

Proyecto MatLab Guía de Ondas Rectangular

Gamboa Antonio
C.I.: 23.587.800
Sección 71

Gómez Leoncio
C.I.: 19.697.560
Sección 71

Landinez Nelson
C.I.: 20.292.045
Sección 71

Romero Elvis
C.I.: 21.136.637
Sección 71

Abstract—El presente reporte constituye una guía de referencia para el manejo de esta aplicación diseñada en lenguaje M cuya función es graficar los campos vectoriales (Eléctricos y Magnéticos) que viajan a través de una guía de ondas rectangular ideal (No magnética y no absorbente) de dimensiones parametrizadas, mostrando la forma en la que estos varían a través del tiempo. Para facilitar la visualización de los referidos campos, el usuario tiene la posibilidad de elegir entre dos tipos de gráficos; a saber, la representación de los mencionados vectores en cada punto del espacio definido por un plano específico de la guía de ondas delimitado por sus propias dimensiones (Quiver Plot) y el esquema de las magnitudes del componente transversal al plano seleccionado por el usuario (Surface Plot).

I. INTRODUCTION

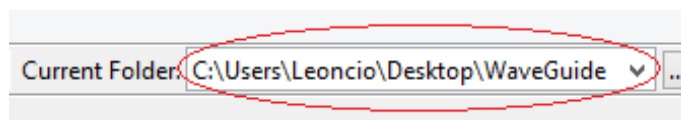
MatLab (Matrix Laboratory) es un entorno de cálculo numérico multiparadigma y lenguaje de programación de 4ta generación, desarrollado por MathWorks, MatLab permite la manipulación de matrices, graficación de funciones y datos, implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario e interacciones con programas escritos en otros lenguajes (Incluyendo C, C++, Java, Fortran y Python). Aprovechando la versatilidad y poder de cómputo de esta herramienta, se ha hecho uso de la misma para esquematizar el comportamiento de los campos que viajan a través de una guía de ondas de forma rectangular, inmersa en el vacío, cuyo material (También ideal) no genera atenuaciones en los campos por efecto Joule, polarización eléctrica o magnética. Con la finalidad de analizar el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos para guías de distintos tamaños a diferentes frecuencias y para los posibles modos de propagación (TE y TM) se le permite al usuario ingresar tanto las dimensiones de la guía como la frecuencia de la señal a transmitir, el tipo de propagación y los modos de propagación. Debido a que

el proceso de animación de los campos vectoriales en MatLab está sujeto íntimamente a los valores tanto de frecuencia como a su propia duración, se ha decidido permitirle al usuario decidir ambos parámetros. Valga la pena advertir que para una frecuencia y paso de iteración determinados puede apreciarse, para un mismo campo, una animación más rápida o más lenta (Incluso imperceptible) dependiendo del modo, el tipo de campo y el plano seleccionado; dicha situación responde al hecho de que por la misma naturaleza de la propagación de las ondas electromagnéticas en la guía rectangular, se requieren altos valores de frecuencia, la cual a su vez, interviene como un factor en la variación en el tiempo del campo vectorial. A lo largo del presente reporte se explicarán los componentes de la interfaz de usuario que constituyen a esta aplicación y los valores que el usuario debe ingresar para poder utilizar satisfactoriamente este recurso didáctico.

