

# Sistemas avanzados de ebullición mediante materiales con baja temperatura de Curie y tecnología de inducción

Alberto Pascual<sup>1</sup>, Jesús Acero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Afiliación: Grupo de Electrónica de Potencia y Microelectrónica (GEPM)  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.  
Tel. +34-976762707, e-mail: [a.pascual@unizar.es](mailto:a.pascual@unizar.es)

## Resumen

El uso de materiales con baja temperatura de Curie para el desarrollo de diferentes aplicaciones de calentamiento por inducción, puede mejorar la seguridad, la eficiencia energética y los resultados en la cocción. En este artículo se exponen las posibilidades que ofrecen estos materiales, en especial para el desarrollo de evaporadores por inducción.

## Introducción

Uno de los sistemas de calefacción más eficientes es el calentamiento por inducción. Este consiste en la transferencia inalámbrica de energía a un objeto con el objetivo de incrementar su temperatura. Este método presenta una serie de ventajas como el calentamiento directo del objeto de interés, la alta eficiencia,...[1].

En la actualidad, las nuevas tendencias de investigación para el calentamiento por inducción se centran en la mejora de la experiencia de usuario en el cocinado, la protección del usuario, la posibilidad de nuevas prestaciones, etc [2].

Entre las diferentes opciones por explorar que podrían suponer mejoras en estos campos, se encuentra el uso de materiales con propiedades electromagnéticas específicas, en particular la temperatura de Curie o temperatura de transformación magnética a partir de la cual un material ferromagnético cambia de la fase ferromagnética a la fase paramagnética. Al cambiar a esta fase, la permeabilidad magnética del material disminuye significativamente, provocando que la potencia suministrada y por tanto el calor generado, se reduzcan considerablemente [3]. Como consecuencia, también se produce un cambio considerable del circuito eléctrico equivalente del sistema, que consiste en una inductancia en serie con una resistencia [4], el cual puede ser detectado a nivel software y utilizado para diferentes fines.

El uso de materiales con temperaturas de Curie comprendidas entre 100 °C (agua hirviendo) y 250 °C (fritura) como material ferromagnético para el desarrollo de diferentes aplicaciones domésticas de calentamiento por inducción, podría suponer mejoras en los siguientes campos:

- Eficiencia energética: teniendo en cuenta que la tecnología de inducción permite detectar cambios en la impedancia equivalente de un sistema inductor-carga, se podría cortar la alimentación del inductor cuando el material disminuya su inductancia equivalente al superar la temperatura de Curie y perder su propiedad ferromagnética.
- Control de cocción: para evitar que los alimentos se quemen en caso de abandono u olvido de la aplicación durante el proceso de cocción.
- Protección del usuario: para evitar que se alcancen altas temperaturas en la aplicación de inducción.

Adicionalmente, el uso de estos materiales podría suponer una mejoría e impulsar otras aplicaciones del calentamiento por inducción. Como ejemplos de aplicación que pueden explorarse encontramos la incorporación de evaporadores de agua en hornos para el cocinado mediante vapor o el desarrollo de evaporadores o calentadores de agua [5], [6] con autoprotección frente a sobrecalentamiento.

## Evaporador por inducción

En los últimos años la tecnología de inducción se ha aplicado casi en exclusividad al ámbito del cocinado tradicional. Sin embargo, esta tecnología también puede utilizarse para el desarrollo de sistemas de ebullición avanzados que sustituyan las soluciones tradicionales basadas en resistencias sumergidas.

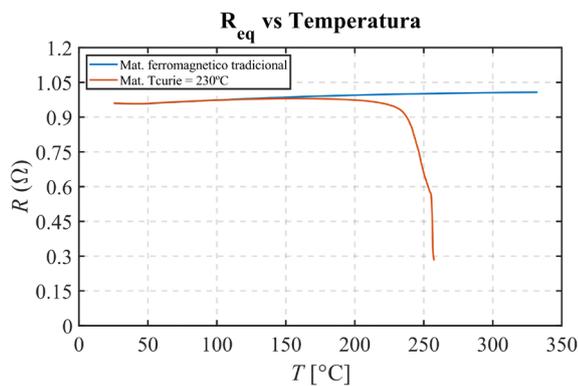


Figura 1. Cambios de la  $R_{eq}$  respecto la temperatura

El sistema de evaporación podría utilizar el fenómeno de inducción para calentar un disco ferromagnético sumergido en agua, de la misma manera que los sistemas tradicionales calientan los recipientes.

