

Diseño y construcción de un sistema de medida de potencia para la configuración de filtros para hornos industriales de microondas

F. J. CLEMENTE FERNÁNDEZ, J. MONZÓ CABRERA, J. L. PEDREÑO
MOLINA, A. J. LOZANO GUERRERO Y A. DÍAZ MORCILLO

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
Universidad Politécnica de Cartagena.

francisco.clemente@upct.es; juan.monzo@upct.es;
juan.pmolina@upct.es; antonio.lozano@upct.es;
alejandro.diaz@upct.es

Resumen

En las aplicaciones de calentamiento asistido por microondas que incluyen puertos abiertos en guía de onda es fundamental garantizar que los niveles de energía que escapa al exterior son mínimos. Para ello, se emplean filtros elimina-banda que absorben o reflejan dicha energía. En el proceso de diseño y configuración de dichos filtros es necesario disponer de sistemas de medida que permitan evaluar cada posibilidad de diseño para finalmente seleccionar la configuración óptima. Así, en este trabajo se ha diseñado y construido un sistema de medida de potencia que se acopla al puerto del filtro y que permite obtener de una manera sencilla el nivel de potencia que llega a la salida del filtro y que por tanto se radiará al exterior. Los resultados obtenidos validan el correcto funcionamiento del sistema.

Proyecto/Grupo de investigación: Electromagnetismo y Materia. Diseño e implementación de filtros reactivos autoconfigurables para hornos industriales de microondas de procesamiento en línea. Entidad financiadora: Fundación SENECA. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Códigos: 11689/PI/09 (Proyecto) y 12425/FPI/09 (Beca Predoctoral).

Líneas de investigación: *Diseño de aplicadores de calentamiento por microondas; Aplicación de métodos numéricos a problemas electromagnéticos; Caracterización dieléctrica de materiales; Materiales inteligentes frente a la radiación electromagnética; Apantallamiento de sistemas electrónicos.*

1. Introducción

En las aplicaciones de calentamiento asistido por microondas en las que una cinta transportadora atraviesa una cavidad de microondas, se imponen unas grandes aberturas permanentes en las paredes laterales de dicha cavidad a través de las cuales se pueden escapar niveles peligrosos de energía. Para garantizar la seguridad de estos sistemas se deben colocar en las aberturas de la cavidad filtros que reflejen y/o absorban dicha energía. Además, estos filtros deben permitir el libre movimiento del producto. En la Figura 1 se muestra un esquema general de este tipo de sistemas.

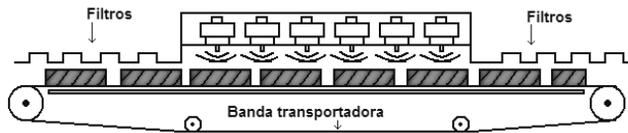


Figura 1: Aplicador de microondas de procesamiento continuo.

Existen diversos tipos de filtros elimina-banda en guía de onda, como pueden ser stubs cortocircuitados [1], estructuras resonantes [2], [3] o postes metálicos [4]. Centrándose en aplicaciones de calentamiento industrial por microondas, se han propuesto muchas alternativas para solucionar este problema [5]. Una de las más efectivas se basa en filtros corrugados reactivos [6], [7] los cuales reflejan la energía que intenta escapar del aplicador de microondas.

1.1. Filtros simplemente corrugados

Los filtros simplemente corrugados consisten en un conjunto de stubs de igual longitud distribuidos de forma periódica. Como se puede ver en la Figura 2, un filtro corrugado simple es una cascada periódica de pasos puramente capacitivos en una guía de onda rectangular que permite eliminar únicamente la radiación en sistemas de guías de onda abiertos relacionados con el modo fundamental TE_{10} .

Para diseñar estos filtros se debe obtener un circuito equivalente monomodo de todos los elementos que integran la estructura. Los stubs se modelan mediante un circuito monomodo equivalente y las guías de onda rectangulares que los interconectan se representan mediante líneas de transmisión relacionadas con el modo fundamental.

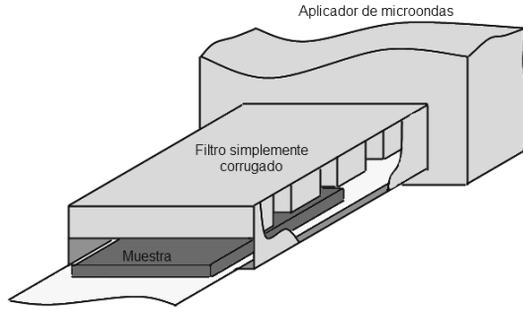


Figura 2: Filtro simplemente corrugado.

