

# Aplicación de Algoritmos Genéticos en el Diseño de Hornos Microondas: Eficiencia Energética y Calentamiento Uniforme

A. Díaz Morcillo, J. Monzó Cabrera, A. J. Lozano Guerrero  
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: 968 32 5973  
E-mail: alejandro.diaz@upct.es

**Resumen.** En este artículo se describe la aplicación de algoritmos genéticos en el diseño de hornos microondas para procesos industriales de calentamiento. Los objetivos perseguidos en estos diseños son, fundamentalmente, la eficiencia energética mediante una adecuada adaptación entre la fuente de microondas y su carga, y la obtención de un campo eléctrico sobre la muestra lo más uniforme posible, con el fin de generar un calentamiento homogéneo en todo el producto y aumentando así la calidad del producto final.

## 1 Introducción

En los últimos años el Grupo de Electromagnetismo y Materia (GEM) de la Universidad Politécnica de Cartagena ha desarrollado distintos procedimientos de optimización en sistemas de calentamiento por microondas. Dado un material a procesar, estos algoritmos diseñan algunas de las partes que conforman el sistema de calentamiento de manera que se obtengan mejoras en el criterio de diseño especificado. En este artículo se presentan los resultados de optimización para dos criterios de diseño: la adaptación fuente – cavidad resonante y la uniformidad de campo sobre la muestra.

Los procesos de optimización requieren un algoritmo de búsqueda de soluciones y una herramienta que evalúe la bondad de dichas soluciones. De los distintos procedimientos de búsqueda empleados, sin duda los algoritmos genéticos han sido los que mejores resultados han obtenido [1], principalmente por su característica de optimizador global, frente a otros métodos locales como, por ejemplo, el de descenso del gradiente. En cuanto a la herramienta evaluadora, dada la arbitrariedad en la geometría y características de los materiales que intervienen en los sistemas a optimizar, se emplean métodos numéricos de simulación electromagnética, como elementos finitos [2] o diferencias finitas [3].

## 2 Algoritmos Genéticos

Los AG son procedimientos de búsqueda basados en las teorías de Darwin de evolución y selección natural. La optimización mediante AG es robusta, ya que utiliza métodos estocásticos de búsqueda, y presenta una gran efectividad en problemas complejos donde el objetivo es encontrar un máximo o un mínimo global [4].

Cuando los sistemas a desarrollar son muy costosos y es necesario encontrar el diseño óptimo sin

implementar varias posibilidades, los AG son una herramienta de gran utilidad.

En la figura 1 se muestra el funcionamiento del AG aplicado en este trabajo. En él los distintos diseños (individuos en jerga de AG), caracterizados por unos atributos o genes, son evaluados y, en función de esa evaluación, se selecciona una parte de la población, sobre las que se realizan operaciones de cruce y de mutación para dar lugar a la siguiente generación. Sobre esta nueva población se repite el procedimiento hasta que se alcanza el máximo de generaciones permitido o se consigue alcanzar el valor de diseño deseado.

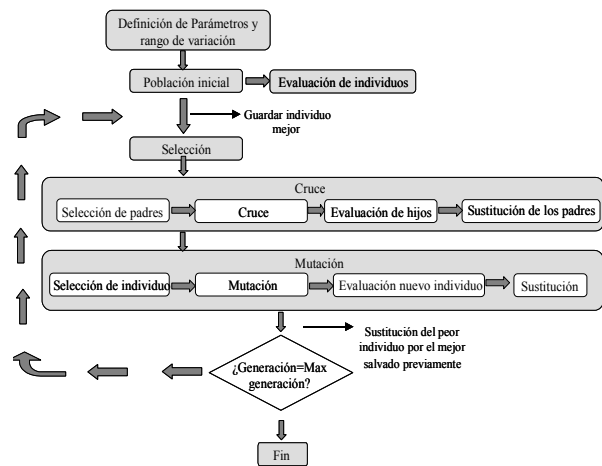


Figura 1. Diagrama de flujo del AG

## 2 Optimización de la adaptación

Se presentan a continuación ejemplos del procedimiento de diseño para la mejora la adaptación entre fuente de microondas (magnetron) y carga (cavidad con el material a calentar en su interior). Esta mejora de adaptación se traduce en una minimización de la magnitud del coeficiente de reflexión ( $s_{11}$ ) y reduce la reflexión de energía hacia

el generador, de manera que la mayor parte de la energía emitida se introduce en la cavidad, donde interactuará con el producto procesado.

