



Tesis para optar al grado de Magister en HSEE

EVALUACION DE PUENTES TÉRMICOS

de las Fichas Técnicas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo para Mejoramiento Térmico en la Región de Aysén.

Simulación y evaluación de solución constructiva de encuentro muro-sobrecimiento, para la aplicación de nuevas propuestas de detalles y materiales.

EVALUATION OF THERMAL BRIDGES

From the Technical Files of the Ministry of Housing and Urbanism for the Thermal Improvement in the Region of Aysén



AUTOR:

Miguel Ángel Rodríguez Lucero

Arquitecto – Universidad Central de Chile
Profesional Oficina de Calefacción Sustentable
Seremi de Medio Ambiente Región de Aysén
Teléfono: (+56) 9 7765 87 63
e-mail: mrodriguezl@mma.gob.cl

PROFESOR GUÍA: Ariel Bobadilla Moreno

Ingeniero Civil Mecánico – Universidad de Concepción
Master & PHD en Ciencias Aplicadas - Univ. Católica de Lovaina, Bélgica
Universidad del Bío - Bío
Director CITEC

CO GUÍA:

Cristian Muñoz Viveros

Arquitecto – Univ. del Bío - Bío
Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética – Univ. del Bío - Bío
Encargado del área de simulación bioclimática de edificios de CITEC UBB

AYSÉN, 2016

Resumen

Los malos índices de calidad de aire sitúan a Coyhaique como una de las ciudades más contaminadas del mundo, esto debido principalmente a la deficiente envolvente térmica de las viviendas y a la variable económica que hacen de la leña el principal “combustible” de la región y a su vez el más contaminante. Dadas estas problemáticas y las condicionantes climáticas de la región, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha establecido mejoras de estándares de aislación en viviendas, presentado una serie de fichas técnicas que buscan mejorar la envolvente. Esta tesis busca realizar una comparación de un caso base y las soluciones definidas por Ministerio de Vivienda y Urbanismo en encuentros de muro-sobrecimiento con la finalidad de visualizar el comportamiento del puente térmico, proponiendo de esta manera mejoras constructivas incorporando nuevas tecnologías y materiales locales, de esta manera se presentan nuevas opciones que permiten disminuir considerablemente posibles problemáticas derivadas por las pérdidas de calor, principalmente al incorporar aislación continua en sobrecimiento y en cara superficial de cimiento como solución más efectiva según la modelación realizada.

Palabras clave:

Puente térmico, Mejoramiento Térmico, Therm, Aysén, soluciones constructivas, aislación termica

Abstract

The bad air quality, places Coyhaique as one of the world most polluted cities, this mainly due to poor thermal cover of housing, also firewood is used as the main “fuel” in the region, polluting heavily. Given these problems and climatic conditions of the region, the “Ministry of Housing and Urban Development” has established improvements in housing insulation standards, presented a series of technical specifications that seek to improve the thermal housing cover. This thesis seeks to compare a base case, and solutions defined by Ministry of Housing and Urban Development in joints of wall-plinth in order to visualize the behavior of the thermal bridge in order to propose constructive improvements incorporating new technologies and local materials, avoiding the possible problems related to heat loss.

Key Words:

Thermal bridge, Thermal Improvements, Therm, Aysén, Construction solutions, thermal insulation.

1 Introducción

Durante la última década ha existido un aumento en el estudio e investigación sobre las condiciones de confort en las viviendas, profundizando en aspectos ambientales ya sean térmicos, acústicos y lumínicos que influyen en cada una de las personas que hacen uso de los edificios.

A todo esto se suma el creciente interés en busca de estrategias que generen un ahorro de energía, esto se desprende a su vez por la fuerte preocupación por el medio ambiente que cada día se ve más agredido por el medio construido, sin tener en consideración su relación con el entorno inmediato, lo que ha promovido un mayor interés por la arquitectura con parámetros de sustentabilidad, por considerar aspectos ambientales en su desarrollo, como así también con el entorno y la elección de materiales a trabajar.

Hoy la ciudad de Coyhaique es la que presenta los mayores índices de contaminación atmosférica¹, a nivel nacional. La existencia de un número importante de días sobre la norma MP10², llevaron a Coyhaique ser declarado zona saturada el año 2012. Con esto se dio una señal para frenar los altos costos asociados a problemas de salud, que van desde asma hasta enfermedades cardíacas.

Diversos estudios indican que el gran responsable de la contaminación por material particulado en Coyhaique corresponde a la leña, mayoritariamente debido a su bajo precio y accesibilidad para calefaccionar y cocinar desde la llegada de pioneros a la región, alcanzando hoy al 94% del consumo de leña de la comuna (18,6 m³ de leña por vivienda como promedio anual)³. Sumado a nula aislación térmica de las viviendas ya construidas, las altas emisiones por sobre consumo y baja eficiencia de los equipos utilizados para la combustión, dan pie para llegar a las condiciones ambientales en la que hoy nos encontramos.

Plan de Descontaminación Atmosférica de Coyhaique (P.D.A.)⁴ publicado en marzo del 2016, considera disminuir la fuerte demanda de calefacción existente, mejorando la envolvente térmica de la viviendas que opten al Programa de Protección al Patrimonio Familiar del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el cual además de incorporar nuevos parámetros técnicos a la envolvente, abre la opción de postulación a este beneficio no sólo a viviendas sociales haciéndose cargo de la problemática ambiental.

Una de las principales falencias en la vivienda es la existencia de puentes térmicos en muros perimetrales, presentándose como una de las problemáticas más recurrentes en las viviendas de las regiones del sur del país, lo que afecta en la eficiencia térmica de las edificaciones, lo que trae consigo patologías que se traducen en pérdidas de temperatura, posibilitando la ocurrencia de condensación superficial e intersticial, disminución de la vida útil por deterioro de la estructura y elementos de terminación, y a su vez generando disminución en las condiciones de habitabilidad que perjudican la calidad de vida de las personas.

1 World Health Organization Ambient (outdoor) air pollution database, by country and city.

2 Desde el año 1998, Chile cuenta con una norma primaria de calidad de aire para MP10 (Material Particulado de 10 Micrones), que fija los límites de concentración para este contaminante, las metodologías válidas para su medición, las condiciones de superación de la norma y su fiscalización.

3 Información elaborada por Enviro Modeling Ltda, por encargo de CONAMA Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo, que tuvo como producto el "Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique, Agosto 2009." Mediante licitación PROYECTO EM2008/200-22

Con la finalidad de disminuir la demanda energética en viviendas, se han presentado fichas de mejoramiento térmico motivado por el P.D.A., las cuales consideran características especiales para evitar las problemáticas antes mencionadas. Estas características especiales consisten mayor exigencia de resistencias térmicas, control de hermeticidad, ventilación con higrostató, además de exigencias de ventanas y puertas para garantizar una solución completa de la envolvente. Esta tesis plantea la necesidad de revisar estas fichas propuestas por MINVU en relación a la disminución de puentes térmicos, dando énfasis en encuentros típicos de muro con sobre cimientó, en los sistemas constructivos más aplicados en la región. Entregando como producto final una validación y mejoras complementarias de ser necesario.

Tanto la reglamentación actual en Chile (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Artículo 4.1.10. Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica.)⁵, como los fabricantes de materiales de construcción sólo entregan recomendaciones de ejecución, despreciando u obviando el impacto de los puentes térmicos. Situación que genera pérdidas de energía, ocurrencia de condensaciones y aparición de moho, afectando la salud y el confort de los ocupantes, hasta la misma mantención y eficiencia de las edificaciones.

2 Marco teórico

En lo que respecta al contexto nacional, se ha generado un gran número de estudios, ensayos, nuevos sistemas constructivos para el diseño de viviendas, los que han puesto así en valor la conformación de la envolvente de los espacios habitables. Con la entrada en vigencia de la Calificación Energética de Vivienda⁶ se crea una oportunidad de mejorar la calidad de las viviendas y sus envolventes. Esta define valores porcentuales de influencia en la envolvente a partir del tipo de puente térmico. Realizando el cálculo según lo establecido en la NCh 853 en base a la Transmitancia Térmica. Se asume así que el valor se pondera según los valores arrojados por los diferentes tipos de puente térmico presentes⁷.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha realizado en un esfuerzo por entregar herramientas que permitan tener mayores y mejores resultados a la hora de proyectar la vivienda, entregando documentación respaldada por ensayos, mediciones ambientales, simulaciones, etc. lo que ha permitido entregar por parte del Estado y otros organismos dedicados a la materia, una gran cantidad de documentos a modo de informes, manuales y guías de diseño. Sin duda muchos de estos estudios se basan en experiencias extraídas desde países europeos, los cuales ya han insertado en su cultura la necesidad de entregar viviendas energéticamente eficientes, entendiendo todos los beneficios que estos conllevan, como lo es el caso de la calificación energética de vivienda que se basa en el actual sistema español de calificación⁸.

