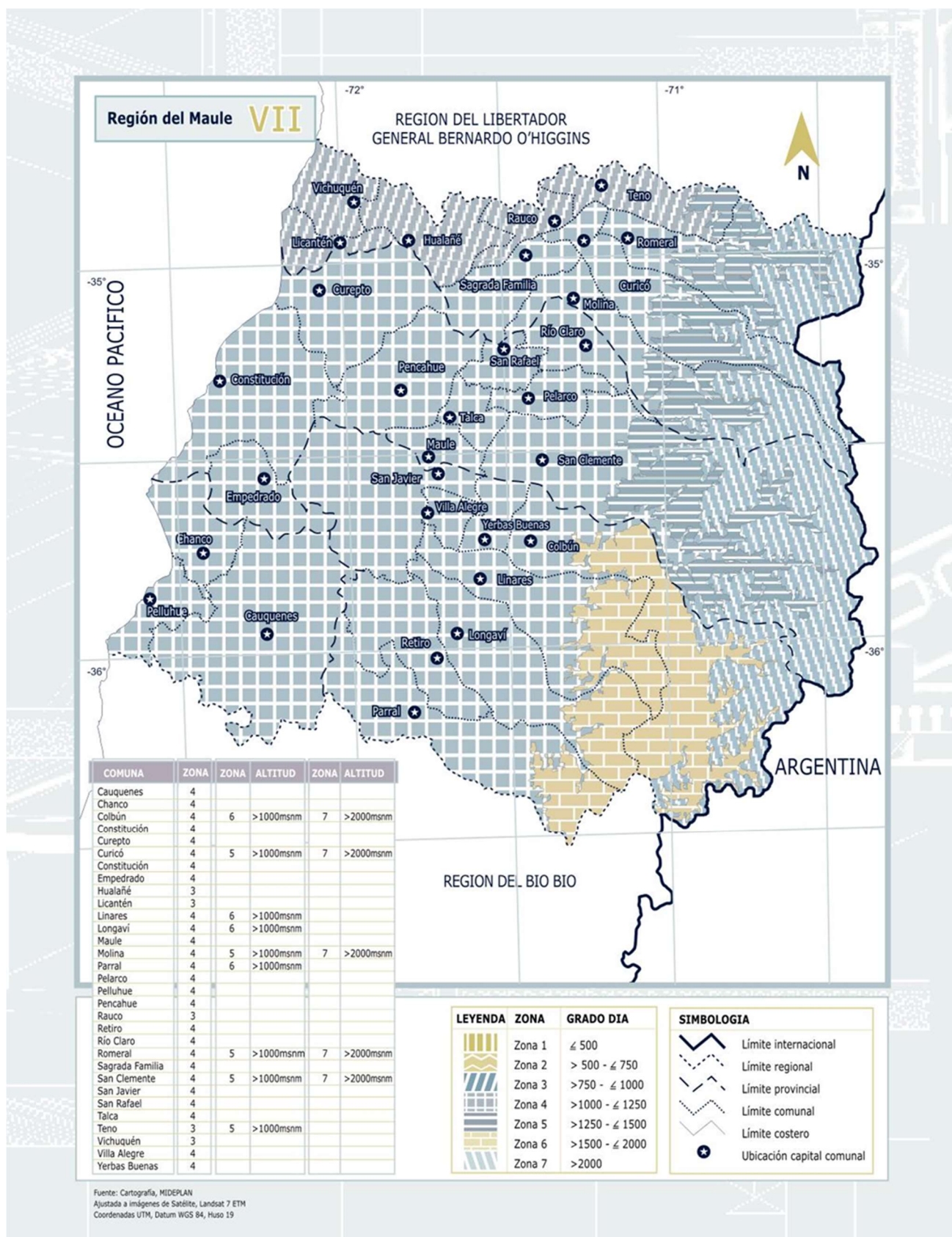


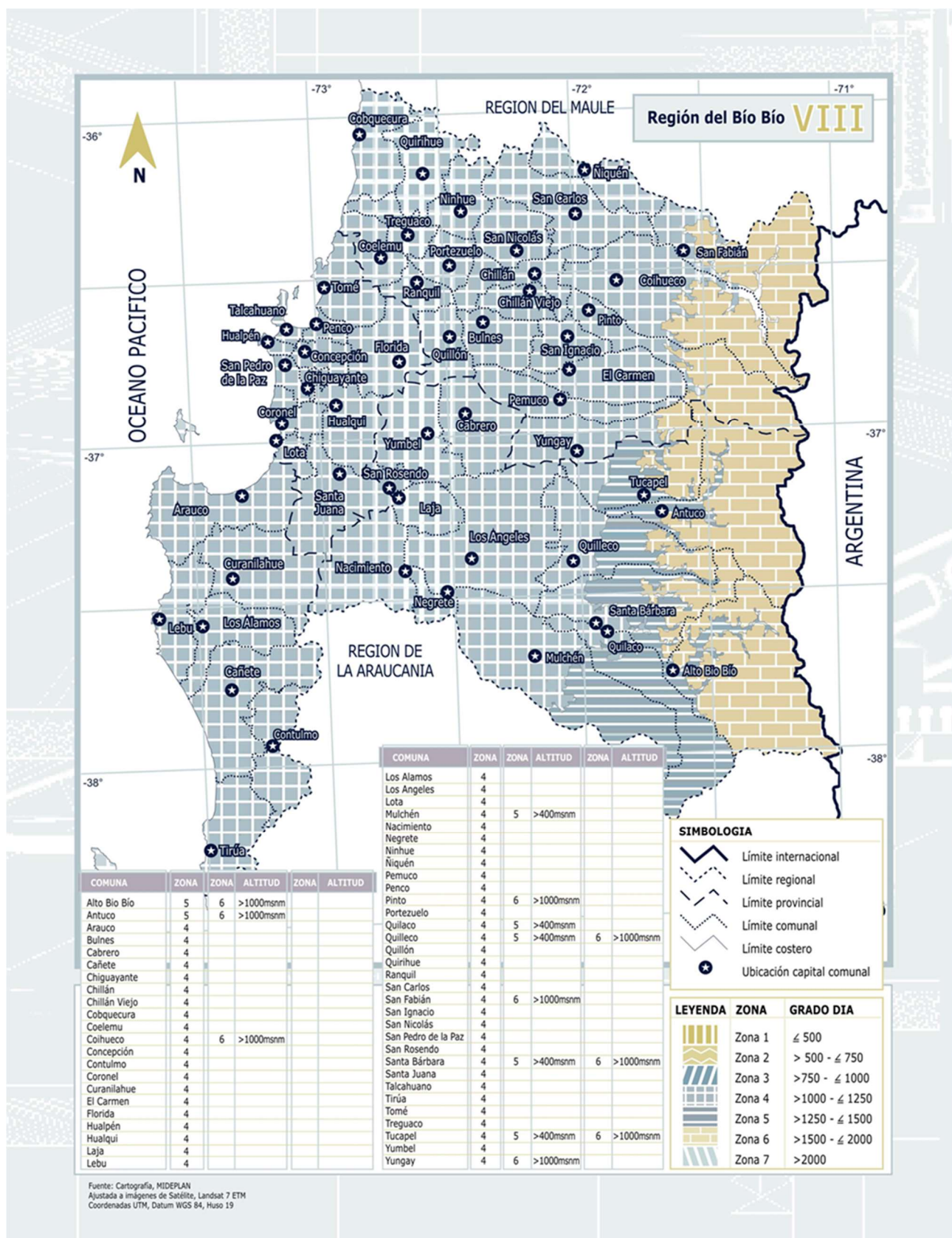


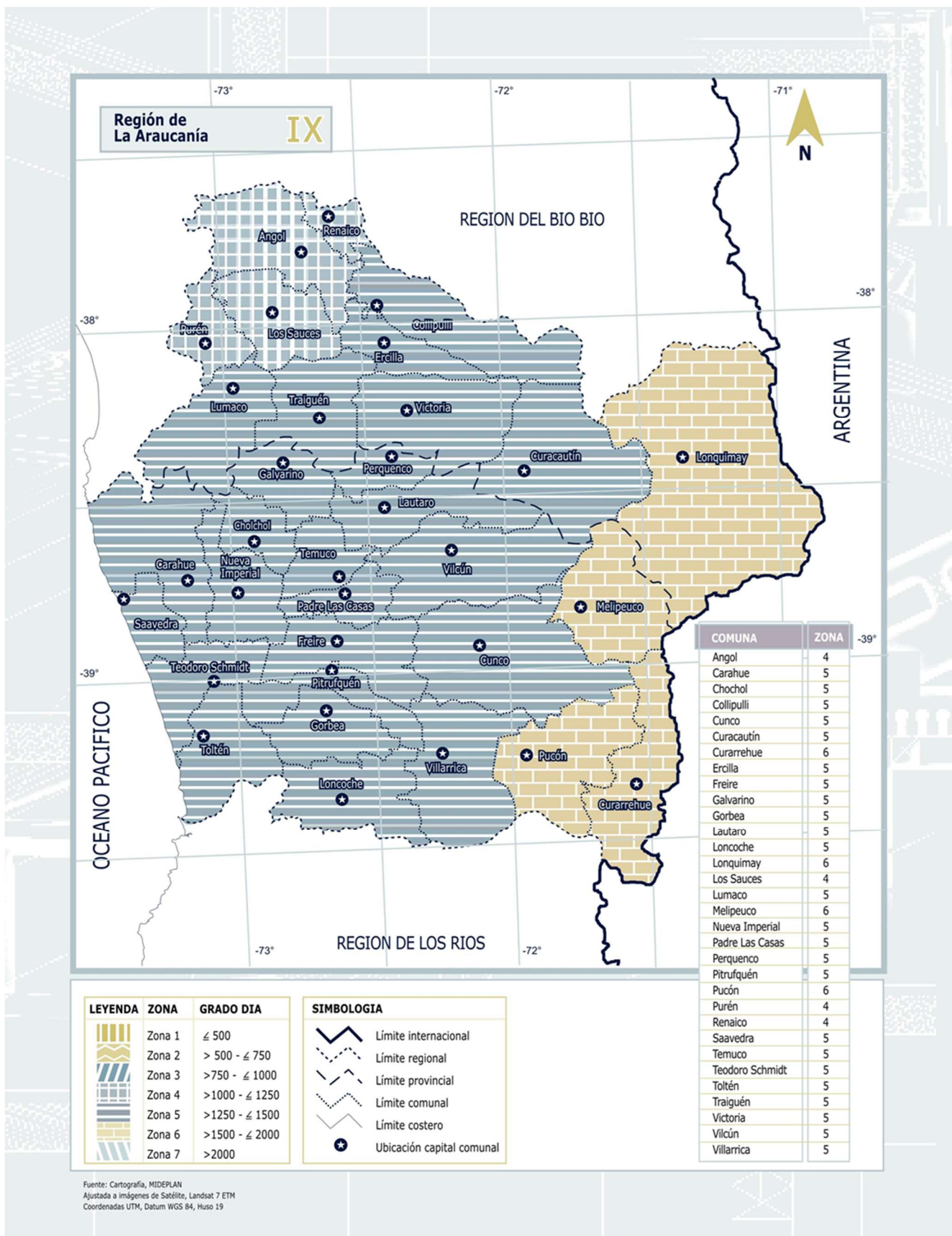


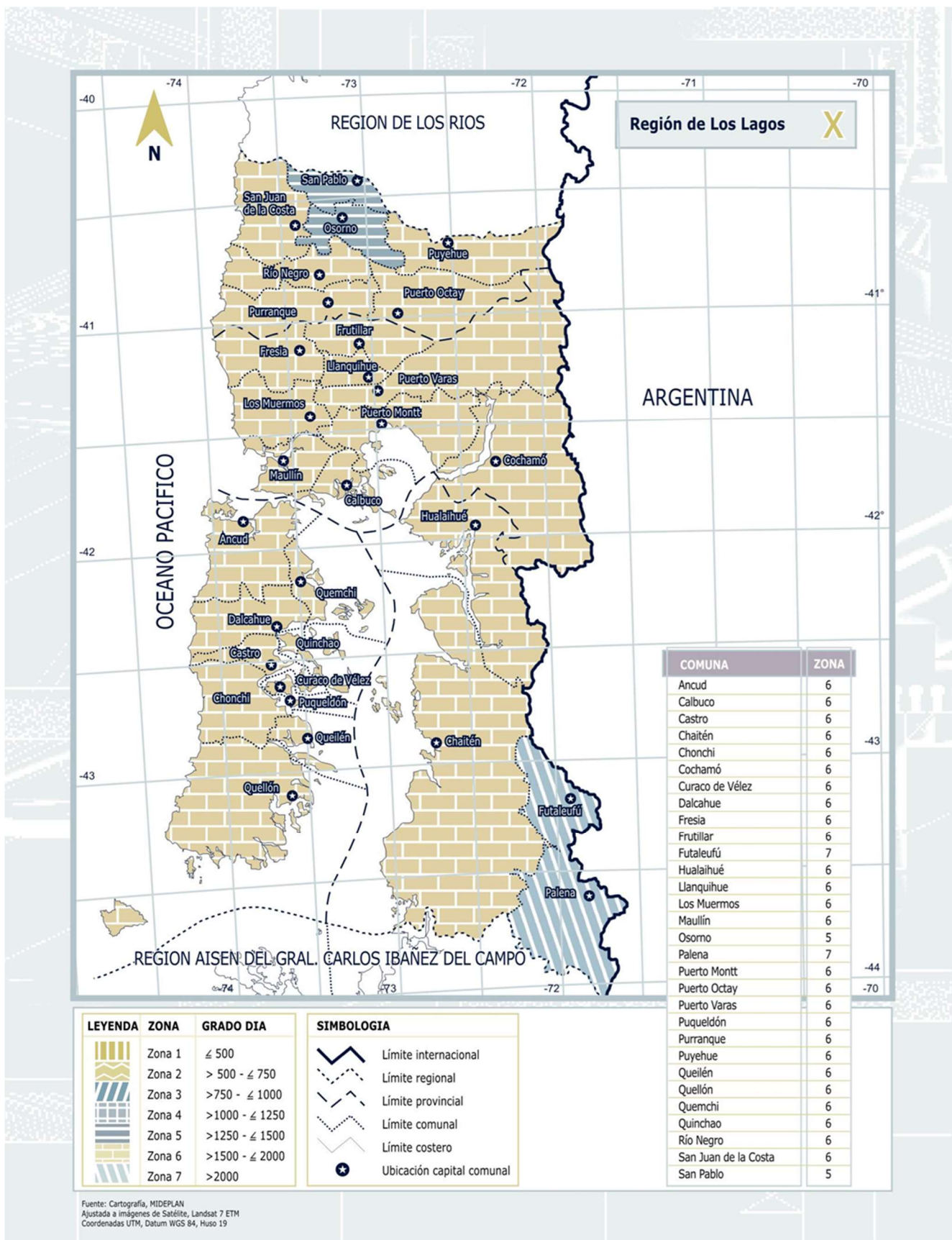


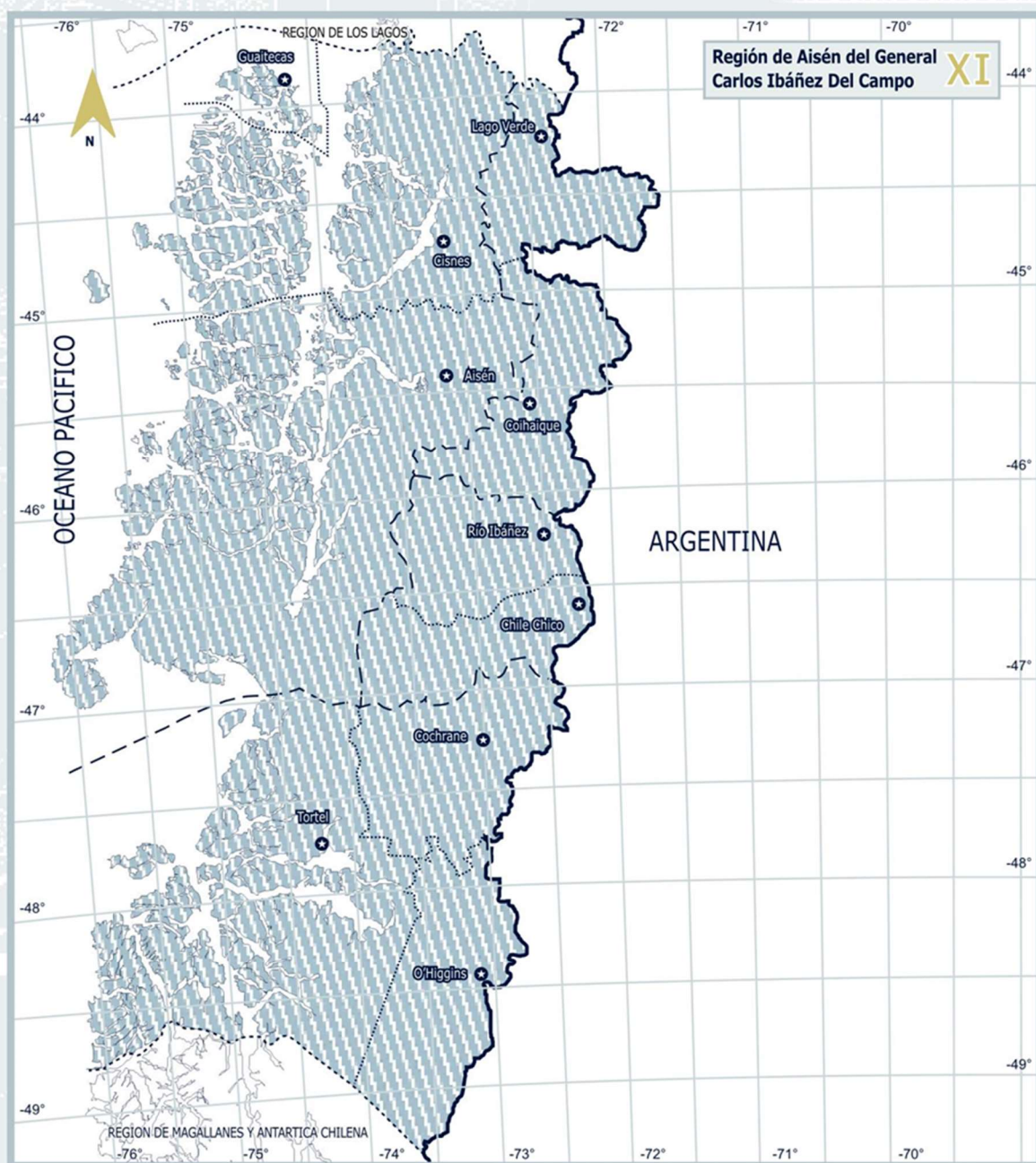










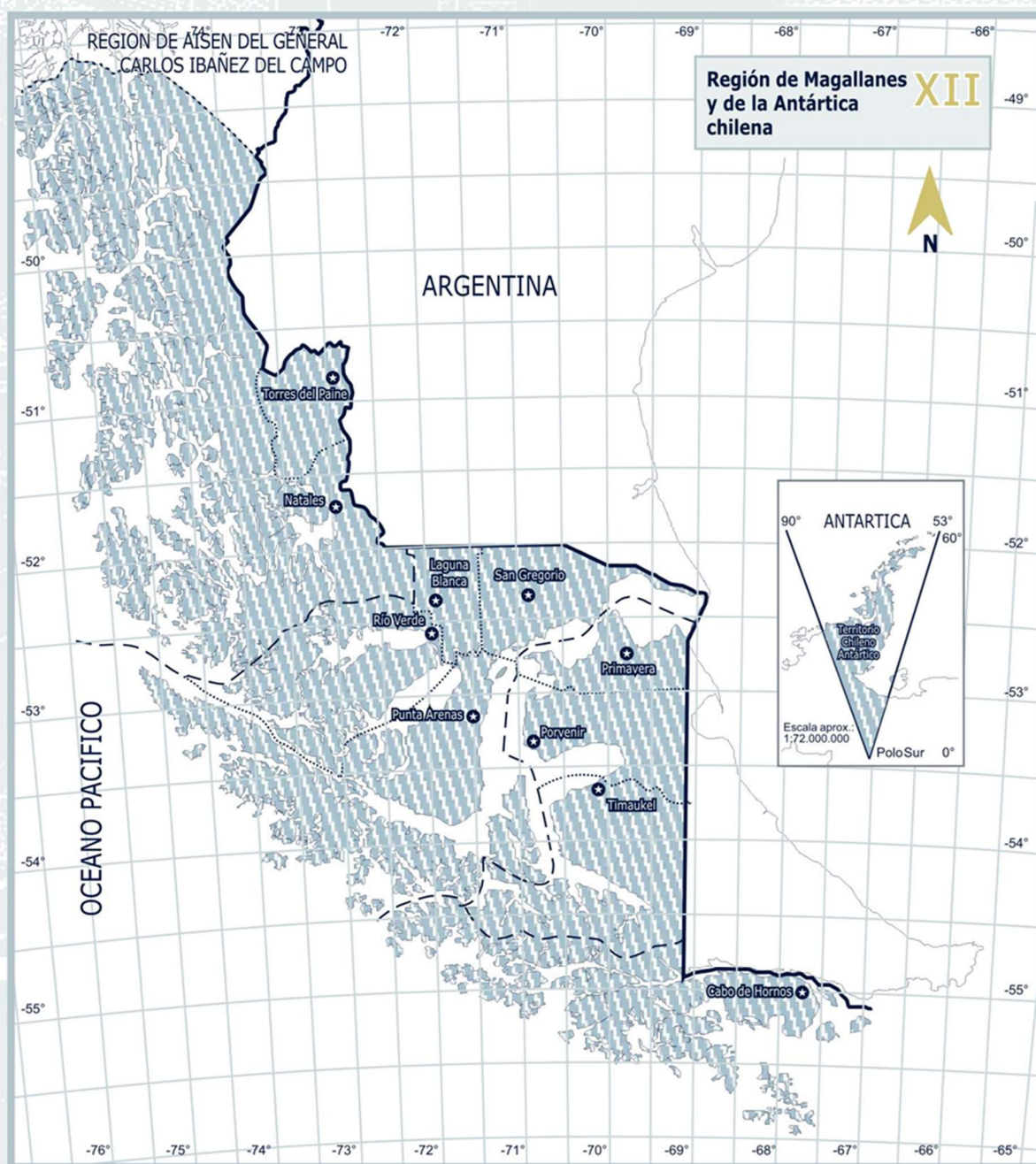


LEYENDA	ZONA	GRADO DÍA
	Zona 1	≤ 500
	Zona 2	$> 500 - \leq 750$
	Zona 3	$> 750 - \leq 1000$
	Zona 4	$> 1000 - \leq 1250$
	Zona 5	$> 1250 - \leq 1500$
	Zona 6	$> 1500 - \leq 2000$
	Zona 7	> 2000

SIMBOLOGÍA	
	Límite internacional
	Límite regional
	Límite provincial
	Límite comunal
	Límite costero
	Ubicación capital comunal

COMUNA	ZONA
Aisén	7
Chile Chico	7
Cisnes	7
Cochrane	7
Coihaique	7
Guaitecas	7
Lago Verde	7
O'Higgins	7
Río Ibáñez	7
Tortel	7

Fuente: Cartografía, MIDEPAN
Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19



COMUNA	ZONA
Antártica	7
Cabo de Hornos	7
Laguna Blanca	7
Natales	7
Porvenir	7
Primavera	7
Punta Arenas	7
Río Verde	7
San Gregorio	7
Timaukel	7
Torres del Paine	7