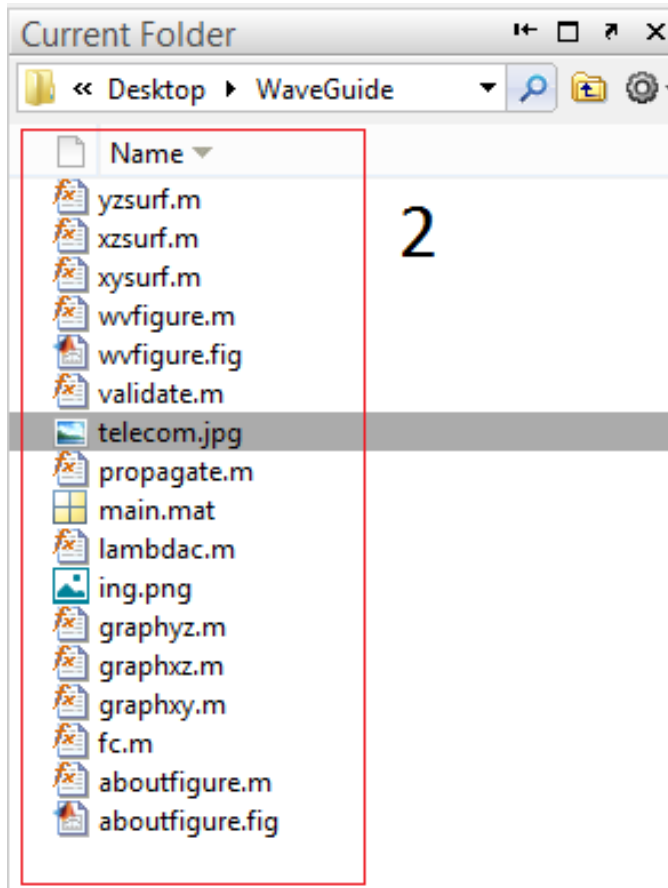
II. TUTORIAL

II-A. INICIANDO LA APLICACIÓN

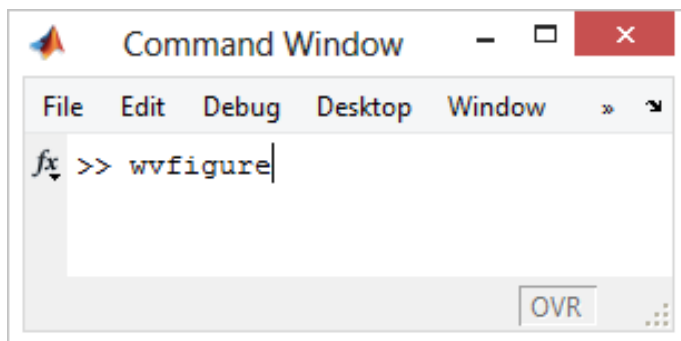
Para utilizar el programa, se debe ejecutar MatLab de la forma acostumbrada, en el apartado *Current Folder* se ubica a la carpeta que contiene a los códigos .m y .fig que constituyen a la aplicación; para este ejemplo, dicha carpeta se llama WaveGuide y se encuentra en el escritorio:



De haberse realizado satisfactoriamente el paso anterior, deberá ser posible visualizar los archivos contenidos en la referida carpeta.



Una vez se ha ubicado la carpeta WaveGuide, el usuario debe enfocar a la ventana de comandos *Command Window* e ingresar la instrucción **wvfigure**.



Posteriormente, aparece la interfaz de usuario de la aplicación de nuestro interés. En los próximos párrafos se explicará la función de cada uno de sus componentes y la manera correcta de utilizarlos.

II-B. USANDO LA APLICACIÓN

En el lado izquierdo de la interfaz de usuario de la aplicación, aparece un panel de color azul con varios cuadros de texto editables y `textitRadiobuttons`, en cada uno de ellos el usuario debe introducir los valores adecuados para llevar a cabo la graficación y animación del campo vectorial de su interés.

Waveguide Length "a" (m)

Waveguide Length "b" (m)

Field

☒ Electrical
 ☐ Magnetic

Propagation Mode

☒ TE
 ☐ TM

Frequency (Hz)

m Parameter

n Parameter

Plain

☐ XY
 ☐ XZ
 ☒ YZ

Animation Lapse (s)

Evaluation Point []

Plot Style

☒ Plot Quiver
 ☐ Plot Surf

Animation Step

Cutoff Frequency (Hz)

Cutoff Lambda (m)

PLOT

ABOUT

CLOSE

Empezando por el primer elemento de arriba hacia abajo, se desglosa el significado de los campos editables por el usuario y el tipo de datos que en ellos debe introducirse:

- **Waveguide Length a (m)** Es la longitud horizontal de la guía de ondas, en este campo el usuario debe introducir el valor numérico correspondiente a tal dimensión en metros.
- **Waveguide Length b (m)** Longitud vertical de la guía de ondas, el valor que debe ser introducido en este campo debe ser uno del tipo numérico, correspondiente a tal dimensión en metros.
- **Field** Aparece un panel con radiobuttons *Electrical* y *Magnetical* y en esa sección, el usuario debe indicar si desea graficar un campo Eléctrico o Magnético.
- **Frequency (Hz)** En esta parte, debe introducirse el valor de la frecuencia de la señal a ser propagada en Hercios, debe tomarse en cuenta que dicha frecuencia debe cumplir con la condición de propagación, definida por la ecuación.

