

RESONADORES DIELECTRICOS ELÍPTICOS PARA FILTROS EN MICROONDAS

Samuel Ángel Jaramillo Flórez

Universidad del Quindío, Programa de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Carrera 15, Calle 12N, Edificio de Ingeniería, 3° Piso, Armenia, Colombia Institución Universitaria Tecnológico Pascual Bravo Asesor Grupo de Investigación GARPE, Calle 73 # 73A-226, Sector de Pilarica, Medellín, Colombia,
y Consultor de Métodos Expertos e InvBiTel/AC samuelangel@uniquindio.edu.co

Resumen: Este trabajo describe los resultados obtenidos del análisis de los resonadores dieléctricos elípticos para estudiar el diseño de filtros de microondas en sistemas de comunicación por RF. Por medio de las ecuaciones de la óptica, se encuentran las dimensiones del material que llenan los resonadores dieléctricos. Se hacen cálculos computacionales de los parámetros de scattering S_{11} and S_{21} de resonadores dieléctricos y se discuten las posibles aplicaciones en filtros en frecuencias de microondas.

Palabras Clave: Resonador dieléctrico elíptico, filtros de microondas, parámetros de scattering.

1. INTRODUCCIÓN

Muchas configuraciones no esféricas en circuitos integrados de microondas son de interés práctico pero tienen la desventaja en común de ser difíciles de fabricar. Aun así, se pueden utilizar elementos no esféricos de precisión donde su alto costo se puede justificar. Este trabajo describe el análisis y los resultados obtenidos de aplicar el modelo de las ondas estacionarias en espejos elípticos a la propagación de las ondas electromagnéticas en las frecuencias de microondas dentro de materiales dieléctricos que conforman resonadores utilizados para construir dispositivos LC y filtros de alta frecuencia. Inicialmente se plantea el modelo general. Posteriormente se demuestra que el comportamiento resonante se presenta en estructuras elípticas resonantes. Después se discute la resonancia en dieléctricos elípticos excitados por líneas de transmisión coplanar. Esto conduce a que se puede extender este concepto a circuitos representativos de los resonadores, utilizando la simetría de la elipse. Posteriormente se describen los modelos de las estructuras resonantes elípticas planteadas y finalmente, se proponen aplicaciones prácticas, soportadas por los resultados de las simulaciones computacionales.

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Beca Erasmus Mundus E2ENHANCE 155727-EM-1-2009-1-ES-ERA MUNDUS-ECW- L21 de la Comisión Europea, por la Universidad del Quindío, Proyecto # 466/2009 y por las empresas Métodos Expertos (www.metodosexpertos.com) e InvBiTel/AC.

2. TRANSFORMADORES DE FRENTE DE ONDA Superficie Ovoide Cartesiano

Se pueden utilizar técnicas para concentrar los frentes de onda y construir resonadores dieléctricos en microondas. Esto permite proponer dispositivos diseñados a partir de superficies refringentes no esféricas, haciendo que el frente de onda se propague a través de una superficie de separación curva entre dos medios transparentes. Una porción de onda esférica que diverge de una fuente puntual S se transforma en una onda esférica que converge al punto P , como se muestra en la Fig. 1(a). Los bordes de la onda recorren un trayecto mayor en el medio más denso y alcanzan y pasan la región central de la onda, invirtiendo así el frente de onda. Estas son las superficies ovoide cartesiano [1]. Cuando se tiene una fuente puntual sumergida dentro de un medio, como en la Fig. 1(b), donde $n_1 > n_2$, la forma que debe tener la superficie de separación para que los frentes de onda emerjan planos debe ser convexa hacia la derecha, siendo dicha superficie un elipsoide de revolución con excentricidad $e = n_{21} < 1$, que corresponde a una superficie de separación elíptica.

Superficies Refringentes Esféricas

En la Fig. 2 (a), la onda esférica que diverge de S converge en P si la superficie de separación es un ovoide cartesiano. Si los rayos son paraxiales, una superficie de separación esférica también hará que los rayos que salen de S lleguen a P . Esto se demuestra usando el principio de Fermat, con A cerca de V y las distancias cumpliendo las relaciones $le \sim so$, $li \sim Si$.

