



Simulación de puentes térmicos basados en soluciones constructivas de acondicionamiento térmico propuestas por el Ministerio de vivienda y urbanismo de Chile.

Simulation of thermal bridges based on constructive thermal conditioning solutions proposed by the Ministry of Housing and Urban of Chile.

Aner Martinez-Soto

Filiación: Universidad de La Frontera
Dirección: 4780000
Correo: aner.martinez@ufrontera.cl

Michelle Vera-Fonseca

Filiación: Universidad de La Frontera
Dirección: 4780000
Correo: m.vera06@ufromail.cl

Manuscript Code: 088

Date of Acceptance/Reception: 06.07.2018/31.05.2018

Resumen

Las soluciones constructivas de acondicionamiento térmico propuestas por el Ministerio de vivienda y urbanismo de Chile si bien contribuyen a disminuir las pérdidas por transmisión no garantizan temperaturas superficiales interiores que disminuyan los riesgos de condensación de la humedad. En este estudio se cuantifica la disminución de las pérdidas por transmisión y adicionalmente se analiza los riesgos de condensación de la humedad en los puentes térmicos geométricos (PTG) que se presentan en cada solución constructiva. Aquí se realizó una compilación de soluciones constructivas representativas del parque residencial chileno. Dichas soluciones fueron simuladas como puentes térmicos en el software THERM a fin de determinar la transmitancia térmica del envolvente, la transmitancia lineal en los PTG y los riesgos de condensación de la humedad. Los resultados muestran una reducción promedio de las pérdidas de calor por transmisión cercana al 30%, pero que no hay rompimientos de puentes térmicos por lo que se prevé que en la mayoría de las zonas térmicas de Chile existirán riesgos de condensación de la humedad y por ende la proliferación de hongos y/mohos. Finalmente en este artículo se entregan recomendaciones para el rompimiento de PTG y la reducción de riesgos de condensación de humedad para las soluciones constructivas analizadas.

Palabras claves: Simulación; Puentes Térmicos; Soluciones constructivas.

Abstract

The constructive solutions of thermal conditioning proposed by the Ministry of Housing and Urban of Chile, although contribute to reduce transmission losses, they do not guarantee an interior surface temperatures that reduce the risks of condensation of the humidity. In this study, the decrease in transmission losses is quantified and the moisture condensation risks in the geometric thermal bridges (PTG), which are presented in each construction solution, are analyzed. Here a representative compilation of constructive solutions of the Chilean housing stock was carried out. These solutions were simulated as thermal bridges in the THERM-software in order to determine the thermal transmission of the building envelope, the linear transmission in the PTG and the risks of humidity condensation. The results show a reduction of 30% in the heat loss transmission, but there are no thermal bridge breaks, so it is expected that in most of the thermal zones of Chile there are risks of condensation of humidity and therefore the proliferation of fungi and / or molds. Finally, in this article, recommendations for the breaking of PTG and the reduction of risks of condensation of humidity for the constructive solutions analyzed, are given.

Keywords: Simulation, Thermal Bridges, construction solutions

1. Introducción

En Chile más del 67% del total de viviendas fue construido antes de la primera Reglamentación Térmica (RT) la cual entró en vigencia el año 2000 (INE, 2016). En eso sentido, diversos autores han señalado que la mayor parte de las viviendas existentes han sido aisladas térmicamente de forma deficiente o simplemente carecen de ella (Martínez, Sarmiento & Urquieta, 2016)–(Ramos, 2012) y no ofrecen rangos de confort aceptables para sus usuarios (Hatt, Saelzer, Hempel & Gerber, 2012). Por otro lado se observa que en las viviendas construidas después de la primera RT tampoco hay una directa correlación entre el uso de aislación térmica establecida en las normativas vigentes y el confort térmico percibido por los usuarios (Espinosa, 2015). Adicionalmente con el mayor cerramiento y hermeticidad de las viviendas el fenómeno de condensación de humedad se ha transformado en un problema recurrente (Martínez, Sarmiento & Urquieta, 2016). En este trabajo se muestra cuales son los puntos donde existe mayor riesgo de condensación de humedad en viviendas que utilizan soluciones constructivas de acondicionamiento térmico propuestas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile.

