

62.09 Electromagnetismo B

Métodos Numéricos en Baja Frecuencia

Tempone, Nicolás	84548
Figuerola, Gonzalo	84255
Rios, Martín Julián	84831

Índice

1. Objetivos	2
2. Introducción	2
3. Desarrollo del trabajo práctico	2
3.1. Configuración 9	3
3.2. Configuración 27	8

1. Objetivos

- Calcular la impedancia característica de distintas configuraciones de líneas de transmisión a partir de las distribuciones de campo eléctrico y magnético, obtenidas mediante el uso de un software de elementos finitos.
- Comparar los resultados obtenidos con otros métodos de cálculo.

2. Introducción

En circuitos de microondas y en circuitos digitales de alta velocidad se utilizan líneas de transmisión planas, de cinta, coaxiales multiflares, etc. Asumiendo que se comportan como líneas ideales, es decir que no hay pérdidas, la impedancia característica es:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

donde L y C son respectivamente la inductancia y la capacidad por unidad de longitud para la correspondiente configuración. Se pide estimar Z_0 , a partir de un programa de modelación por elementos finitos y comparar dichos resultados con los que se obtienen a partir de las expresiones propuestas en los anexos y las obtenidas con los softwares diseñados para tal fin. También se pide calcular los valores del campo en puntos críticos, denominados "puntos calientes", y compararlos con los obtenidos por un método de Monte Carlo.

3. Desarrollo del trabajo práctico

Para las configuraciones 9 y 27 se pide:

- a) Un esquema de cada configuración indicando las condiciones de contorno utilizadas. Deberá realizarse reduciendo la configuración al mínimo posible, aprovechando la simetría que presente.
- b) Un esquema con las líneas equipotenciales (caso electrostático) y de campo magnético (caso magnetostático).
- c) Un gráfico del módulo de los campos E y H sobre alguna de las líneas de simetría seleccionadas en el punto a).
- d) Cálculo de la impedancia característica Z_0 de las configuraciones asignadas (Ver Anexo) mediante la simulación numérica.
- e) Cálculo de la impedancia característica Z_0 con las expresiones aproximadas que figuran en el Anexo, y con los programas TXLINE y ULTRACLC, cuando sea posible.
- f) Comparación de los resultados obtenidos en d) y e) y estimación de los errores cometidos tomando como valor real el obtenido con las expresiones aproximadas de e).
- g) Estimación del valor máximo de campo eléctrico en las configuraciones cerradas mediante la simulación numérica por elementos finitos y comparación con el resultado obtenido aplicando el método de Monte Carlo en la implementación Excel MONTEC.XLS.

3.1. Configuración 9

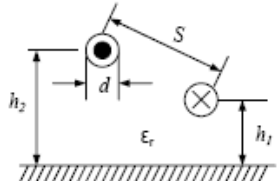
9 	$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \frac{2S}{d \sqrt{1 + \frac{S^2}{4h_1 h_2}}}$	$S = 20 \text{ mm}$ $h_1 = 15 \text{ mm}$ $h_2 = 10 \text{ mm}$ $d = 1 \text{ mm}$ $\epsilon_r = 1$
---	--	---

Figura 1: Esquema de la configuración 9.

a) Esquemas y condiciones de contorno

Análisis Electrostático

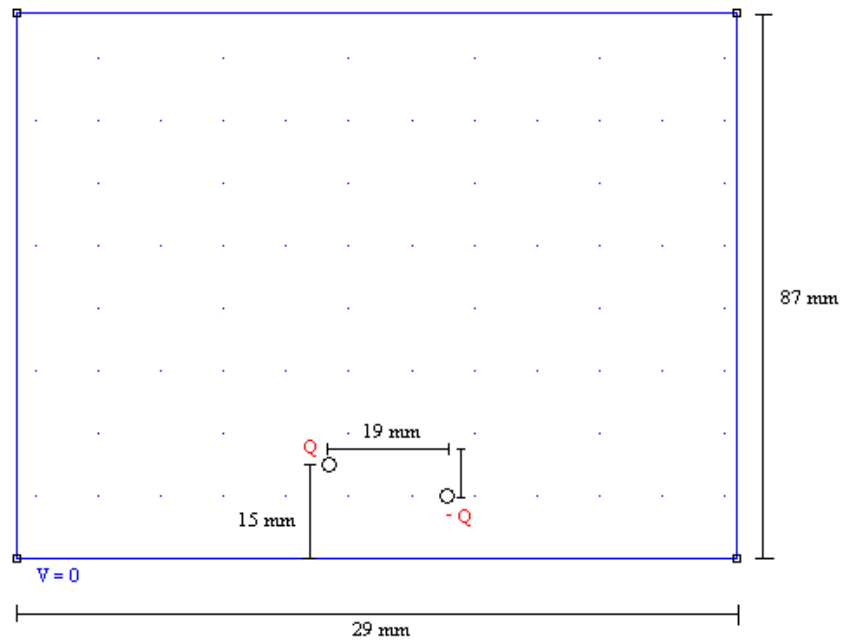


Figura 2: Configuración 9: caso electrostático.