Lentes Gruesas No Esféricas

Estas convierten los frentes de onda esféricos originados en una fuente puntual situada sobre el eje en un haz colimado (ondas planas). Si se rebana el extremo elipsoidal y se talla en él una superficie hemisférica, y si el punto S es simultáneamente el centro de la esfera como el foco del elipsoide, las ondas no se reflejarán en la primera superficie de separación (hemisférica) y emergerán planas por la superficie elíptica. De la misma forma, empleando la estructura de la Fig. 2(a), se puede utilizar una lente hiperbólica plano-convexa, donde S está en el foco de la superficie hiperbólica, y se logra que emerjan ondas planas por la segunda superficie (ondas planas).

Espejos No Esféricos y Esféricos

Comparando las configuraciones parabólicas y esféricas, ver Fig. 2(b), se observa que las son casi idénticas en cercanías del eje central cuando el radio de la esfera es igual a dos veces la distancia focal de la parábola. Entonces, en la región paraxial, se puede afirmar que F es el punto focal de un espejo esférico con centro en C . Para este dispositivo, las distancias objeto e imagen están relacionadas por la ecuación de los espejos, tiene la misma forma que la de las lentes y, según esto, un espejo esférico cóncavo tiene las mismas características para las imágenes que una lente delgada convergente, y un espejo esférico convexo se comporta como una lente divergente. Un espejo esférico tiene los atributos de las dos configuraciones parabólica y elíptica, y como la parabólica puede formar

imágenes de objetos distantes y como elíptica puede formar imágenes de objetos próximos. Los rayos en la Fig. 3 parecen (a) divergir desde o (b) converger hacia los puntos axiales que son los focos geométricos de las superficies curvas.

3. RESONANCIA EN DIELECTRICOS ELÍPTICOS

Cilindro Elíptico Delgado Alimentado por Línea Coplanar

Para la estructura mostrada en la Fig. 4, [2], se utilizó una línea coplanar prolongada hasta el foco de la elipse, que aprovecha la distribución de campo eléctrico con mayor componente horizontal y un resonador dieléctrico elíptico de permitividad eléctrica relativa $\epsilon_r = 500$. La abertura elíptica tiene un semieje mayor de 5,65 mm y menor de 2,4426 mm, y está rellena de un compuesto dieléctrico de grosor 35 μ m.

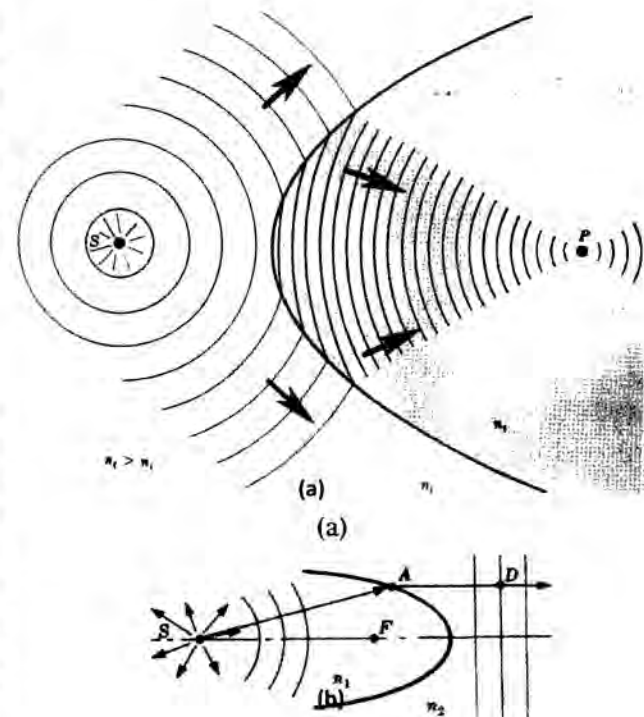


Figura 1. (a) Superficie refractiva ovoide cartesiano (b) Frente de onda plana emergente.

La estructura se simula sobre sustrato ROGERS 3010 de 1,27mm de grosor, con 35 μ m de cobre. Las dimensiones de la guía coplanar han sido

halladas con el optimizador de CST STUDIO MICROWAVE [2], buscando una impedancia de línea de 50Q y son 7.2 mm para el ancho de la pista y 1.41 mm para el gap, lo que proporciona una impedancia de aproximadamente 49.3Q. La gráfica de la Fig. 5 muestra los parámetros S_{11} y S_{21} para el resonador elíptico delgado alimentado por línea coplanar, y se observan resonancias importantes en 3,045 GHz, 4,95 GHz, 6,906 GHz, 9,5GHz y 11,833GHz.