2. Estado del arte del problema

En la primera etapa de la Reglamentación Térmica, se establecieron valores máximos de transmitancia térmica para la techumbre de las viviendas de cada una de las 7 zonas térmicas definidas para Chile. Así por ejemplo, se definió que la transmitancia térmica para los complejos de techumbre de las viviendas emplazadas en la zona térmica 1 (norte de Chile) no debía superar los 0,84 (W/m²K) mientras que para una vivienda emplazada en la zona 7 (sur de Chile) dicho valor no debía exceder los 0,25 (W/m²K) (MINVU, 2006). En la segunda etapa de la Reglamentación Térmica (año 2007) se establecieron valores máximos de transmitancia térmica para muros exteriores, pisos ventilados y ventanas con el fin de promover el uso de aislación térmica en la mayor parte de la envolvente.

Actualmente, se mantienen vigentes los valores que se establecieron en la segunda etapa de la Reglamentación Térmica, pero existen comunas que se declararon Zona Saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, por lo que se elaboraron medidas efectivas materializadas en Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA). Estos planes consideran dos medidas estructurales: 1) el acondicionamiento térmico de viviendas, el cual tiene por objetivo disminuir el requerimiento energético de la población, y 2) la sustitución de sistemas de calefacción contaminantes por sistemas eficientes y con menos emisiones a la atmósfera pero también las intradomiciliarias [7]. Aquí se debe destacar que adicionalmente se consideró el acceso a un subsidio para aislar térmicamente las viviendas existentes y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) de Chile ha propuesto una serie de soluciones constructivas representativas para lograr los mismos objetivos.

Sin embargo éstas medidas desde el punto de vista físico contribuyen a disminuir sólo las pérdidas de energía térmica por conducción pero no garantizan necesariamente confort térmico y cuando no se consideran aspectos relacionados con la humedad existen riesgos de condensación superficial del vapor de agua, generando una disminución de la calidad de aislación del envolvente de las viviendas y además existe el riesgo de proliferación de hongos o mohos.

Análisis higrotérmicos de las soluciones constructivas propuestas Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile no han sido realizadas. En este trabajo se realizó una compilación de soluciones constructivas representativas del parque residencial chileno basadas en el MINVU. Dichas soluciones fueron simuladas como puentes térmicos en el software THERM a fin de determinar la transmitancia térmica del envolvente, la transmitancia lineal en los PTG y los riesgos de condensación de la humedad. Los resultados de este trabajo contribuye a la detección de las zonas dónde mayores riesgos de condensaciones intersticiales de humedad existen. Aquí se muestran adicionalmente valores de transmitancia térmica del envolvente y la transmitancia lineal en los puentes térmicos geométricos a fin de generar una base de datos para determinar pérdidas por conducción en los edificios que utilicen las soluciones constructivas del MINVU. Finalmente en este artículo se entregan recomendaciones para el rompimiento de PTG y la reducción de riesgos de condensación de humedad para las soluciones constructivas analizadas.

3. Metodología

La metodología empleada para el análisis higrotérmico de las soluciones constructivas propuestas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo se realizó en base al software ThermCAD. ThermCAD se basa en Modelación de Elementos Finitos con una superficie de trabajo en CAD y permite la determinación de isoterms o temperaturas en ciertos puntos de la solución constructiva que se esté analizando. Este software es utilizado usualmente para el cálculo de las transmitancias lineales de los puentes térmicos y zonas de riesgos de condensación de la humedad.