Análisis Magnetostático

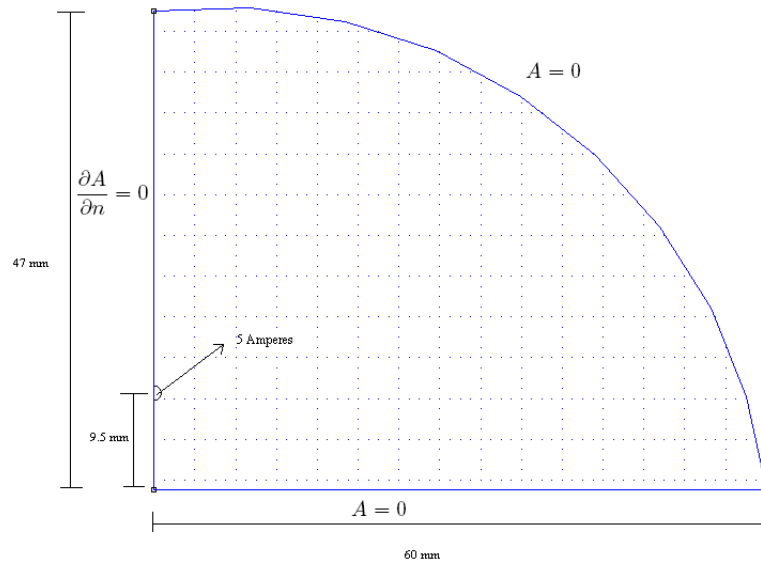


Figura 3: Configuración 9: caso Magnetostático.

b) Líneas equipotenciales

Análisis Electrostático

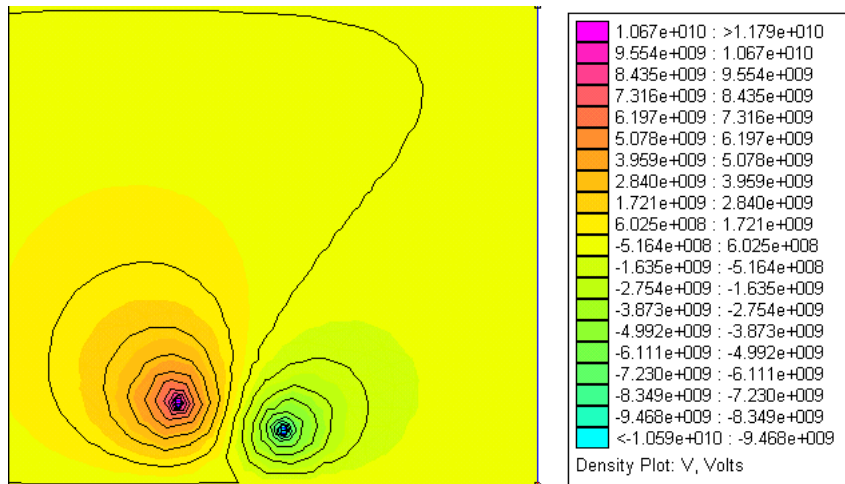


Figura 4: Líneas equipotenciales: caso electrostático.