Modos de Resonancia

La Fig. 6 muestra la distribución de la componente de campo eléctrico paralela al eje mayor de la elipse para el modo de resonancia más bajo y para los dos primeros armónicos [3]. Se aprecian las curvas nodales: vertical para el segundo armónico (b) e hipérbolas para el tercero (c). En la Fig. 6, las líneas de las figuras de la izquierda solo sirven como referencia comparativa de los modos, pues son para una elipse con $a=5,0$ mm y $b=3,0$ mm, mientras que el resonador tiene dimensiones $a=5,65$ mm y $b=2,4426$ mm.

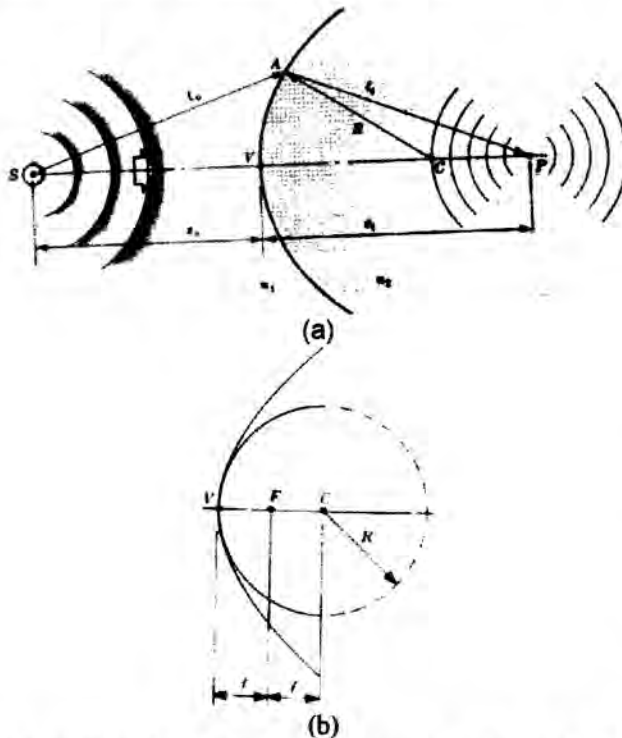


Figura 2. (a) Superficie de separación esférica de radio R con centro en C. (b) Comparación entre las configuraciones de espejos parabólicos y esféricos.

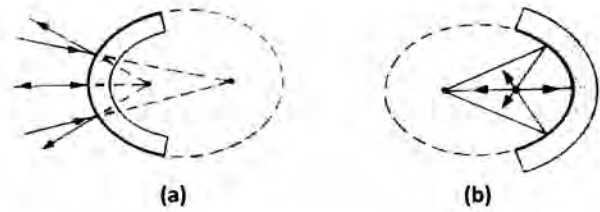


Figura 3. (a) Rayos para espejo elíptico convexo y (b) elíptico cóncavo.

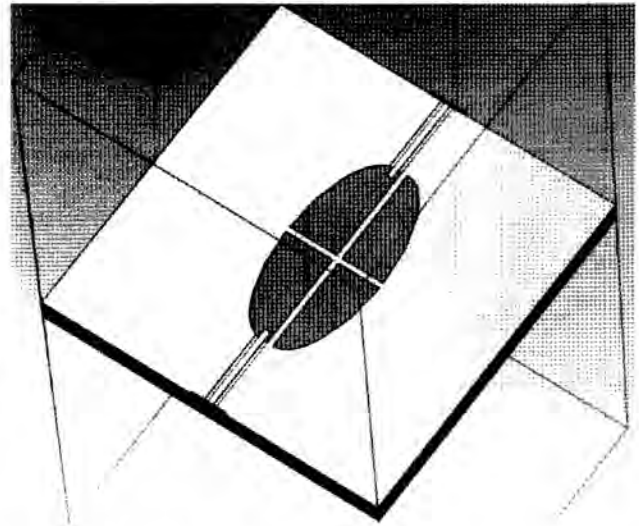


Figura 4. Resonador elíptico delgado por línea coplanar.

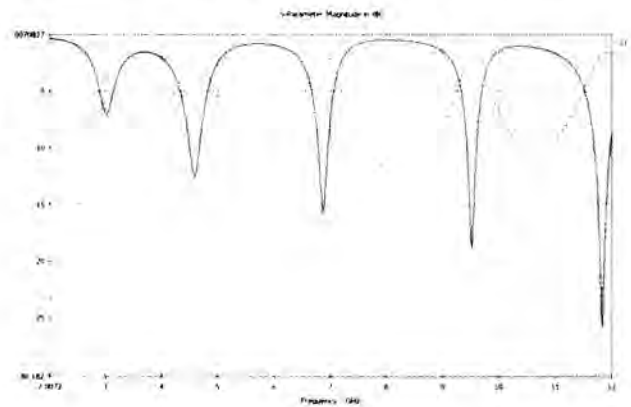


Figura 5. Curvas de los parámetros S_{11} y S_{21} para el resonador elíptico delgado de la Fig. 4.

