

# **Método de Simulación por redes (MESIR) aplicado a la simulación numérica del fenómeno de la transmisión del calor a través de un puente térmico. Aplicaciones: envolvente de vivienda y captador solar térmico.**

M. Seco-Nicolás<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Doctorado Química Básica y Aplicada. Ingeniería Energética, manuel.seco@um.es

## **1. Introducción**

El Método de Simulación por Redes, o MESIR (Alarcón García, 2001), es un conocido método numérico basado en la similitud formal entre las leyes que rigen los circuitos eléctricos y las de los procesos de difusión, que ha demostrado su capacidad incluso de resolución de problemas no lineales complejos como los que se dan en algunas circunstancias de la transmisión del calor (Alhama López y Del Cerro Velázquez, 2010). Se trata de una potente herramienta de cálculo utilizada en investigación para la resolución de ecuaciones diferenciales. En investigación experimental el MESIR permitiría evaluar previamente el efecto térmico de hipotéticos nuevos materiales.

En este caso en concreto se va a utilizar MESIR en el cálculo, simulación y representación del fenómeno físico de la transmisión del calor por conducción, convección y radiación a través de sólidos-rígidos, para reproducir el comportamiento térmico de un conjunto de materiales sometidos a unas determinadas condiciones. La transmisión del calor en envolventes o cerramientos exteriores es un tema de gran actualidad por la nueva legislación que obliga a certificar la eficiencia energética, y es esta misma ley la que obliga a instalar captadores solares térmicos.

El objetivo de esta comunicación es el de proponer dos aplicaciones prácticas del MESIR en la simulación numérica del fenómeno de transmisión del calor. Una, la transmisión del calor a través de la sección transversal de un captador solar y la otra, a través de los materiales que componen una envolvente cuando se produce un puente térmico. Éste es un fenómeno muy habitual en viviendas y locales nuevos y antiguos. Yo voy a tratar, en concreto, el caso del fenómeno del puente térmico por presencia de un pilar de fachada, y de cómo se puede simular la rotura del mismo, así como la formación de depósitos calcáreos en un captador solar.

Un puente térmico es un fenómeno indeseable en la construcción que consiste en la aparición de un proceso de conducción del calor por presencia de un elemento homogéneo en la envolvente que está en contacto a la vez con el exterior y con el interior. Dicho elemento una menor resistencia al paso del calor frente al resto de elementos de la envolvente que no son homogéneos. Por tanto han de evitarse ya que de lo contrario constituirán un foco de ganancia o pérdida de calor según sea la temperatura ambiente, con la correspondiente pérdida energética. La solución consiste en añadir capas de materiales entre los que se incluya un aislante a la cara interior del elemento, con el objetivo de convertirlo en un medio no homogéneo que dificulte el paso del calor a través de él. A esto se le llama rotura de puente térmico.

En un captador solar, sin embargo, el objetivo es que el calor se transmita fácilmente a través de los elementos: de la placa absorbedora al tubo por el que circula fluido caloportador. Aquí, cuando se forman depósitos calcáreos en el interior del tubo actúan como elementos de rotura de puente térmico, y esto es un fenómeno perjudicial.

Con el MESIR se pueden simular diferentes soluciones para ambas situaciones estudiando las diferencias entre distribuciones de temperaturas a lo largo de un tiempo determinado, también las diferencias en el comportamiento térmico al utilizar diferentes materiales aislantes en la composición de los elementos pasivos constructivos (Seco-Nicolás, Del Cerro Velázquez, y Alarcón García, 2015). Dicha distribución de temperaturas constituye el apoyo necesario para el cálculo de la transmitancia térmica y su comparación con los valores mínimos de los elementos de la envolvente de un local, según el CTE-DB-HE1 (Limitación de la demanda energética).

## 2. Objetivos

En la línea de investigación de la ingeniería energética, para lograr una descripción completa de la transmisión del calor entre materiales, el primer objetivo de esta comunicación es elaborar un modelo numérico de simulación que explique dicho fenómeno a través de la sección de cerramiento con un pilar de fachada, y la de la unión de un tubo y la placa absorbedora de un captador solar. Y el segundo, es utilizar dicho modelo para obtener la distribución de temperaturas a través de las secciones mencionadas, para aportar soluciones que mejoren la eficiencia energética de las dos.