Análisis Magnetostático

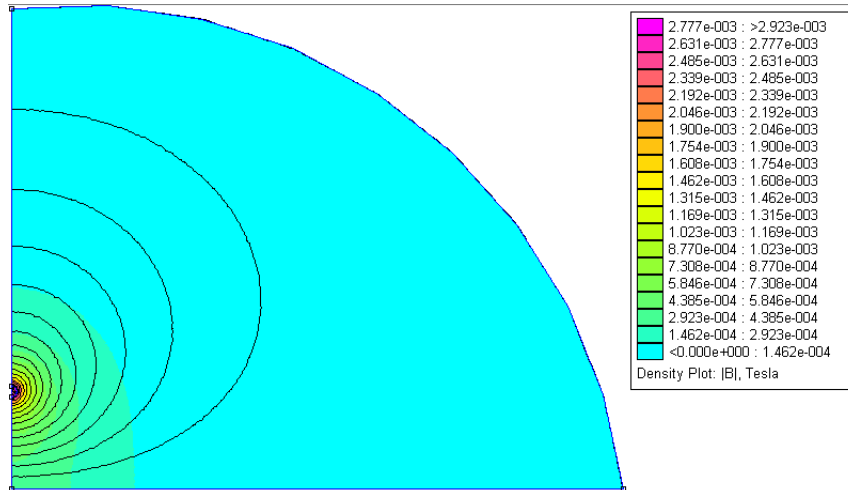
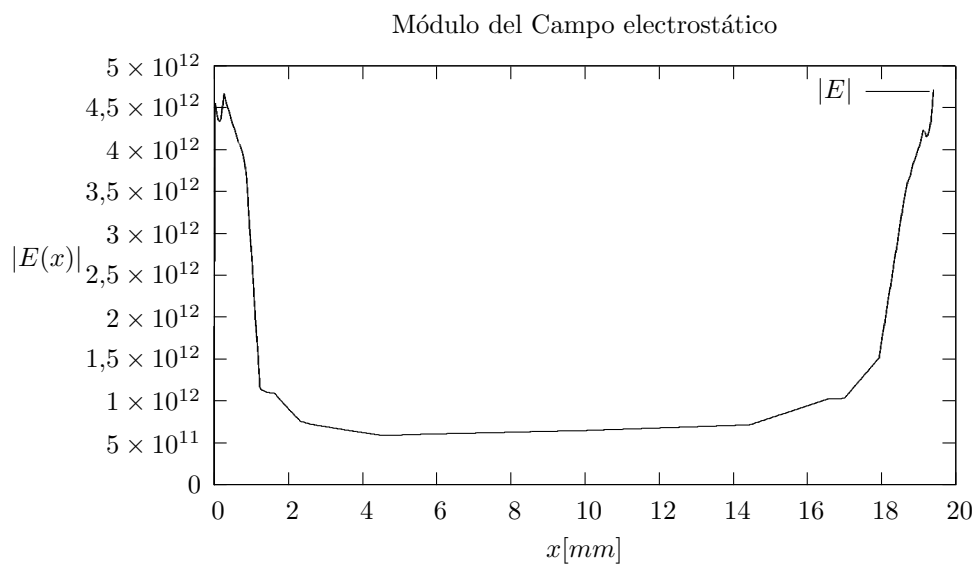


Figura 5: Líneas equipotenciales: caso Magnetostático.

Las intensidades de los campos mostradas en el gráfico varían desde 1×10^{-4} hasta $6,5 \times 10^{-3}$

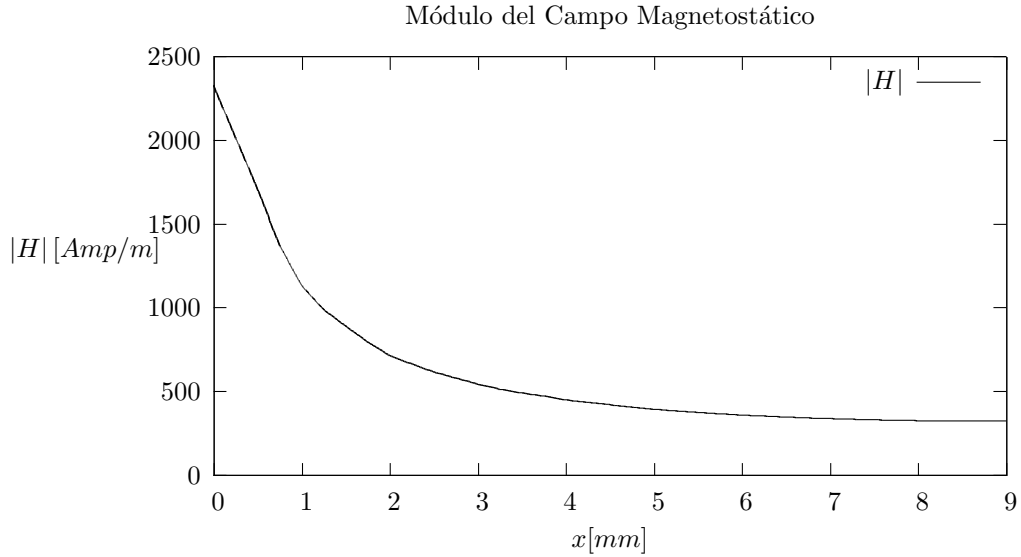
c) Campo Electrostático

Para este punto se decidió graficar el módulo del campo eléctrico sobre la línea recta que une a los dos conductores.



