

Principios Fundamentales y Aplicaciones del Calentamiento por Microondas

Alejandro Díaz Morcillo, Juan Monzó Cabrera, Elsa Domínguez Tortajada, M^a Eugenia Requena Pérez
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena
Campus Muralla de Mar. Edificio Antiguo Hospital de Marina
30202 Cartagena
Teléfono: 968325374 Fax: 968325973
E-mail: alejandro.diaz@upct.es

Resumen. *El calentamiento por microondas es, sin lugar a dudas, la técnica de calentamiento que mayor impacto ha producido en la industria desde el descubrimiento del fuego. Hoy en día esta tecnología resulta familiar prácticamente para todo el mundo, pues el horno microondas es un electrodoméstico común en todos los hogares. Sin embargo, sus principios de funcionamiento, sus ventajas y sus posibles aplicaciones industriales no son tan conocidas. Este artículo pretende dar a conocer estos tres aspectos y el trabajo realizado en este sentido en el Grupo de Ingeniería de Microondas, Radiocomunicaciones y Electromagnetismo (GIMRE).*

1 Introducción y fundamentos

Desde hace muchos años se conoce la posibilidad de calentar materiales mediante la aplicación de ondas electromagnéticas en la banda de microondas. El origen de este calentamiento nace de la interacción del campo eléctrico con las moléculas o partículas que tienen una distribución de carga no nula [1], bien desplazándolas de lugar (fenómeno de conducción), bien haciéndolas girar alrededor de su posición de equilibrio (fenómeno de polarización). Cuando el campo eléctrico cambia de dirección muy rápidamente, las partículas y moléculas intentan seguir estos cambios, bien desplazándose de un lado a otro del material, bien girando sobre sí mismas, como muestra la figura 1. Estos movimientos provocan fricciones que generan calor en el interior del material.

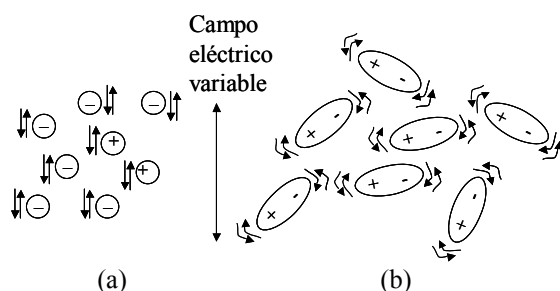


Figura 1.- Efecto molecular en la interacción del campo eléctrico con la materia: (a) redistribución de la carga, (b) redistribución dipolar.

Esta generación “volumétrica” del calor por microondas es su ventaja fundamental frente a otros tipos de calentamiento convencionales como el de contacto o el de convección. En un horno convencional, el horno es el que calienta el producto y, la conducción del calor desde la superficie del

producto hacia su interior es un fenómeno lento. Sin embargo, en el calentamiento por microondas es el producto el que calienta el horno, es decir, la generación de calor se produce en el propio producto, lo que reduce enormemente el tiempo necesario para obtener en zonas interiores una determinada temperatura.

La ecuación (1) permite obtener el calor generado en un punto de un cuerpo irradiado por microondas en función de la frecuencia de trabajo, del campo eléctrico y del factor de pérdidas (ϵ'') en dicho punto.

$$Q_{gen} = 2\pi f \epsilon_o \epsilon'' |\vec{E}_{rms}(x, y, z, t)|^2 \quad (1)$$

Además, la distribución de campo eléctrico a lo largo del material dependerá asimismo de la frecuencia de trabajo, de la geometría del horno o aplicador donde se realiza la irradiación y de la constante dieléctrica del material (ϵ'), que puede, en general, variar en distintas zonas del producto y en el tiempo.

La frecuencia de trabajo en aplicaciones de calentamiento por microondas es un parámetro conocido y constante; concretamente en Europa es 2,45 GHz. Sin embargo, tanto la constante dieléctrica como el factor de pérdidas dependen del material a procesar y, por ello, resulta de vital importancia una correcta caracterización dieléctrica del producto. Existen distintas técnicas de medida de la permitividad eléctrica, todas ellas basadas en la medida de los parámetros de dispersión de redes de microondas de geometría conocida y que albergan en su interior una muestra del material que se pretende medir. Este conocimiento de los parámetros de dispersión hace del analizador de redes vectorial (figura 2) un instrumento básico en la caracterización

dieléctrica de materiales. La figura 3 muestra los resultados obtenidos para una variedad de manzana.