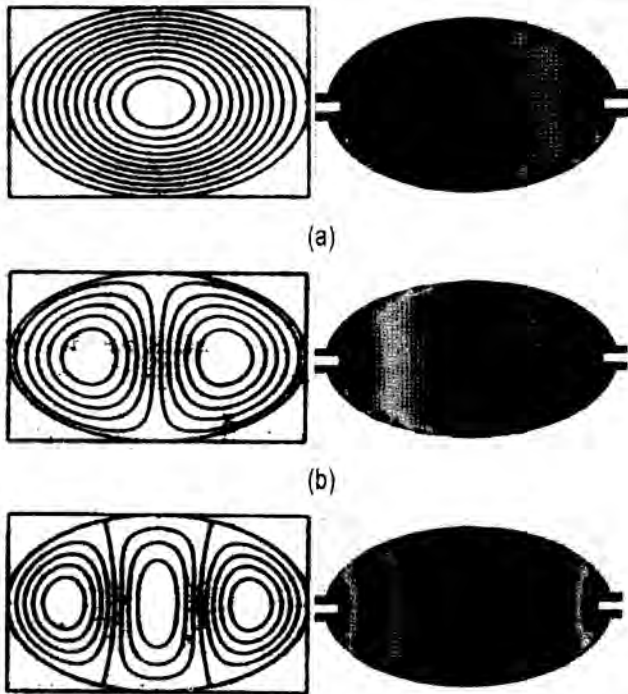


Figura 6. Modos de resonancia para la componente de campo eléctrico paralelo al eje menor de la elipse, con una fase de 22.5° , en el plano medio de la película dieléctrica y a 3,045 GHz-modo más bajo (b) 4,95 GHz- segundo armónico y (c) 6,906 GHz-tercer armónico.

Resonadores Dieléctricos Elípticos como Filtros

Teniendo en cuenta que las estructuras constituidas de secciones de media elipse, así como un cuadrante de elipse, también se comportan como resonadores, es posible implementar filtros como los que se muestran en las figuras 7, 9, y 11. Las curvas de los parámetros S_{11} y S_{21} en magnitud (dB) para dichas estructuras se observan en las figuras 8, 10, y 12, respectivamente. Las características de dichos filtros es que son fáciles de construir, y que por ser fabricados con películas delgadas, son básicamente las componentes de los campos eléctricos tangenciales al plano de la película dieléctrica las que se propagan y producen los modos mencionados.

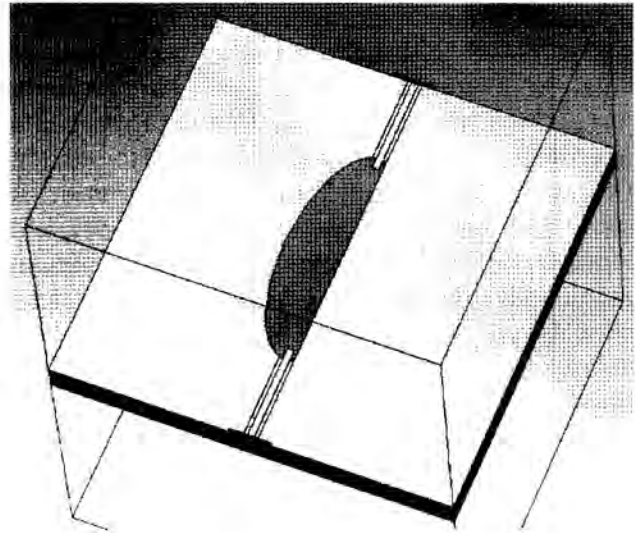


Figura 7. Filtro basado en un resonador elíptico delgado partido por el eje mayor.

