

# Comportamiento térmico en condiciones de invierno de panel de fachada basado en aislamiento reflectivo para viviendas de emergencia en Chile



## Thermal performance under winter conditions of a reflective insulation based wall panel for emergency houses in Chile



Miguel-Angel Galvez-Huerta<sup>1</sup>, Nina Hormazabal-Poblete<sup>1</sup>, Pablo Sills-Garrido<sup>1</sup>, Tomás Gil-Lopez<sup>2</sup> y Rubén Felices-Puertolas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Federico Santa María. Dpto. de Arquitectura. Av. España, 1680 - Valparaíso (Chile).

Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación. <sup>2</sup> Departamento de Tecnología de la Edificación y <sup>3</sup> Departamento de Construcción. Av. Juan de Herrera, 6 - 28040 Madrid (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9017> | Recibido: 29/10/2018 • Inicio Evaluación: 30/10/2018 • Aceptado: 15/04/2019

### ABSTRACT

• Casa FÉNIX solution for the emergency is a modular and progressive construction system based on a prefabricated timber structure that provides a great variety of growing possibilities. This initiative, originally conceived to take part in the 2014 Solar Decathlon Europe Competition, is central to many research activities carried out by the Department of Architecture of the Santa María Technical University of Valparaíso, Chile, the most recent of which is the FONDEF IDeA project "Systematization of non-structural components for an emergency house".

Within the framework of this research, a lightweight, easy-to-assemble, low-cost wall solution has been developed. It consists on a sandwich panel composed of an expanded polystyrene (EPS) core and a cardboard honeycomb reinforcement on both sides, which constitutes air chambers. The inclusion of reflective layers on each of the sides of the air chambers significantly increases the thermal resistance of the element with no significant weight increase.

The work addresses the winter performance of the aforementioned wall element variations, characterized by their thermal transmittances, U. The study has been carried out with analytical (UNE-EN-ISO 6946) and computational (THERM) models, which have been compared and validated by means of experimental tests.

Transmittance tests carried out for different variations of the solution show compliance with the regulatory requirements for the three climatic zones of central Chile that gather 60% of the country's population. From these data a complete set of alternatives have been developed in order to respond to the different thermal demands of nine climatic zones of the country, that range from the aridity of the Atacama Desert to the cold Patagonian regions

• **Keywords:** Vivienda de emergencia, Panel de fachada, Aislamiento reflectivo, Simulación térmica. Transmisión de calor.

### RESUMEN

La solución para la emergencia Casa FENIX es un sistema modular y progresivo basado en una estructura de madera de rápido montaje y muy versátil en cuanto a su crecimiento y capacidad de extensión. Esta iniciativa, inicialmente pensada para participar en la competencia Solar Decathlon Europe (SDE) 2014 se encuentra en el centro de varias investigaciones en las que se encuentra inmerso el grupo de investigación que la desarrolla.

Entre ellas, en el marco del proyecto FONDEF IDeA en dos etapas "Sistematización de componentes no estructurales para vivienda de emergencia" se ha desarrollado una solución de fachada ligera, de fácil montaje y bajo costo a base de panel sándwich compuesto de un núcleo de poliestireno expandido y un refuerzo de honeycomb de cartón por ambas caras, configurando cámaras de aire. La inclusión de hasta cuatro láminas reflectantes en las paredes de las cámaras permite aumentar considerablemente la resistencia térmica del conjunto sin incrementar su peso. Ensayos de transmitancia realizados para distintas variantes de la solución demuestran el cumplimiento de las actuales exigencias normativas para las tres zonas climáticas del centro de Chile que agrupan el 60% de la población del país. A partir de estos datos se han elaborado las variantes necesarias para responder a las exigencias de las 9 zonas climáticas del país, que van de la aridez del desierto de Atacama a los fríos patagónicos.

El trabajo que se presenta ahora se centra en analizar el comportamiento en invierno de las variantes del elemento constructivo descrito, caracterizadas por su transmitancia térmica, U. El análisis se ha llevado a cabo con modelos analíticos (norma UNE) y computacionales (software THERM), cuyos resultados se han comparado y validado por medio de ensayos de laboratorio.

Ensayos de transmitancia realizados para distintas variantes de la solución demuestran el cumplimiento de las actuales exigencias normativas para las tres zonas climáticas del centro de Chile que agrupan el 60% de la población del país. A partir de estos datos se han elaborado las variantes necesarias para responder a las exigencias de las 9 zonas climáticas del país, que van de la aridez del desierto de Atacama a los fríos patagónicos.

