

Análisis de Obstáculos en Guía de Onda Rectangular bajo MATLAB para aplicaciones Docentes

José M^a Zamanillo, Constantino Pérez-Vega, e Irene Castillo

Grupo de RF & Microondas

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

ETSII y Telecomunicación

Av. de los Castros s/n 39005 Santander (Cantabria)

Universidad de Cantabria

e-mail : jose.zamanillo@unican.es

Abstract- The aim of this work is to easily facilitate the student the knowledge of the electrical equivalent circuit of the different obstacles used to develop resonators inside a waveguide like: irises, posts, screws, etc. The software presented here *OBSTAGUIA* has been made under friendly user philosophy and is self-explicative. The able to simulate all types of obstacles, coupled with the graphical and mathematical capacities of MATLAB makes this software an interesting tool easy to use by users at any level. The second objective of this work is the use of the computing routines developed, into more ambitious software capable to design waveguide filters from the user specifications, this software called *Wavefil* is now under development.

I. INTRODUCCIÓN

Dado que a la mayoría de los alumnos de electromagnetismo y microondas les cuesta comprender el circuito equivalente de un obstáculo en guía de onda, sobre todo cuando se les explica por primera vez. El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de un software, que permita realizar el cálculo de los circuitos equivalentes resultantes de introducir obstáculos en guías de onda. La programación de dichos obstáculos se ha realizado tomando como referencia las expresiones clásicas recopiladas por N. Marcuvitz [1]. No se pretende competir con el software comercial existente en el mercado sino proporcionar al alumno de un programa de ayuda gratuito, de código abierto y de fácil acceso que le ayude a comprender la equivalencia de los obstáculos en guía de onda en términos del circuito equivalente en parámetros concentrados a una frecuencia dada.

Con este trabajo se pretende facilitar la tarea a la hora de calcular los circuitos equivalentes de los obstáculos. Esta tarea es complicada ya que la forma de conocer los parámetros equivalentes, es mediante un simulador electromagnético comercial del tipo: *HFSS*, *MiCian* o *Mafia*. La herramienta que se presenta aquí determina el comportamiento capacitivo o inductivo de los obstáculos en una sección de guía de onda rectangular. Como objetivo secundario de este trabajo, los autores se han propuesto el

que todas las rutinas utilizadas en el cálculo de circuito equivalente del obstáculo correspondiente, puedan ser utilizado por el programa *Wavefil* de análisis y diseño de filtros en guía de onda que actualmente esta siendo desarrollando en nuestro grupo de investigación. Por otro lado es de rigor señalar que la programación de cada uno de los módulos del programa *Wavefil*, así como *OBSTAGUIA*, han sido desarrollados por los propios alumnos en forma de proyectos de fin de carrera de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones.

II. EL PROGRAMA OBSTAGUIA

La aplicación *OBSTAGUIA* ha sido programada bajo entorno Matlab utilizando la versión 5.3 con la idea de que pueda ser utilizada por un mayor número de usuarios, ya que la compatibilidad hacia versiones superiores está asegurada. Para la programación de los diferentes menús y ventanas del programa se ha utilizado la aplicación *guide* la cual facilita el diseño de ventanas menús desenrollables, etc.

Se han programado 16 diferentes de tipos de obstáculos en guía de onda rectangular y para ello se han tenido en cuenta las expresiones proporcionadas por [1-8]. Los obstáculos programados en la aplicación que aquí nos ocupa son los siguientes:

1. *Iris capacitivo simétrico (espesor nulo).*
2. *Iris capacitivo simétrico (espesor nulo).*
3. *Obstáculo capacitivo asimétrico (espesor nulo).*
4. *Obstáculo capacitivo simétrico (espesor nulo).*
5. *Iris inductivo simétrico (espesor nulo).*
6. *Obstáculo inductivo asimétrico (espesor nulo).*
7. *Obstáculo inductivo simétrico (espesor nulo).*
8. *Doble obstáculo capacitivo simétrico (espesor nulo).*
9. *Doble obstáculo capacitivo asimétrico (espesor finito).*
10. *Obstáculo capacitivo simétrico (espesor finito).*
11. *Doble obstáculo inductivo simétrico (espesor finito).*
12. *Obstáculo inductivo asimétrico (espesor finito).*
13. *Poste sólido inductivo descentrado.*
14. *Poste sólido inductivo centrado.*
15. *Poste sólido inductivo rectangular.*
16. *Poste sólido capacitivo*

