

## **CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE MATERIALES MAGNÉTICOS PARA LA EDIFICACIÓN**

<sup>1</sup>Carlos Morón; <sup>1</sup>Alfonso García; <sup>1</sup>Enrique Tremps; <sup>1</sup>Gillermo de Ignacio y  
<sup>2</sup>Mecedes González

<sup>1</sup>*Dpto. de Tecnología de la Edificación. E.U. Arquitectura Técnica.*

<sup>2</sup>*Dpto. de Física e Instalaciones Aplicadas a la Edificación. E.T.S. Arquitectura.  
Grupo de Sensores y Actuadores, Universidad Politécnica de Madrid*

**Palabras Clave:** *Materiales amorfos, Simulación, Tratamiento y caracterización, Eficiencia energética.*

### **Resumen**

*En este trabajo se presentan las líneas de investigación, y resultados, de Materiales Amorfos, Tratamiento y Caracterización de materiales y Simulación de Procesos del Grupo de Sensores y Actuadores. Estas líneas de investigación están orientadas al desarrollo y aplicación de tecnologías, dentro del ámbito de la edificación, enfocadas a la mejora de la eficiencia energética. Se llevan a cabo, principalmente, en la Escuela Universitaria de Arquitectura técnica, y para ello se dispone de los medios asociados al Grupo de Sensores y Actuadores y situados en el laboratorio de Automatismos de la Escuela Universitaria de Arquitectura técnica.*

### **Introducción**

El Grupo de Sensores y Actuadores, es un grupo de investigación reconocido de la Universidad Politécnica de Madrid, que actualmente está radicado en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. A lo largo de sus años de existencia, y antes de su creación sus miembros, ha desarrollado su labor investigadora en diversas líneas, entre las cuales están las de desarrollo de sensores y los dispositivos electrónicos asociados a estos. En los últimos años, estas líneas se han enfocados hacia las aplicaciones domóticas y aplicaciones asociadas a la mejora de la eficiencia energética, pero los miembros del grupo llevan trabajando en sensores para diversas aplicaciones desde los años 90.

La financiación para la realización de estos trabajos ha sido eminentemente pública a través de proyectos de investigación financiados por la UPM, Comunidad de Madrid, CICYT y Comunidad Europea. No obstante, cada vez más la financiación privada ha cofinanciado algunos de estos proyectos (FSE, ASE, HAMEG, ...).

Los resultados científico-técnicos de estas líneas de investigación son numerosos: diferentes comunicaciones a congresos nacionales e internacionales, artículos de investigación en revistas indexadas [1-16] e incluso alguna patente.

Estas líneas de investigación son las líneas básicas que soportan las demás: para la realización de un sensor o actuador es condición necesaria (aunque no suficiente) disponer de un transductor: un material capaz de convertir el parámetro físico a medir en una señal medible o capaz de convertir la energía aportada por el sistema en la acción deseada. Por otro lado, es fundamental en la realización de cualquier proyecto es la simulación de los procesos que se llevan a cabo y si es posible la simulación completa del sistema (o sistemas) involucrados. Por ello son estas líneas de investigación las que aportan los materiales con las características necesarias para el diseño y construcción de los sensores y actuadores y además permiten la predicción tanto de los materiales como del sistema en las diferentes condiciones de trabajo en base a las simulaciones.

Estas líneas de investigación no han producido de forma directa la realización de Trabajos Fin de Máster, aunque subyazcan en todos los trabajos realizados, ya que el desarrollo de un trabajo dentro de estas líneas excede el nivel y tiempo recomendable de los Trabajos fin de Máster. Sin embargo son excelentes líneas de investigación para el desarrollo de Tesis doctorales que abarquen de forma completa y autoconsistente el desarrollo de sensores o actuadores específicos o sistemas sensoriales o domóticos completos.

En esta línea de propuestas y desarrollo de Tesis Doctorales, se ha presentado y leído una Tesis Doctoral:

- Detección de Desplazamientos y Vibraciones en Estructuras mediante Sensores Magnéticos.