Para realizar las simulaciones y análisis de las soluciones constructivas como puentes térmicos geométricos se realizaron los siguientes pasos: 1) Representación de puentes térmicos en ThermCad basados en las soluciones propuestas por el MINVU, 2) Determinación de las condiciones de contorno para las diversas representaciones, 3) Simulación de los puentes térmicos y determinación de transmitancias lineales de los puentes térmicos y zonas de riesgos de condensación de la humedad.

3.1 Representación de puentes térmicos en ThermCad basados en las soluciones propuestas por el MINVU.

Para realizar la representación de puentes térmicos en ThermCad se eligieron soluciones constructivas representativas basadas en los materiales mas usados en las construcciones en Chile, es decir; albañilerías con ladrillos, tabiquerías de madera y muros de hormigón armado. En primera instancia se consideraron soluciones constructivas sin aislación térmica a fin de determinar posteriormente el impacto en la reducción de pérdidas por conducción en viviendas que se

han realizado acondicionamientos térmicos. En segunda instancia, se simularon las soluciones constructivas con el acondicionamiento térmico propuesto por el Ministerio de Viviendas y Urbanismo. Dichas soluciones son aplicadas a viviendas que presentan la misma materialidad que las mencionadas anteriormente (albañilería, tabiquería de madera y hormigón armado), pero a diferencia de la primera simulación estas presentan diferentes sistemas de aislación térmica que ayudan a disminuir la transmitancia térmica en las viviendas.

3.2 Condiciones de contorno para las diversas representaciones.

Una vez realizada la representación de los distintos puentes térmicos a simular, complementadas con sus respectivas materialidades, se deben considerar las condiciones de contorno a las que se encuentran expuestas las viviendas. Aquí se debe señalar que es de suma importancia identificar los sectores que se encuentran calefaccionados en la vivienda, los sectores que no presentarán calefacción, los que se encontrarán bajo tierra y los que serán expuestos al aire libre, porque determinan la dirección y cuantía del flujo de calor. Dichas condiciones de contorno nos permiten tener en cuenta el flujo de la energía térmica que se considerara para la simulación final.

3.3 Simulación de los puentes térmicos y determinación de transmitancias lineales de los puentes térmicos y zonas de riesgos de condensación de la humedad.

Posterior a la definición de las condiciones de contorno se simularon los puentes térmicos y se determinaron las transmitancias térmicas lineales (Psi-Wert) y las zonas de riesgos de condensación de la humedad (F-Wert). Basado en la normativa alemana se definió que un F-wert inferior a 0.7 significaría que existen riesgos de condensación de humedad y proliferación de hongos y mohos. Aquí se debe mencionar que se realizaron distintas simulaciones de acuerdo con las temperaturas exteriores relacionadas a la zonificación térmica de Chile. Estas simulaciones se realizaron a fin de representar las posibles variaciones en los resultados en función de la zona térmica donde se evalúan dichos puentes térmicos. Por otro lado, para la temperatura interior se consideraron 20°C independiente para todas las zonas térmica.

Tabla 1: Clasificación de zonas térmicas de Chile. Elaboración propia basada en [8]

Zonas térmicas Chile	Grados-Día [Kd]	Temperaturas mínimas promedio [°C]
Zona térmica 1	≤ 500	12.1
Zona térmica 2	$> 500 - \leq 750$	8.3
Zona térmica 3	$> 750 - \leq 1000$	7.4
Zona térmica 4	$> 1000 - \leq 1250$	7.2
Zona térmica 5	$> 1250 - \leq 1500$	5.9
Zona térmica 6	$> 1500 - \leq 2000$	6.4
Zona térmica 7	> 2000	1.0