El entendimiento del comportamiento de la envolvente con conceptos como, balance térmico, ganancias o pérdidas por conducción, ventilación, evaporación, ganancias solares, ganancias internas, etc. permitirá lograr vincular cada problemática y verlos como un total, lo que permitirá resolver muchas de las diversas problemáticas de vivienda. Comprendiendo la génesis de las diferentes patologías derivadas por las pérdidas de calor, condensaciones superficiales, la aparición de hongos en superficies y estructuras son la manera más frecuente de visualizar el problema directo, así como también el deterioro de la salud de los usuarios y

⁵ Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1992

⁶ Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1992

⁷ Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2013

⁸ Código Técnico de Edificación, España (CTE), 1957

una mayor demanda para calefacción y costos adicionales de mantención de la vivienda por pérdidas de energía.

La Reglamentación Térmica⁹ es un instrumento de importancia y que ha implicado una primera definición de estándares de calidad térmica de viviendas. Ha marcado hitos importantes durante su desarrollo, hasta la fecha determinando las condicionantes mínimas referenciales para el comportamiento térmico de edificaciones residenciales principalmente.

Esta reglamentación no establece estándares de hermeticidad, ventilación ligada a mejoramiento de la calidad de aire interior y a la limitación de vapor de agua, siendo estas variables vinculantes a diversas patologías, siendo responsabilidad o criterio de quienes diseñan. Para así garantizar calidad de aire interior y control del vapor de agua emitido en interior, evitando así, problemas de salud asociados, como también condensaciones superficiales e intersticiales que podrían perjudicar la condición de los elementos que componen la envolvente.

Al incorporar la definición de Eficiencia Energética (EE)¹⁰ como el “conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad”. Esta última sin duda es la más relevante tanto para la toma de decisiones en la etapa proyectual, permitiendo dar repuesta coherente a las necesidades de la vivienda, como para el cuidado y mantención de la misma.

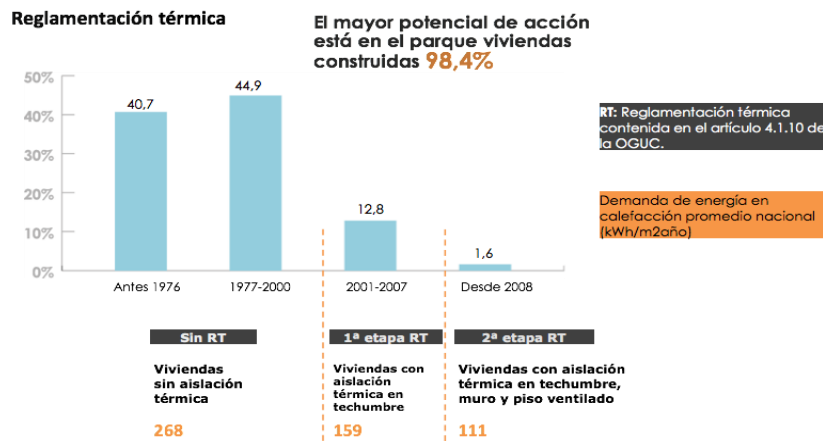
En la región de Aysén y a nivel nacional, como se muestra en la *Figura 1*, se estima que el 98,4% de las viviendas construidas no consideran una solución térmica conforme a la reglamentación vigente. Lo que hoy representa en regiones de la zona sur, uno de los mayores desafíos, generando soluciones térmicas para la viviendas en uso mediante PPPF Título II, “mejoramiento térmico de viviendas”, lo cual a su vez conlleva varios beneficios asociados como la descontaminación a causa de disminución de consumo de leña, disminución de costos de calefacción, disminución de patologías asociadas a la condensaciones, etc.

Los mejoramientos térmicos ejecutados para PPPF Título II en la región, presentan una solución generalizada o tipo, esto sumado a los pocos requerimientos representados por la Resolución Exenta N°2070 con respecto a soluciones térmicas y cuidados para evitar problemas de condensaciones.

⁹ Instituto de la Construcción, 2006

¹⁰ Agencia Chilena de Eficiencia Energética

Figura 1: Periodos de Reglamentación Térmica en Chile



Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, DITEC, 2014

Generalmente las soluciones que se presentan en toda la región se basa en el retiro del revestimiento exterior para disponer lana de vidrio de 60mm con densidad 12 kg/m³, instalación de barrera hidrófuga y de vapor, para luego instalar revestimiento siding de fibrocemento de 4mm. Descuidando en la ejecución los puentes térmicos generados por la estructura, los que configuran una pérdida considerable de energía.

Un estudio realizado en Argentina, “Reducción del Consumo Energético de Edificios en Torre Mediante Atenuaciones De Puentes Térmicos En Su Envolvente”. Simulaciones Con “Quick Ii”,¹¹ analizó mediante simulaciones algunos edificios existentes los cuales presentaban puentes térmicos, estableciendo que la soluciones constructivas actualmente aplicadas en los encuentros entre la envolvente y la estructura portante no satisfacen las condiciones mínimas de habitabilidad higrotérmica que permitan, al menos, evitar los puentes térmicos y el riesgo de condensación superficial asociado. Finalmente éste demostró la problemática pero a su vez se generó una propuesta de mejora, entregando detalle constructivo además de una ecuación matemática para determinar si se resolvía el problema por espesor o por conductividad térmica. Así, el dato que se consideraba como constante determinaba la estrategia a utilizar.

El estudio de María Inés Regodón y José Antonio Tenorio Ríos, del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja analizan los puentes térmicos por varios métodos, centrándose en la problemática de la pérdida de calor, pero también en los problemas de humedad. Por ello establecen dos criterios para abordar los detalles que contienen puentes térmicos :

1.- “Que el impacto de energía sea bajo, es decir, que el valor global de U del elemento constructivo (incluido el efecto del puente térmico) sea menor que un cierto valor máximo (exigido por ejemplo por la normativa nacional) y/o que el efecto del puente térmico no suponga más de un porcentaje dado del total de la pérdida de calor a través del elemento constructivo.”

2.- “Que el riesgo de condensaciones sea mínimo, es decir, que el factor de temperatura sea superior al valor crítico (éste valor debería determinarse a nivel nacional) “ Finalmente plantean el concepto de “robust detail” definido por la normativa inglesa. El Detalle

¹¹ Herminia María Alías & Guillermo José Jacobo, año 2007

Robusto es “aquella solución habitual, realizada con materiales y productos comunes y duraderos, basada en las técnicas y práctica industrial existente, concebida de tal forma que minimiza el riesgo de condensaciones, el riesgo de penetración al agua, las pérdidas extra de calor, exceso de infiltraciones, etc. Por tanto una solución constructiva es “robusta” cuando incorpora otros requisitos adecuados a la habitabilidad de los edificios y no sólo atiende a aspectos higrotérmicos.”¹²

El estudio se centra más en la clasificación de los puentes térmicos y la manera de abordarlos que en estudiar casos, además de su definición:

Un puente térmico es una parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales de diferente conductividad térmica; y/o
- un cambio en el espesor de fábrica; y/o
- una diferencia entre áreas interiores y exteriores, tales como intersecciones de paredes, suelos o techos.

Al disminuir la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos, los puentes térmicos se convierten en partes sensibles de los edificios donde aumenta la posibilidad de producción de condensaciones superficiales, en la situación de invierno o épocas frías. Además de los problemas de condensación y formación de moho, degradación de los elementos constructivos y el peligro para la salud de los ocupantes, los puentes térmicos llevan también a un incremento de pérdidas de calor, que llegan a ser relativamente más importantes, cuanto más aislados estén el resto de cerramientos. Así pues, los aspectos a considerar son los siguientes:

- un eventual incremento de pérdidas de calor cuando se calculen las cargas, necesidades energéticas y niveles de aislamiento del edificio;
- un eventual riesgo de condensaciones y producción de moho resultante de la temperatura superficial interior de la zona del puente térmico.

A nivel nacional la tesis de magister “Simulación y evaluación de puentes térmicos”¹³ sin duda es el análisis más detallado de los puentes térmicos realizados en alguna zona térmica del país, dando un primer acercamiento de la realidad nacional respecto de las soluciones establecidas por MINVU, realizando simulaciones en software Therm y Usai, incorporando un análisis en base a Planillas de Cálculo y una matriz de análisis para evaluar las soluciones técnicas, cruzando datos aportados por estos diferentes medios que entregan variables complementarias al valor U. Así, los detalles fueron analizados bajo parámetros que permiten diferentes comparaciones y relaciones (U; RT; T°; comportamiento higrotérmico; materiales utilizados; espesores finales; densidades; demanda energética). Este paso ayuda a prever los resultados que podría arrojar la cámara térmica. En ese sentido, el prever no apunta a reemplazar este proceso experimental sino a complementarlo. En algunos casos, la simulación permite obtener una mirada sobre un posible comportamiento que nos acerca a lo real. La cámara térmica sigue siendo la mirada a la realidad física de la solución constructiva y por ello, el método experimental es irremplazable.