**Palabras clave:** Emergency housing, light-weight wall panel, reflective insulation, thermal simulation, heat transmission.

### 1. INTRODUCCIÓN

La solución para la emergencia Casa FENIX [1] es un sistema modular y progresivo basado en una estructura de madera de rápido montaje y muy versátil en cuanto a su crecimiento y capacidad de extensión (figura 1). La bondad de la solución radica en que no sólo sirve como respuesta al problema ocasional de la emergencia, sino en que también puede constituirse en germen de vivienda permanente, dotada de los estándares de habitabilidad mínimos exigibles a toda construcción de esta índole. Así, se caracteriza por proponer un proceso de diseño para una reconstrucción en 3 etapas: la de emergencia, con el módulo de emergencia (survival mo-

dule, SM), hasta los 6 meses, la de alivio que incorpora el módulo mecánico (mechanical module, MM), que puede prolongarse hasta 2 años y finalmente la reconstrucción, cuya duración depende de la magnitud de la catástrofe, y que incluye otros módulos, el de habitación (living module, LM) y el de galería solar (sun space, SS) en distintas cantidades.

minio. Esta solución aumenta considerablemente el nivel de aislamiento gracias a las propiedades radiantes de la lámina dentro de la cámara [3, 4]. El panel tiene como acabados una plancha de contrachapado ranurado al interior y una chapa metálica al exterior, aunque estos revestimientos pueden variar según consideraciones estéticas. El panel se construye con un bastidor perimetral

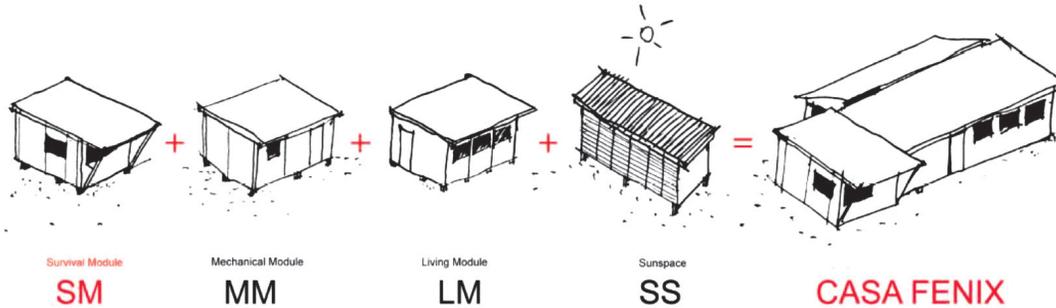


Fig. 1: Conceptos de modularidad y progresividad de la Casa FENIX

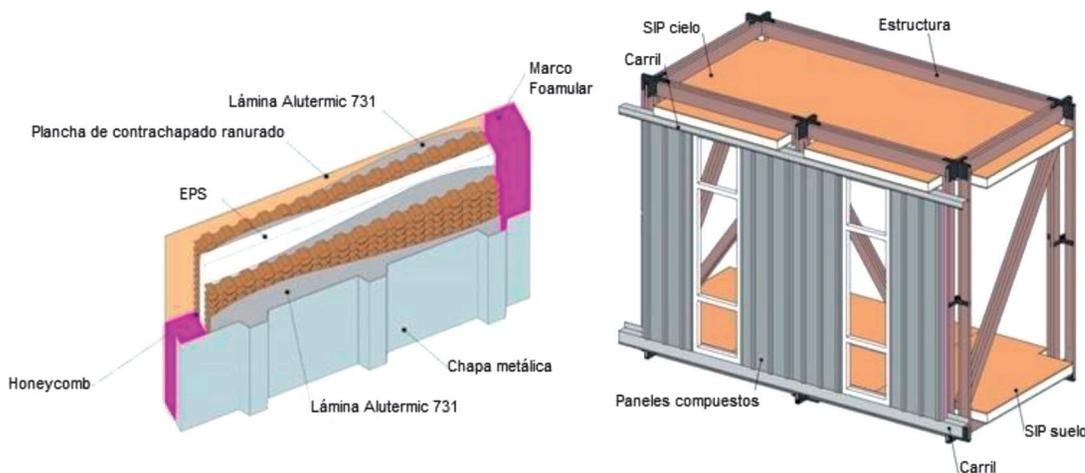


Fig. 2: Solución de panel de fachada y sistema de montaje. Fuente: C. López [5]

Esta iniciativa, inicialmente pensada para participar en la competencia Solar Decathlon Europa 2014, se encuentra en el centro de varias investigaciones en las que se encuentra inmerso el grupo de investigación que la desarrolla: una primera vía ha desembocado en su materialización como solución para la reconstrucción del incendio urbano de Valparaíso de 2014 [2].