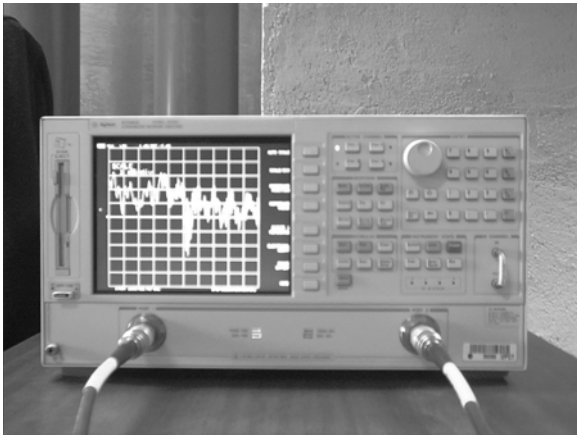


Figura 2. Analizador de redes vectorial

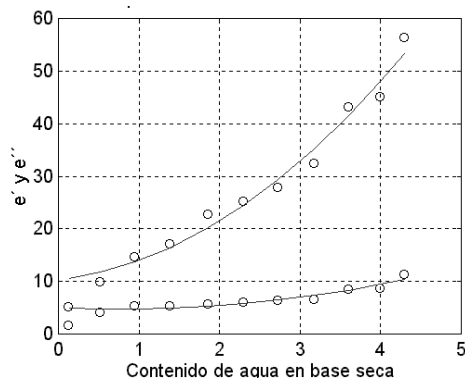


Figura 3. Permitividad eléctrica de manzana Granny-Smith en función del contenido de agua

2 Equipamiento necesario

Un sistema de calentamiento por microondas está compuesto fundamentalmente por un generador de microondas, un aplicador o cavidad resonante de microondas donde se introduce el material a procesar, y un tramo de guía de ondas que conecta el generador con la cavidad. Se emplean guías de onda dado que la señal transportada es una portadora de alta potencia y, por tanto, no puede ser transmitida por líneas coaxiales. El generador habitual en las aplicaciones de calentamiento es el magnetrón, un dispositivo que permite generar una portadora de elevada potencia a frecuencia de microondas (figura 4). La cavidad es metálica y puede presentar una geometría arbitraria, aunque, debido a la sencillez de fabricación, la gran mayoría de las utilizadas en aplicaciones industriales son rectangulares o, en menor medida, cilíndricas.

Adicionalmente, el sistema puede incorporar otros dispositivos como un circulador y una carga de agua con el fin de evitar que las posibles reflexiones debidas a la desadaptación entre guía y cavidad puedan afectar al magnetrón, o elementos móviles en el interior de la cavidad que bien desplacen el producto (por ejemplo, platos giratorios), bien

modifiquen las condiciones de contorno de la cavidad y provoquen la excitación de distintos modos electromagnéticos en función del tiempo (agitadores de modos o *stirrers*). En ambos casos, dado que resulta difícil obtener una distribución de campo eléctrica homogénea a lo largo del producto, se pretende que en media temporal esta distribución de campo sí se aproxime a una homogénea.

En aplicaciones que realizan un procesado continuo es necesario que el aplicador sea abierto, es decir, disponga de unas zonas de entrada y salida del producto a procesar. En tales casos, es necesario añadir un banco de filtros de entrada y de salida con el fin de evitar radiaciones hacia el exterior.

El diseño de todo el sistema de calentamiento irá dirigido, en general, a conseguir una distribución de campo eléctrico homogénea o, en algunas aplicaciones, con un patrón predeterminado. Este diseño requerirá el uso de herramientas de simulación electromagnética basadas en métodos numéricos (fundamentalmente diferencias finitas en el dominio del tiempo y elementos finitos en el dominio de la frecuencia), tanto para conocer la distribución de campo en la cavidad como para, a partir de ella, intentar reducir la posible desadaptación entre línea y carga y diseñar adecuadamente los filtros necesarios. La figura 5 muestra la distribución de campo eléctrico en una cavidad alimentada por dos guías y con un material en su interior obtenida con la herramienta CST Microwave Studio.