Las variables de entrada son el tipo de guía de onda en función de su modelo y/o geometría, así como la banda de operación. En algunos de estos casos, sobre todo aquellos que comportan cálculos de obstáculos de espesor finito, ciertas expresiones dependen del empleo de las integrales elípticas de primera y segunda especie. Dado que implementar tablas de dichas integrales en el programa e interpolar para obtener el valor de las mismas comporta un error, para su cálculo se ha empleado la función matemática proporcionada por el propio entorno Matlab, denominada *ellipke* [9]. Dicha función matemática calcula la integral de primera y segunda especie de un valor predeterminado o semilla. En el caso recogido en los obstáculos de espesor finito [1], este parámetro no estaba definido directamente, sino que dependía de las integrales elípticas, que a su vez dependían de dicho valor en función de un parámetro denominado α de una forma análoga a la mostrada en la expresión (1) para el caso de un poste de sección cuadrada.

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{E(\alpha') - \alpha'^2 F(\alpha')}{E(\alpha) - \alpha'^2 F(\alpha)} \quad (1)$$

donde d_2 y d_1 representan la anchura y la longitud del obstáculo, tal como se muestra en la figura 1, y $F(\alpha)$ y $E(\alpha)$ son las integrales elípticas de primera y segunda especie respectivamente. Además los parámetros α y α' están relacionados por (2).

$$\alpha'^2 = 1 - \alpha^2 \quad (2)$$

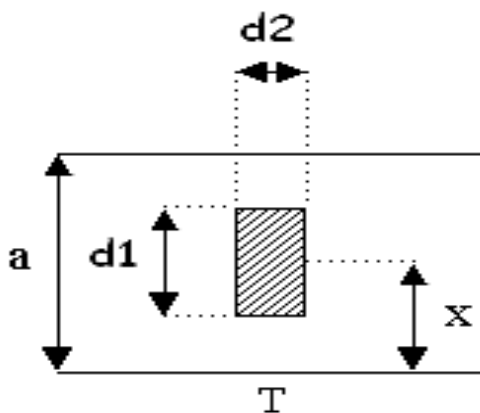


Fig. 1. Vista superior de un poste de sección cuadrada en una guía de onda rectangular de anchura a y altura b.

De esta manera que para el cálculo del valor correcto de α a introducir en la integral elíptica se ha programado un lazo, el cual conjuntamente a una pequeña rutina de optimización, realiza una comparación hasta obtener el valor correcto. Como la formulación detallada de cada uno de los obstáculos se encuentra en [1], no tiene caso el repetirla aquí.

III. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA OBSTAGUIA

Dado que la versión de Matlab 5.3 utilizada para el desarrollo del programa *OBSTAGUIA* no permite compilar el programa, en primer lugar será necesario que los ficheros pertenecientes a esta aplicación se encuentren en el

directorio actual de trabajo, para ello se emplea la opción *Path Browser* del menú, que es el programa que ayuda a definir la lista de directorios donde Matlab debe buscar los ficheros, tanto del sistema como de usuario.

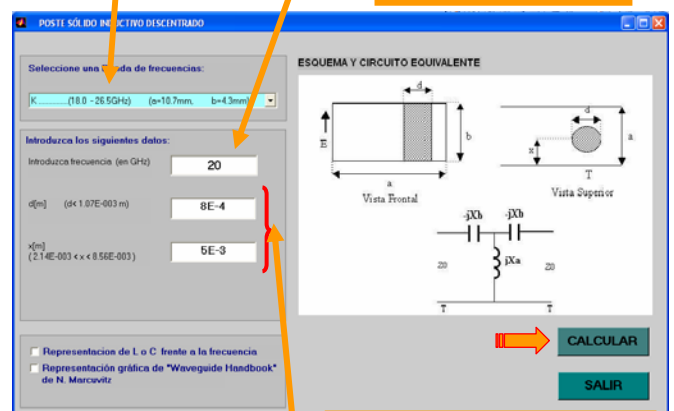


Fig. 2. Pantalla principal de la aplicación *Obstaguia*.