Actualmente, una nueva vía estudia la solución de su envolvente y de un muro técnico industrializado para albergar las instalaciones, componentes que se desarrollan ambos bajo el paraguas del proyecto FONDEF IDeA en dos etapas "Sistematización de componentes no estructurales para vivienda de emergencia". En el marco de este proyecto se trató de resolver un sistema de cerramiento de fachada mediante paneles no estructurales que pudiera ser armada y desarmada en poco tiempo. En este sentido, las principales exigencias fueron la ligereza, la modularidad, el bajo coste y el buen comportamiento térmico.

La solución finalmente adoptada fue la de un panel de fachada de 0,60 m de ancho y 2,40 m de alto compuesto de un núcleo de poliestireno expandido que lleva adosado a uno o ambos lados cámaras de aire conformadas por un trillaje rigidizador (por medio de un honeycomb de cartón suministrado en espesores variables de 2 a 5 cm). Las superficies de contacto entre el núcleo aislante y las cámaras se realizan con papel kraft armado con polietileno y revestido hacia el interior de la cámara por una lámina de alu-

minio de material aislante impermeable como es el poliestireno extruido (figura 2).

Para minimizar los puentes térmicos, la unión vertical entre paneles se hace es del tipo caja y espiga conformadas en el bastidor perimetral. El elemento tiene finalmente un sistema de junta a presión que garantiza la estanqueidad al aire y agua y permite su fácil montaje y desmontaje desde el interior.

Con el fin de poder adaptar esta solución a las diferentes zonas climáticas chilenas se ha llevado a cabo la investigación descrita en esta comunicación, de acuerdo con la metodología que se desarrolla a continuación.

## 2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Se parte de tres variantes de la solución constructiva antes descrita a las que se somete a ensayos experimentales para obtener sus transmitancias térmicas. Estos ensayos servirán para validar la posterior utilización de modelos analíticos y computacionales, con los que abordar de manera más fácil el proceso de diseño que permita adaptar la solución a los requerimientos exigidos para las distintas zonas climáticas chilenas, tanto en condiciones de invierno (lo que se realiza en este trabajo) como de verano (lo que se espera realizar en futuras investigaciones).

1. Tablero contrachapado ranurado Araucopy 9 mm modelo Noble
2. Honeycomb cartón Celhex e. cartón 0,5 mm
3. Aislamiento de XPS (d. 35 kg/m<sup>3</sup>)
4. Aislamiento de EPS (d. 20 kg/m<sup>3</sup>)
5. Chapa de zinc 5V (e. 0,5 mm)
6. Lámina Alutermic 731 e. 0,08 mm con tres capas:  
Aluminio 18,9 g/m<sup>2</sup> (e. 0,007 mm), siempre hacia la cámara  
Polietileno 15 g/m<sup>2</sup> (e. 0,05 mm)  
Kraft 60 g/m<sup>2</sup> (e. 0,02 mm)

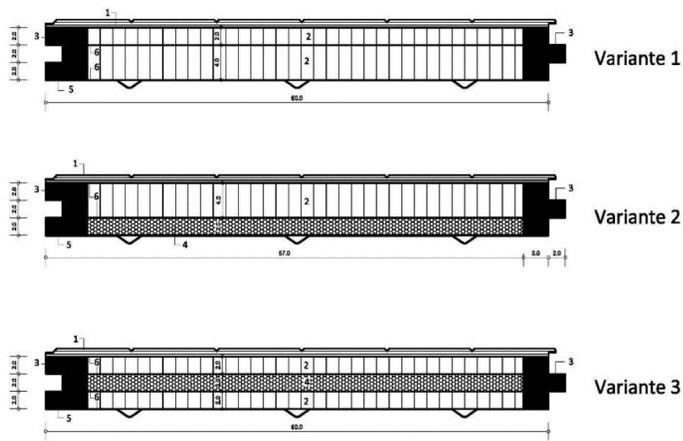


Fig. 3: Composición de las tres variantes estudiadas

### 2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIANTES ANALIZADAS

En primer lugar se identificaron tres variantes de la solución constructiva antes descrita (figura 3), apropiadas para la mayor parte del territorio chileno según la normativa térmica vigente [6].