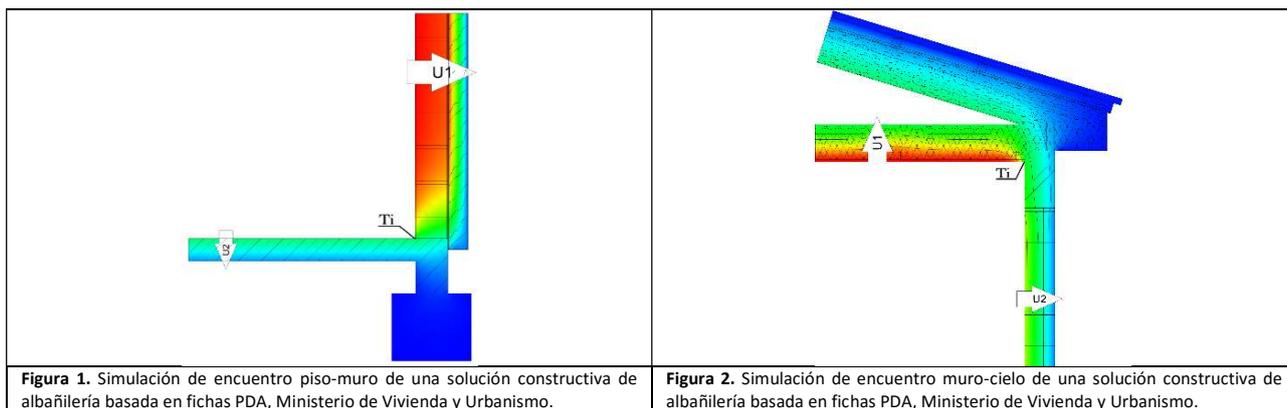
4. Resultados

Los resultados obtenidos mediante la simulación de puentes térmicos geométricos entre muro-piso y muro-cielo en viviendas residenciales chilenas se muestran en las *figuras del 1 al 6*. Estos resultados se presentarán de acuerdo con el tipo de materialidad que se componen los PTG. (albañilería, hormigón o madera).

4.1 Resultados de puentes térmicos geométricos en soluciones constructivas de albañilería

La *figura 1* muestra los resultados de la solución constructiva de acondicionamiento térmico propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se puede visualizar el puente térmico geométrico entre un muro de albañilería y radier. El muro de albañilería cuenta con aislación térmica exterior en base a sistema E.I.F.S, en donde los resultados obtenidos en transmitancia térmica para el muro (U1) alcanza los 0.3727 [W/m²K] y para el piso (U2) alcanza los 3.6697 [W/m²K]. Aquí se determinó que estos valores son un 15% menor que en las mismas soluciones constructivas sin aislamiento térmico. Los resultados obtenidos para el Psi-Wert y el F-Wert son 0.402 y 0.285 respectivamente. Lo que indica que no ha rompimiento del puente térmico y que en esa zona las pérdidas por conducción aumentarán casi al doble. Por otro lado como el F-Wert es inferior a 0.7 se deduce que en este tipo de solución constructiva existe el riesgo de condensación de humedad. Adicionalmente se identificó que en el vértice donde se conluyen el muro y el piso se obtiene la menor temperatura superficial interior (4.93°C) por lo que se espera que en ese punto hay mayores riesgos de condensaciones intersticiales.