Ambas simulaciones se realizarán para el caso de temperaturas distintas del exterior e interior. Una para el caso de un muro típico con presencia de puente térmico, es decir, sin aislamientos, y para el mismo muro con la rotura de puente térmico, es decir, con el aislamiento adecuado. Y otra para un captador solar con y sin depósitos calcáreos.

## 3. Metodología

En base al concepto de puente térmico y su rotura, propongo la simulación de la sección horizontal de un cerramiento de fachada que consta de un pilar de fachada en el centro y a los lados parte del propio muro de cerramiento, así como la simulación de la sección transversal de un tubo de cobre unido a una placa absorbedora de aluminio.

Para realizar la simulación, primero se elaborará un modelo numérico bidimensional basado en la analogía eléctrico-térmica en que se fundamenta el MESIR para resolver la ecuación de Fourier o ecuación de la conducción (Bejan, 1995):

$$(\nabla \cdot \mathbf{j}) + \mathbf{g}(\mathbf{r}, t) = \rho c_e \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)$$

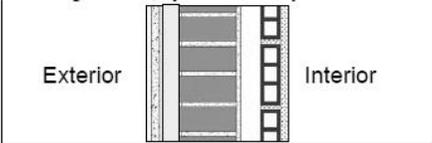
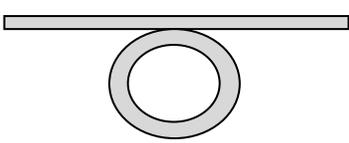
Sección de cerramiento	Sección de placa absorbedora y tubo
Revoco exterior + aislante + ladrillo LHD + mortero cemento + cámara aire + LHS + guarnecido-enlucido yeso fino	Placa de aluminio + tubo de cobre + capa de cal + agua.
	

Figura 1 – Elementos de los que se componen las secciones de estudio

La sección objeto de estudio se discretizará a través de un mallado de 30x20 celdas. Dichas celdas constarán, según la metodología MESIR, de diferentes elementos eléctricos, de distintos valores en función de la densidad, conductividad y calor específico de cada uno de los materiales (Fig.1).

#### 4. Casos de estudio

El fenómeno del puente térmico se puede explicar a través de un ejemplo concreto: el puente térmico por presencia de un pilar de fachada, como se ha dicho arriba.

Es evidente que por el fenómeno de la transmisión del calor por conducción a través de un cuerpo sólido, éste se transmitirá mucho más fácilmente a través de un material homogéneo que posea dos caras a diferente temperatura (Figura 2). Éste es el caso de un pilar de fachada porque está a la vez en contacto con el ambiente exterior y el local interior. Sin embargo el calor se transmitirá con mayor dificultad a través de un cuerpo no homogéneo como es el muro que consta de diferentes capas de materiales con diferentes coeficientes de transmisión del calor. Al contrario se observa en la sección de tubo.

En la Figura 2 se plantea el esquema de la solución a este problema que consiste en añadir materiales aislantes y constructivos al pilar de fachada para asegurar que deja de ser homogéneo dado que varios materiales separan el ambiente interior del exterior.

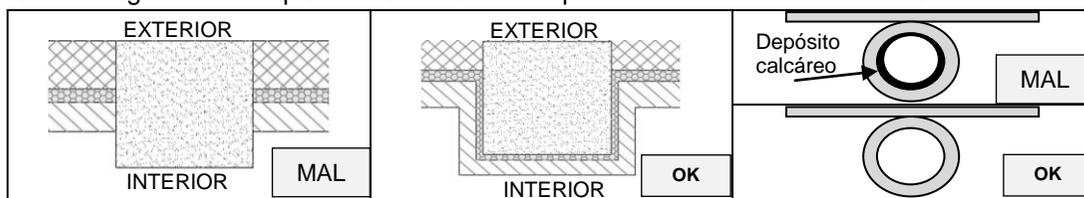


Figura 2 - Ejemplos de puente térmico y su solución

Esta solución puede ser simulada utilizando el MESIR para la elaboración de un circuito eléctrico, con el objetivo de resolver las ecuaciones eléctricas que son análogas a las ecuaciones de transmisión del calor (Incropera & DeWitt, 1996). Dicho circuito se ha resuelto en este caso utilizando el software PSpice© (Microsim Corporation, 1994).