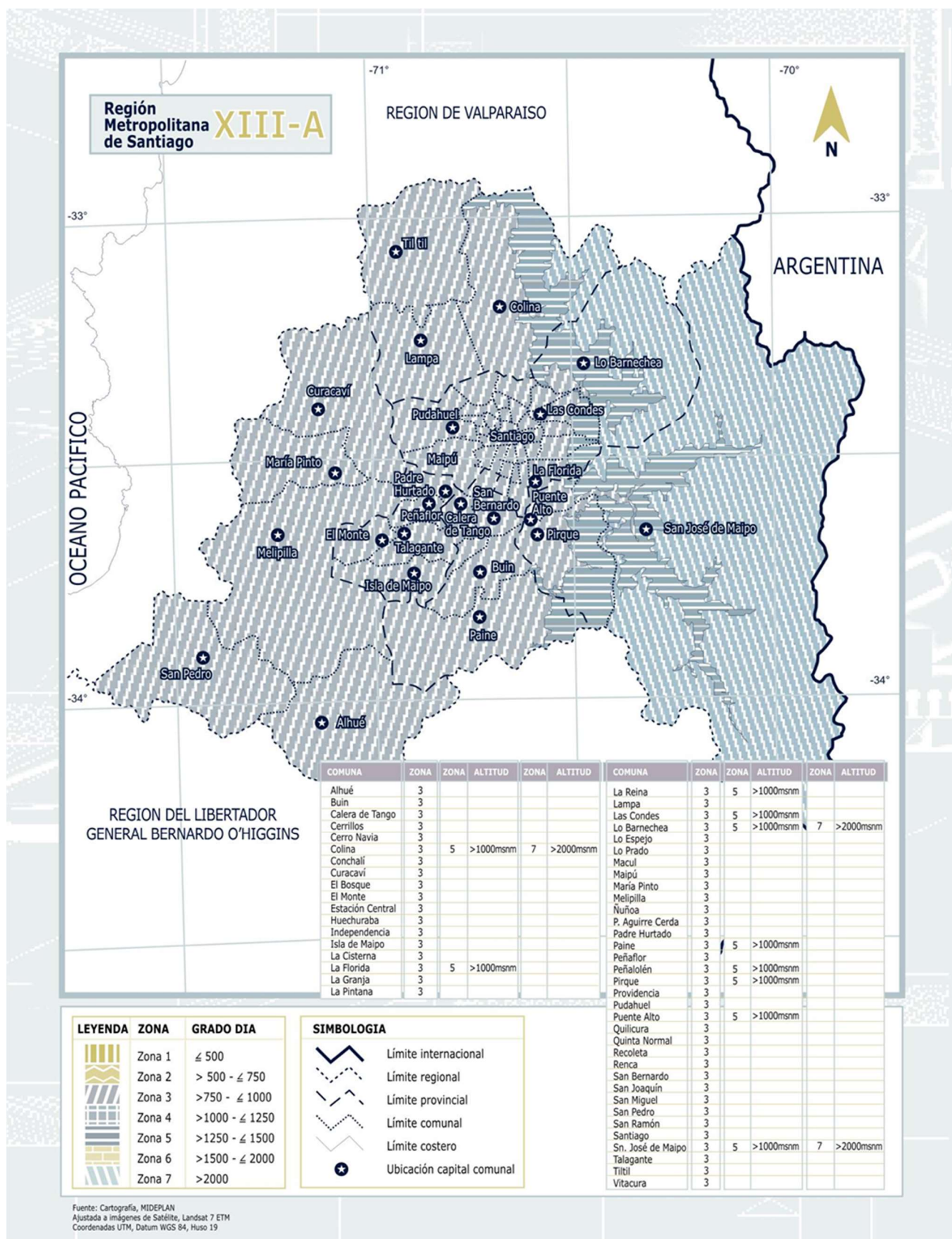
SIMBOLOGIA

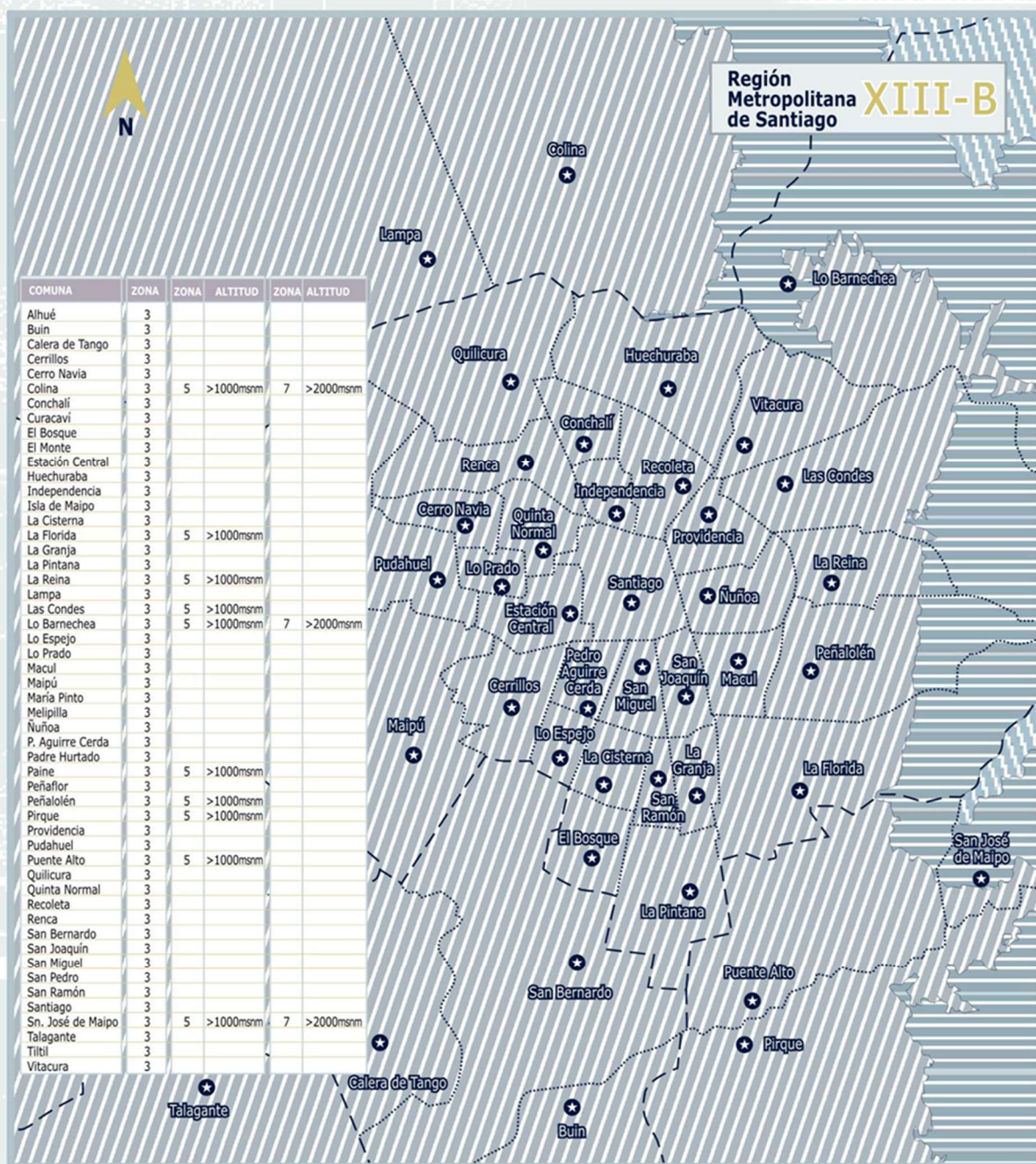
- Límite internacional
- Límite regional
- Límite provincial
- Límite comunal
- Límite costero
- Ubicación capital comunal

LEYENDA

ZONA	GRADO DIA
Zona 1	≤ 500
Zona 2	> 500 - ≤ 750
Zona 3	> 750 - ≤ 1000