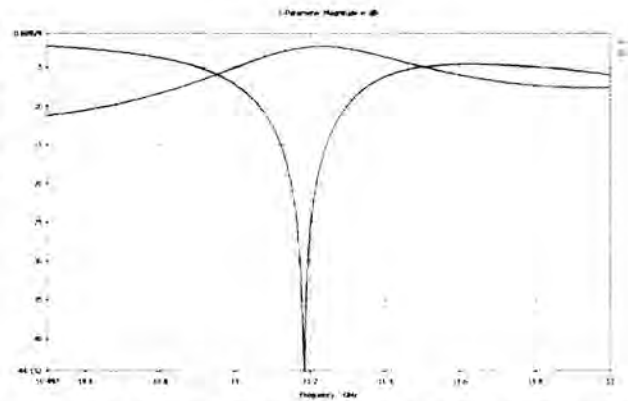


Figura 8. Curvas de los parámetros S_{11} y S_{21} en magnitud (dB) para el resonador elíptico delgado de la Fig. 7.

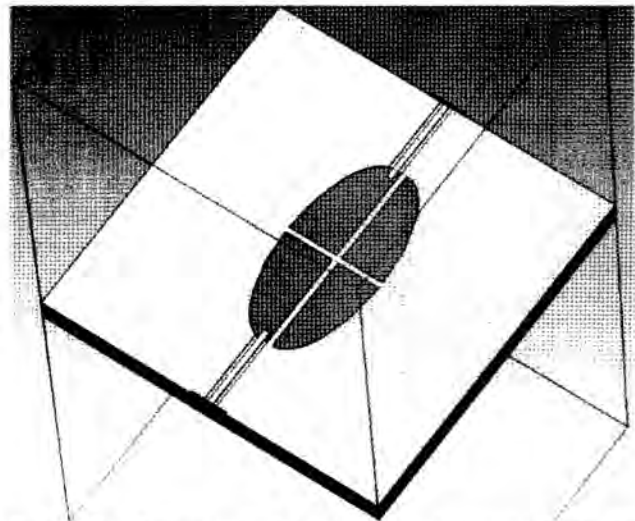


Figura 9. Filtro construido con cuatro resonadores de sección elíptica iguales.

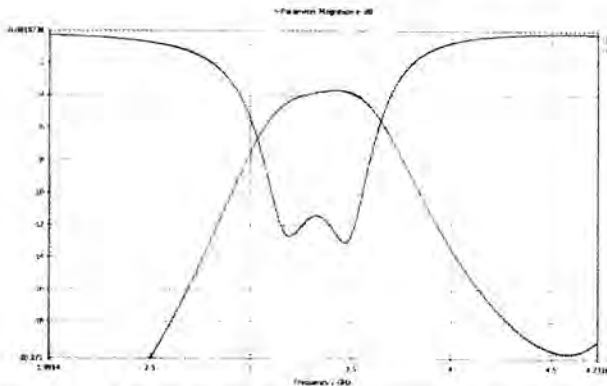


Figura 10. Curvas de los parámetros S11 y S21 en magnitud (dB) para los cuatro resonadores cuadrante de elipse de la Fig. 9.

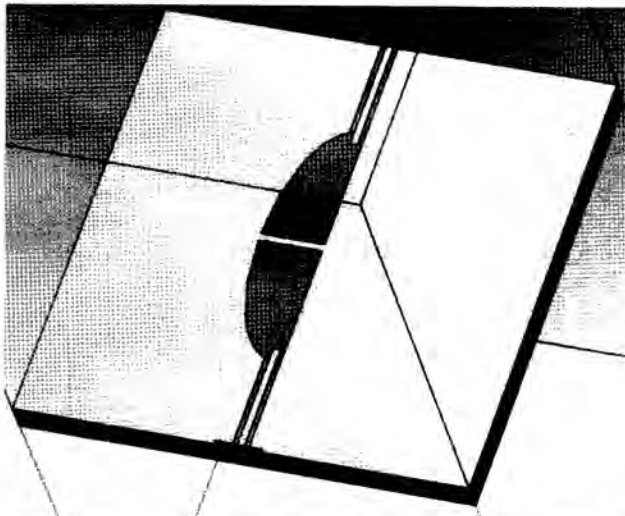


Figura 11. Filtro construido con dos resonadores de cuadrantes de elipse iguales.