1.2. Filtros doblemente corrugados

Para atenuar más modos aparte del modo fundamental, el diseño se extiende a los filtros doblemente corrugados, que presentan también variaciones en la otra dimensión horizontal. Si se toma como punto de partida el filtro corrugado explicado anteriormente, se puede ver que el filtro doblemente corrugado tiene un conjunto adicional de ranuras que atraviesan los stubs transversales formando una estructura “dentada”. Esto se puede observar en la Figura 3.

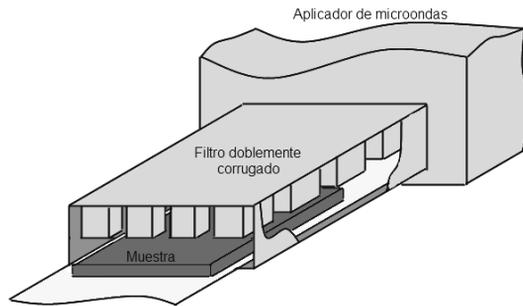


Figura 3: Filtro doblemente corrugado.

Cualquier modo TE_{m0} se puede descomponer en dos ondas TEM. Si se diseña un filtro doblemente corrugado para reflejar estas ondas TEM se puede permitir fugas de la energía asociada a los modos TE_{m0} . Esto da lugar a sistemas con puertos anchos, útiles en muchas aplicaciones prácticas. De ahí que este tipo de filtros sean los que se han empleado tradicionalmente en la mayoría de aplicaciones industriales de calentamiento por microondas.

El problema de este tipo de filtros radica en que su comportamiento presenta una completa dependencia de la aplicación para la que fueron diseñados, concretamente de las características dieléctricas del material que se desea procesar. Por ello, un filtro que sea óptimo para un tipo de material

determinado, no tendrá por qué serlo para otro. En definitiva, se debe diseñar un filtro distinto para cada material que se desee procesar.

1.3. Nueva topología desarrollada

Planteada como una evolución de estos filtros doblemente corrugados, en el Grupo de Electromagnetismo y Materia se ha desarrollado la patente titulada “Filtro multimodo de microondas abierto en tecnología de guía de onda mediante la combinación de postes e iris para hornos de calentamiento por microondas” con número de publicación 2337756 en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). La Figura 4 muestra un ejemplo no restrictivo de la configuración propuesta en dicha patente consistente en una combinación alterna de iris y postes metálicos en la parte superior del filtro, donde (1) es la entrada del filtro en forma de apertura, (2) es la salida del filtro, (3) es el sistema de transporte para los materiales, (4) son los iris metálicos con sus dimensiones optimizadas para un correcto funcionamiento, (5) son las filas de postes metálicos rectangulares, cilíndricos o con otras formas con ciertas dimensiones optimizadas para un correcto funcionamiento, (6) la carcasa metálica con dos aberturas para entrada y salida de materiales que rodea los elementos internos anteriormente citados y (7) es el material procesado. El prototipo construido se puede ver en la Figura 5, junto con un detalle de los pivotes cilíndricos, los cuales se pueden introducir en el filtro cualquier longitud que se desee. Dicha libertad en la longitud de penetración de los pivotes permite optimizar la respuesta del filtro para cada escenario de funcionamiento.

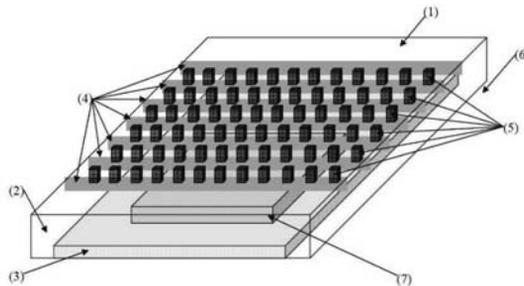


Figura 4: Filtro elimina-banda que combina iris y postes metálicos.

Por tanto, es necesario un sistema que nos permita medir la potencia que se obtiene a la salida del filtro para cada posible configuración de los pivotes metálicos y por tanto evaluar qué configuración es la que ofrece una mayor atenuación.