Una vez definido el directorio actual, para ejecutar la aplicación y abrir la pantalla principal, el usuario tecleará en la pantalla de comandos Matlab la palabra *obstaguia*, lo cual provocará la aparición de la pantalla principal del menú cuyo aspecto es el mostrado en la figura 2.



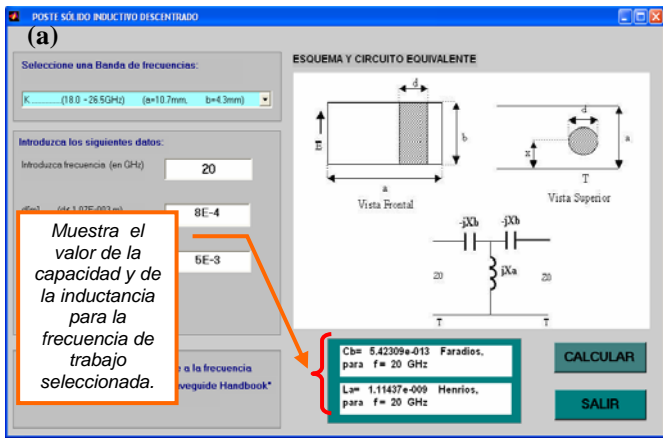
(a)



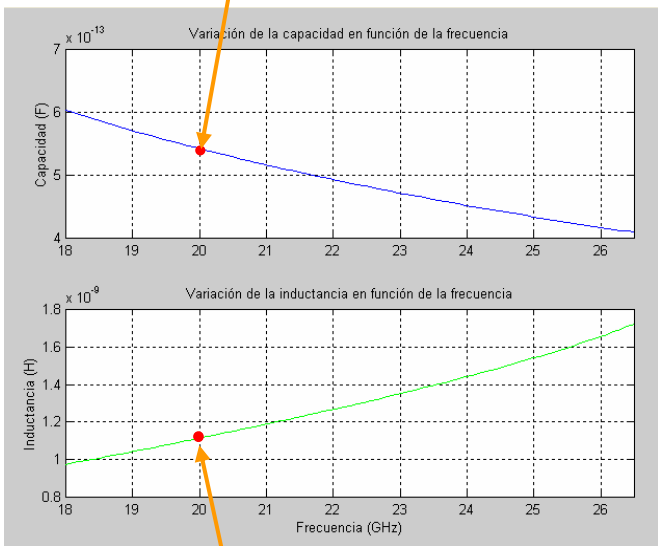
(b)

Fig. 3. (a) Pantalla secundaria de la aplicación *Obstaguia* una vez seleccionado el obstáculo.

(b) Pantalla de selección de banda y dimensionamiento del obstáculo de la aplicación *Obstaguia*.