La discretización de 30x20 celdas escogida para el caso concreto de estudio, junto con las diferentes propiedades de cada capa del muro, puede visualizarse en la Figura 3:

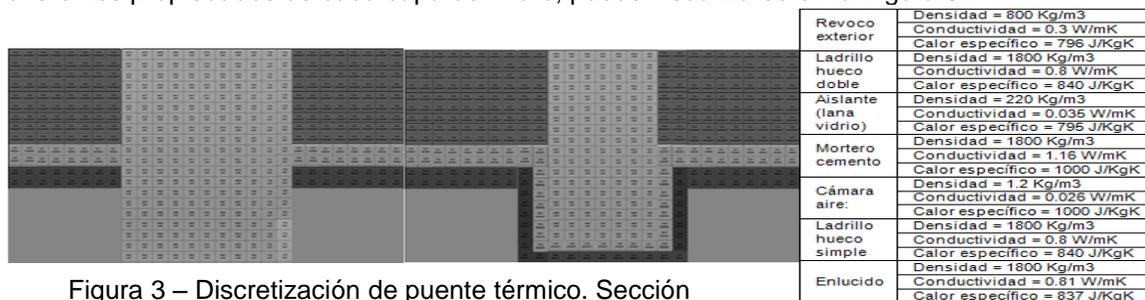


Figura 3 – Discretización de puente térmico. Sección

Se puede proceder a la simulación de la transmisión del calor y de la distribución de temperaturas en cada punto de su geometría que resulte de interés incluyendo las condiciones de contorno adecuadas, necesarias para que las ecuaciones tengan solución. El profesor Del Cerro desarrolló el software PROCCA-09© (Del Cerro Velázquez, 2009) para dotar al MESIR de un interfaz más amable que facilitara la introducción de datos y la interpretación gráfica de los resultados mediante simulaciones con PSpice© y Matlab© (MathWorks, 1997).

En la Figura 4 se observa que las condiciones de contorno impuestas para el muro han sido de temperatura constante igual a 50°C en la pared exterior, irradiada por el sol, y de coeficiente de convección igual a 10 W/m<sup>2</sup> en la pared interior, el cual simula la transmisión del calor por convección desde un cuerpo sólido al aire ambiente.

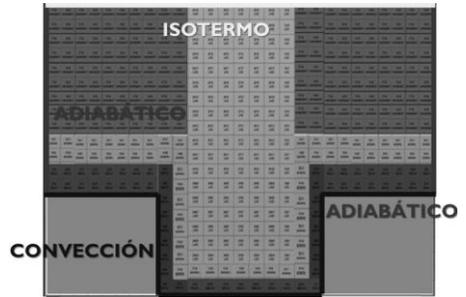


Figura 4 - Condiciones de contorno

Se imponen los laterales adiabáticos pues es un muro suficientemente largo por ambos lados como para considerar que no hay variación en el flujo de calor con respecto a la distancia.

Con este modelo numérico bidimensional ya se pueden realizar diferentes simulaciones variando las propiedades térmicas de los distintos materiales aislantes, y se pueden realizar comparaciones entre los mismos, así como se pueden mostrar distribuciones de calor y distribuciones de temperatura en diferentes puntos dentro de la sección del muro objeto de estudio. El mismo procedimiento se puede aplicar para la simulación del efecto de la precipitación de la cal sobre el tubo de un captador solar.