Zona 4	> 1000 - ≤ 1250
Zona 5	> 1250 - ≤ 1500
Zona 6	> 1500 - ≤ 2000
Zona 7	> 2000

Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19





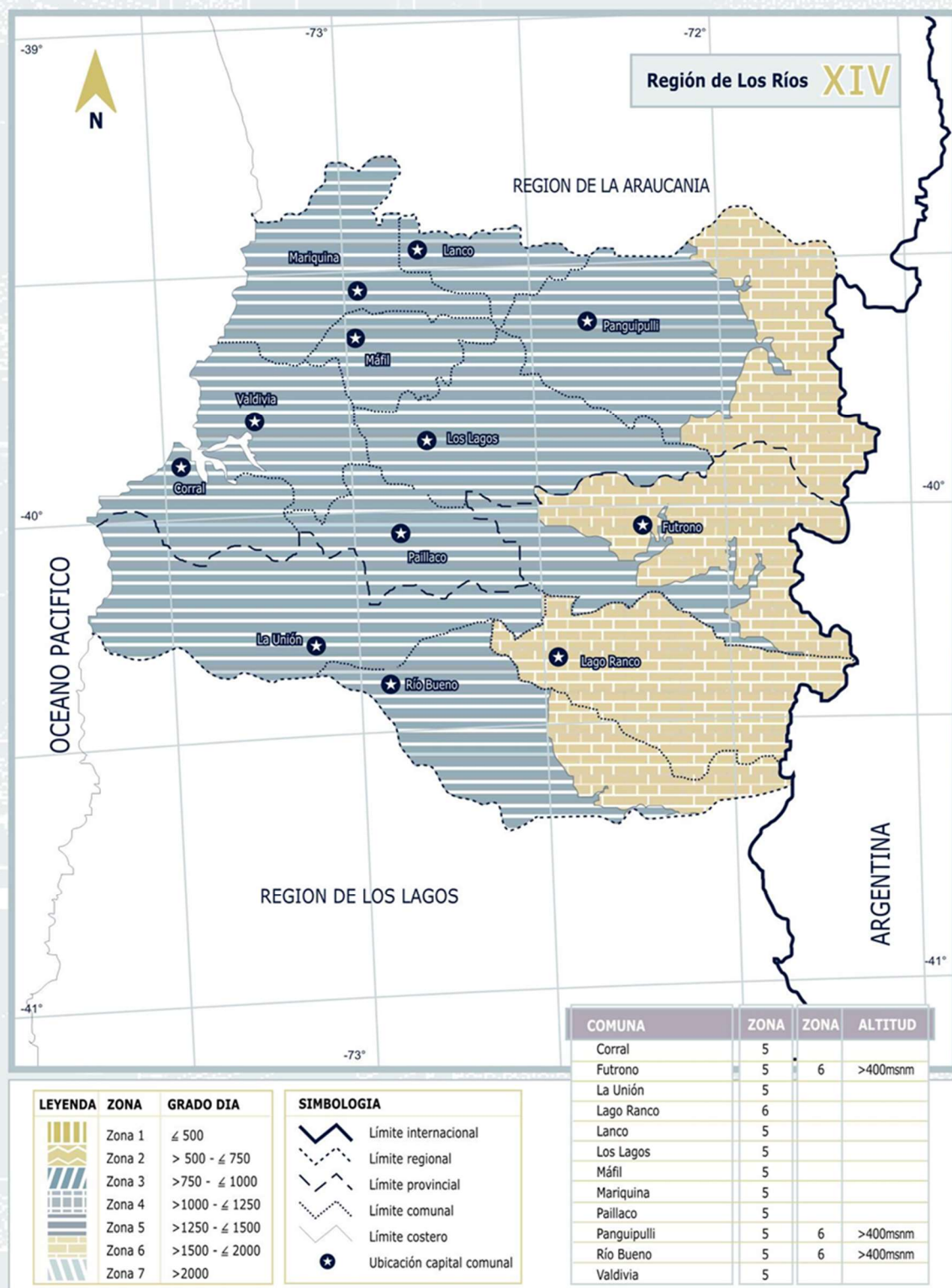
SIMBOLOGIA

- Límite internacional
- Límite regional
- Límite provincial
- Límite comunal
- Límite costero
- Capital comunal