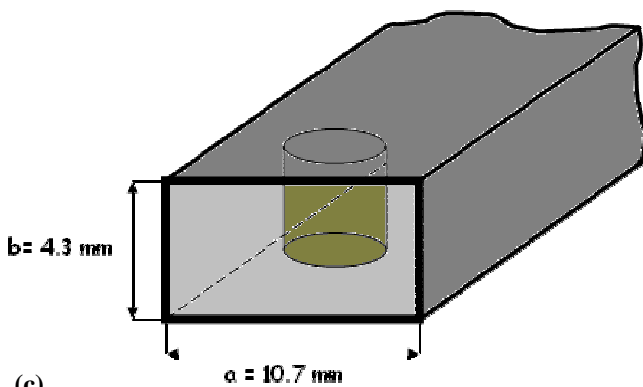


$C_b = 5.42309 \times 10^{-13}$ Faradios, para $f = 20$ GHz



$L_a = 1.11437 \times 10^{-9}$ Henrios, para $f = 20$ GHz

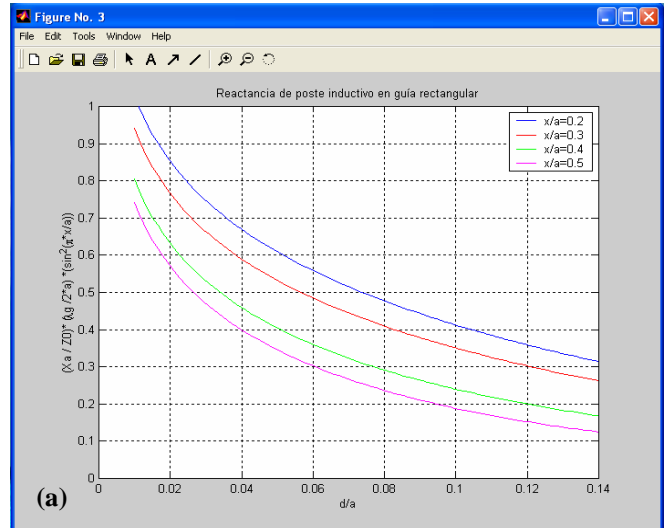
(b)



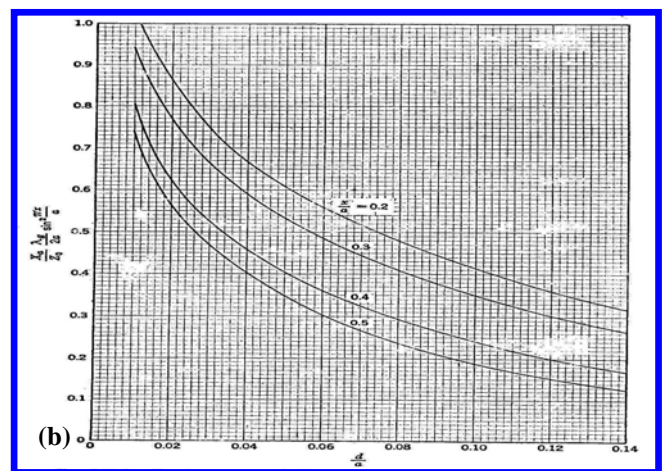
(c)

Fig. 4. (a) Pantalla de resultados numéricos con los valores de los elementos en parámetros concentrados. (b) Variación con la frecuencia de la capacidad equivalente y la inducción equivalente. (c) Representación en 3D del obstáculo simulado en la guía de onda con sus dimensiones para la guía WR42.

El menú desplegable de esta pantalla principal permite al usuario seleccionar el tipo de obstáculo en guía de onda rectangular sobre los que se deseen realizar los cálculos, dentro de los 16 diferentes elementos programados.



(a)



(b)

Fig. 5. (a) Resultados obtenidos por *obstaguía* para el ejemplo presentado para valores de λ/a de 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 (b) Resultados obtenidos por Markwitz pag 252 de [1].

Una vez seleccionado el obstáculo deseado, se mostrará su esquema acotado en la parte derecha de la pantalla y en la parte inferior derecha de la misma, un cuadro de texto que indicará a que sección corresponde y en que página se encuentra dicho obstáculo en [1], por si se desea ampliar la información tal como se muestra en la figura 3 (a).

En la figura 3 (b) muestra como el usuario debe indicar la frecuencia de trabajo a la cual se deben calcular los valores del circuito equivalente, las dimensiones propias del obstáculo (diámetro y posición del poste en el caso presentado aquí), así como la banda y modelo de la guía de onda rectangular que se debe utilizar a la frecuencia de trabajo.

A continuación y a modo de ejemplo se mostrará el cálculo del circuito equivalente de un poste inductivo descentrado en banda K (de 18 a 27 GHz). Los valores del circuito equivalente se calculan a la frecuencia de trabajo (20 GHz en este caso), tal como se muestra en la figura 4 (a). La figura 4 (b) muestra la variación frecuencial de la capacidad e inducción equivalentes en toda la banda de trabajo.

En el caso del ejemplo la frecuencias máxima y mínima de la guía seleccionada son: $f_{min} = 18$ GHz y $f_{max} = 26.5$ GHz, es por ello que las dimensiones de la guía correspondiente a esta banda K, son las fijadas para la guía

WR-42 según la nomenclatura EIA (Electronic Industries Alliance) [10] siendo en este caso para la cara ancha de la guía $a = 10.7 \text{ mm}$ y para la cara estrecha $b = 4.3 \text{ mm}$, como se muestra en la figura 4 (c).