Campo Magnetostático

En este caso, se graficó el módulo del campo magnetostático sobre la línea recta que va desde uno de los conductores hasta la mitad.



d) Cálculo de Z_0 mediante simulación numérica

A partir de la simulación para el caso electrostático se calculó la capacidad de la configuración por unidad de longitud, hallándose que para una carga de $Q = 1C$, se obtuvo $V = 1,2 \times 10^{11}$

$$C = \frac{Q}{V} = 8,33 \times 10^{-12} F = 8,33 pF$$

El cálculo se hizo realizando la integral $\int E dx$, ya que no había menor simetría para el problema.

Y para el caso magnetostático, integrando $\int B n$ desde un conductor por el camino que une a los dos, pero hasta la mitad debido a la reducción del problema por la simetría (por lo que se multiplicó por 2 el resultado), se obtuvo, al dividir el flujo Φ por la corriente I ,

$$L = \frac{\Phi}{I} = 1,404 \times 10^{-6} = 1,404 \mu Hy$$

Entonces, con estos resultados

$$Z_{0S} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 408,51 \Omega$$

e) Otras formas de cálculo para Z_0

A partir de la expresión aproximada que figura en el Anexo, se calculó Z_0 mediante la siguiente fórmula

$$Z_0 \approx \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \left(\frac{2S}{d \sqrt{1 + \frac{S^2}{4h_1 h_2}}} \right)$$

Con lo cual

$$Z_{0R} = 411,55 \, \Omega$$

f) Estimación de los errores cometidos

Tomando como valor real Z_{0R} el obtenido a partir de el punto e), esto es, $Z_{0R} = 411,55$ entonces el error cometido con la simulación, obteniendo de esta forma $Z_{0S} = 408,51$, es de

$$\epsilon = 0,74 \, \%$$

3.2. Configuración 27

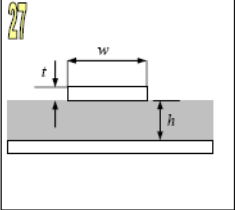
	$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left(\frac{w}{d} + 1.98 \left(\frac{w}{d} \right)^{0.172} \right)^{-1}$ $\epsilon_{eff} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{10d}{w}}} \right)$	$w = 2 \text{ mm}$ $h = 0,4 \text{ mm}$ $t = 0,05 \text{ mm}$ $\epsilon_r = 2$
---	--	---

Figura 6: Esquema de la configuración 27.

a) Esquemas y condiciones de contorno

Análisis Electrostático

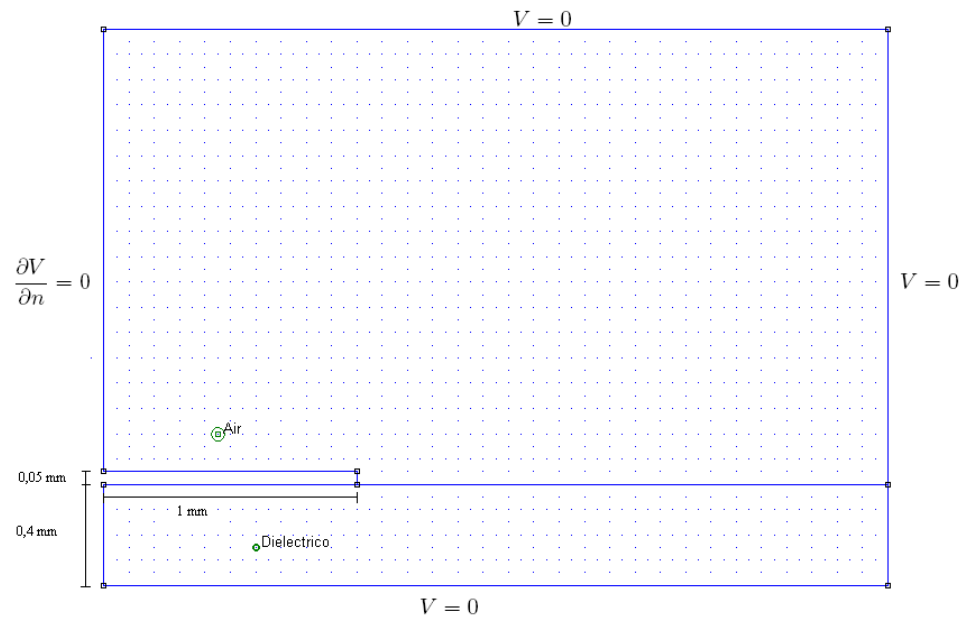


Figura 7: Configuración 27: caso electrostático.