- Variante 1: Dos capas de honeycomb, de 4 cm y 2 cm de espesor cada una sin núcleo de aislamiento. Estos trillajes quedan separados por un papel Kraft con lámina reflectante a ambos lados.
- Variante 2: Una capa de honeycomb de 4 cm al exterior y un núcleo de aislamiento de poliestireno expandido de 2 cm. El aislamiento lleva barrera de vapor al interior y lámina reflectante hacia el trillaje.
- Variante 3: Dos capas de honeycomb de 2 cm a ambos lados de un núcleo de aislamiento de poliestireno expandido de 2 cm, con láminas reflectantes hacia las cámaras.

### 2.2. ENSAYOS EXPERIMENTALES

La transmitancia térmica de los elementos descritos se obtuvo experimentalmente según el procedimiento descrito en la norma chilena correspondiente [7]. Un breve resumen de este procedimiento se describe a continuación:

Para realizar este ensayo los paneles se montan en marcos prefabricados, de dimensiones 110 x 150.

La sujeción al borde se hace con espuma de poliuretano y las uniones entre paneles se sellaron con silicona y cinta 3M. En este caso los paneles se han montado con las juntas en horizontal y, en previsión de que presentara poca resistencia mecánica, se ha construido un bastidor de madera para rigidizar la parte central que es la que se ensaya en realidad.

Este bastidor se mete en la cámara de guarda, con dos paredes paralelas de 100 x 100 cm de superficie sobre las que se imponen las condiciones del aire exterior e interior mediante un equipo de refrigeración de pequeña potencia y unas resistencias eléctricas, respectivamente. Las temperaturas del aire se miden con ocho termopares en cada lado. El mismo número y disposición de termopares se colocan en las caras del panel a ensayar.

Cuando las medidas de temperatura de las paredes se han establecido (lo que puede llevar días) se mide el flujo de calor que pasa, a

partir del que se obtiene la transmitancia. La cámara de guarda tiene un anillo perimetral aislante que supuestamente garantiza que no hay flujo de calor en esa dirección y que todo el flujo es perpendicular a la pared. Para asegurar esta condición el ensayo se realiza metiendo la cámara de guarda en otra de mayor tamaño, de la que se conocen sus pérdidas y con la que se corrige el valor obtenido.

### 2.3. CÁLCULO ANALÍTICO DE TRANSMITANCIAS

La estimación analítica de las resistencias térmicas de este elemento constructivo se llevó a cabo según método de cálculo especificado en el anexo B de la norma UNE-EN-ISO 6946:1996 [8].

Los valores de las conductividades térmicas [9, 10] y emisividades [11] de las tres soluciones utilizadas en los cálculos se resumen en la siguiente tabla (Tabla I):

Material	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Emisividad (-)
Contrachapado	0,13	(-)	0,8
Alutermic 731	(-)	(-)	0,2
EPS	0,037	20	0,8
XPS	0,037	35	0,8
Chapa metálica	50	(-)	0,2

Tabla I: Propiedades de los materiales

### 2.4. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

Por lo que se refiere a la simulación de los paneles, pese a la intención inicial de usar un modelo CFD en ANSYS como es práctica habitual de los autores [12, 13], se han llevado finalmente a cabo con un programa de elementos finitos, THERM [14], un software de cálculo que permite analizar en dos dimensiones la transmitancia de muros y visualizar los puentes térmicos que se generan en los edificios. En cuanto a su potencial, se destaca que permite incorporar cualquier tipo de material del que se conozcan su conductividad y emisividad. Además, el cálculo de las transmitancias permite incorporar los coeficientes de resistencia de aire interiores y exteriores, las temperaturas y la radiación directa que puede impactar sobre una de las caras. Conviene indicar que sus resultados en las cámaras de aire resultan más precisos que el procedimiento analítico, ya que ajusta las emisividades de los materiales adyacentes y, en función de la temperatura real que obtiene de la simulación, otorga un valor preciso del coeficiente de conductividad de la cámara de aire.