¹² Herminia María Alías & Guillermo José Jacobo, año 2007

¹³ Cristian Muñoz, 2012

El mismo autor elaboró en la Universidad del Bío Bío, la herramienta de cálculo en on-line Cal-Tmin¹⁴, La aplicación desarrollada permite obtener, usando el método de cálculo de la Norma Chilena 1973, el valor de temperatura mínima aceptable para superficies interiores de manera de asegurar la no formación de moho.

Esta aplicación requiere ingresar datos de temperatura interior y exterior además de la humedad relativa interior (la exterior se ingresa pero no es parte del cálculo).

Según la NCh1973, los valores de humedad relativa máximos posibles de alcanzar por uso no superan el 70%. Sin embargo, la experiencia local indica que ese valor es fácilmente superado en los períodos más desfavorables.

Este cálculo permite evaluar en diseño los posibles puntos que no cumplan con esta exigencia la que, posiblemente, sea incorporada en reglamentaciones futuras.

Teniendo el valor de temperatura mínima aceptable y temperatura mínima de diseño podemos evaluar una solución constructiva utilizando herramientas de simulación como Therm o HTFlux.

El Ministerio de Vivienda elaboró la Norma Técnica Ministerial 11 (NTM11) en la cual en su capítulo dos se establece parámetros de diseño higrotérmico de viviendas, en este se establece una serie de exigencias para evitar la ocurrencia de puentes térmicos, si bien este documento no es oficial, define :

- **5.1.7** Los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, podrán estar interrumpidos sólo por elementos estructurales o tuberías de las instalaciones domiciliarias, entendidos éstos como puentes térmicos, no obstante deberán cubrir el máximo de la superficie conformando un elemento continuo por todo el contorno de la envolvente térmica, disminuyendo las pérdidas a través de los puentes térmicos, de acuerdo a lo indicado en 5.1.8.
- **5.1.8** Los puentes térmicos que constituyen la envolvente térmica de las edificaciones de uso residencial, salud y educación, deberán tener una transmitancia térmica igual o menor a la requerida para evitar el riesgo de condensación superficial y formación de moho en la superficie interior del elemento.
- **5.1.9** Las exigencias de transmitancia térmica “U”, resistencia térmica total “Rt” y resistencia térmica “R100” señaladas anteriormente deben ponderar las discontinuidades del material que se presenten en el complejo respectivo, por ejemplo el mortero de pega en albañilerías, no incluyendo en esta ponderación los puentes térmicos, ya que éstos poseen exigencias térmicas independientes.

Finalmente la puesta en marcha del Plan de Descontaminación Atmosférico de Coyhaique¹⁵ (PDA) incorpora una serie de requerimientos adicionales a la envolvente de la vivienda (aumento valor U en muros, hermeticidad, diseño de ventilación, control de humedad, etc.) posibilitando una disminución de la demanda energética destinada a calefacción, incorporando una primera intención de corte de puente térmico en encuentro de muro y sobre cimiento, mediante el traslape de la solución de mejoramiento térmico de muro con sobrecimiento, graficándose por parte de MINVU mediante la disposición de una serie de fichas técnicas, las cuales serán materia de análisis en este estudio.

¹⁴ <http://www.citecubb.cl/web/126-aplicacion-para-determinar-temperatura-superficial-interior-segun-nch1973>

¹⁵ Decreto Supremo N° 46, Ministerio del Medio Ambiente, 2015

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivos Generales

Evaluación teórica del desempeño de las soluciones constructivas típicas para elementos perimetrales con presencia de puentes térmicos en encuentro muro-sobrecimiento del Programa de Protección al Patrimonio Familiar (PPPF) MINVU, para el mejoramiento térmico de viviendas presentadas por el Plan de Descontaminación Atmosférico de Coyhaique. Proponer mejoras para la ruptura de puente térmico incorporando o modificando elementos de las mismas soluciones que permitan lograr un menor flujo térmico y evitar problemas de condensación superficial en encuentros de muro y sobrecimiento.

2.1.2 Objetivos específicos

- 2.1.2.1 Comparar las temperaturas superficiales obtenidas de solución tipo existente y fichas propuestas por MINVU y mejoras propuestas para obtener una temperatura superficial mínima según cálculo realizado con la aplicación Cal-Tmin de la Universidad del Bío – Bío, para el contexto climático local.

Se espera encontrar una relación o proporción numérica de temperaturas superficiales entre las distintas soluciones, tomando como parámetro la situación inicial, para luego hacerlo con las situaciones mejoradas de modo de establecer un rango de optimización, con un incremento moderado de recursos.

- 2.1.2.2 Revisar alternativas de materiales aislantes locales y/o disponibles en el mercado nacional, que permitan mejorar las posibles falencias existentes en las fichas propuestas por MINVU, idealmente manteniendo los costos de implementación.

Se espera dotar de alternativas que permitan mejorar las fichas MINVU, incorporando a las soluciones el control de puentes térmicos en encuentro de muro con sobrecimiento.

- 2.1.2.3 Complementar librería con materiales locales para ser utilizada con los programas de simulación Therm 7.1, facilitando su utilización en medios académicos y profesionales locales.

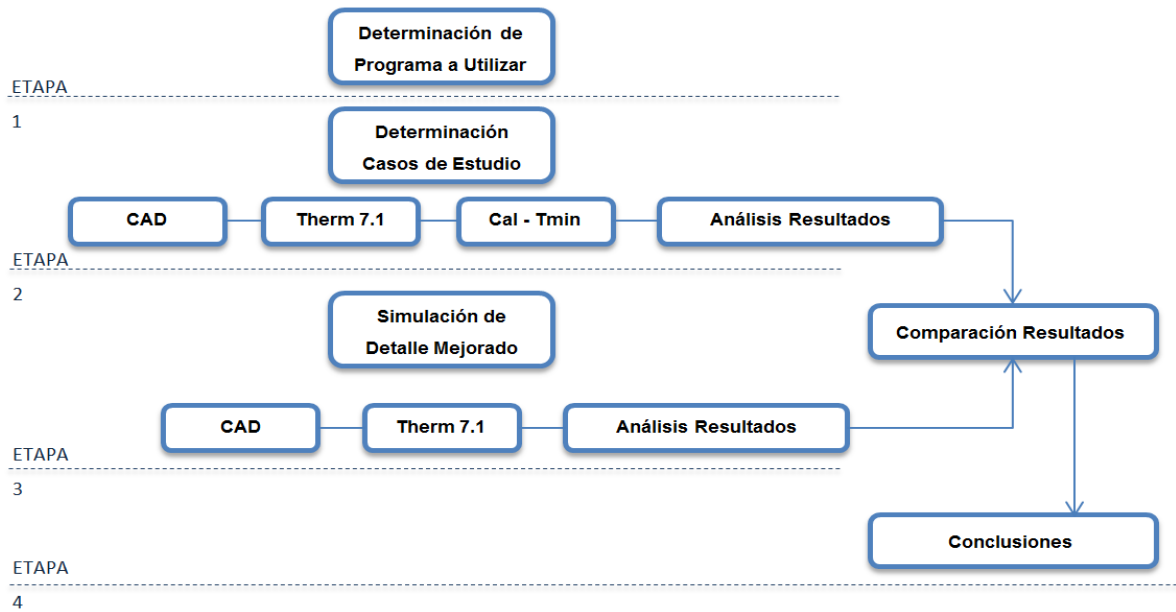
Se espera poder contar con una librería de materiales locales actualizados, que se traduce en un archivo digital que puede ser “cargado” al programa Therm 7.1, facilitando y masificando su utilización.

- 2.1.2.4 Realizar simulaciones que permitan visualizar el comportamiento térmico de una solución constructiva para tomar conciencia de la aparición de puentes térmicos, fomentando la prevención o atenuación de ellos en la etapa de diseño.

Se espera poder compartir los resultados y la metodología de manera de demostrar el impacto sobre la demanda energética de la aparición de puentes térmicos en las soluciones constructivas típicas y propuestas.

3 Metodología

La metodología contempló como principal objetivo, comparar resultados a medida que se fueran realizando cálculos y simulaciones de modo de poder ir previendo las diferencias o rangos de los valores encontrados, con la proponiendo robustecer las mejoras definidas en Fichas MINVU



4 Zona de estudio

El estudio se concentra en la revisión principalmente de viviendas sociales desarrolladas o ejecutadas por el ministerio de Vivienda y Urbanismo, para esto se revisaron proyectos correspondientes a las diferentes provincias y sus localidades como se ve en la Figura 2 que comprenden la región, realizando la revisión de un caso representativo.