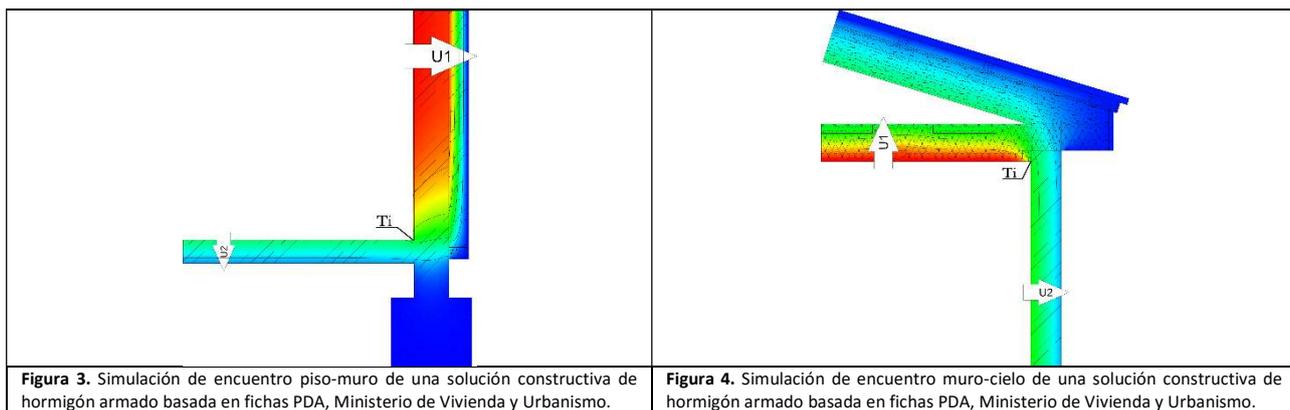
La *figura 2* muestra los resultados de la solución constructiva de acondicionamiento térmico propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se puede visualizar el puente térmico geométrico entre un muro de albañilería y una techumbre de madera. El cielo presenta aislación térmica en base a lana mineral, encontrándose entre el cielo y la techumbre un entretecho no calefaccionado. En este caso se consideró la transmitancia térmica del cielo ($U1$), el cual alcanza los $0.2203 [W/m^2K]$. Con relación al muro este presenta similares características a las ya mencionadas para el PT mostrado en la *figura 1*. Los resultados de la simulación muestran que la transmitancia térmica en el cielo es un 50% menor que en las mismas soluciones constructivas sin aislamiento térmico. Adicionalmente se obtuvo que el Psi-Wert y el F-Wert son 0.311 y 0.340 respectivamente. Lo que indica que al igual que en el PT de la *figura 1*, no hay rompimiento del puente térmico y que en esa zona las pérdidas por conducción aumentarán en un 30% con respecto a la transmitancia del muro. Por otro lado como el F-Wert es inferior a 0.7 se deduce que en este tipo de solución constructiva existe el riesgo de condensación de humedad. Adicionalmente se identificó que en el vértice donde se conluyen el muro y el cielo se obtiene la menor temperatura superficial interior ($7.15^{\circ}C$) por lo que se espera que en ese punto hay mayores riesgos de condensaciones intersticiales.



4.2 Resultados de puentes térmicos geométricos en soluciones constructivas de hormigón armado.

La *figura 3* presenta los resultados de la solución constructiva de acondicionamiento térmico propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se puede visualizar el puente térmico geométrico entre un muro de hormigón armado y radier. El muro de hormigón armado cuenta con aislación térmica exterior utilizando poliestireno expandido entre tabiquerías de madera como soporte, en donde los resultados obtenidos en transmitancia térmica para el muro ($U1$) alcanza los $0.3874 [W/m^2K]$ y para el piso ($U2$) alcanza los $3.6697 [W/m^2K]$. Aquí se determinó que estos valores son un 11% menor que en soluciones constructivas similares, pero sin aislamiento térmico. Los resultados obtenidos para el Psi-Wert y el F-Wert son 0.559 y 0.291 respectivamente. Lo que indica que no se produce un rompimiento del puente térmico y que en esa zona las pérdidas por conducción aumentarán en esa zona. Por otro lado, como el F-Wert es inferior a 0.7 , por ende, se deduce que en este tipo de soluciones constructivas existe el riesgo de condensación de humedad. Adicionalmente se identificó que en el vértice donde se conluyen el muro y el piso se obtiene la menor temperatura superficial interior ($5.75^{\circ}C$) por lo que se espera que en ese punto hay mayores riesgos de condensaciones intersticiales.