Por lo que se refiere a los ajustes que han tenido que realizarse al utilizar el programa, se destacan los siguientes:

- El espesor de la capa de Alutermic ha tenido que ser ajustado a 0,1mm, ya que es el valor menor que admite el programa. Aun así es 100 veces menor al que admiten otros programas como el HLUC y el CE3X, empleados en España. La resistencia del Alutermic se ha obtenido como resistencia total de los tres materiales que lo componen.
- El elemento Alutermic tiene dos caras con emisividades muy diferentes, por lo que se han tenido que incorporar dos materiales con igual conductividad y diferente emisividad en el panel 1. Es el único en el que dos cámaras de aire se encuentran separadas por el Alutermic, por lo que los resultados eran completamente incoherentes al ejecutarlo de cualquier otra manera.
- Los materiales empleados en las simulaciones se han caracterizado con conductividades y emisividades iguales a las especificadas en el cálculo analítico (Tabla 1). Sólo en el caso del Alutermic, se han modificado las emisividades empleadas que han pasado a 0,1 y 0,8, en lugar de 0,2 y 0,8.

- Se han analizado todos los paneles por el método de conducción en una dirección, asignando como condición de frontera exterior 5°C y 25 W/m<sup>2</sup>K, y como condición interior 20°C y 7,692 W/m<sup>2</sup>K.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis comparativo realizado se ha dividido en tres fases: Primero se ha analizado un metro lineal de elemento constructivo comparando los resultados de los ensayos, el cálculo analítico y la simulación THERM; luego se ha utilizado esta simulación para evaluar el comportamiento de un panel completo incorporando sus laterales de EPS; y para finalizar, con la misma herramienta se ha analizado el resultado si en las paredes de las cámaras de aire se hubiera utilizado un material de emisividad  $\epsilon = 0,80$  en lugar del Alutermic 731.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras: En las simulaciones realizadas sobre un metro lineal se han obtenido valores muy cercanos a los indicados en los ensayos para la transmitancia. De hecho, los paneles 1 y 2 tienen los mismos resultados en la simulación y en el ensayo.

Si se cambian en los cálculos analíticos las emisividades de 0,2 por valores de 0,1, se obtendrán los mismos valores de transmitancia que en la simulación, y por tanto, que en el ensayo. El empleo de diferente emisividad para el aluminio del Alutermic resulta de la consulta de fuentes acerca de la emisividad del aluminio pulido, en las que se sitúa en torno a 0,1.

Estas dos reflexiones conducen al resultado anómalo obtenido para el panel 3. Si en la simulación se le indica que la emisividad sea de 0,2, el resultado sería una transmitancia de 0,52, lo que lo iguala con el resultado del cálculo analítico. O viceversa, si a ese modelo analítico se le indica que las emisividades de las cámaras sean de 0,1, la transmitancia obtenida sería de 0,48, igualándolo al resultado obtenido en la simulación.

La suma de estas consideraciones lleva a pensar que en el panel 3 se ha introducido alguna variable errónea, sobre la que se hacen las siguientes hipótesis que asumen deficiencias en la elaboración de la muestra ensayada: Una primera posibilidad es la de que en el ensayo la disposición del material Alutermic no sea con la cara de aluminio hacia la cámara en alguna de las cuatro posiciones en que se encuentra en el panel 3. Si esto hubiera ocurrido, la transmitancia del elemento se acercaría a los valores indicados en el ensayo. Sin embargo, la hipótesis más razonable es la de que en el ensayo se empleara un núcleo de XPS en lugar del EPS, asumiendo que estos materiales