Según los últimos datos oficiales entregados por INE¹⁶ el campo habitacional regional asciende aproximadamente a 35.000 viviendas, de las cuales sobre el 87% no presentan estándares de aislación térmica conforme a la reglamentación térmica vigente, segmento al cual va dirigido el subsidio PPPF¹⁷ de mejoramiento térmico de viviendas, finalmente se concentra el 98% de viviendas en casas, principalmente en un piso, de estructura en madera, vidrio simple con marco de madera y piso sobre terreno.

Figura 2 Localidades y lugares referenciales de la Región de Aysén



Fuente: Elaboración Propia

¹⁶ Censo, Instituto Nacional de Estadísticas 2012

¹⁷ Programa de Protección al Patrimonio Familiar, Ministerio de Vivienda y Urbanismo

4.1 Viviendas “Los Patagones”, Localidad de la Junta

Se seleccionó como caso de estudio el proyecto “Los Patagones” con 49 viviendas. Este proyecto presenta el sistema constructivo más representativo de la vivienda actual proyectada en la región (estructura de madera), se consideró este proyecto como referencia para el estudio por ser un caso representativo y vigente de los estándares actuales de construcción en la región, donde podremos evaluar las mejoras alcanzadas con los nuevos parámetros térmicos propuestos.

Se visitaron 11 de las 49 viviendas que conforman el conjunto habitacional, dentro de las cuales se encontraban los casos más representativos por la problemática de condensaciones y aparición de moho en muros.

Figura 3 Viviendas Comité Los Patagones



Fuente: Rodrigo Marín, Serviu Aysén

4.2 Análisis de soluciones de encuentro de muro y sobrecimiento

Se realiza el análisis de estas soluciones en encuentro de sobre-cimientos para verificar el riesgo de condensación por existencia de puente térmico.

Las condiciones de borde consideradas para la realización de los análisis en software Therm se utilizó el método simplificado sugerido por el programa donde se determinan las temperaturas interior y exterior del detalle. Se definió una temperatura de confort interior de 20°C y -2.7°C para el exterior (temperatura mínima promedio mensual del mes de julio¹⁸). Para el coeficiente de film, se considera el inverso a la resistencia superficial (Rse y Rsi).

Adicionalmente para el cálculo de temperaturas superficiales mediante Cal-Tmin se consideraron las mismas temperaturas antes mencionadas y HRi = 78.3% y HRe = 95%.¹⁹

¹⁸ <http://www.meoweather.com/history/Chile/na/-45.5666667/-72.0666667/Coyhaique.html>

¹⁹ “Estudio sobre el comportamiento higrotérmico de los materiales y de las soluciones constructivas utilizadas en viviendas sociales”, Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Ecuación 1 Cálculo temperatura mínima superficial en Coyhaique

Cálculo

	Exterior		Interior
Temperatura interior (°C)	20 (Ej:20.3)		
Temperatura exterior (°C)	-2.7		
Humedad relativa interior (%)	0.783 (Ej:0.7)		
Humedad relativa exterior (%)	0.95		

Cálculo presión de saturación

$$P_{sat} = 610,5 \times \frac{17.269 \cdot T_{int}}{237.3 + T_{int}} = 610,5 \cdot \exp \frac{345.38}{257.3} = 2336.951143 \text{ Pa}$$

$\pi = 2336.95114380 \cdot 0.783 = 1829.83274 \text{ Pa}$

Tmin = 16.10783322(°C) Factor de seguridad = $\pi/0.8 = 2287.290931 \text{ Pa}$

fRsi = 0.828538908; Tmin = 19.65346744 °C

U = 0.685844 W/(m² K) fRsi min= 0.984734 W/(m² K)

Según la Ecuación 1 la Temperatura superficial interior mínima aceptable corresponde a 16.1°C.

Fuente: http://www.arquitecturapasiva.cl/cal_tmin/cal_tmin.html

4.3 Condensación superficial

Todas las viviendas visitadas presentan humedad en diferentes magnitudes a pesar de contener aislación de muros conformada por 60mm de lana de vidrio con una densidad de 11Kg/m³, estas se presentaton principalmente en dormitorios y en living comedor, para todos los casos el moho se genera en las partes bajas de los muros perimetrales de la vivienda, según se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Patologías por puente térmico



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1 Mediciones interiores con Psicómetro

Se realizaron mediciones con Psicómetro para tomar muestras de temperatura ambiente interior, humedad interior y temperatura superficial de muros con lo cual además nos entregaba temperatura de rocío.

Las mediciones registradas determinan temperaturas interiores por sobre los estándares definidos para la realización de cálculos de confort de ambientes interiores, como se muestran en Figura 4 la temperatura de rocío es de 12.8°C y una temperatura superficial de 12,4°C lo que provoca condensación superficial.

Figura 4: Mediciones con Psicómetro

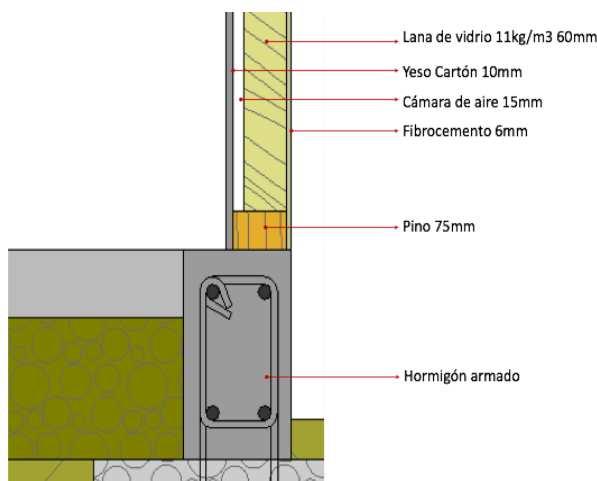


Fuente: Elaboración Propia

Las altas temperaturas registradas al interior de las viviendas (desde los 22°C hasta los 28°C) de interior de gran parte de las viviendas, denota una costumbre local en el uso de calefacción a leña y lo complejo de controlar el calor entregado por las estufas.

4.3.2 Análisis muros perimetrales en encuentro con sobrecimiento

Figura 5 Corte Constructivo soluciones tipo



Si bien la vivienda fue proyectada conforme a la reglamentación térmica vigente, esta no contempla la necesidad de ruptura de puente térmico en encuentros de sobrecimiento-muro como se muestra en la Figura 5, generándose problemáticas como la revisada anteriormente, razón por la cual presenta patologías asociadas a la generación de condensación.

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Cálculo transmitancia térmica

Las soluciones de muro perimetrales realizadas en la región no se encuentran en el listado oficial de soluciones térmicas, principalmente por el uso de lana de vidrio como aislante térmico, por lo cual se realiza la acreditación mediante cálculo según Nch n°853, generalmente la mayor parte de los casos los profesionales que realizan este documento no consideran la ponderación con los puentes térmicos que presentan las estructuras.

Para realizar el cálculo se consideraron los datos obtenidos en terreno, donde encontró que la transmitancia térmica obtenida, según ponderación realizada en Tabla 1 es de 0.62 W/m²°C, levemente mayor a la requerida por la Reglamentación Térmica vigente.

Tabla 1 Cálculo de transmitancia térmica

Muro Perimetral_Sección aislación	e (mm)	emisividad	λ	R
Material				
Rsi				0,12
Yeso Cartón 700	10		0,26	0,04
Cámara de aire no ventilada	15	0,82		0,155
Lana de vidrio panel 12	60		0,041	1,46
Fibrocemento 920	6		0,22	0,03
Rse				0,05
RT				1,85
U (W/m²°C)				0,54

Muro Perimetral_Sección estructura	e (mm)	emisividad	λ	R
Material				
Rsi				0,12
Yeso Cartón 700	10		0,26	0,04
Madera pino insigne 410	75		0,104	0,72
Fibrocemento 920	6		0,22	0,03
Rse				0,05
RT				0,96
U (W/m²°C)				1,05

Ponderación U

Muro Perimetral_Sección aislación	85%	0,54	0,46	W/m ² °C
Muro Perimetral_Sección estructura	15%	1,05	0,16	W/m ² °C
	U=	0,62	W/m²°C	

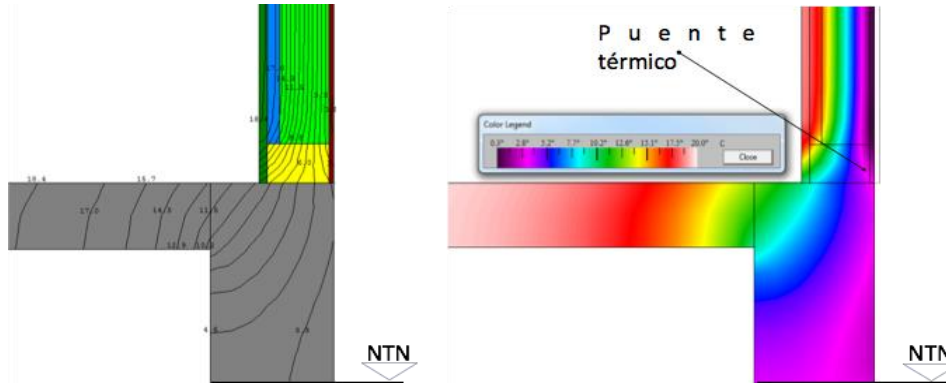
Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 Flujos térmicos en Software Therm 7.4

Figura 6 muestra la termografía e isotermas que muestran el flujo térmico, demostrando gráficamente la presencia del mayor puente térmico presente en el perímetro de las viviendas y las pérdidas de temperatura asociadas a este puente térmico en el encuentro de muro a piso.