En el primer ejemplo se pretende optimizar la posición de la guía que alimenta a una cavidad cilíndrica por su pared lateral, como indica la figura 2, y las dimensiones de esta cavidad. Por tanto, en este caso son cuatro los atributos de la solución (altura y azimut de la posición de la guía, radio y altura de la cavidad).

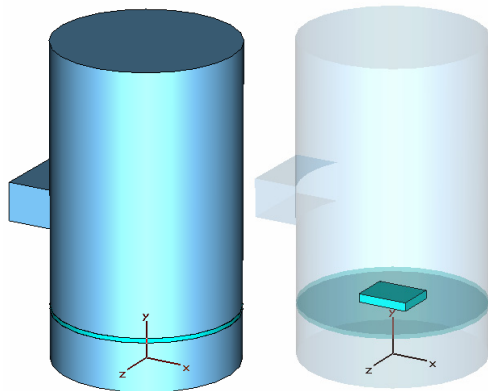


Figura 2. Cavidad resonante con alimentación lateral

La figura 3 muestra el coeficiente de reflexión obtenido para los distintos individuos (+) y para el mejor individuo de cada generación (o). En este caso se emplearon cinco individuos por generación. Se especificó como condición de terminación  $s_{11} < 0,1$ . Se observa cómo la adaptación se va mejorando conforme avanza el algoritmo y que el valor predeterminado se alcanza en la décima generación. La figura 4 compara en el margen de frecuencias de interés el coeficiente de reflexión de un diseño no optimizado y el conseguido mediante AG. Resulta espectacular la mejora obtenida.

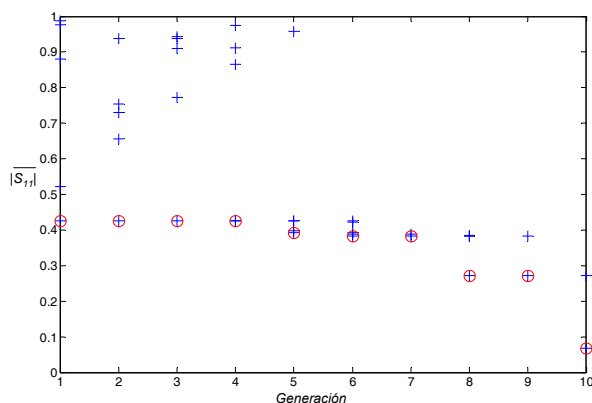


Figura 3: Evolución del AG en el diseño de una cavidad cilíndrica con alimentación lateral

Otra posibilidad en la mejora de la adaptación es el recubrimiento del producto a calentar con una o varias capas de materiales dieléctricos de bajas pérdidas. En este caso los atributos de diseño son los espesores, constante dieléctrica y factor de pérdidas

de las distintas capas. En la figura 5 se muestra el esquema de esta solución y en la figura 6 la reducción conseguida en el coeficiente de reflexión mediante AG.

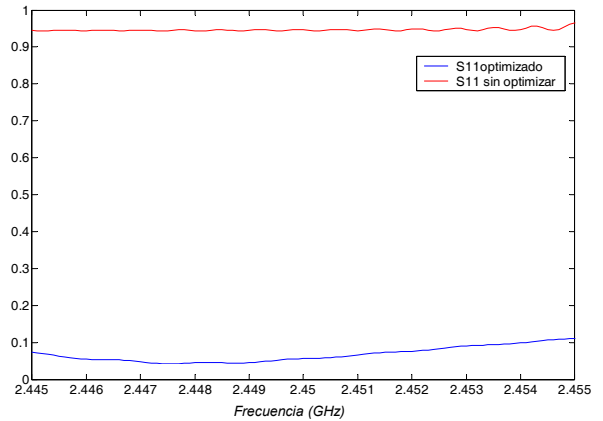


Figura 4. Coeficiente de reflexión para el diseño óptimo y para un diseño sin optimizar en cavidad cilíndrica