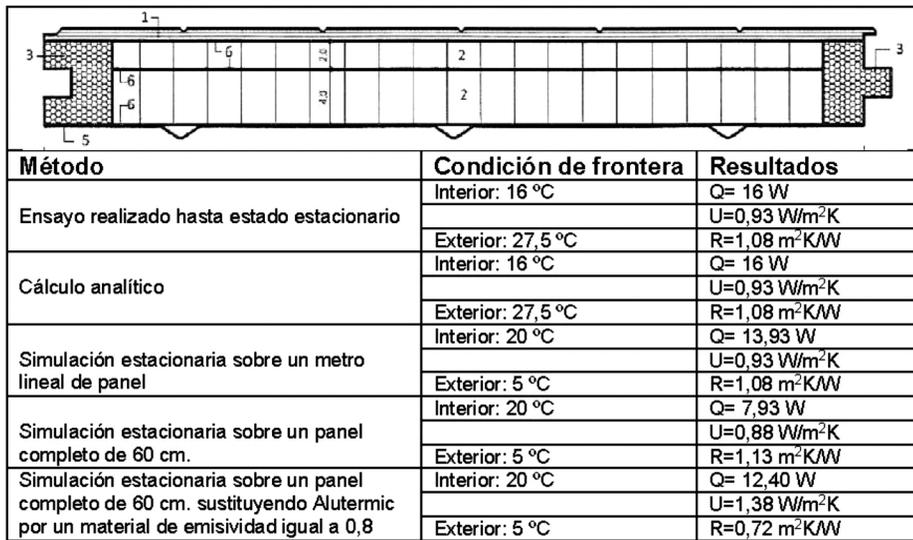


Fig. 4: Resultados del Panel 1

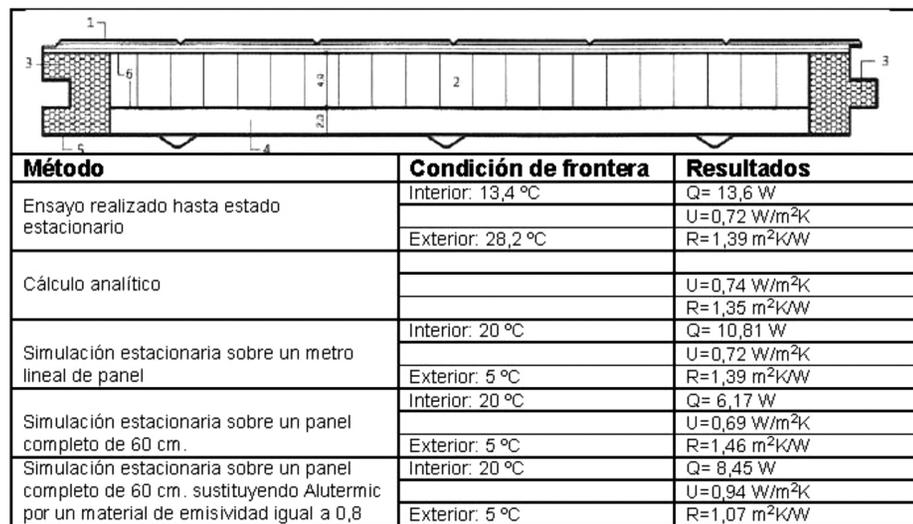


Fig. 5: Resultados del Panel 2

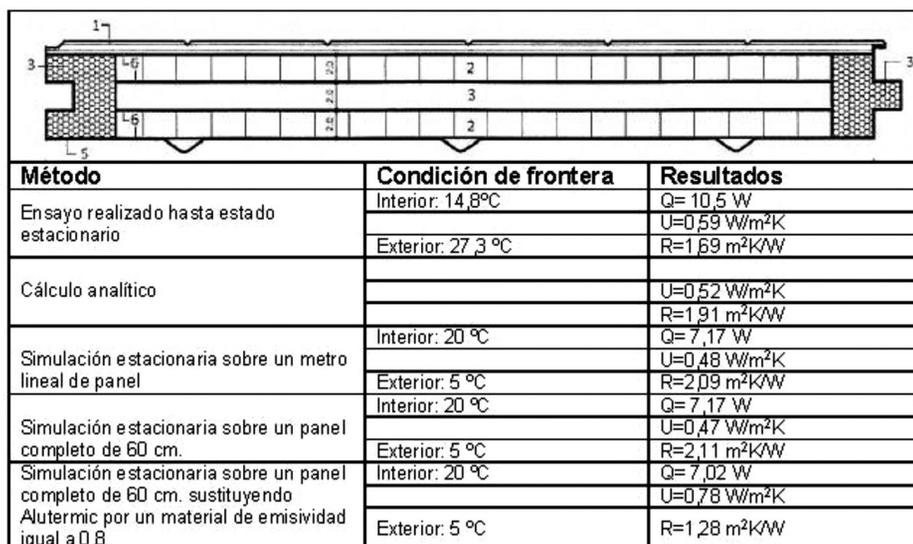


Fig. 6: Resultados del Panel 3

tienen diferentes conductividades. Ciertamente, a pesar de que en las características indicadas en la tabla 1, ambas conductividades fueran iguales (0,037 W/mK), dado que ambos materiales tienen diferente densidad, deberían tener diferente conductividad. De hecho, la conductividad necesaria para que tanto los cálculos analíticos como la simulación den el mismo resultado que el ensayo es de 0,029 W/mK. Este valor coincide con las especificaciones del XPS comercial de la densidad indicada [15].