Como se aprecia en la Figura 6 la temperatura en vértice fluctúa entre los 10.2 y 15 °C no alcanzando la temperatura mínima superficial interior según cálculo realizado en Ecuación 1. Lo que a su vez comprueba las patologías existentes en las viviendas visitadas

Figura 6 Corte Therm



Fuente: Elaboración propia

Hoy la reglamentación térmica vigente en Chile, no determina la necesidad de aislar térmicamente la soluciones de sobre cimiento, haciendo de este elemento constructivo uno de los mayores puentes térmicos generando las mayores pérdidas de temperatura superficial en partes bajas de los muros, situación que se acentúa con la existencia de mobiliario adosado a muros perimetrales, posibilitando la ocurrencia de condensación superficial en muros perimetrales.

5 Fichas de mejoramiento térmico de viviendas MINVU.

En virtud de las diferentes problemáticas ya descritas el Ministerio de Vivienda y Urbanismo desarrollo 4 fichas con soluciones de muros más representativos de la región de Aysén.

En cada una de estas fichas encontraremos información respecto de la conformación del muros, detalles de encuentros y sellos, riesgo de condensación, transmitancia y resistencia térmica del mismo, además de valores de conductividad y espesores de cada uno de los elementos, para finalmente entregar una especificación técnica detallada de dichas soluciones.

Estas fichas sin duda presentan una gran oportunidad de mejorar la calidad de la edificación de viviendas disminuyendo las posibles patologías que hoy se presentan, aumentando la aislación e incorporando sellos y otros elementos ya descritos con anterioridad.

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PARA CONVIVIR

MURO DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTE CON LANA DE VIDRIO Y REVESTIMIENTO TINGLADO DE FIBROCEMENTO

F6

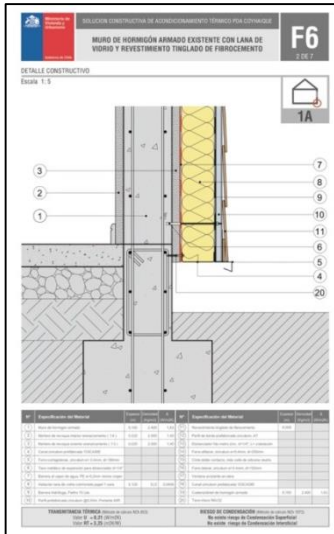
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Muro de hormigón armado con sistema de aislación térmica exterior con estructura soportante sobrepuesta a muro existente mediante distanciadores de hilo continuo, conformada por perfiles galvanizados, tipo Portante 40R. Entre el muro y los perfiles se incorpora la aislación térmica consistente en rollos de lana de vidrio, pasó una capa de 120mm de espesor y densidad 12.0kg/m3. Como revestimiento de terminación se considera la aplicación de trapos de Fibrocemento de 6mm. Se incluye barrera de vapor y barrera hidrófuga.

Se detallan los tipos según clase de construcción de la DSUC

MATERIALIDAD						
HORMIGÓN	1A	1B	1C	1D		
ALBARRILLA	2A	2B	2C	2D	E	F
LANA	3A	3B	3C	3D		

5.1.1 Solución para muros de hormigón, ficha F6



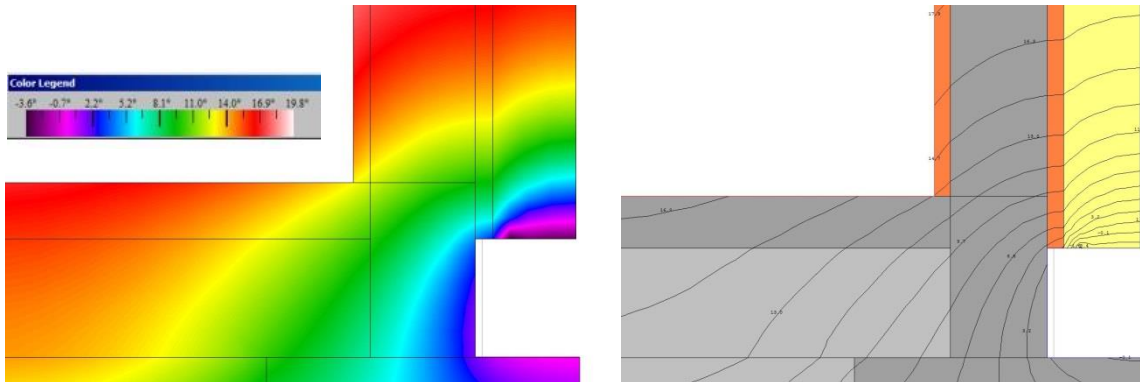
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Muro de hormigón armado con sistema de aislación térmica exterior, con estructura soportante sobrepuesta a muro existente mediante distanciadores de hilo continuo, conformada por perfiles galvanizados, tipo Portante 40R. Entre el muro y los perfiles se incorpora la aislación térmica, consistente en colchonetas de lana de fibra de vidrio, papel una cara, de 120mm de espesor y densidad 12,5Kg/m³. Como revestimiento de terminación se considera la utilización de tinglado de Fibrocemento de 6mm. Se incluye barrera de vapor y barrera hidrófuga.

El Valor de transmitancia ponderada declarado por la ficha es: $U=0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ y no presentaría riesgo de condensación en la solución de muro.

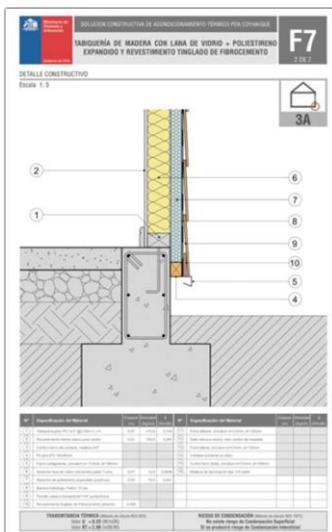
La aislación del muro se robustece con respecto de las soluciones tipo, además de traslaparse con sobrecimiento, permitiendo disminuir levemente temperatura las pérdidas de calor por puente térmico como se demuestra en la Figura 7, alcanzando una superficial de 13°C en el vértice.

Figura 7 Corte Therm, Ficha F6_ Muro de Hormigón



Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Solución para muros de estructura de madera, Ficha F7



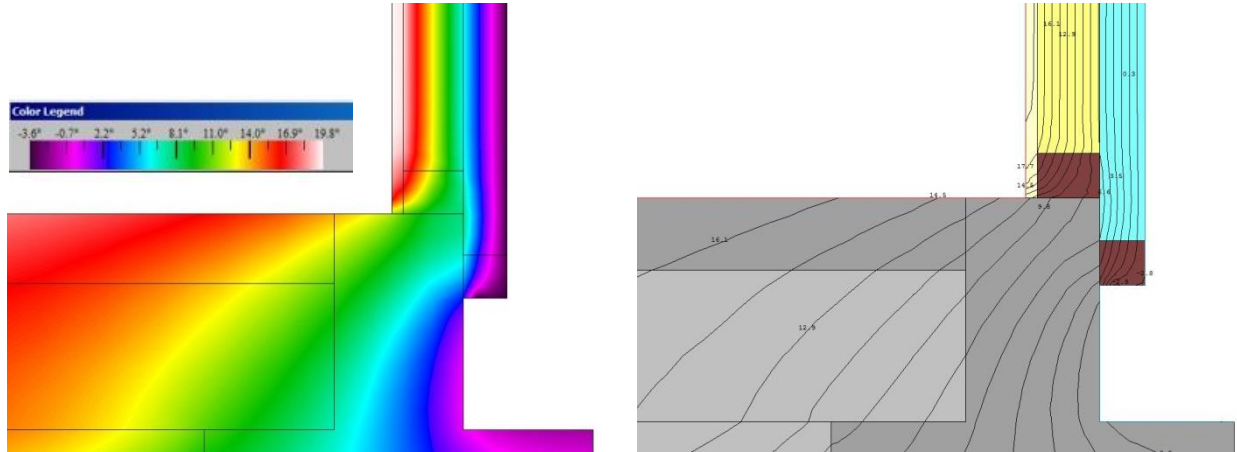
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Tabiquería de madera existente con sistema de aislación térmica mixta (interior-exterior), consistente en colchonetas de lana de fibra de vidrio, papel una cara, de 80mm de espesor y densidad 12,5Kg/m³, en el interior del tabique, más una capa de poliestireno expandido (EPS) de 50mm de espesor y densidad 15Kg/m³, ubicada por la cara exterior de la estructura del tabique, de forma continua. Como revestimiento de terminación se considera la utilización de tinglado de Fibrocemento de 6mm. Se incluye la incorporación de barrera hidrófuga.