$$f > \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} * \sqrt{\left(\frac{m*\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n*\pi}{b}\right)^2}.$$
- **m n Parameter** En cada uno de estos campos el usuario debe introducir un número entero $n \neq 0$ que en conjunto definen el modo de propagación de la guía de ondas rectangular.
- **Plain** En este panel de radiobuttons el usuario elige el plano de la guía de ondas que desea graficar (XY, XZ, YZ).
- **Animation Lapse (s)** Con la finalidad de ver la variación temporal del campo vectorial graficado, el usuario debe indicar durante cuanto tiempo (Segundos) desea que tenga lugar dicha animación, se recomienda evitar utilizar lapsos de tiempo demasiado largos en equipos de procesamiento promedio.
- **Evaluation Point []** Dependiendo del plano que el usuario haya decidido graficar, puede escoger en que punto específico de la guía (X, Y o Z, según el caso) desea colocar el plano de graficación.
- **Plot Style** En este panel, el usuario escoge el tipo de graficación que desea llevar a cabo, *Plot Quiver* muestra la distribución de vectores en el plano escogido y su variación en el

tiempo; mientras que *Plot Surf* muestra la densidad de campo del componente transversal al plano de graficación que ha escogido en el apartado **Plain**.

- **Animation Step** Dependiendo de las características específicas del campo a graficar (Modo de Propagación, Frecuencia, Dimensiones de la Guía de Ondas) se requerirá un paso de iteración más o menos pequeño para poder apreciar efectivamente la variación en el tiempo de los campos graficados; por lo general, un valor adecuado para este parámetro suele ser de entre 0.0000000001 a 0.00000000001.
- **Cutoff Frequency (Hz)** Una vez finalizada la animación, aparece el valor de la Frecuencia de Corte de la guía de onda para los parámetros especificados. Dicho valor se calcula a través de la fórmula:

$$f_{Cutoff} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} * \sqrt{\left(\frac{m*\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n*\pi}{b}\right)^2}.$$
- **Cutoff Lambda** De manera similar a la frecuencia de corte, el valor de la Longitud de Onda de Corte aparece en la interfaz una vez ha finalizado la animación del campo vectorial deseado, su valor se calcula por medio de la ecuación:

$$\lambda_{Cutoff} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}.$$
- **PLOT** Una vez introducidos todos los parámetros requeridos, al hacer clic en este botón aparece el campo vectorial deseado, animado en el tiempo, durante el lapso establecido. Si se cambia algún parámetro y se hace clic en este botón antes de haber finalizado la animación del primer campo, las nuevas gráficas irán apareciendo una después de otra. Se recomienda evitar la acumulación de órdenes de graficación para no provocar saturación en equipos de procesamiento promedio.
- **ABOUT** Al hacer clic en este botón aparece una breve descripción sobre el programa y el equipo de desarrolladores.
- **CLOSE** Este botón cierra todas las ventanas generadas por la aplicación sin necesidad de salir de MatLab.

II-C. BASE TEÓRICA

Una guía de onda consiste básicamente en una estructura con gran desarrollo longitudinal y una

sección transversal uniforme. La misma puede tener la forma de una cañería, hecha de material conductor, rellena de aire, o vacía, como es el caso de una guía de onda rectangular o de una guía de onda circular; o podría consistir en dos regiones cilíndricas concéntricas hechas de materiales dieléctricos con distintos índices de refracción, como es el caso de la fibra óptica; o de un par de conductores cilíndricos formando lo que se conoce como una línea bifilar. Existen otras estructuras de guiado, como el cable coaxial, la microcinta, etc.

En una guía de onda arbitraria, todos los campos propagantes resultan de la combinación lineal de 3 tipos de ondas posibles. A saber:

- TEM Ondas *Transverse Electromagnetic*: Los campos eléctrico y magnético son ambos transversales a la dirección de propagación.
- TE o H: Modos *Transverse Electric*: El campo eléctrico es transversal a la dirección de propagación.
- TM o E: Modos *Transverse Magnetic*: El campo magnético es transversal a la dirección de propagación.

Las expresiones de los campos eléctricos y magnéticos para un modo de propagación determinado, viajando a través de una guía de onda rectangular de dimensiones específicas, se obtiene por medio de la resolución de las *Ecuaciones de Helmholtz* que describen a ambos tipos de ondas y tomando en cuenta las condiciones de frontera deducidas a partir de las *Ecuaciones de Maxwell*. Considerando el carácter sucinto del presente reporte, se soslaya el desarrollo matemático de tales expresiones; no obstante, pueden ser consultadas en las referencias bibliográficas. En la tabla 1 pueden apreciarse las expresiones matemáticas de los vectores propagantes (Eléctricos y Magnéticos) para los modos de propagación $TE_{m,n}$ y $TM_{m,n}$ las mismas han sido normalizadas y expresadas en el dominio del tiempo con la finalidad de facilitar su graficación por medio de las herramientas de MatLab así como su animación.