Para los tres paneles, la variante 1 sobre un panel completo que incluya sus laterales de EPS confirma que su disposición en los laterales disminuye levemente la transmitancia, por lo que resulta una buena solución para el acabado lateral de los paneles.

#### 4. PROPUESTAS DE APLICACIÓN

La validación experimental del método analítico de la norma UNE permite usar este método para proponer de manera sencilla numerosas variantes de la solución constructiva para las zonas climáticas consideradas tanto en la norma térmica chilena [16] como en otros documentos de buenas prácticas constructivas utilizados en Chile [17, 18]. A este respecto se realiza la siguiente propuesta (Tabla II):

Zona	Composición núcleo <sup>(1)</sup>			Posición Alutermic <sup>(2)</sup>	R (m <sup>2</sup> K/W)	U <sup>(3)</sup> (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>límite</sub>
	Exterior	Centro	Interior				
A	HC 4	(-)	HC 2	2	0,967	1,034	2,10
B	HC 2	EPS 3	HC 3	2, 3 y 4	2,077	0,482	0,50
C	(-)	EPS 2	HC 4	3	1,262	0,793	0,80
D	HC 2	EPS 2	HC 2	2 y 3	1,707	0,586	0,60
E	HC 2	EPS 4	HC 2	3	2,024	0,494	0,50
F	HC 2	EPS 4	HC 2	2, 3 y 4	2,335	0,428	0,45
G	HC 2	EPS 5	HC 3	2, 3 y 4	2,617	0,382	0,40
H	HC 4	EPS <sup>(4)</sup> 6	HC 2	1, 2, 3 y 4	3,357	0,298	0,30
I	HC 3	EPS 6	HC 3	1, 2, 3 y 4	2,979	0,366	0,35

- (1) Las siglas utilizadas responden a los siguientes significados:  
 - HC: Honeycomb cartón Celhex. El número indica espesor en cm  
 - EPS: Poliestireno expandido densidad 20 kg/m<sup>3</sup>. El número indica espesor en cm  
 (2) Los números que indican la posición de la lámina reflectiva significan:  
 - Posición 1: Separación chapa-HC exterior  
 - Posición 2: Separación HC exterior-EPS  
 - Posición 3: Separación EPS-HC interior  
 - Posición 4: Separación HC interior-terciado  
 (3) Las transmitancias declaradas se obtienen con el núcleo descrito y los acabados superficiales siguientes:  
 - Exterior: chapa de cinc de 0,3 mm  
 - Interior: terciado ranurado Arucopy 9 mm  
 (4) En la zona climática H se contempla el uso de EPS con menor conductividad (0,030 W/mK) que en el resto (0,037 W/mK)

Tabla II: Propuesta de solución para zonas climáticas según NTM11/2

En ella se aprecia que, dado las ventajas que brinda el aislamiento reflectivo en las cámaras, los espesores de los elementos constructivos (máximo de 12 cm) son considerablemente menores que los que se obtendrían con el uso del aislamiento tradicional, basado en la conducción del calor [19].

Como la mayoría de las normativas térmicas, la chilena está pensada para el invierno, y en consecuencia centrada en mejorar los niveles de aislamiento y la hermeticidad de los edificios. Sin embargo, estas exigencias pueden contribuir al sobrecalentamiento de los espacios en verano, problema que se agudiza en los actuales escenarios de cambio climático. Así, la metodología utilizada en este trabajo puede convertirse en una sencilla herramienta de análisis y diseño para optimizar el comportamiento de los cerramientos compuestos con cámaras de aire y aislamiento reflectivo en condiciones de verano, cuando adquiere importancia el efecto de la radiación solar [20].

#### 5. CONCLUSIONES

Se ha utilizado una simulación computacional de un sencillo modelo 2D para determinar la transmitancia térmica de un cerramiento ligero de fachada basado en aislamiento reflectivo, sobre el que se han desarrollado y analizado tres variantes constructivas diferentes.