**5. Resultados**

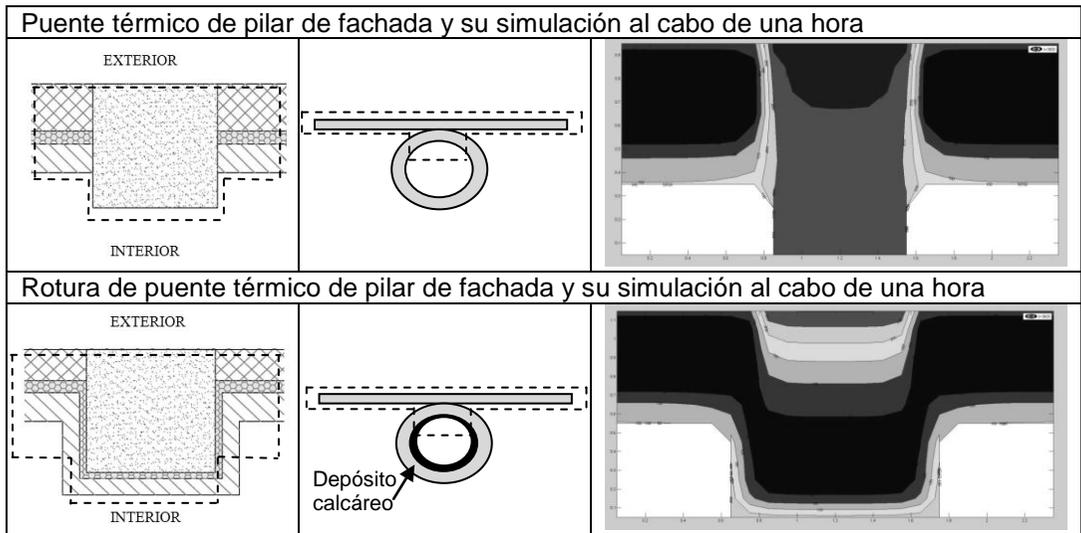


Figura 5 - Comparativa puente térmico roto o no, tras sesenta minutos

En la Figura 5 se puede visualizar la diferencia en la distribución de temperaturas al cabo de sesenta minutos para las condiciones de contorno mencionadas anteriormente, tanto para un puente térmico en pilar de fachada, como para la rotura del mismo y, de forma cualitativa, se produce el mismo fenómeno en la sección de tubo y superficie captadora.

En la parte superior de la Figura 5 se comprueba que, transcurrida una hora, la cara interior del pilar ha alcanzado casi los 50°C, los mismos a que está sometido en su cara exterior por la acción del sol, lo cual introduce un importante factor de ganancia de calor (puente térmico), muy perjudicial para la eficiencia energética de un local, pero sin embargo muy beneficioso en el rendimiento de un captador solar sin depósitos calcáreos.

Por el contrario, en la parte inferior de la Figura 5 se observa que añadiendo las capas necesarias de material aislante que hacen que el pilar ya no sea un único material

homogéneo, se consigue que la temperatura de la cara interior del pilar se mantenga a la temperatura ambiente del interior (rotura de puente térmico), mientras que la cara externa del pilar se mantiene a los 50°C a que lo somete la acción del sol. De este modo se simula adecuadamente cómo se puede mejorar la eficiencia energética.

## 6. Conclusiones

Mediante la aplicación del MESIR se logra reproducir el comportamiento térmico de un conjunto de materiales a través de la simulación del mapa de distribución temporal de temperaturas en cualquier punto de su geometría.

En el presente estudio se ha demostrado que dicha simulación resulta útil, por un lado, para determinar la configuración óptima de los materiales necesarios para la rotura de puentes térmicos en envolventes, con el consecuente ahorro energético que se logra y, por otro, para determinar cuantitativamente el efecto perjudicial en el rendimiento térmico de los captadores solares producido por los depósitos calcáreos los cuales aparecen en la unión de los tubos con la placa absorbidora.

Este es un tema de actualidad conforme a la nueva normativa referente a la mejora de la eficiencia energética en la edificación y en otros campos de estudio, por lo que he trabajado, en la presente comunicación, el tema de aumentar dicha eficiencia energética en dos casos completamente diferentes: la hipótesis de simulación para mejora del rendimiento energético en envolventes o cerramientos exteriores, y en captadores solares térmicos.

## 7. Referencias

Alarcón García, M. (2001). *Transporte de calor en sistemas con aletas. Coeficientes de rendimiento y red de transferencia*. (Ingeniería Industrial), Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.

Alhama López, F., & Del Cerro Velázquez, F. (2010). *Simulación y diseño de problemas de conducción térmica con PROCCA-09*. Murcia: Universidad de Murcia.

Bejan, A. (1995). *Convection heat transfer* (Second Edition ed.). New York: Wiley & Sons

Del Cerro Velázquez, F. (2009). *Desarrollo de un programa de conducción de calor, usando analogía eléctrica mediante el lenguaje C# y el módulo de cálculo PSpice: aplicaciones lineales y no lineales en diferentes geometrías*. (Ingeniería Industrial), Universidad de Murcia.

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

MathWorks, C. (1997). Matlab (Version 6). Natick.

PSPICE, versión 6.0: Microsim Corporation, 20 Fairbanks, Irvine, California 92718 (1994)

Seco-Nicolás, M., Del Cerro Velázquez, F., y Alarcón García, M. (2015). *Mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en ciclos formativos de grado superior mediante un nuevo material TIC CRAI Biblioteca UPCT, Vol. 1. IX Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica* (pp. 1348-1355). Recuperado de <http://repositorio.bib.upct.es:8080/dspace/handle/10317/4709>