Figura 5: Prototipo construido.

2. Sistema de medida de potencia

El proceso de diseño del sistema de medida se ha llevado a cabo mediante el software comercial de simulación electromagnética CST Studio Suite 2009 [8]. Dicho sistema consiste en una extensión del filtro de unos cinco centímetros de longitud, como se puede ver en la Figura 6, en la que se han situado varios monopolos colocados en los máximos de campo de las distribuciones correspondientes a cada uno de los modos TE_{m0} que se propagan a través del filtro. En la Figura 7 se puede ver una vista desde arriba con la colocación de las antenas. Los números que se observan representan el número del modo m en cuyo máximo de campo eléctrico se ha colocado la sonda.

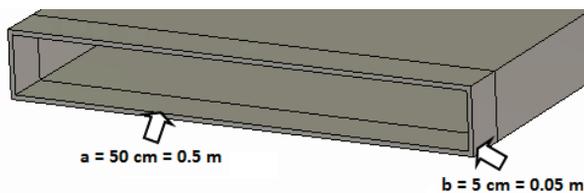


Figura 6: Extensión del filtro para colocar las sondas de medida.

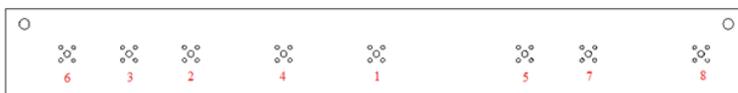


Figura 7: Vista desde arriba con la colocación de las antenas.

Así, el prototipo construido a partir de este diseño teórico se puede ver en la Figura 8, en la que se puede observar una antena colocada en el máximo del modo fundamental TE_{10} .



Figura 8: Prototipo del sistema de medida.

2.1. Escenario de medida

La configuración empleada para llevar a cabo las medidas es la que se observa en la Figura 9. Se ha empleado un generador de señales Agilent 8648C emitiendo una señal senoidal a 2.45 GHz y 14.5 dBm de potencia para excitar el modo fundamental en el puerto 1 mediante la colocación de otra pieza similar a la empleada en el puerto 2, pero con una única antena situada en el máximo de campo de dicho modo. Dicha pieza se encuentra cortocircuitada en el extremo abierto para maximizar la introducción de energía en el filtro. Para medir el valor de potencia en dBm en el puerto 2 se ha empleado un analizador de espectros Rohde & Schwarz FSP7. Así, se puede obtener el valor de potencia en cada una de las ocho antenas del puerto 2 tan solo con cambiar el cable que va al analizador de espectros.

3. Resultados

Las medidas realizadas han consistido en medir la potencia que circula desde el puerto 1 al puerto 2 para distintos valores de la penetración de los pivotes en el filtro, con el objetivo encontrar la máxima atenuación posible dependiendo de la posición de dichos pivotes. Partiendo de un filtro con todos los pivotes subidos, se van bajando todos los pivotes de la fila más próxima al puerto 2. Los valores de potencia obtenidos para la antena colocada en el máximo del modo fundamental en función de la penetración de los pivotes están recogidos en la Tabla 1. Se puede ver que la potencia mínima se obtiene para una longitud de los pivotes de 25,83 mm.

Una vez que se ha obtenido el mejor valor para una única fila, a continuación se van introduciendo progresivamente todos los pivotes de las filas siguientes a

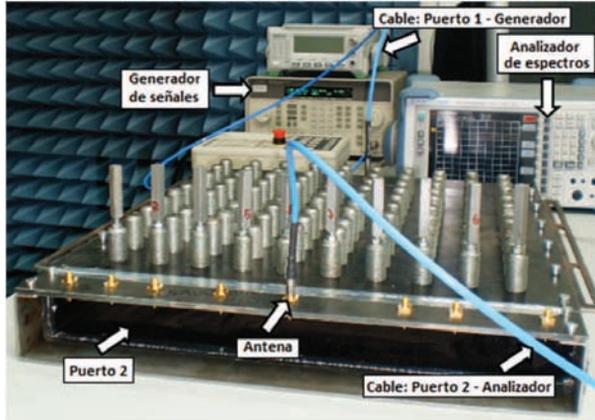


Figura 9: Escenario de medidas.

la misma longitud para comprobar el efecto que produce cada fila. Así, los resultados se pueden observar en la Tabla 2.