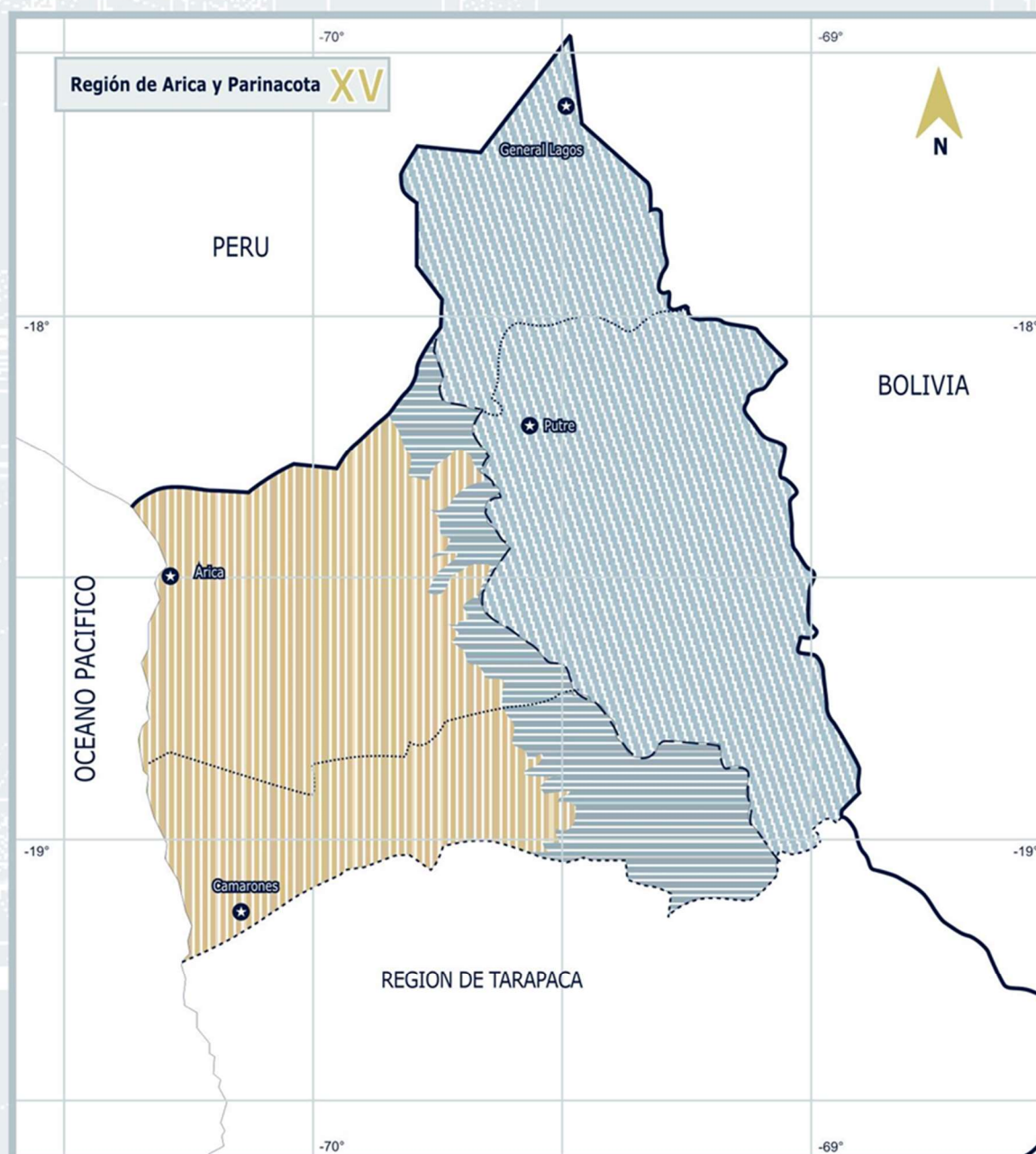
LEYENDA

ZONA	GRADO DIA
	Zona 1 ≤ 500
	Zona 2 $> 500 - \leq 750$
	Zona 3 $> 750 - \leq 1000$
	Zona 4 $> 1000 - \leq 1250$
	Zona 5 $> 1250 - \leq 1500$
	Zona 6 $> 1500 - \leq 2000$
	Zona 7 > 2000

Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19



Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19



LEYENDA	ZONA	GRADO DIA
	Zona 1	≤ 500
	Zona 2	> 500 - ≤ 750
	Zona 3	> 750 - ≤ 1000
	Zona 4	> 1000 - ≤ 1250
	Zona 5	> 1250 - ≤ 1500
	Zona 6	> 1500 - ≤ 2000
	Zona 7	> 2000

SIMBOLOGIA	
	Límite internacional
	Límite regional
	Límite provincial
	Límite comunal
	Límite costero
	Capital comunal

COMUNA	ZONA	ZONA	ALTITUD
Arica	1	5	>3000msnm
Camarones	1	5	>3000msnm
General Lagos	7		
Putre	7		

Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19

Anexo 2

MUROS

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE MUROS

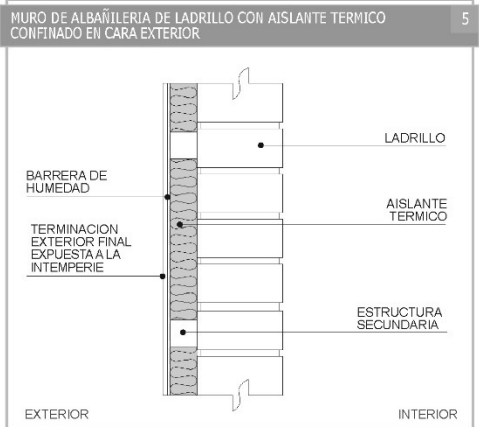
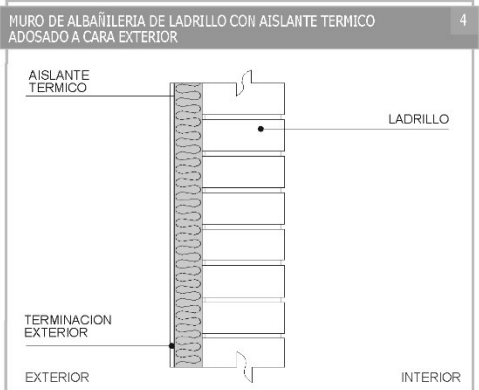
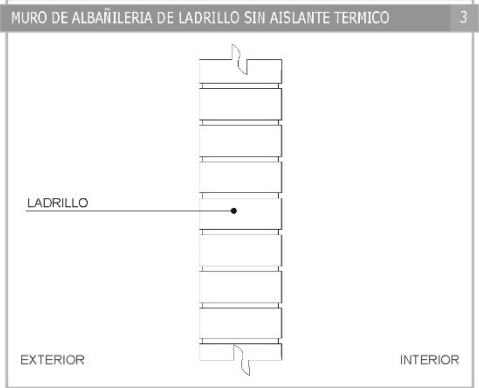
a) Tabiques perimetrales