Otra de las opciones proporcionadas por el programa es la de obtener una estimación de la reactancia equivalente normalizada a la impedancia característica de la guía de onda, en función de la distancia normalizada a la pared ancha de la guía x/a tomando la longitud de onda normalizada a la pared ancha de la guía λ/a como parámetro, tal como se muestra en las gráficas 5 (a) y 5 (b). En dichas gráficas han sido representados los siguientes parámetros en cada eje, y barriendo el parámetros x/a .

$$\left\{ \begin{array}{l} Eje_y = \frac{X_a}{Z_0} \cdot \frac{\lambda_g}{2 \cdot a} \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot x}{a} \right) \\ Eje_x = \frac{d}{a} \\ \text{Parámetro} = \frac{x}{a} \end{array} \right. \quad (3)$$

Estás tipo de gráficas son útiles a la hora de determinar los valores de los parámetros concentrados de los circuitos equivalentes, resultantes de introducir obstáculos en guía de onda, y hasta hace pocos años eran la fuente del diseño de resonadores en guía de onda.

En el caso del poste cilíndrico que se ha tomado como ejemplo, el programa permite la representación gráfica para tres valores distintos de λ/a , al igual que aparece en las gráficas originales de Markwitz [1] (pag 252).

En la figura 5(a) se pueden observar los resultados obtenidos por el software aquí presentado para tres valores distintos de λ/a , 0.2, 0.3 y 0.4 respectivamente. En la figura 5(b) se ha reproducido la gráfica original para los mismos valores de λ/a . Como puede observarse la similitud entre ambas gráficas es más que evidente.

En cuanto al tiempo de cómputo señalar que en un ordenador P-IV a 2 GHz no se supera más de 3 s en el peor caso que haya que utilizar la rutina de cálculo de integrales elípticas con optimización del parámetro α incluida.

IV. CONCLUSIONES

Se ha creado una herramienta fiable, potente, versátil y de fácil utilización con la cual el alumno puede efectuar simulaciones de obstáculos en guía de onda rectangular de forma sencilla. La aplicación selecciona de forma adecuada el modelo según la nomenclatura de la EIA de guía de onda en función de la frecuencia de trabajo, con lo cual se fijan las dimensiones máximas de anchura y altura de guía automáticamente.

Con la incorporación de rutinas de exportación tanto en formato gráfico y numérico se asegura la portabilidad de las medidas los simuladores comerciales. La herramienta disminuye el periodo de aprendizaje de los circuitos de microondas en guía de onda por parte de los alumnos debido a su facilidad de manejo y a su ayuda on-line.

REFERENCIAS

- [1] N. Markwitz, "Waveguide Handbook", IEE electromagnetic waves series, no. 21, Peter Peregrinus editor, London 1986.
- [2] Robert E. Collin, "Foundations for Microwave Engineering", 2ª Ed. Mc Graw-Hill International Editions, 1992.
- [3] "Microondas", K. C. Gupta, Editorial Limusa, 1983.
- [4] "Ingeniería de Microondas. Técnicas Experimentales", J.M. Miranda, J.L. Sebastián, M. Sierra, J. Margineda. Pearson Education, Madrid 2002.
- [5] "Principles of Microwave Circuits", C.G. Montgomery, R.H. Dicke, E.M. Purcell. IEE electromagnetic waves series, no. 25, Peter Peregrinus editor, 1987.
- [6] "Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables", Edited by M. Abramowitz, Irene A. Stegun. Dover Publications (June 1, 1974)
- [7] Macchiarella G., G.B. Stracca and L. Miglioli. "Interpolating Formulas for an Equivalent Circuit of Post in Rectangular Waveguides" Microwave Journal. May 1987. pp 287-297.
- [8] Bratherton J. "Waveguide Filters for mm Wavelengths". Microwave Journal. July 1982. pp 91-95.
- [9] S. Nakamura, "Análisis numérico y visualización gráfica con Matlab", Prentice-Hall Hispanoamericana, México. 1997
- [10] <http://www.eia.org/>
- [11] http://members.fortunecity.es/unitec/guia_onda.htm