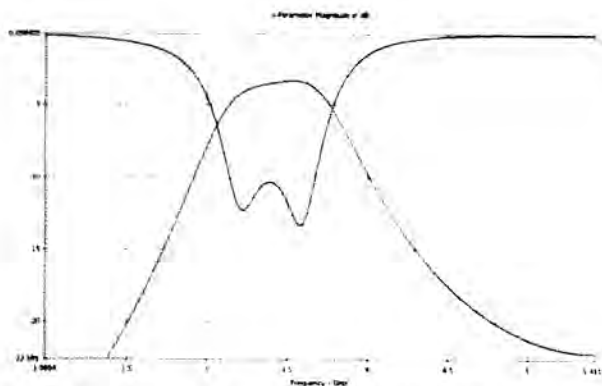


Figura 12. Curvas de los parámetros S11 y S21 en magnitud (dB) para el filtro de la Fig. 11.

La Fig. 13 muestra una configuración de cuatro resonadores conformados por secciones de elipses, obtenidas dividiendo una lámina elíptica en cuatro partes. Esto produce un efecto de diferenciar las resonancias acopladas, disminuyendo

apreciablemente la señal reflejada en cada una de estas, como se observa en la Fig. 14, hecho que se puede aprovechar para diseñar una gran variedad de filtros simplemente combinando apropiadamente la cantidad de resonadores de sección de elipse y sus dimensiones, así como sus posiciones relativas.

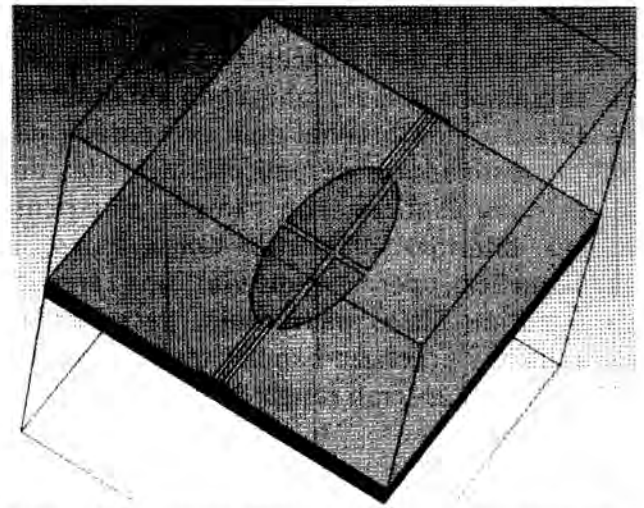


Figura 13. Estructura construida con cuatro resonadores de sección elíptica.

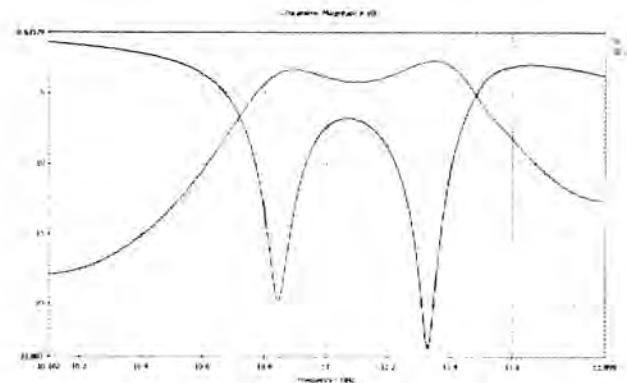


Figura 14. Curvas de los parámetros S11 y S21 en magnitud (dB) para la configuración de resonadores dieléctricos de la Fig. 13.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado el análisis de los resultados obtenidos de aplicar el modelo de las ondas estacionarias en espejos elípticos a la propagación de las ondas electromagnéticas en las frecuencias de microondas dentro de materiales dieléctricos que conforman resonadores para ser utilizados en la construcción de filtros de alta frecuencia. Se planteó el modelo general y posteriormente se demostró que se presentan comportamientos resonantes en estructuras elípticas. Se discutió la resonancia en dieléctricos elípticos excitados por líneas de transmisión coplanar y se extendió este concepto a resonadores de sección de elipse, utilizando la simetría de esta. La idea original aquí presentada de utilizar resonadores de películas delgadas de dieléctricos elípticos, con campos eléctricos en su interior solamente tangenciales a su superficie, permite diseñar una amplia variedad de filtros pasa-bajo, pasa-banda, pasa-alto y rechaza-banda múltiplemente selectivos en un gran rango de frecuencias de microondas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Hecht, Óptica, McGraw-Hill, México, 1974.
- [2] CST STUDIO SUITE MICROWAVES 2010.
- [3] J. Gutiérrez-Vea, S. Chávez-Cerda y R. Rodríguez-Dagnino. Free Oscillations in an Elliptic Membrane, Rev. Mex. Fís., **45** (6) (1999) pp. 613-622.