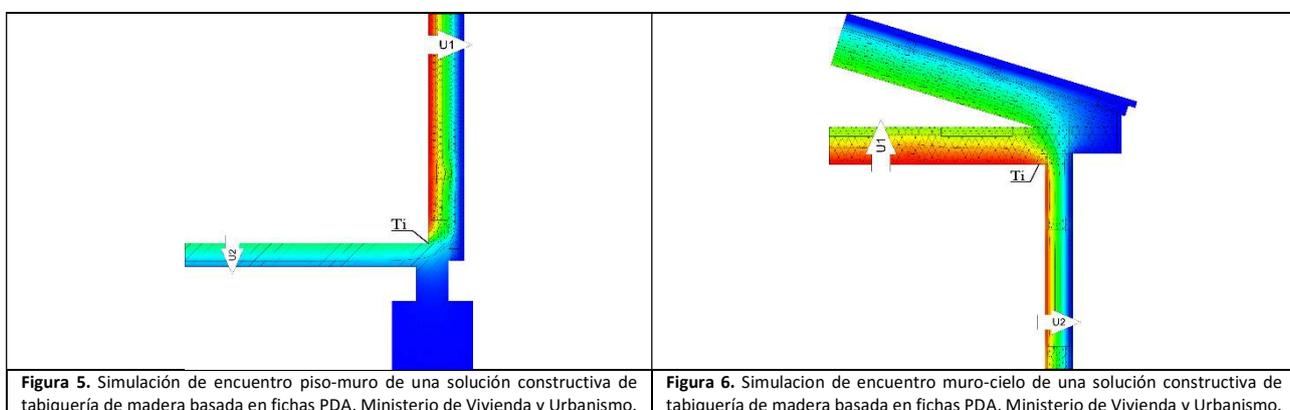
La *figura 4* presenta los resultados de la solución constructiva de acondicionamiento térmico propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se puede visualizar el puente térmico geométrico entre un muro de hormigón armado y una techumbre de madera. El cielo presenta aislación térmica en base a lana mineral, encontrándose entre el cielo y la techumbre un entretecho no calefaccionado. En este caso se consideró la transmitancia térmica del cielo ($U1$), el cual alcanza los $0.2203 [W/m^2K]$. Con relación al muro este presenta similares características a las ya mencionadas para el PT mostrado en la *figura 3*. Los resultados de la simulación muestran que la transmitancia térmica en el cielo es un 50% menor que en las mismas soluciones constructivas sin aislamiento térmico. Adicionalmente se obtuvo que el Psi-Wert y el F-Wert son -0.011 y 0.334 respectivamente. Lo que indica que a diferencia del PT presentado en la *figura 3*, ocurre un rompimiento del puente térmico y que en esa zona las pérdidas por conducción serán menores en relación a las transmitancias térmicas del muro y cielo. Por otro lado, como el F-Wert es inferior a 0.7 se deduce que en este tipo de solución constructiva existe el riesgo de condensación de humedad. Adicionalmente se identificó que en el vértice donde se conluyen el muro y el cielo se obtiene la menor temperatura superficial interior ($7.13^{\circ}C$) por lo que se espera que en ese punto hay mayores riesgos de condensaciones intersticiales.



4.3 Resultados de puentes térmicos geométricos en soluciones constructivas de tabiquería de madera.

La *figura 5* muestra los resultados de la solución constructiva de acondicionamiento térmico propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se puede visualizar el puente térmico geométrico generado entre un muro de tabiquería de madera y radier. El muro de tabiquería cuenta con aislación térmica interior y exterior utilizando lana mineral, en donde los resultados obtenidos en transmitancia térmica para el muro ($U1$) alcanza los $0.2822 [W/m^2K]$ y para el piso ($U2$) alcanza los $3.6697 [W/m^2K]$. Aquí se determinó que estos valores son un 79% menor que en las mismas soluciones constructivas pero que no presentan aislación térmica. Los resultados obtenidos para el Ψ -Wert y el F -Wert son 0.386 y 0.262 respectivamente. Lo que indica que no se produce un rompimiento del puente térmico y que en esa zona las pérdidas por conducción aumentarán. Por otro lado, como el F -Wert es inferior a 0.7 se deduce que en este tipo de solución constructiva existe el riesgo de condensación de humedad. Adicionalmente se identificó que en el vértice donde se conluyen el muro y el piso se obtiene la menor temperatura superficial interior ($3.57^\circ C$) por lo que se espera que en ese punto hay mayores riesgos de condensaciones intersticiales.