El Valor de transmitancia ponderada declarado por la ficha es: $U=0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ y presentaría riesgo de condensación intersticial en la solución de muro.

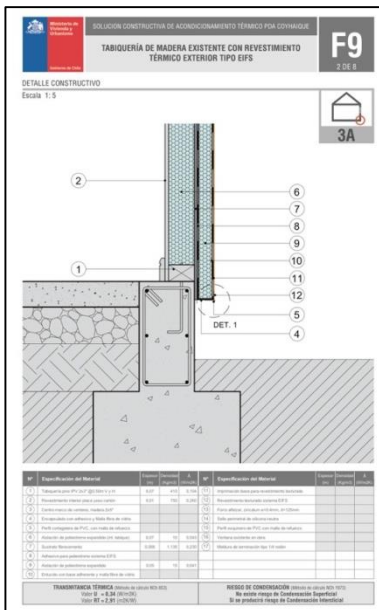
La aislación del muro se robustece con respecto de las soluciones tipo, además de traslaparse con sobrecimiento, permitiendo disminuir levemente las pérdidas de calor por puente térmico como se demuestra en la Figura 8, alcanzando una temperatura superficial de 11.3°C en el vértice.

Figura 8 Corte Therm, Ficha F7_ Muro estructura de madera + EPS



Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Solución para muros de estructura de madera, Ficha F9



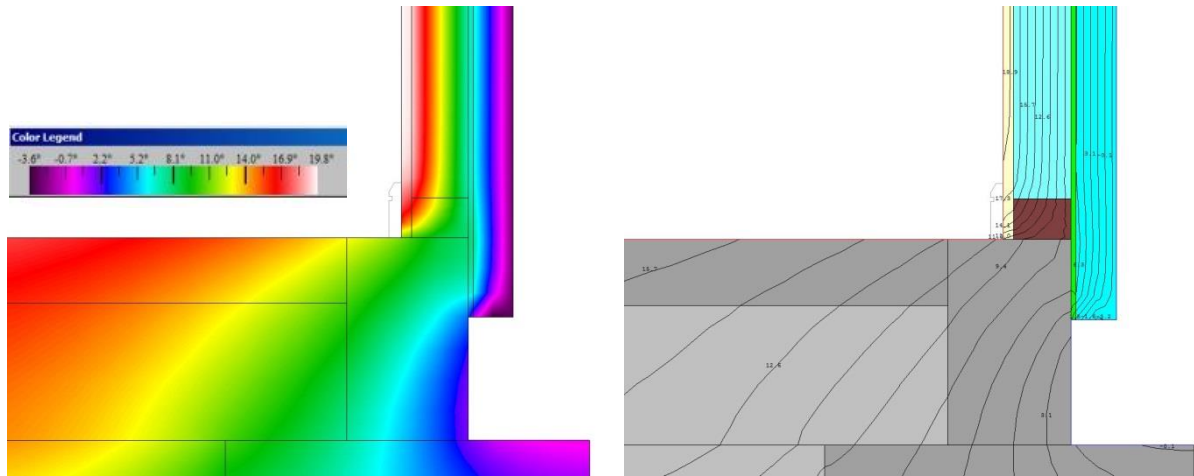
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Tabiquería de madera existente con sistema de aislación térmica mixta (interior-externa), consistente en una capa de poliestireno expandido (EPS) de 70mm de espesor y densidad 10Kg/m³, ubicada en el interior del tabique, más una segunda capa de aislación en base a un sistema EIFS, de 50mm de espesor y densidad 15Kg/m³, pegada sobre un sustrato de fibrocemento, ubicado por la cara exterior de la estructura del tabique. Como revestimiento de terminación se considera una capa de textura con color.

El Valor de transmitancia ponderada declarado por la ficha es: U= 0,34 W/m²K y presentaría riesgo de condensación intersticial en la solución de muro.

La aislación del muro se robustece con respecto de las soluciones tipo, además de traslaparse con sobrecimiento, permitiendo disminuir levemente las pérdidas de calor por puente térmico como se demuestra en la Figura 9, alcanzando una temperatura superficial de 12°C en el vértice.

Figura 9 Corte Therm, Ficha F9_ Muro estructura de madera + EIFS



Fuente: Elaboración propia

5.2 Propuestas de mejora de solución ficha 7

Se plantea la mejora o robustecimiento de la Ficha 7 por ser considerada la de mayor incidencia en las posibles mejoras de envolventes térmicas a realizarse en la región de Aysén.

Dada la pérdida de temperatura generada por puente térmico, se hace necesaria la mejora de la solución aplicando alguna aislación de sobrecimiento, disminuyendo de esta manera la posibilidad de ocurrencia de puentes térmicos.

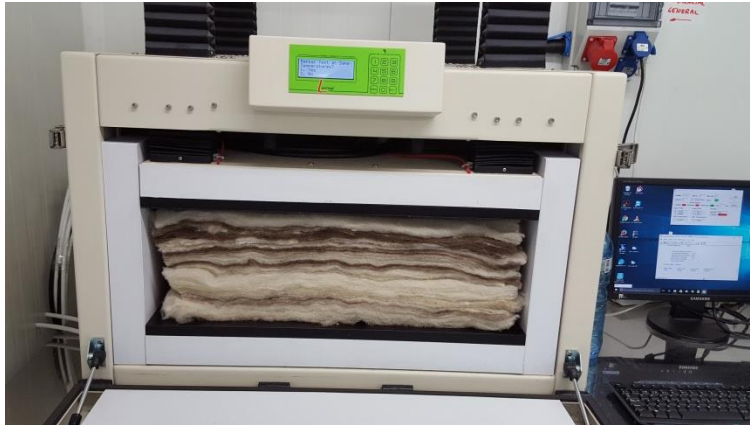
Al revisar alternativas en el mercado chileno y local, se vieron 2 opciones para aislación de sobrecimiento y una opción alternativa para aislación de muros:

- Solución de aislación de muros con lana de oveja_ Lanarq
- Aislación de sobrecimiento con Poliestireno Expandido (EPS)
- Aislación de sobrecimiento con Pintura Cerámica Aislante

5.2.1 Aislación de muro con Lana de Oveja _ Lanarq

La región de Aysén es reconocida por su producción de lana de oveja para el mercado textil. Lanarq una oficina de arquitectos con una visión de sustentabilidad y en reconocimiento a la gran labor que se desarrolla en los campos de la región ha comenzado estudios en conjunto a la gente local, para desarrollar soluciones térmicas mediante la utilización de lana de oveja. Ya con más de un año de desarrollo en las dependencias de la Escuela Agrícola de Coyhaique y con Fondos para la Innovación Agraria, del Ministerio de Agricultura (FIA) y Fondos obtenidos por prototipo de innovación social de Corfo, les han permitido desarrollar y adquirir la tecnología necesaria para su implementación y estudios.

Figura 10 Ensayo en Lambdometro de Manto Aislante Lana de oveja



Los valores obtenidos en el ensayo realizado en RMT fueron:

Densidad 28,3kg/m³

$\lambda = 0.03745$

Fuente: Sergi Iglesias Costa, RMT, S.A.²⁰

Utilizando la misma estructura de la Ficha 7 pero al reemplazar la aislación de lana de vidrio con mantos de lana de oveja se obtienen un U ponderado de 0,30W/m²K como se puede ver en la Ecuación 2, lo que implica una disminución con respecto a la solución inicial.