Se puede ver que el mejor resultado se obtiene con 9 filas de pivotes introducidas en el filtro. El mayor valor de potencia obtenido al introducir la décima fila se explica por el hecho de la proximidad de dichos pivotes a la antena transmisora que modifica la distribución de campo e invalida la protección del resto de filas. Así pues, la configuración óptima obtenida según el procedimiento de optimización explicado es la que se observa en la Figura 10, con 9 filas de pivotes introducidos 25,83 mm. Si traducimos el valor de potencia obtenida a la atenuación introducida por el filtro (teniendo en cuenta la potencia del generador de señales, las pérdidas en cables y antenas y la propagación de la señal a través de la guía vacía), dicha atenuación alcanza un valor de 40 dB.

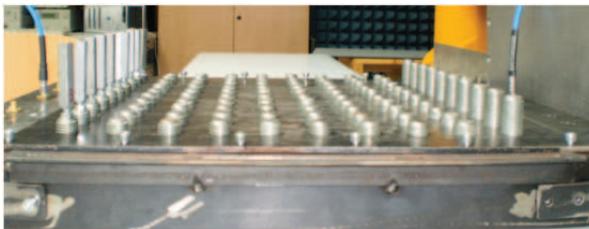


Figura 10: Configuración óptima.

Longitud de los pivotes en mm	Potencia en dBm
0	-41,9163
3,27	-42,0011
6,09	-42,0417
8,91	-41,9834
11,73	-42,0795
14,55	-41,6642
17,37	-42,2231
20,19	-42,5245
23,01	-44,8012
25,83	-54,6589
28,65	-45,9421
31,47	-42,0747
34,29	-41,0961
37,11	-40,8317
39,93	-40,7581

Cuadro 1: Potencia medida en función de la longitud de los pivotes de la fila 1.

Número de filas introducidas	Potencia en dBm
1	-54,6589
2	-55,3745
3	-64,0095
4	-56,3001
5	-65,4229
6	-62,7009
7	-62,5038
8	-65,9774
9	-70,5569
10	-57,2444

Cuadro 2: Potencia medida en función del número de filas introducidas.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha diseñado y construido un sistema de medida de potencia que se acopla al puerto de los filtros en guía de onda que se emplean en hornos industriales de microondas de procesamiento continuo y que permite obtener de una manera sencilla el nivel de potencia que llega a la salida del filtro y que por tanto se radiará al exterior. Dicho sistema permite la evaluación de cada configuración del filtro para obtener la configuración óptima según el procedimiento de diseño que se lleve a cabo. Aunque en este caso el valor de atenuación obtenido no es muy alto (son recomendables atenuaciones a partir de 60 dB) debido a las limitaciones del procedimiento de optimización empleado (optimización de todos los pivotes de una fila con la misma longitud y luego el resto de filas iguales, y únicamente para el modo fundamental), se ha comprobado que el sistema se puede emplear con garantías para este propósito.

Referencias

- [1] R. Levy, Compact waveguide bandstop filters for wide stopbands, Microwave Symposium Digest, 2009. MTT '09. IEEE MTT-S International , 1245–1248 (2009).
- [2] C. A. W. Vale, P. Meyer and K. D. Palmer, A design procedure for bandstop filters in waveguides supporting multiple propagating modes, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 48, no. 12, 2496–2503 (2000).
- [3] P. Meyer, C. A. Vale and W. Steyn, On the design of waveguide devices using multiple propagating modes, Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, 2003. TELSIS 2003. vol.1, 329–336 (2003).
- [4] R. Gesche and N. Lochel, Two cylindrical obstacles in a rectangular waveguide-resonances and filter applications, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 37, no. 6, 962–968, (año: 1989).
- [5] A. C. Metaxas and R. J. Meredith, Industrial Microwave Heating, Peregrinus, Stevenage, UK (1988).
- [6] A. L. Vankoughnett and J. G. Dunn, Doubly corrugated chokes for microwave heating systems, J. Microwave Power, vol. 8, no. 1, 101–110 (1973).
- [7] P. Soto, V. E. Boria, J. M. Catalá-Civera, N. Chouaib, M. Guglielmi, and B. Gimeno, Analysis, design, and experimental verification of microwave filters for safety issues in open-ended waveguide systems, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 48, no. 11, 2133–2140 (2000).
- [8] <http://www.cst.com/>