Los resultados de transmitancia térmica obtenidos concuerdan con los de ensayos experimentales realizados por el procedimiento de cámara de guarda. También existe concordancia con los resultados que arroja el método analítico de la norma UNE-EN-ISO 6946: 1996.

Esta concordancia de resultados permite contar con una sencilla y fiable herramienta para el diseño de cerramientos de fachada basados en el aislamiento reflectivo.

Esta herramienta se ha aplicado al diseño de soluciones específicas para nueve zonas climáticas chilenas, resultando en cerramientos de fachada de espesores considerablemente inferiores a los que se consiguen con aislamiento conductivo.

La metodología utilizada en este trabajo puede también convertirse en herramienta de diseño para los cerramientos compuestos con cámaras de aire y aislamiento reflectivo en condiciones de verano.

#### REFERENCIAS

- [1] Hormazabal N, "Casa FÉNIX for Emergency Post-Natural Impact Extreme". En ASHRAE Annual Conference, Atlanta, USA, 2015.
- [2] Hormazabal, N, Gálvez, M.A, Sills, P, Pino, A, Rojas, S, Carrasco, A, Sepúlveda, C, "Casa FÉNIX. From the SDE 2014 Competition to the reconstruction after the 2014 urban fire of Valparaíso". En Passive and Low Energy Architecture Conference, Bolonia, Italia, 2015.
- [3] Saber, H.H, "Investigation on thermal performance of reflective insulation for different applications", Building and Environment, 2012, 52, pp. 32-44.
- [4] Saber, H.H, "Practical correlations for the thermal resistance of vertical enclosed airspaces for building applications" Building and Environment, 2013, 59, pp. 379-396. 10.1016/j.buildenv.2012.09.003
- [5] López C, Innovación en muro envolvente (a partir de paneles prefabricados no estructurales), Memoria para optar al título de Arquitecto, Universidad Técnica Federico Santa María, 2016.
- [6] Chile. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Ministerio de Vivienda y Urbanismo. D.S. n° 47 de 1992. Actualizado a noviembre de 2018. <http://bcn.cl/1uyvr>.
- [7] Chile. Norma Chilena Oficial NCh 851:2008. Aislación térmica - Determinación de la resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas. Cámara térmica calibrada y de guarda, puentes térmicos y discontinuidades.
- [8] España. UNE-EN-ISO 6946:1996. Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.
- [9] España. Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. Catálogo de elementos constructivos del CTE. CSIC. Ministerio de la Vivienda, 2010. Capítulo 3. Materiales y Productos
- [10] Chile. Norma Chilena Oficial NCh 1070. Poliestireno Expandido - Requisitos.
- [11] 2013 ASHRAE Handbook. Fundamentals (SI), American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2013, 4.12, Table 5
- [12] Gil-Lopez T, Galvez-Huerta M.A, O'Donohoe P.G, Castejon-Navas J, "Analysis of the influence of the return position in the vertical temperature gradient in displacement ventilation systems for large halls", Energy and Buildings, 2017, 140, pp. 371-379.
- [13] Gil-Lopez T, Galvez-Huerta M.A, Castejon-Navas J, O'Donohoe P.G, "Compliance with energy savings and labour legislation requirements in wide-open industrial buildings refurbishment", Dyna 2018, 93, p.155-159.
- [14] THERM. Lawrence Berkeley Laboratory, <https://windows.lbl.gov/software/therm>
- [15] Dow Chemical Co. Building solutions. Insulating buildings with STYROFOAM. 2006.
- [16] Chile. NTM11/2 2014. Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico (Anteproyecto).
- [17] Chile. Norma Chilena Oficial NCh 1079 Of.2008. Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Instituto Nacional de Normalización. INN Chile. Primera edición, 2008. Corregida y reimpresa, 2010.
- [18] WAA. Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de diseño y obras de la Dirección de Arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipologías de edificios. MOP, 2014.
- [19] Jelle, B.P., Kalnaes, S.E., Gao, T. "Low emissivity materials for building applications", Energy and Buildings, 2015, 96, pp. 329-356. 10.1016/j.enbuild.2015.03.024
- [20] Muscio A, Akbari H, "An index for the overall performance of opaque building elements subjected to solar radiation", Energy and Buildings, 2017, 157, p 184-194.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT), por su financiación del proyecto FONDEF IDeA en 2 etapas ID14110435 de título "Sistematización de componentes no estructurales para vivienda de emergencia".