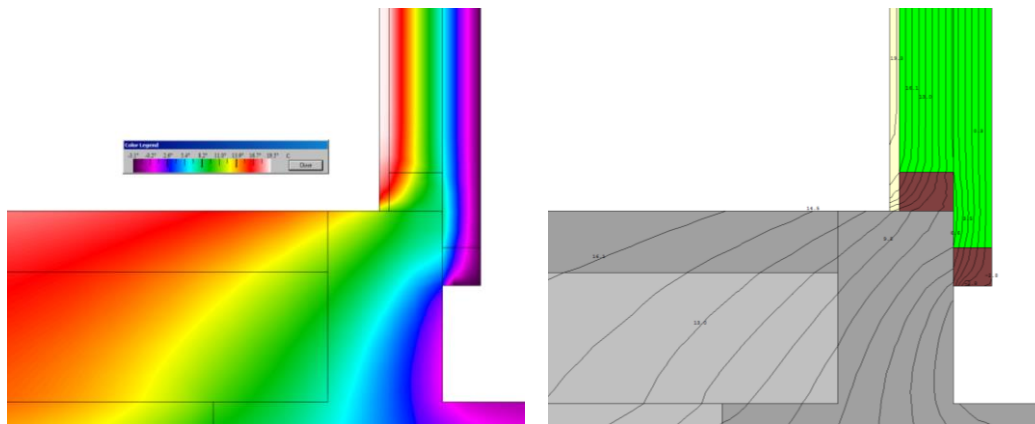
Ecuación 2 _ Transmitancia Térmica Solución Lana de Oveja

Ponderación U

	U	Upond	
Muro Perimetral_Sección aislación	85%	0,28	0,24 W/m ² °C
Muro Perimetral_Sección estructura	15%	0,44	0,07 W/m ² °C
	U=	0,30	W/m²°C

Fuente: Elaboración propia

Figura 11 _Propuesta 1- Aislación de muro con Lana de Oveja



Fuente: Elaboración propia

La aislación del muro se robustece con respecto de las soluciones tipo, además de traslaparse con sobrecimiento, permitiendo disminuir levemente las pérdidas de calor por puente térmico

²⁰ Recuperación de Materiales Textiles S.A. <http://www.rmtsa.es>

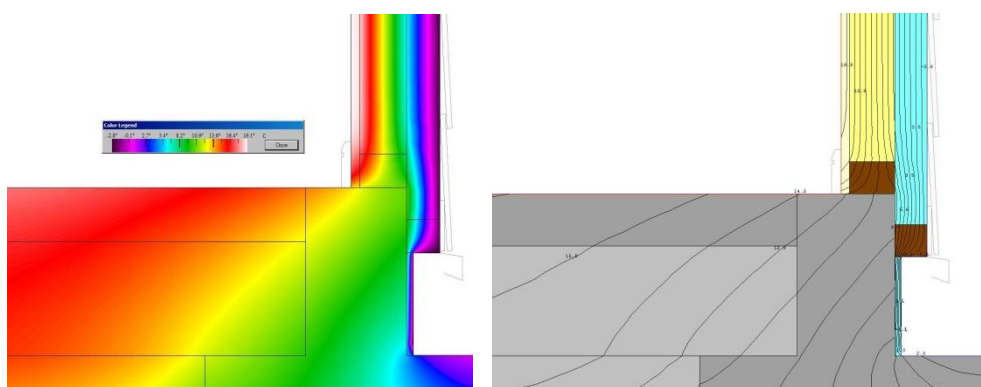
como se demuestra en la Figura 11, aumentando la temperatura superficial a 12.5°C en el vértice.

Esta alternativa además de mejorar levemente las prestaciones entregadas por el material aislante (lana de oveja) no incrementaría los costos de implementación.

5.2.2 Aislación de sobrecimiento con Poliestireno Expandido (EPS)

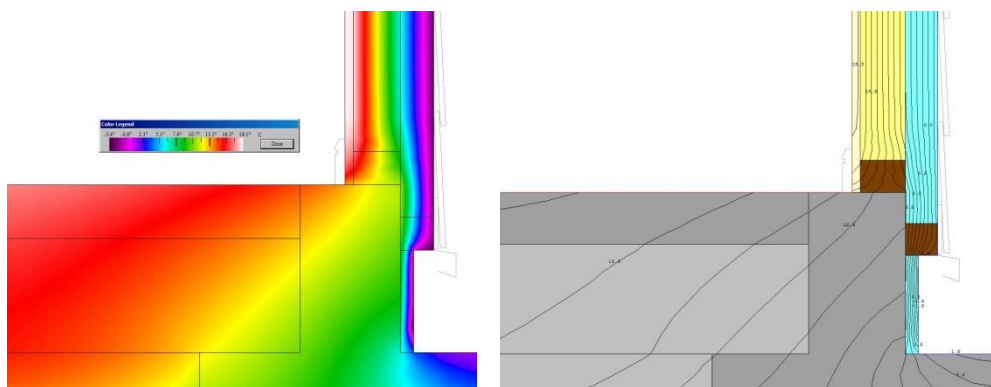
Una de las soluciones recurrentes utilizadas hoy en día para la aislación de sobrecimiento es la utilización de EPS, con la solución constructiva tipo EIFS, para esto además del aislante se requiere aditivos especiales del tipo elastomérico que garanticen la durabilidad y adherencia. Para la propuesta se utilizó EPS de densidad 15 Kg/m³, la cual presenta una conductividad de 0,041 W/m²k.

Figura 12 _ Propuesta 2 - Aislación de Sobrecimiento EPS 10mm



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 _ Propuesta 3 - Aislación de Sobrecimiento EPS 20mm



Fuente: Elaboración propia

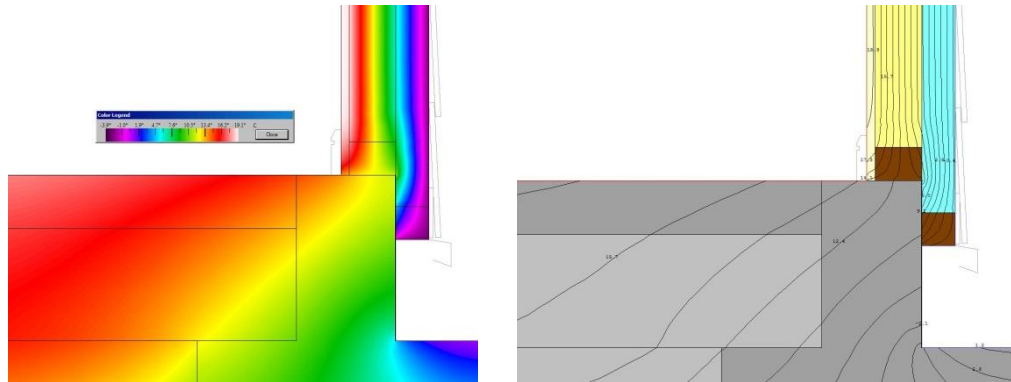
Como se observa en la Figura 12 existe una leve mejora logrando una temperatura superficial de 13°C en vertice con la solución, mientras que en la Figura 13 se logra un aumento de hasta 14,7°C en vertice disminuyendo considerablemente la ocurrencia de condensaciones por baja temperatura superficial.

5.2.3 Aislación de sobrecimiento con Pintura Cerámica Aislante TSM

Haciendo una revisión de materiales aislantes disponibles en el mercado, se encontraron pinturas aislantes basadas en Nanotecnología de perlas cerámicas, una de las cuales hoy se

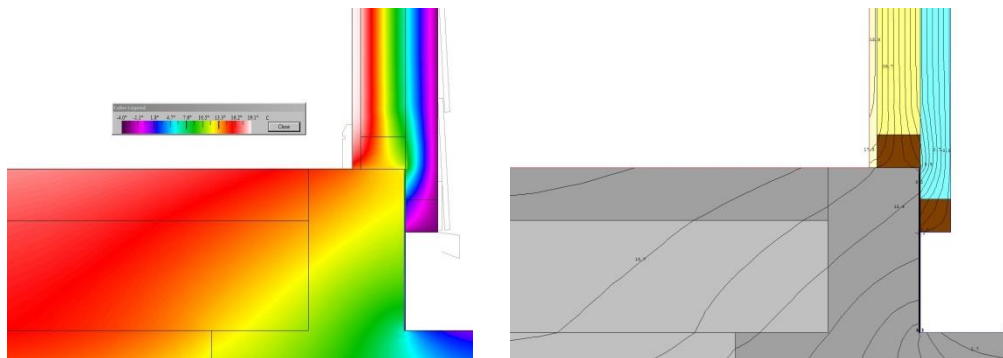
encuentra en proceso de certificación en los laboratorios de IDIEM, de la marca TSM CERAMIC²¹ de procedencia rusa y que en los certificados de origen determinan una conductividad de 0,02 W/m²k. Se consideró este valor definido en certificado Europeo para realizar simulación de mejora.

Figura 14_ Propuesta 4 - Aislación de Sobrecimiento Pintura Aislante Cerámica 1mm



Fuente: Elaboración propia

Figura 15_ Propuesta 5 - Aislación de Sobrecimiento Pintura Aislante Cerámica 2mm



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 14 existe una mejora logrando una temperatura superficial de 14.1°C en vertice con la solución, mientras que en la Figura 15 se logra un aumento de hasta 15.5°C en vertice disminuyendo considerablemente la ocurrencia de condensaciones por baja temperatura superficial.