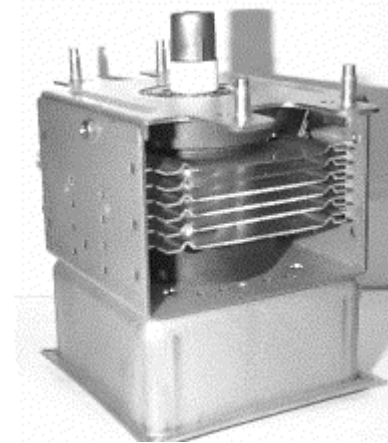


Figura 4. Magnetrón

Naturalmente, si se pretende tener un conocimiento de la distribución espacial y evolución temporal de temperaturas en el producto, será necesario acoplar el simulador electromagnético con un simulador que resuelva la ecuación del calor. En el caso más general, si el proceso de calentamiento genera además migraciones de humedad y evaporación, un estudio completo del fenómeno requerirá una herramienta de simulación de fenómenos de transferencia de calor y masa, acoplada con el simulador electromagnético. Este herramienta ha sido desarrollada recientemente en el GIMRE [2].

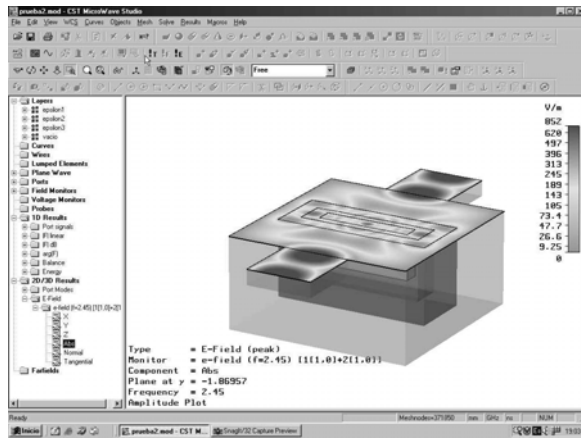


Figura 5. Distribución de campo eléctrico en un corte del sistema cavidad + guía.

3 Aplicaciones En el GIMRE se han diseñado y fabricado aplicadores de microondas para distintas necesidades industriales, cada una de las cuales presenta unas características determinadas y, por tanto, requiere soluciones específicas. De entre ellas, podemos destacar:

- Secado de alimentos y otros materiales laminares (madera, cuero (figura 6), papel, materiales cerámicos y de construcción)
- Vulcanización de caucho.
- Inactivación enzimática en alimentos.
- Desinsectación de grano para consumo humano (figura 7).
- Esterilización de suelos agrícolas (figura 8).
- Esterilización de alimentos.
- Polimerización de resinas en la industria del mármol.

4 Conclusiones

Las ventajas que aporta el calentamiento por microondas frente a procedimientos convencionales lo hacen especialmente indicado en aquellas etapas de la fabricación de un determinado producto que requieran una velocidad de procesamiento elevada y que necesiten de la aportación exterior de calor. Un diseño adecuado de un sistema de microondas para una determinada aplicación requiere, fundamentalmente, la caracterización dieléctrica de los materiales que participan en el proceso y, a partir de ella, una etapa de simulación por ordenador hasta obtener un equipo que proporcione la distribución de campo deseado sobre la muestra, minimice la reflexión del sistema y, si se trata de un horno continuo, evite la radiación de energía microondas al exterior mediante filtros. Este sistema de trabajo es el habitualmente empleado en el GIMRE y ha proporcionado excelentes resultados en distintas aplicaciones.



Figura 6. Secador continuo de cuero



Figura 7. Horno desinsectador de arroz



Figura 8. Aplicador de tratamiento de suelos agrícolas

Referencias

- [1] A.C. Metaxas, and R.J. Meredith, *Industrial Microwave Heating*. London: Peter Peregrinus Ltd., 1983
- [2] J. Monzó-Cabrera et al.. *A Three-Stage Microwave-Assisted Drying Model Based on the Dielectric Properties of Laminar Materials: Theoretical Development and Validation*. *Microwave and Optical Technology Letters*, vol 32(6), pp. 465-469