III. CONCLUSIONES

Si bien a partir de las *Leyes de Maxwell* se derivan las relaciones que describen con fiabilidad el comportamiento de las ondas electromagnéticas, las mismas no pueden ser percibidas por el ojo humano;

ante esta circunstancia, es necesario idear un método que permita aprovechar tales conocimientos con el fin de simular estos campos vectoriales para así profundizar en su estudio y consolidar los conocimientos matemáticos que se han adquirido sobre los mismos. En este mismo sentido, puede inferirse de una forma práctica la relación que existe entre las distintas variables que componen un problema que involucre a las guías de ondas rectangulares (Frecuencia, dimensiones de la guía, materiales, etc) y el campo electromagnético transmitido por dicha estructura. Si bien existe una gran cantidad de lenguajes de programación y herramientas ofimáticas capaces de graficar expresiones matemáticas, el lenguaje M se destaca por su simplicidad, versatilidad y capacidades orientadas hacia el ámbito matemático; prueba de ello son los múltiples comandos existentes para los distintos tipos de graficación de funciones escalares y vectoriales, resolución de ecuaciones y operaciones matemáticas reales y complejas. En el mismo orden de ideas, existe la posibilidad de desarrollar un entorno gráfico de usuario (GUI) amigable con el usuario que no se sienta cómodo o no esté habituado al uso de la ventana de comandos de MatLab, todo esto sin menoscabar las capacidades ya mencionadas del lenguaje en cuestión. Valga la pena mencionar que existen notables antecedentes en el empleo de programas de computación para la simulación de campos electromagnéticos viajando a través de guías de ondas de diferentes configuraciones, como por ejemplo el programa WGC *Waveguides and Cavities* y el GWPat V1.0.

REFERENCES

- [1] Zozaya, A.J., *Guía de Ondas*. Universidad de Carabobo, 2014.
- [2] Hull, D. *Doug's MATLAB Video Tutorials*. MATLAB Central, 2005.
- [3] Venkatarayalu, N. *GWPat v1.0* Anna University, 2000.
- [4] Elsherbeni, A. and Taylor, C. *Interactive Visualizations of Electromagnetic Fields Inside Waveguides and Cavities Using the WGC Program*. University of Mississippi, 1994.

Expresiones Matemáticas de los Campos Vectoriales en Modo $TE_{m,n}$ y $TM_{m,n}$

| Componente | Modo TE | Modo TM |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| H_Z | $\cos(\alpha X) * \cos(\beta Y) * \cos(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ | 0 |
| E_Z | 0 | $\sin(\alpha X) * \sin(\beta Y) * \cos(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ |
| E_X | $\cos(\alpha X) * \sin(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ | $\cos(\alpha X) * \sin(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ |
| E_Y | $\sin(\alpha X) * \cos(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ | $\sin(\alpha X) * \cos(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ |
| H_X | $\sin(\alpha X) * \cos(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ | $\sin(\alpha X) * \cos(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ |
| H_Y | $\cos(\alpha X) * \sin(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ | $\cos(\alpha X) * \sin(\beta Y) * \sin(\omega t - Kl_{m,n}Z)$ |
| $Kl_{m,n}$ | $\sqrt{K^2 - (\alpha^2 + \beta^2)}$ | |
| f_{Cutoff} | $\frac{1}{2*\pi*\sqrt{\mu*\epsilon}} * \sqrt{(\frac{m*\pi}{a})^2 + (\frac{n*\pi}{b})^2}$ | |
| λ_{Cutoff} | $\frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2}}$ | |
| α | $\frac{m\pi}{a}$ | |
| β | $\frac{n\pi}{b}$ | |

Relación entre los planos cartesianos graficados y las expresiones utilizadas.

| Plano Cartesiano | Campo Vectorial | Componentes |
|------------------|-----------------|---------------|
| XY | E | E_X y E_y |
| XZ | E | E_X y E_Z |
| YZ | E | E_Y y E_Z |
| XY | H | H_X y H_Y |
| XZ | H | H_X y H_Z |
| YZ | H | H_Y y H_Z |

Esquema de relaciones entre las funciones del programa WVFIGURE.