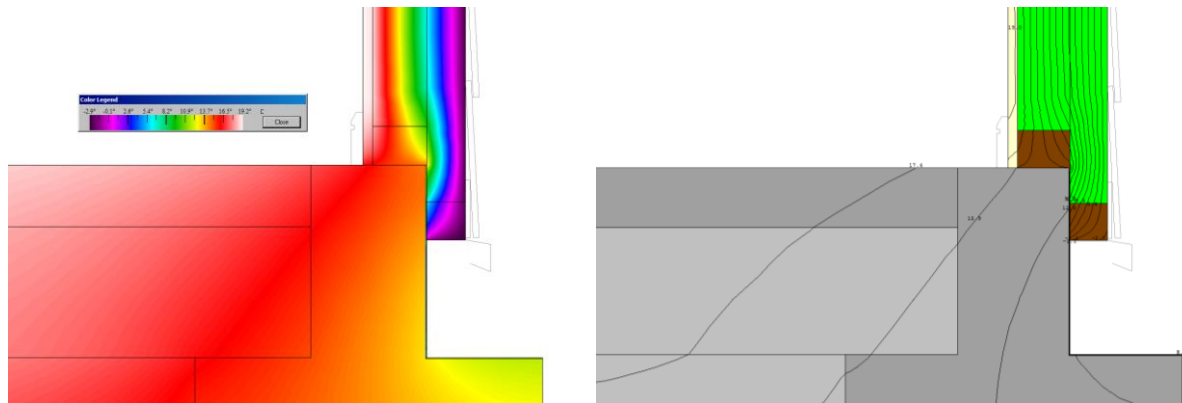
5.2.4 Propuesta de mejora optima ficha 7.

Si bien las simulaciones anteriores denotan mejoras considerables en relación a la solución original, la posibilidad de generar una continuidad de la aislación con pintura aislante cerámica en 1mm en toda la superficie expuesta permitirá mejores resultados como se puede ver en la Figura 16, donde la temperatura superficial mínima es de 17,4°C.

En paralelo se presenta esta combinación con la aislación de muros con lana de oveja, la cual mejora levemente las condiciones de aislación de muro, utilizando materiales locales en proceso de certificación.

²¹ <http://thermogat.eu/tsm-ceramic?lang=en>

Figura 16_ Propuesta 6 - Muros con Lana de Oveja y Pintura Aislante Cerámica 1mm en caras exteriores



Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Comparación de soluciones

Como se logra apreciar en la Tabla 2, las mejoras propuestas por MINVU si bien enrobustecen el muro, no entrega mejoras significativas en relación a las pérdidas de temperatura por puente térmico en encuentro con sobrecimiento, aumentando en promedio solo en 1°C su temperatura en soluciones MINVU.

La propuesta 6 en su combinación de aislantes permite dar respuesta a los requerimientos térmicos mínimos, aplicando la aislación de muros con lana de oveja y de aislación de sobre cimiento y ciemiento con pintura aislante cerámica.

Tabla 2 _ Comparación de temperaturas superficiales mínimas

	CB					PROPUESTA DE MEJORA						
	Caso Base	Ficha 6	Ficha 7	Ficha 8	Ficha 9	Ficha 7 + Muro aislado con Lana de oveja	Ficha 7 + Sobre Cimiento - EPS 10mm	Ficha 7 + Sobre Cimiento - EPS 20mm	Ficha 7 + Sobre Cimiento - TSM 1mm	Ficha 7 + Sobre Cimiento - TSM 2mm	Ficha 7 - Lana de oveja + TSM 1mm	
Condiciones de Borde temperatura	20°C int / -2,7°C ext											
Condiciones de Borde Humedad Relativa	HRi = 78.3% / HRe = 95%											
T° Superficial mínima Cal-Tmin (°C)	16,1											
U Muros (W/m2K)	0,62	0,31	0,33	0,34	0,34	0,30	0,31	0,33	0,34	0,34	0,30	
T° Superficial mínima solución Therm (°C)	10,2	13,0	11,3	11,3	11,0	12,5	14,2	14,2	14,1	15,7	17,5	
Diferencia de T° superficial mínima (°C)	-5,9	-3,1	-4,8	-4,8	-5,1	-3,6	-1,9	-1,9	-2,0	-0,4	1,4	
Porcentaje de mejora de solución	-	22%	10%	10%	7%	18%	28%	28%	28%	35%	42%	

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- Sin duda el robustecimiento de la aislación en la solución de muros propuestas por MINVU disminuye considerablemente la ocurrencia de condensaciones superficiales e intersticiales, pero aún no logra disminuir de manera eficiente la pérdida de calor por puente térmico en los encuentros de muro y sobrecimiento, posibilitando la ocurrencia de condensaciones como las que se presentan hoy en la región.

Se hace necesario el análisis profundo de los detalles constructivos, revisando comparaciones de sus prestaciones no sólo evaluando el valor U, que normalmente lo conocemos como ponderado, sino también evaluando las zonas de pérdidas de calor (puente térmico).

- El desarrollo de detalles y su simulación con Therm en complemento con Cal-Tmin permite complementar la información disponible reglamentaria, aportando nuevos datos medibles y verificables que ayudan a decidir y evaluar la solución constructiva a utilizar, aportando información en la toma de decisiones

Las simulaciones entregan resultados relevantes en la visualización del comportamiento térmico de una solución constructiva como en la obtención de datos numérico posibles de ser comparados con un “caso base” (lo reglamentario).

Es necesario realizar la comparación con un “caso base” para así poder definir los rangos en los que una alternativa puede cambiar y ser considerada como una mejora.

- Complementar una base de datos de materiales para Therm permite, a partir de un mínimo reglamentario, proponer mejoras a los detalles normalizados utilizando alternativas reales y disponibles.

Además, la base de datos de Therm es flexible lo que permite actualizarla y expandirla según los requerimientos del usuario. Complementario a los materiales, Therm puede crear una base de datos de Condiciones de Borde lo que permite evaluar una misma solución con variables externas diferentes, según las ciudades o localidades en que se desea trabajar.

- La posibilidad de realizar mejoras incorporando nuevas tecnologías en la región, permite mejorar sustancialmente la calidad de las viviendas, se determina mediante las visitas a terreno y los análisis realizados la necesidad de generar esta aislación de puente térmico (sobrecimiento), incorporándolo a los requerimientos técnicos para la región de Aysén.

La posibilidad de incorporar pintura cerámica aislante en las caras expuestas del sobre cimientado y cimientado se presenta como la alternativa más atractiva en términos de implementación, resultados y costos en la región de Aysén. Por lo que su homologación o certificación para su validación permitirán dar respuesta eficiente a la problemática de puente térmico en la zona sur del país.

- Finalmente la utilización de materia prima regional (lana de oveja) como material aislante, además de entregar valores de conductividad térmica baja y mejorar así las soluciones, logrando poner en valor una actividad local, reinventando su utilización, permitiendo abastecerse de esta necesidad de manera eficiente y sustentable.

6 Bibliografía

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética
- ALIAS, H.M; JACOBO, G. J . Reducción del consumo energético de edificios en Torre mediante atenuaciones de puentes térmicos en su envolvente, simulaciones con “QUICK II” .En : Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, VOL II, (2007).Argentina.
- Enviro Modeling Ltda, por encargo de CONAMA Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo, “Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique, Agosto 2009.” Mediante licitación PROYECTO EM2008/200-22
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (July 2006). Manual Therm.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO. CCTE: Manuales de Referencias Técnicas
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO. Estudio sobre el comportamiento higrotérmico de los materiales y de las soluciones constructivas utilizadas en viviendas sociales”.
- Muñoz Viveros, Cristian MHS&EE, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PUENTES TÉRMICOS. Soluciones Constructivas Típicas aprobadas por la Reglamentación Térmica para Elementos. Verticales en estructura de madera y metálicos en la Zona 4. Simulaciones con Therm y Usai y Evaluación con Método de Cámara Térmica.
- NCh 1973 Of 87 Acondicionamiento térmico - Aislación térmica - Cálculo del aislamiento térmico para disminuir o eliminar riesgo de condensación superficial
- NCh 1079 Of 77 Arquitectura y Construcción - Zonificación climática - habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- NCh 853 Of 91 Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de Edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
- ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES, Artículo 4.1.10 . Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica
- REGODON, María Inés y TENORIO RIOS, José Antonio, del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, España.
- Tilmans, Antoine y Van Orshoven, Dirk. Belgian Building Research Institute (BBRI).Software and Atlases for evaluating thermal bridges.En : ASIEPI P152 (16-3-2009), www.asiepi.eu , Bélgica.
- World Health Organization Ambient (outdoor) air pollution database, by country and city.

Páginas web:

- <http://thermogat.eu/tsm-ceramic?lang=en>
- <http://www.meoweather.com/history/Chile/na/-45.5666667/72.0666667/Coyhaique.html>
- <http://www.citecubb.cl/web/126-aplicacion-para-determinar-temperatura-superficial-interior-segun-nch1973>
- <http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/DS-46-ESTABLECE-PDA-LA-CIUDAD-DE-COYHAIQUE-Y-SU-ZONA-CIRCUNDANTE.pdf>
- http://www.who.int/entity/phe/health_topics/outdoorair/databases/WHO_AAP_database_May2016_v3web.xlsx?ua=1
- <http://www.rmtsa.es>