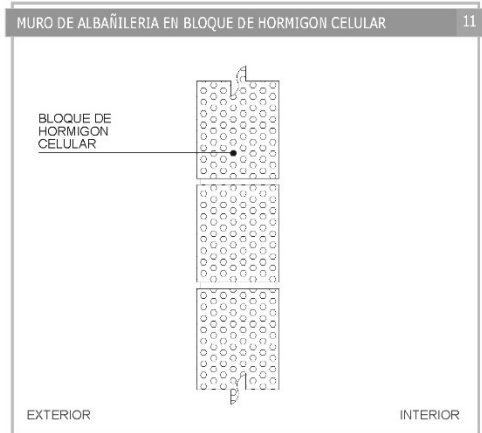
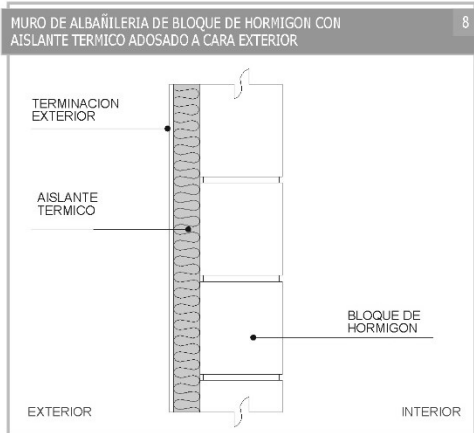
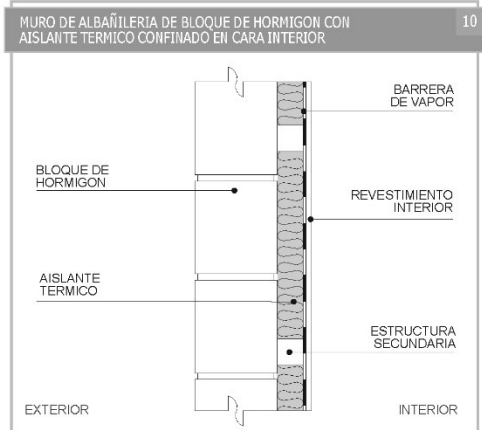
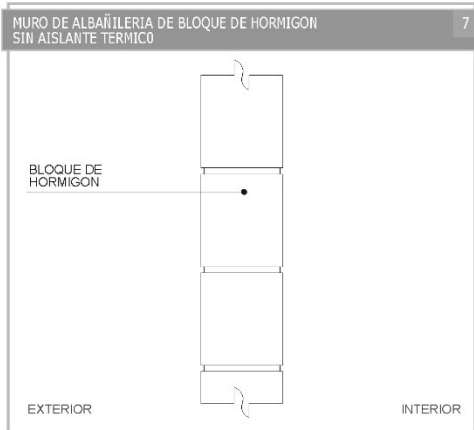
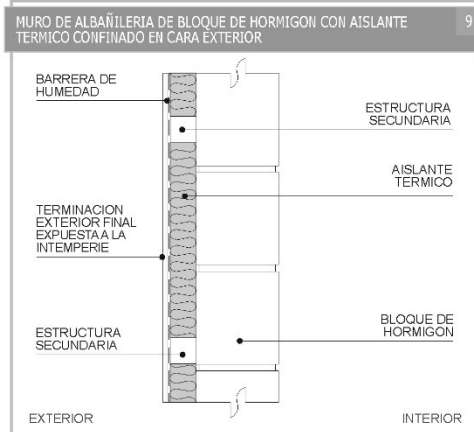
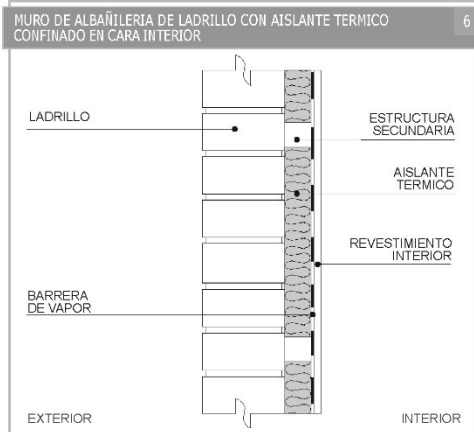
Corresponde a todos aquellos muros soportantes o no soportantes estructurados en base a sistemas de entramados metálicos o de madera.

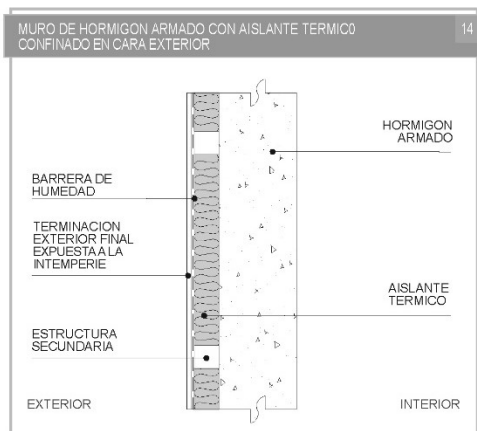
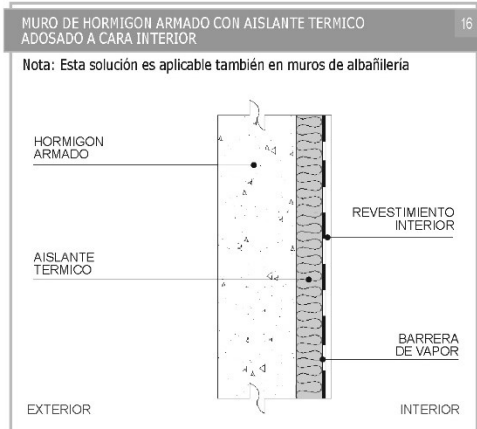
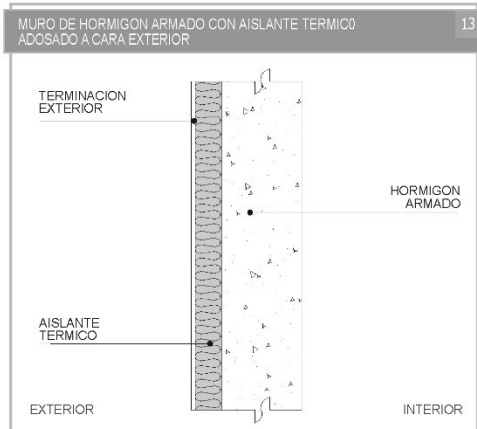
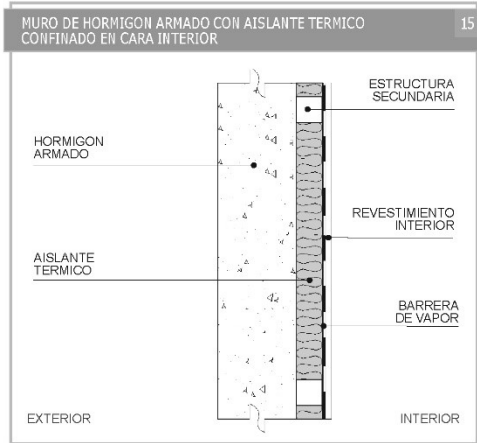
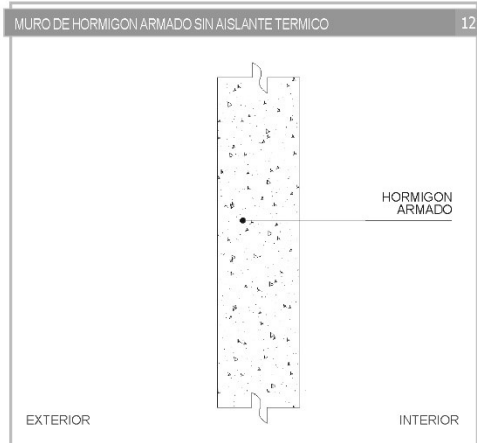


b) Muros de hormigón y albañilería

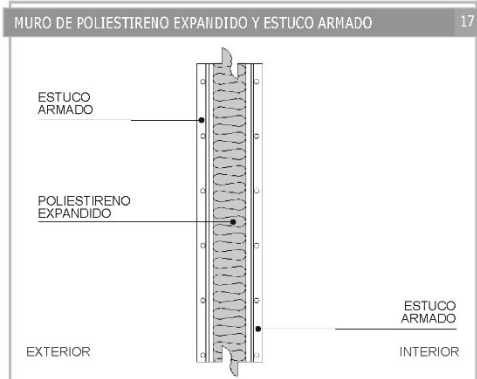
Corresponde a todos aquellos sistemas de muros construidos de hormigón armado o albañilería de ladrillo o bloques de hormigón.