Además de las ventajas anteriormente comentadas, el uso de materiales con baja temperatura de Curie en evaporadores por inducción permitiría detectar cuando se vacía el depósito de agua del evaporador sin necesidad de dispositivos de detección adicionales. Los cambios que se producen en el circuito equivalente  $L_{eq}$ - $R_{eq}$  cuando el disco, al no estar refrigerado por el agua, se acerca a su temperatura de Curie permitirían detectar que el depósito se encuentra vacío. Este se trata de un proceso crítico ya que si el sistema sigue funcionando con el depósito vacío puede provocar un sobrecalentamiento del mismo pudiendo dañar al usuario y al equipo.

### Simulación y pruebas de concepto

Se han realizado simulaciones mediante elementos finitos, y realizado medidas experimentales con prototipos para diferentes geometrías y materiales de disco evaporador. Las figuras 1 y 2 muestran algunos resultados con dos tipologías de disco evaporador diferentes. Uno de ellos fabricado con un material con una  $T_{Curie}$  de 230 °C (línea roja) y otro con un material ferromagnético tradicional (línea azul).

Como se puede observar en las figuras ambos materiales se comportan de igual manera hasta que el material con baja temperatura de Curie (230 °C), se va acercando a esta. Cuando alcanza esta temperatura, la permeabilidad magnética del mismo disminuye considerablemente y consecuentemente bajan la resistencia equivalente (Figura 1) y la potencia cedida a la carga haciendo que el incremento de temperatura del disco, pese a seguir suministrando potencia, se estanque (Figura 2).

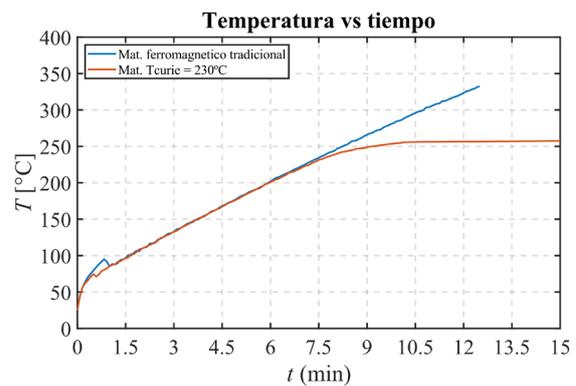


Figura 2. Evolución de la temperatura con el tiempo

El cambio  $R_{eq}$  es suficientemente grande para poder detectarse a nivel software y hacer que se activen las protecciones del sistema.

## Conclusiones

En este trabajo se han expuesto las ventajas y posibilidades que ofrece el uso de materiales con baja temperatura de Curie en aplicaciones de calentamiento por inducción. Además de mostrar su comportamiento en sistemas avanzados de evaporación por inducción.

## REFERENCIAS

- [1] J. Acero *et al.*, "Domestic induction appliances," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 16, no. 2, pp. 39–47, Mar. 2010, doi: 10.1109/MIAS.2009.935495.
- [2] O. Lucia, P. Maussion, E. J. Dede, and J. M. Burdio, "Induction heating technology and its applications: Past developments, current technology, and future challenges," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 5, pp. 2509–2520, 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2281162.
- [3] T. Todaka, T. Kishino, and M. Enokizono, "Low Curie temperature material for induction heating self-temperature controlling system," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 320, no. 20, pp. e702–e707, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.jmmm.2008.04.146.
- [4] J. Acero, R. Alonso, J. M. Burdio, L. A. Barragan, and D. Puyal, "Analytical Equivalent Impedance for a Planar Circular Induction Heating System," *IEEE*, vol. 42, no. 1, pp. 2005–2007, 2006.
- [5] V. C. Valchev, T. P. Todorova, D. D. Yudov, and D. J. Mareva, "Design considerations of inductors for induction heating of fluids," Aug. 2016, doi: 10.1109/SIELA.2016.7543060.
- [6] H. E. Ahmed Sherwali and W. G. Dunford, "Experimental Evaluation of Heating Water by Electromagnetic Induction," May 2019, doi: 10.1109/CCECE.2019.8861887.