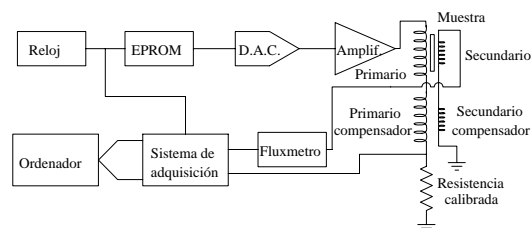
Actualmente, dentro de estas líneas de investigación, hay otra Tesis Doctoral en estado muy avanzado y dos más comenzando.

### ***Sistemas de caracterización de materiales magnéticos***

Dentro del laboratorio asociado al Grupo de Sensores y Actuadores se dispone de diferentes instalaciones de medida de propiedades magnéticas. Entre otras vamos a mencionar las principales.

#### *Medida de ciclos de histéresis*

La medida más usual para la caracterización de un material magnético es la medida de su ciclo de histéresis. Este consiste en la medida de la imanación del material para diferentes campos magnéticos. Generalmente estos ciclos se representan en una gráfica de Imanación frente a Campo magnético, y su forma está correlacionada con las propiedades magnéticas del material (anisotropía, imanación de saturación, campo coercitivo, ...). En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la instalación de ciclo de histéresis.



**Fig. 1: Diagrama de bloque de la instalación de ciclos de histéresis.**

### Magnetómetro de muestra vibrante

En los casos en que la muestra magnética a medir es magnéticamente “dura”, es decir, cuando no se puede llegar a la saturación magnética de la muestra con la instalación de medida de ciclos de histéresis anterior, para obtener el ciclo de histéresis se puede utilizar la instalación de magnetómetro de muestra vibrante (Vibrating Sample Magnetometer – VSM). En esta instalación se utiliza un electroimán para generar el campo magnético, en nuestro caso un electroimán de 1,5 T – 50.000 veces mayor que el campo magnético terrestre). Para medir la imanación de la muestra se hace vibrar esta dentro del campo generado por el electroimán. El diagrama de bloque de esta instalación se muestra en la figura 2.

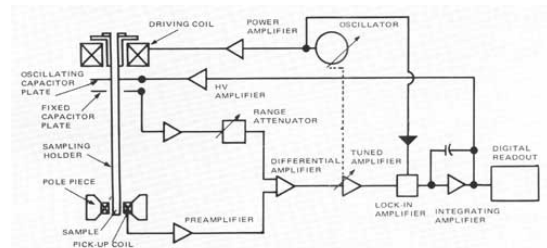


Fig.2: Diagrama de bloque de la instalación de VSM.

### Magnetoimpedancia

Una de las medidas que se han realizado en muestras magnéticas con vista a su utilización como cabezas lectoras de sistemas de almacenamiento de datos (Discos Duros) es la medida de magnetoimpedancia. Consiste en obtener la impedancia de la muestra para diferentes campos magnéticos y a diferentes frecuencias de variación del campo magnético (es una forma de obtener la respuesta y la velocidad de lectura de la cabeza). Para ello, se dispone de una instalación cuyo diagrama de bloque se muestra en la figura 3.

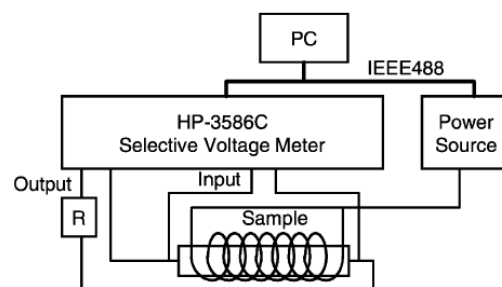


Fig.3: Diagrama de bloque de la instalación de magnetoimpedancia.

### Microscopía

Este grupo dispone de una instalación de microscopía con tres microscopios metalográficos. Estos se utilizan tanto para la observación del estado físico de las superficies de las muestras como para la observación de características magnéticas superficiales., usualmente la observación de dominios magnéticos mediante técnica Bitter o efecto Keer. Estas instalaciones también se han utilizado para medir emisividad de las muestras durante los recocidos con corriente eléctrica.

### **Principales técnicas de tratamiento y resultados**

A continuación se mostrarán las técnicas de tratamiento más relevantes utilizadas, junto a las simulaciones y resultados que se han desarrollado a lo largo de este tiempo.

Flash annealing

Una de la técnicas empleadas para la obtención de muestras amorfas ferromagnéticas con propiedades mejoradas para su aplicación tecnológica es el recocido rápido (Flash annealing). Este Grupo de dispone de una instalación que permite el tratamiento de materiales con esta técnica. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la instalación.

Con esta instalación se ha

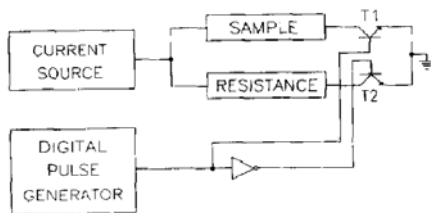
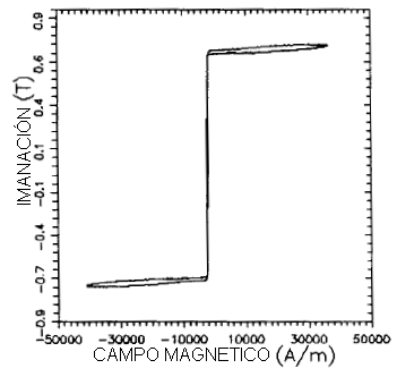
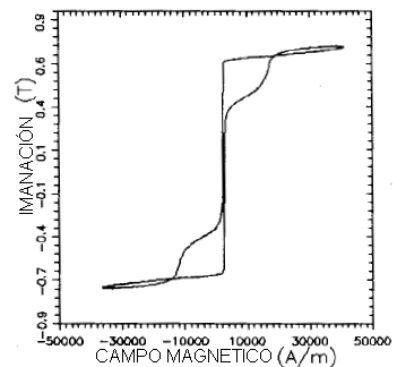


Fig. 1: Diagrama de bloques de la instalación de recocidos rápidos.

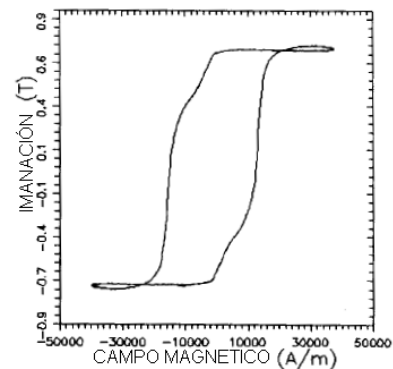
conseguido dar tratamientos térmicos a las muestras de manera que se cristalicen parcialmente. Ello es debido a que se calientan antes los puntos de las muestras donde hay imperfecciones microscópicas que actúan como centros de cristalización. En la figura 2 se muestran los ciclos de histéresis de muestras recocidas con densidad de corriente de  $0,46 \times 10^9 \text{ A/m}^2$  y diferentes tiempos.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2: Ciclos de histéresis de muestras tratadas mediante recocido rápido con densidad de corriente de  $0,46 \times 10^9 \text{ A/m}^2$ . (a) 100 ms. (b) 126 ms. (c) 130 ms.

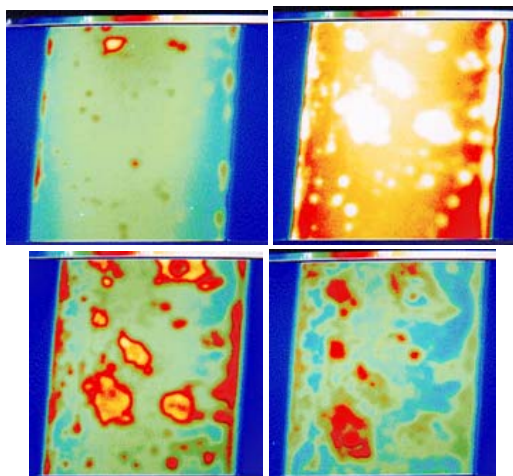


Fig. 3: Emisividad de las muestras bajo corriente eléctrica de 1,35; 1,40; 1,55; 1,65 A respectivamente.

También se han obtenido las imágenes correspondientes a la emisividad. Para ello se ha utilizado un microscopio metalográfico y una cámara CCD. En la figura 3 se pueden ver fotografías de las muestras sometidas a corriente continua. Las muestras utilizadas son material amorfo ferromagnético de 1,2 mm de anchura, 20  $\mu\text{m}$  de espesor y 10 cm de longitud.

Recocido con corriente continua

Una de las maneras más usuales de tratar las muestras amorfas ferromagnéticas consiste en calentarlas mediante el paso de una corriente continua a través de las mismas. Debido a la relativamente alta resistencia de estas muestras se disipa una potencia alta para valores de corriente moderados.

Si se aplica simultáneamente a la corriente un campo magnético saturante en una de las direcciones, se induce una anisotropía magnética en esa dirección. Si la muestra es magnetostrictiva, al aplicar una tensión simultáneamente a la corriente se generará una anisotropía en la misma dirección de la tensión si la muestra es de magnetostricción negativa y en dirección perpendicular en caso de magnetostricción positiva. Algunos de los diferentes ciclos de histéresis de muestras de idéntica composición pero con diferentes tratamientos se muestran en la figura 4.

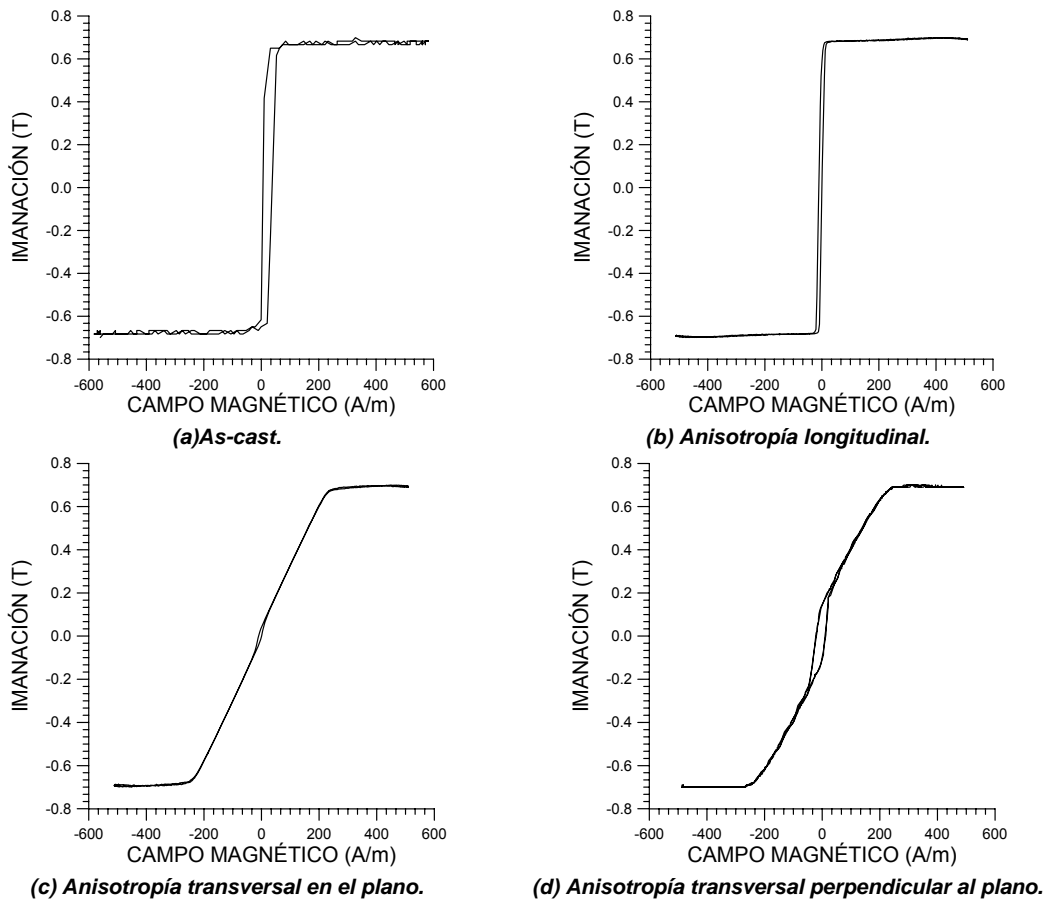


Fig. 4: Ciclos de histéresis de muestras de idénticas composiciones con diferentes anisotropías.

Sin embargo se ha comprobado que si la muestra no es magnetostrictiva y se aplica solo corriente eléctrica, bajo determinadas condiciones se pueden obtener muestras que presenten propiedades de biestabilidad magnética, es decir a bajo campo existen dos estados magnéticos posibles sin estados intermedios.

## **Conclusiones**

Dentro de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid, está radicado el Grupo de Sensores y Actuadores, este grupo de investigación consolidado de la Universidad Politécnica de Madrid, mantiene activas diversas líneas de investigación. Dentro de estas líneas de investigación, las de *Materiales Amorfos, Tratamiento y Caracterización de materiales y Simulación de Procesos* han ido generando resultados de investigación en forma de artículos publicados en revistas indexadas, comunicaciones a congresos (tanto de ámbito nacional como internacional). Varios de los trabajos desarrollados en estas líneas se llevan a cabo por Doctorandos de la Escuela.

## **REFERENCIAS**

- [1] M. Rodriguez, A. Garcia, M. Maicas, C. Aroca, E. López, M.C. Sánchez and P. Sánchez, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1994, vol. 133, 36-39.
- [2] C. Morón, C. Aroca, M.C. Sánchez, A. García, E. López and P. Sánchez, *I.E.E.E. Trans. Mag.*, 1995, vol. 31, 906-909.
- [3] A. García, E. López, C. Aroca, P. Sánchez and M.C. Sánchez, *Journal of Applied Physics*, 1995, vol. 78, 3961-3964.
- [4] C. Morón, M. Mora and A. Garcia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1999, 202-204.
- [5] C. Morón, M. Mora and A. Garcia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1999, 307-309.
- [6] A. Garcia, C. Morón and M. Mora, *Sensor and Actuators A*, 2000, 307-309.
- [7] C. Morón, M. Mora and A. Garcia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2000, 153-155.
- [8] C. Morón, M. Mora and A. Garcia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2000, 469-471.
- [9] C. Morón, F. Maganto, J.G. Zato and A. Garcia, *IEEE Transactions on Magnetics*, 2002, vol. 38, 2459-2461.
- [10] C. Morón, A. Garcia and M.T. Carracedo, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2003, vol. 254, 510-512.
- [11] A. Garcia, C. Morón and F. Maganto, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2003, vol. 254, 161-163.
- [12] A. Garcia, C. Morón and M.T. Carracedo, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2003, vol. 254, 296-298.
- [13] A. Garcia, C. Morón, M.T. Carracedo and F. Maganto, *Sensor and Actuators A*, 2003, vol. 106, 340-343.
- [14] C. Morón, M.T. Carracedo, J.G. Zato and A. Garcia, *Sensor and Actuators A*, 2003, vol. 106, 217-220.
- [15] C. Morón, F. Maganto and A. Garcia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2004, vol. 272/6, 1417-1418.
- [16] C. Morón and A. Garcia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2005, vol. 290-291, 1085-1088.