c) Otros: Corresponde a sistemas especiales de muros



ESPOSOR REFERENCIAL DEL MATERIAL AISLANTE TERMICO PARA LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE MUROS (mm)							
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
R 100							
Poliestireno expandido 10 kg/m ³	20	20	20	20	25	35	65
Lana de vidrio 11 kg/m ³	30	30	30	30	30	40	80
Poliuretano rígido 40 kg/m ³	6	6	10	12	13	20	40
Muro 1							
Espesor de estructura= 90 mm							
Sin material aislante térmico	aplicable	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Muro 2							
Espesor de estructura= 90 mm							
Poliestireno expandido 10 kg/m ³	0	20	20	20	20	30	60
Lana de vidrio 11 kg/m ³	0	30	30	30	30	30	60
Poliuretano rígido 40 kg/m ³	0	2	7	9	10	17	37
Muro 3							
Albañilería de ladrillo sin aislante térmico							
Ladrillo máquina de 140 mm de ancho (a)	aplica	aplica	C E	C E	C E	no aplica	no aplica
Muro 4							
Ladrillo máquina de 290 x 140 x 71 mm							
Poliestireno expandido 15 kg/m ³	0	0	20	20	20	20	50
Muros 5 y 6							
Ladrillo máquina de 290 x 140 x 71 mm							
Poliestireno expandido 10 kg/m ³	0	0	20	20	20	20	50
Lana de vidrio 11 kg/m ³	0	0	30	30	30	30	50
Poliuretano rígido 40 kg/m ³	0	0	1	3	4	11	31
Muro 7							
Albañilería de bloque de hormigón sin aislante térmico							
Ancho de bloque de hormigón mínimo (b)	140	190	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Muro 8							
Bloque de hormigón de 390 x 140 x 190 mm							
Poliestireno expandido 15 kg/m ³	0	20	20	20	20	25	60
Muros 9 y 10							
Bloque de hormigón de 390 x 140 x 190 mm							
Poliestireno expandido 10 kg/m ³	0	20	20	20	20	30	60
Lana de vidrio 11 kg/m ³	0	30	30	30	30	30	60
Poliuretano rígido 40 kg/m ³	0	1	6	7	8	16	36
Muro 11							
Bloque de hormigón celular (e)							
Ancho de bloque	150	150	150	150	150	150	250
Muro 12							
Muro de HA sin aislante térmico							
Espesor de muro de hormigón armado sin terminación	130	260	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Espesor de muro de hormigón armado con terminación (c)	100	200	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Muro 13							
Espesor de muro de HA= 150 mm							
Poliestireno expandido 15 kg/m ³	0	20	20	20	20	30	60
Muros 14 y 15							
Espesor de muro de HA= 150 mm							
Poliestireno expandido 10 kg/m ³	0	20	20	20	20	30	60
Lana de vidrio 11 kg/m ³	0	30	30	30	30	30	60
Poliuretano rígido 40 kg/m ³	0	2	7	9	10	17	37
Muro 16							
Espesor de muro de HA= 150mm							
Poliestireno expandido 15 kg/m ³	0	20	20	20	20	30	60
Lana de vidrio 14 kg/m ³	0	30	30	30	30	30	60
Muro 17							
Estuco + aislante térmico + estuco (d)							
Espesor del aislante térmico	30	30	30	30	30	30	55

C E : Aplica según Certificado de Ensayo del fabricante

(a) : Albañilería de ladrillo hecho a máquina de 290mm de largo x 140mm de ancho y altura 71mm de alto o superior según Certificado de Ensayo del fabricante

(b) : Albañilería de bloque de hormigón de 390mm de largo, altura 190mm de alto y anchos indicados en la tabla

(c) : Terminación en cualquiera de los siguientes materiales y espesores: Yeso cartón 12,5mm, enlucido de yeso 20mm, fibrocemento 10mm, estuco liviano 15mm.

(d) : Muro con alma de poliestireno expandido en espesores prefijados según fabricante.

(e) : Albañilería de bloque de hormigón celular en anchos prefijados según fabricante.

Nota:

1. Los espesores de aislante térmico han sido adaptados a los espesores de los productos existentes en el mercado.

2. Las densidades del material aislante térmico son referenciales y se deben determinar según los requerimientos específicos de la solución constructiva.

3. Para la determinar los espesores de aislante térmico en las soluciones constructivas se consideró solamente la resistencia térmica del material aislante, la resistencia térmica del material que soporta al aislante y la resistencia térmica de las capas de aire superficial interior y exterior.

Anexo 3

Conductividad Térmica de Materiales

Según Anexo A de la Norma Chilena Oficial NCh. 853, Of. 93

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE kg/m ³	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA, λ W (M/K)
Adobe	0,012	0,024
Baldosas cerámicas	-	1,75
Fibro-cemento	920	0,22
	1000	0,23
	1135	0,23
Hormigón armado (normal)	2400	1,63
Hormigón con áridos ligeros	1000	0,33
	1400	0,55
Hormigón liviano a base de poliestireno expandido	260	0,088
	320	0,105
	430	0,134
	640	0,214
	840	0,269
	1100	0,387
Ladrillo macizo hecho a máquina	1000	0,46
	1200	0,52
	1400	0,60
	1800	0,79
	2000	1,00
Ladrillo hecho a mano	-	0,50
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042
	50	0,041
	70	0,038
	90	0,037
	110	0,040
	120	0,042
Maderas		
- álamo	380	0,091
- alerce	560	0,134
- coigüe	670	0,145
- lingue	640	0,136
- pino insignie	410	0,104
- raulí	580	0,121
- roble	800	0,157
Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
	420	0,094
	460	0,098
	560	0,102
	600	0,103
	620	0,105
	650	0,106

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE kg/m ³	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA, λ W (M/K)
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
	930	0,26
	1030	0,28
Mármol	2500 - 2850	2,00 - 3,50
Mortero de cemento	2000	1,40
Poliestireno expandido	10	0,0430
	15	0,0413
	20	0,0384
	30	0,0361
Poliuretano expandido	25	0,0272
	30	0,0262
	40	0,0250
	45	0,0245
	60	0,0254
	70	0,0274
Rocas compactas	2500 - 3000	3,50
Vidrio plano	2500	1,2
Yeso - cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31

Materiales no contemplados en la NCh. 853

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE kg/m ³	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA, λ W (M/K)
Hormigón celular (a)	603	0,16
Lana de vidrio (b)	10	0,044
	11	0,0424
	12	0,041
	13,1	0,04

(a) Certificado de Ensaye IDIEM N°252.968

(b) Informe de Ensaye IDIEM N°409.927