



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

**Tutor/a:** Diego Pablo Ruiz Padillo

**Departamento y Área de Conocimiento:** B046 Física Aplicada; 385 Física Aplicada

**Cotutor/a:** Ibán Naveros Mesa

**Departamento y Área de Conocimiento:** B046 Física Aplicada; 385 Física Aplicada

**Título del Trabajo:** Caracterización térmica de muros mediante el análisis de series temporales de datos obtenidos utilizando cámaras termográficas

**Tipología del Trabajo:**

(Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/15)

Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del grado, a partir de material ya disponible en los Centros.

### Breve descripción del trabajo:

En la actualidad, se estima que el consumo energético en los edificios supone el 40% del consumo total de energía primaria dentro de la Unión Europea. Este dato está reflejado en la [Directiva 2010/31/UE](#) del Parlamento y Consejo Europeo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. Uno de los objetivos de la [Directiva 2010/31/UE](#) es fomentar el desarrollo de una metodología general de cálculo de la eficiencia energética de los edificios basada en las características térmicas reales de los edificios.

El cálculo de la eficiencia energética de los edificios requiere del análisis térmico de sus componentes utilizando datos experimentales obtenidos bajo condiciones reales (in-situ), y para este fin, se vienen empleando desde hace décadas diferentes métodos y modelos [1-4]. Una de las partes más importantes del proceso de estimación de la eficiencia energética es la obtención de las características térmicas reales de los componentes de los edificios. Con este fin, diferentes trabajos han utilizado distintos métodos para la identificación de los parámetros físicos incluidos en los modelos de transmisión de calor [5-7]. Además, con el objetivo de obtener las características térmicas reales de diferentes elementos constructivos, se han desarrollado y llevado a cabo experimentos para su evaluación de una forma cuantitativa rigurosa y que proporcione la menor incertidumbre posible [8].

El estudio y caracterización de la eficiencia energética en la edificación y la optimización del uso de la energía en los edificios continua vigente y son muchos los retos que aún quedan por superar. El grupo de investigación en el que se desarrollará el trabajo de iniciación a la investigación tiene un amplio conocimiento de esta temática [2, 3, 13, 14] y está participando en distintos proyectos de investigación nacionales e internacionales relacionados con ella. De esta forma el alumno entrará en contacto con el mundo de la investigación en un ambiente internacional y pluridisciplinar.

El objetivo general del trabajo de iniciación a la investigación, que será llevado a cabo por el alumno como parte trabajo fin de grado, es el modelado con significación física de la transferencia de calor de componentes de la edificación. Un elemento original de la investigación será la utilización de cámaras termográficas para la identificación de los parámetros físicos que caracterizan termicamente una pared. Los datos experimentales registrados por las cámaras termográficas serán empleados en modelos matemáticos con significación física [14].



### **Objetivos y metodología:**

El objetivo general es el modelado con significación física de la transferencia de calor de elementos pasivos de edificios (muros), para la identificación de los parámetros físicos que los caracterizan, a partir de datos experimentales usando métodos de análisis de series temporales.

Para ello, se usará una metodología que se basa en la ecuación del calor considerando el principio de conservación de la energía y la ley de Fourier, y su posterior transformación en diferentes clases de modelos. De este modo, la metodología permite la estimación de parámetros con significación física invariantes en el tiempo [1-7, 13-14]. El trabajo de iniciación a la investigación utilizará esta conexión de la ecuación del calor a un circuito térmico [9, 11, 13-14], y del circuito térmico a un modelo auto-regresivo con variables exógenas (ARX) bidireccionalmente. El circuito térmico, compuesto por resistencias y capacidades térmicas, es expresado como un sistema de ecuaciones diferenciales y algebraicas (DAE) [1, 6, 9, 13-14]. Este sistema de ecuaciones puede ser expresado en el espacio de estados y transformado mediante la transformada de Laplace en una función de transferencia continua en el dominio de la frecuencia [9]. La transformación entre el espacio de estados y la función de transferencia puede ser utilizada para trabajar tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia [12].

La utilización de modelos basados en la física del problema busca establecer una metodología de identificación basada en modelos de caja gris [14]. Estos modelos presentan la ventaja, frente a los modelos de caja negra, de que en los modelos de caja negra sus parámetros no tienen significación física [2, 6].

En el TFG, el alumno podrá comprobar la conexión bidireccional entre las diferentes clases de modelos con significado físico. Esto le ayudará a conocer la conexión entre el problema directo (simulación) y el problema inverso (identificación de parámetros). Es decir, analizará la validez de las distintas clases de modelos para realizar tanto la simulación de la transferencia de calor si son conocidos los parámetros físicos de una pared, como la identificación de los parámetros físicos de la pared si son conocidas las variables físicas que causan la transferencia de calor entre la pared y su entorno. El alumno podrá validar la metodología con el uso de datos experimentales obtenidos usando cámaras termográficas para distintos tipos de materiales.

### **Bibliografía:**

- [1] A. Rabl, Parameter estimation in buildings: Methods for dynamic analysis of measured energy use, *Journal of Solar Energy Engineering* 110 (1) (1988) 52–66.
- [2] M. J. Jimenez, H. Madsen, Models for describing the thermal characteristics of building components, *Building and Environment* 43 (2) (2008) 152 –162, Outdoor Testing, Analysis and Modelling of Building Components.
- [3] **I. Naveros**, M. J. Jimenez and M. R. Heras, Analysis of capabilities and limitations of the regression method based in averages, applied to the estimation of the U value of building component tested in Mediterranean weather, *Energy and Buildings*, vol. 55, pp. 854-872, 2012.
- [4] **I. Naveros**, P. Bacher, **D. Ruiz**, M. Jiménez and H. Madsen, Setting up and validating a complex model for a simple homogeneous wall, *Energy and Buildings*, vol. 70, pp. 303-317, 2014.



- [5] K. K. Andersen, H. Madsen, L. H. Hansen, Modelling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations, *Energy and Buildings* 31 (1) (2000) 13 – 24.
- [6] P. Bacher, H. Madsen, Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings, *Energy and Buildings* 43 (7) (2011) 1511 – 1522.
- [7] H. Madsen, J. Holst, Estimation of continuous-time models for the heat dynamics of a building, *Energy and Buildings* 22 (1) (1995) 67 – 79.
- [8] P. Strachan, P. Baker, Outdoor testing, analysis and modelling of building components, *Building and Environment* 43 (2) (2008) 127 – 128, Outdoor Testing, Analysis and Modelling of Building Components.
- [9] C. Ghiaus, Causality issue in the heat balance method for calculating the design heating and cooling load, *Energy* 50 (2013) 292 - 301.
- [10] I. Hazyuk, C. Ghiaus, D. Penhouet, Optimal temperature control of intermittently heated buildings using Model Predictive Control: Part I Building modeling, *Building and Environment* 51 (2012) 379 - 387.
- [11] G. Strang, Introduction to linear algebra. 2003. Wellesley-Cambridge.
- [12] J. Crassidis, J. Junkins, Optimal estimation of dynamic systems. Second Edition 2011. Taylor & Francis.
- [13] **I. Naveros** and C. Ghiaus, Order selection of thermal models by frequency analysis of measurements for building energy efficiency estimation, *Applied Energy*, vol. 139, pp. 230-244, 2015.
- [14] **I. Naveros**, C. Ghiaus, **D. Ruíz** and S. Castaño, Physical parameters identification of walls using ARX models obtained by deduction, *Energy and Buildings*, vol. 108, pp. 317-329, 2015.

**A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG**  
Alumno/a propuesto/a: