

# APLICACIÓN DE LA SIMULACION ELECTROMAGNÉTICA EN EL ESTUDIO DE FILTROS PASO BANDA EN MICROSTRIP

Pablo L. Lopez<sup>(1)</sup>, Jose M. Zamanillo<sup>(2)</sup>, Rocio Sanchez<sup>(1)</sup>, Jose F. Pasamon<sup>(1)</sup>, Francisco Calvo<sup>(1)</sup>, Carlos Perez<sup>(1)</sup>.

pablo.lopez@uah.es, jose.zamanillo@unican.es, rocio.sanchez@uah.es.

<sup>(1)</sup> Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Alcalá. Escuela Politécnica Superior.

<sup>(2)</sup> Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. E.T.S.I.I.T. Avda.de los Castros s/n.

**Abstract-** In this paper we present the study of electromagnetic simulation as an educational tool for microwave filters. We have started from the classic coupled lines filter, simulated both by traditional and electromagnetic methods. This way, we can obtain the frequency response and also the electric field distribution. Later, we have introduced ladder line and SIR structures into the classic filter to show the variations in the filter behaviour. These structures have been used to reduce filter size. Finally, we have combined both techniques in the same device. Several filters have been constructed and measured to validate the results obtained by simulation. The proposed designs let us verify concepts such as field distribution, phase velocity and resonator shape influence.

## I. INTRODUCCIÓN

El diseño tradicional de filtros paso banda con líneas acopladas ha sido utilizado ampliamente para la enseñanza de este tipo de filtros en numerosas escuelas de ingeniería. La necesidad actual del empleo de dispositivos cada mas pequeños y con respuestas en frecuencia más exigentes, ha propiciado el diseño de dispositivos cuyo tamaño sea cada vez menor o con estructuras resonantes diferentes. El empleo de los tradicionales simuladores circuitales no resulta posible en la mayoría de los casos, por lo que la simulación electromagnética es una alternativa a considerar.

En este trabajo, se plantea el diseño de filtros paso banda de reducidas dimensiones usando para ello la técnica "Ladder". Además del análisis desde el punto de vista de respuesta en frecuencia del circuito, se ha planteado un análisis del comportamiento del dispositivo desde el punto de vista electromagnético, permitiendo con ello cubrir dos objetivos: un mejor entendimiento del comportamiento de dichas estructuras y conocer qué parámetros físicos podemos alterar en la estructura, sin modificar su respuesta en frecuencia.

## II. DISEÑO CON LÍNEAS ACOPLADAS.

El diseño tomado como punto de partida para este estudio es el clásico con líneas acopladas descrito en [1], tomando como modelo para las líneas acopladas el dado en [2]. Para contrastar los resultados de las simulaciones obtenidas, se han construido diferentes prototipos empleando un sustrato de tipo FR4 de características  $\epsilon_r = 4,2$ ,  $\text{tg } \delta = 0.02$ , grosor del

sustrato 1,54 mm y grosor del conductor 0.035 mm. Todas las simulaciones se han realizado para una frecuencia central de 2 GHz, considerando una respuesta de orden 3 con un rizado en la banda de paso de 3 dB y un ancho de banda relativo del 5 %.

Con los datos anteriores se comparan las respuestas del filtro mediante un simulador circuitual (MMICAD) y un simulador electromagnético (HFSS).

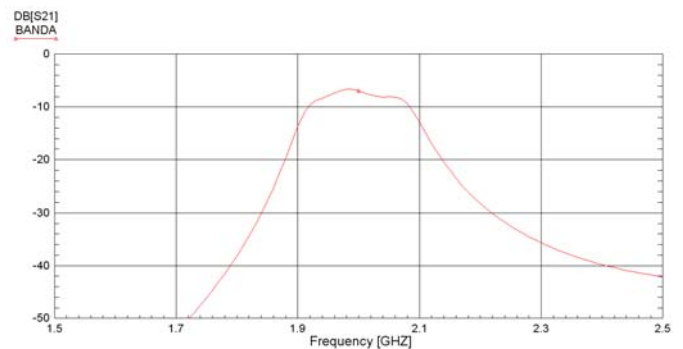


Fig. 1. Respuesta obtenida mediante simulación con MMICAD.

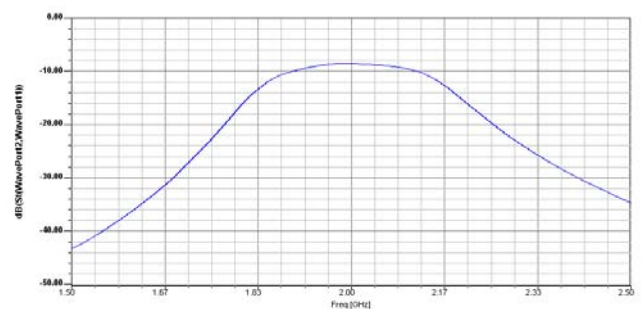


Fig. 2. Respuesta obtenida mediante simulación con HFSS.

Obviamente ambas respuestas han de ser muy similares, aunque distan de la respuesta ideal de un filtro paso banda debido a las elevadas pérdidas del sustrato elegido. Si se representa la distribución de campo eléctrico en las líneas acopladas que forman el filtro, se obtiene la figura 3. En ella

se observa como la mayor amplitud de campo se encuentra en los bordes de las líneas acopladas.

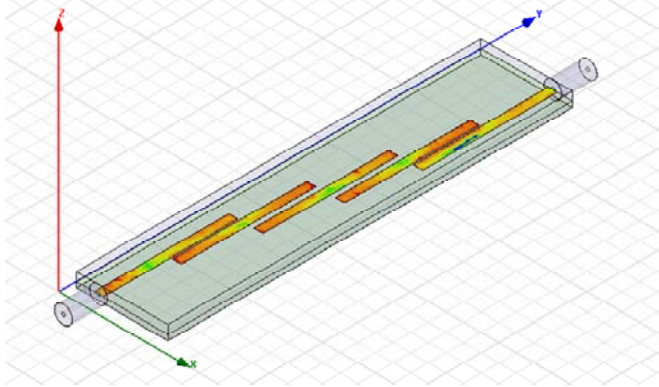


Fig. 3. Distribución de campo eléctrico a lo largo del filtro.

### III. TÉCNICAS LADDER LINE Y SIR

Una técnica propuesta para la miniaturización de este tipo de filtros por Hong y Lancaster consiste en la eliminación periódica en forma de pequeñas ranuras del cobre en el interior de los resonadores, formando una estructura conocida como ladder line [3]. La siguiente figura muestra la representación del campo electromagnético en la estructura.

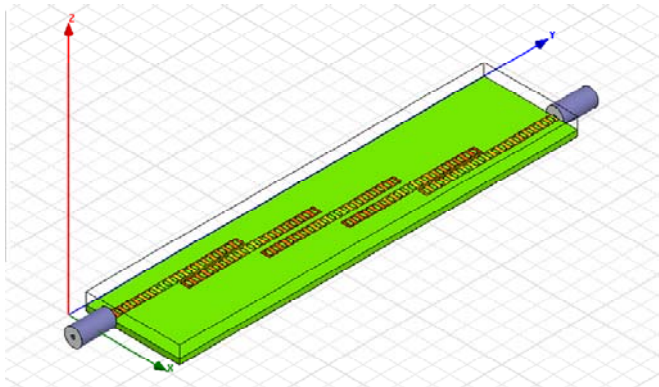


Fig. 4. Distribución de campo eléctrico a lo largo del filtro.

Se han realizado simulaciones para porcentajes de superficie de cobre del 33, 50 y 66 % y se han construido dichos filtros para comprobar la validez de las simulaciones (figuras 5 y 6).

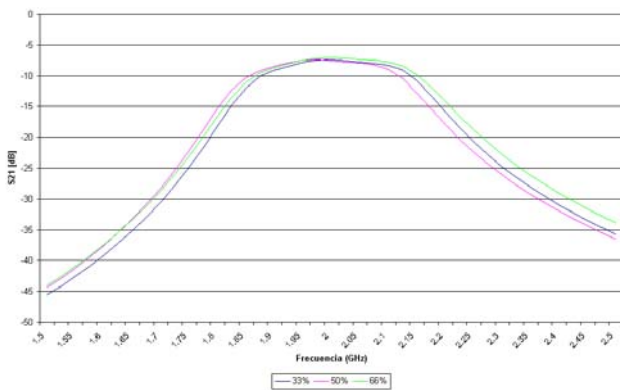


Fig. 5. Simulación del filtro de la figura 4.

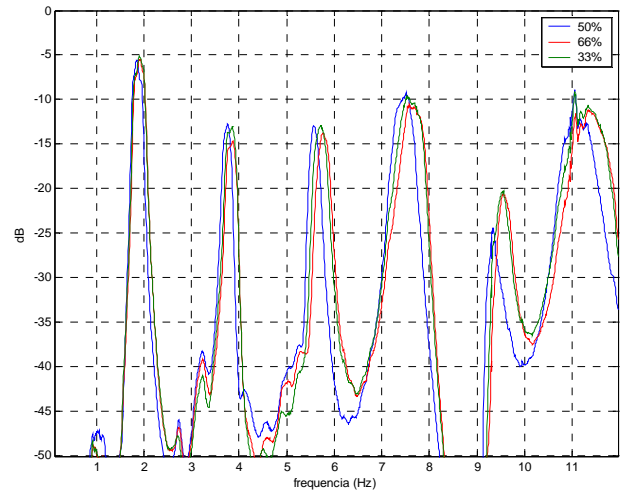


Fig. 6. Respuesta del filtro de la figura 4.

A la vista de los resultados del campo eléctrico obtenidos en la figura 3, y de la propuesta de eliminación que suponen las técnicas ladder line, se ha procedido a eliminar completamente la superficie interior de los resonadores, igualmente para los porcentajes de superficie de cobre mencionados. En este caso no se observa la variación de la frecuencia central del filtro como en el caso ladder line, aunque el cambio en la estructura resonante afecta en este caso a la aparición de un mínimo en torno a 2,4 GHz. La respuesta de los filtros construidos aparece en la figura 8.

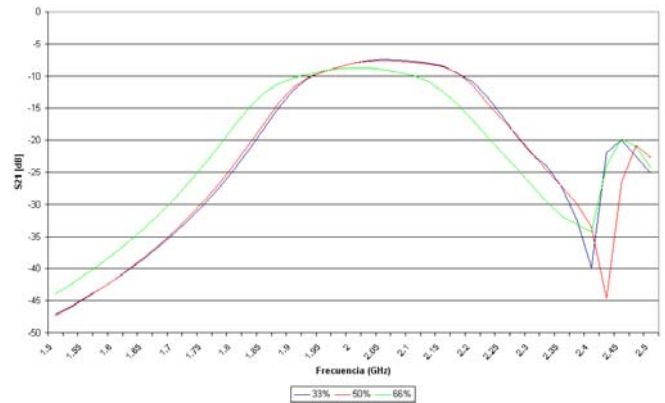


Fig. 7. Simulación del filtro vaciado de cobre.

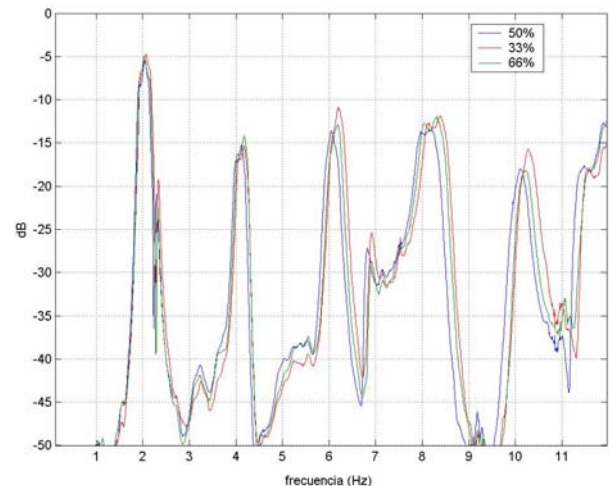


Fig. 8. Respuesta del filtro vaciado de cobre.

Estos ejemplos han servido para demostrar la influencia de la estructura ladder line sobre el cambio de la frecuencia central del filtro. Igualmente, la realización de un vaciado del interior del resonador, sin afectar a la misma, permite constatar la distribución del campo eléctrico fundamentalmente en los bordes del resonador.

Otra estructura probada para alterar la respuesta en frecuencia del filtro clásico con líneas acopladas es la llamada SIR (*Stepped Impedance Resonator*). En ella se combinan dos impedancias características en el resonador para obtener diferentes bandas de paso [4]. En este caso, el diseño se ha realizado a la frecuencia de 1GHz, procurando desplazar la respuesta periódica hasta 2,5 GHz. El filtro construido y los resultados obtenidos se muestran en las figuras 9 y 10.

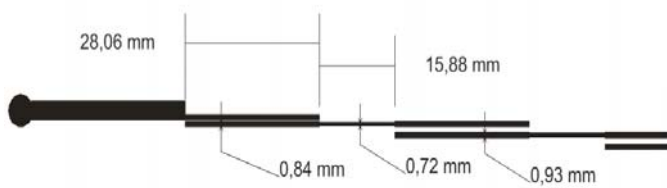


Fig. 9. Filtro SIR diseñado

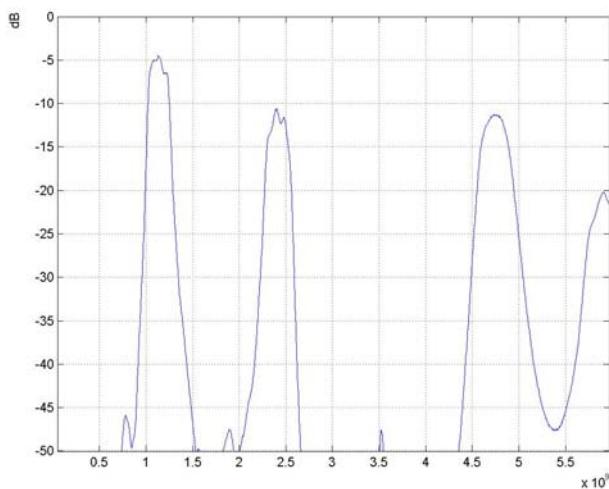


Fig. 10. Respuesta del Filtro SIR diseñado

La figura 10 muestra el desplazamiento de la respuesta en frecuencia debida a la introducción de saltos de impedancia en el resonador. Por último, se han combinado las dos técnicas propuestas en esta comunicación, realizando una estructura ladder line dentro de los resonadores SIR (figura 11).



Fig. 11. Combinación de las estructuras SIR y ladder line

Como puede apreciarse en la figura 12, la introducción de la estructura ladder line modifica la respuesta en frecuencia

en el mismo sentido que en el caso de las líneas acopladas de impedancia constante.

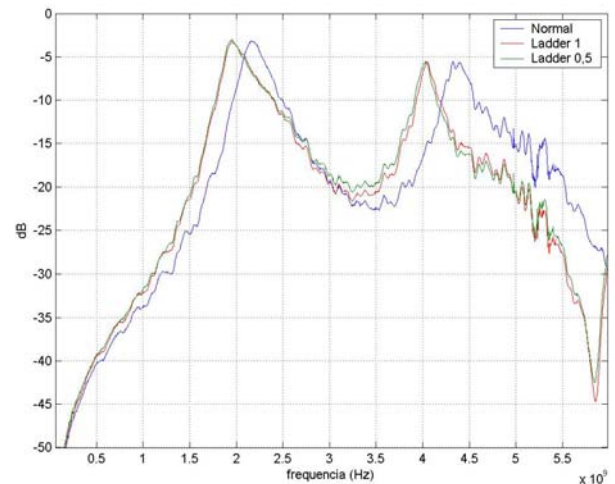


Fig. 12. Respuesta de la combinación de las estructuras SIR y ladder line.

#### IV. PRÁCTICA PROPUESTA

La práctica propuesta se ha realizado en tres partes. Las dos primeras están dedicadas a la simulación de algunos de los filtros propuestos en los apartados anteriores. La tercera parte de la práctica propuesta está dedicada a la medida con el analizador de redes de los filtros previamente simulados por los alumnos.

El desarrollo de la primera parte de la práctica parte del diseño clásico de líneas acopladas explicado en clase de teoría. A los alumnos se les entrega el fichero que permite la simulación electromagnética del filtro comentado en el apartado II. A partir de este diseño, resulta relativamente sencillo, mediante sustracciones del conductor formar filtros de tipo ladder line o vaciados por completo en su interior. A los alumnos se les propone que vacíen el conductor desde el centro de los resonadores hacia los bordes de los mismos en pasos de 0,5 mm.

Los alumnos deben comprobar como varían la banda de paso, las respuestas periódicas de la misma y las pérdidas de inserción del filtro. Esta misma eliminación del cobre se propone para la estructura ladder line comentada en el apartado III. De nuevo, partiendo del diseño con líneas acopladas, y mediante sustracciones como muestra la figura 4, se va variando el porcentaje de cobre del resonador hasta dejarlo en el 33 y en el 66%. Nuevamente, los alumnos deben comprobar como varían la banda de paso, las respuestas periódicas de la misma y las pérdidas de inserción del filtro. Estas experiencias pueden llevarse a cabo en una sesión de dos horas, realizándose las mismas de forma guiada por el profesor.

Una vez completada esta primera parte, se propone a los alumnos una segunda sesión no guiada en la que los alumnos deben simular el comportamiento de los filtros descritos en las figuras 9 y 11. Para esta sesión se dedican también dos horas. En este caso, los alumnos deben prestar especial atención a la variación de las frecuencias de las distintas bandas de paso.

La tercera parte de la práctica está dedicada a la comprobación práctica de los resultados simulados en otra sesión de dos horas, aunque este tiempo se encuentra muy

condicionado por la disponibilidad de instrumentación y la habilidad en el manejo de la misma por parte de los alumnos. Para ello se dispone de filtros construidos de acuerdo con las simulaciones realizadas: filtros paso banda clásicos, filtros vaciados con distintos porcentajes de cobre, ladder line, SIR y combinaciones de los dos últimos. Estos filtros se miden con un analizador de redes para obtener respuestas como las mostradas en las figuras 6, 8, 10 y 12. Para la comprobación de las prestaciones descritas de los filtros propuestos, el analizador de redes debe permitir medir, al menos, hasta 6 GHz.

## V. CONCLUSIONES

Los simuladores circuitales han demostrado su utilidad en la docencia durante largo tiempo, sin embargo, su utilidad está reducida a las estructuras para las cuales se dispone de un circuito equivalente suficientemente válido. En la comunicación presentada se ha demostrado la utilidad de la simulación electromagnética para el diseño de filtros de microondas. Como ejemplo de aplicación se han estudiado las estructuras ladder line y SIR, así como su combinación.

Los resultados obtenidos en las simulaciones, así como las medidas realizadas sobre los prototipos construidos permiten demostrar la validez de las simulaciones, así como comprobar los conceptos teóricos remarcados durante la comunicación: cambio en la frecuencia de resonancia, distribución del campo electromagnético, influencia del resonador sobre la respuesta del filtro...

## REFERENCIAS

- [1] G. Matthai, E. M. T. Jones y L. Young, "Microwave filters, impedance-matching networks and coupling structures". Artech House, 1980.
- [2] R. Garg y I. J. Bahl, Characteristics of coupled microstrip lines, IEEE Trans., MTT-27, July 1979, 700-705. Correction in IEEE Trans., MTT-28, March 1980, p.272.
- [3] Jia-Shen, G.Hong y M.J.Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, John Wiley & Sons. , New York, 2001.
- [4] M. Makimoto y S. Yamashita, Bandpass filters using parallel coupled stripline stepped impedance resonators, IEEE MTT-28, 1980, 1413-1417.