La *figura 6* muestra los resultados de la solución constructiva de acondicionamiento térmico propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se puede visualizar el puente térmico geométrico entre un muro de tabiquería de madera y una techumbre de madera. El cielo presenta aislación térmica en base a lana mineral, encontrándose entre el cielo y la techumbre un entretecho no calefaccionado. En este caso se consideró la transmitancia térmica del cielo ($U1$), el cual alcanza los $0.2203 [W/m^2K]$. Con relación al muro este presenta similares características a las ya mencionadas para el PT mostrado en la *figura 5*. Los resultados de la simulación muestran que la transmitancia térmica en el cielo es un 50% menor que en las mismas soluciones constructivas sin asilamiento térmico. Adicionalmente se obtuvo que el Ψ -Wert y el F -Wert son 0.125 y 0.823 respectivamente. Lo que indica que al igual que en la *figura 5* no hay rompimiento del puente térmico. Por otro lado, como el F -Wert es superior a 0.7 se deduce que a diferencia de la *figura 5*, en este tipo de solución constructiva no existe el riesgo de condensación de humedad. Adicionalmente se identificó que en el vértice donde se conluyen el muro y el cielo se obtiene la menor temperatura superficial interior ($17.20^\circ C$) por lo que se espera que en ese punto los riesgos de condensaciones intersticiales son mínimas.



Discusión y Conclusiones

En este trabajo se analizan desde el punto de vista higrotérmico las soluciones constructivas de acondicionamiento térmico propuestas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. Para ello se cuantificó las pérdidas por transmisión en los muros y en los puentes térmicos geométricos (PTG), adicionalmente se analiza los riesgos de condensación de la humedad en los puntos mas desfavorables de las soluciones constructivas.

Se determinó que si bien las soluciones propuestas contribuyen a disminuir las pérdidas por transmisión, éstas no garantizan temperaturas superficiales interiores que disminuyan los riesgos de condensación de la humedad y no siempre se rompen los puentes térmicos. Se observa que el uso de aislantes térmicos tiene mayor impacto en las soluciones constructivas de madera que en las de albañilería u hormigón. Adicionalmente los resultados muestran que en casi todas las soluciones constructivas propuestas no se rompen los puentes térmicos y se prevé que en la mayoría de las zonas térmicas de Chile existirán riesgos de condensación de la humedad y por ende la proliferación de hongos y mohos.

Referencias

- INE, "Censos de Población y Vivienda in, Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago de Chile." Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago de Chile, 2016.
- P. Martínez, P. Sarmiento, and W. Urquieta, "Evaluación de la humedad por condensación dentro de viviendas sociales," vol. 20, no. 55, pp. 154–165, 2009.
- T. Hatt, G. Saelzer, R. Hempel, and A. Gerber, "Alto confort interior con minimo consumo energetico a partir de la implementacion del estandar 'Passivhaus' en Chile," Rev. la Constr., vol. 11, no. 2, pp. 123–134, 2012.
- N. P. R. Ramos, "Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción," Universidad de Chile, 2011.
- C. A. Espinosa C., "Confort higo-térmico en vivienda social y la percepción del habitante," Rev. invi N°85/noviembre, 2015.
- MINVU, "Manual de aplicacion reglamentacion termica," Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile, 2006.
- MMA, "Plan de Descontaminación Atmosférica MP 2,5. Decreto Supremo número 8." Ministerio del Mediambiente, Santiago, Chile, 2015.
- DMCh, "Anuario climatologico," Santiago, Dirección Meteorologica de Chile, 2010.