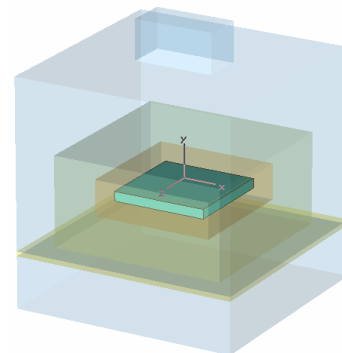


Figura 5. Muestra rodeada por dos moldes dieléctricos

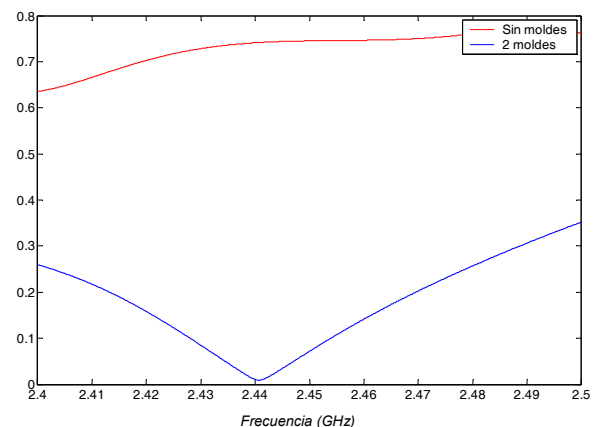


Figura 6. Coeficiente de reflexión para el diseño optimizado con moldes y para un diseño sin moldes

### 3 Uniformidad de Campo Eléctrico

Una de las características más importantes y deseadas en los procesos de calentamiento por microondas es la uniformidad de campo sobre el material que debe ser calentado, ya que la calidad del proceso y de los

productos obtenidos depende en gran medida de ello [5]. En este caso, la función de evaluación de cada individuo será la desviación típica del campo eléctrico en el material.

No obstante, considerando solamente la uniformidad de campo, los diseños óptimos que se obtienen consiguen una intensidad de campo en la muestra muy pequeña y, por tanto, el proceso es poco eficiente. Por ello se debe introducir en la función de evaluación la intensidad de campo y este nuevo parámetro deberá maximizarse. Así pues, la función de evaluación que se considerará tendrá como valor a minimizar la desviación típica normalizada por el valor medio de la intensidad de campo en la muestra

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2}}{\sum_{i=1}^n |E|}$$

donde  $n$  es el número de puntos considerados en la muestra. De esta forma se consigue uniformizar el campo eléctrico en la muestra a la vez que se maximiza el campo medio.

En la figura 7 se compara la distribución de campo eléctrico en el plano en el que se ha situado la muestra para el caso no optimizado (sin moldes dieléctricos) y para uno optimizado con 2 moldes. Es visible la mejora obtenida en uniformidad, pasando de una desviación típica normalizada de 0,77 a 0,13.

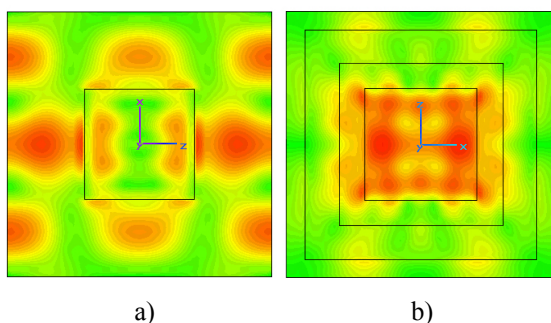


Figura 7. Distribución de campo en el plano de la muestra: a) no optimizado, b) optimizado (2 capas)

## 5 Conclusiones

Los resultados presentados muestran la gran utilidad de los AG en procedimientos de optimización de sistemas de calentamiento por microondas. Aspectos como la adaptación del sistema, la eficiencia energética o la uniformidad de campo pueden ser mejorados mediante optimizaciones que hacen uso de este tipo de algoritmos de búsqueda y simuladores electromagnéticos que permiten evaluar cada individuo o solución.

## Referencias

- [1] M.E. Requena-Pérez, A. Albero-Ortiz, J. Monzó-Cabrera y A. Díaz-Morcillo, "Combined Use of Genetic Algorithms and Gradient Descent Optimization Methods for Accurate Inverse Permittivity Measurement", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 54 (2), pp. 615-624., February 2006.
- [2] J. Jin, *The Finite Element Method in Electromagnetics*, Second ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002
- [3] A. Taflove, S.C. Hagness, *Computational Electrodynamics. The Finite-Difference Time-Domain Method*, Second ed. Artech House, Boston, 2000
- [4] Y. Ramat-Samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, Wiley and Sons Inc, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, Canadá, 1999.
- [5] Konstantin A. Lurie, Vadim V. Yakovlev, "Method of Control and Optimization of Microwave Heating in Waveguide Systems", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 35, n. 3, Mayo 1999