Análisis Magnetostático

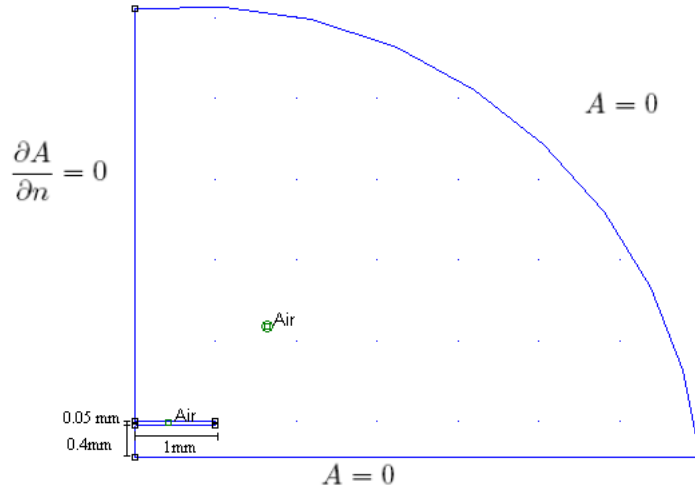


Figura 8: Configuración 27: caso Magnetostático.

b) Líneas equipotenciales

Análisis Electrostático

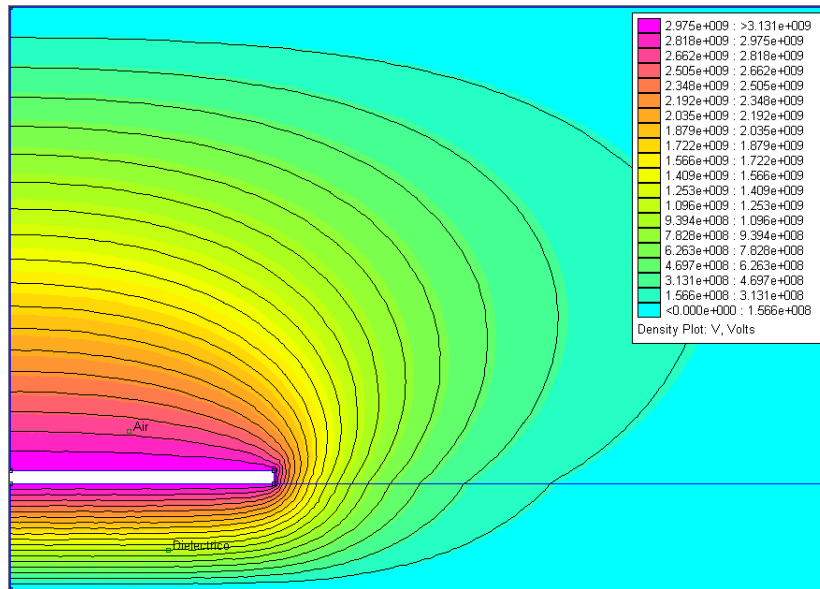


Figura 9: Configuración 27: caso electrostático.

Análisis Magnetostático

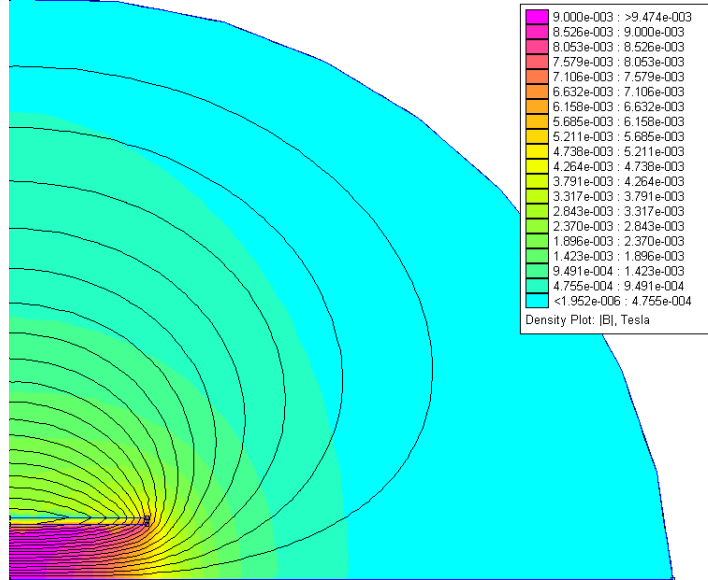
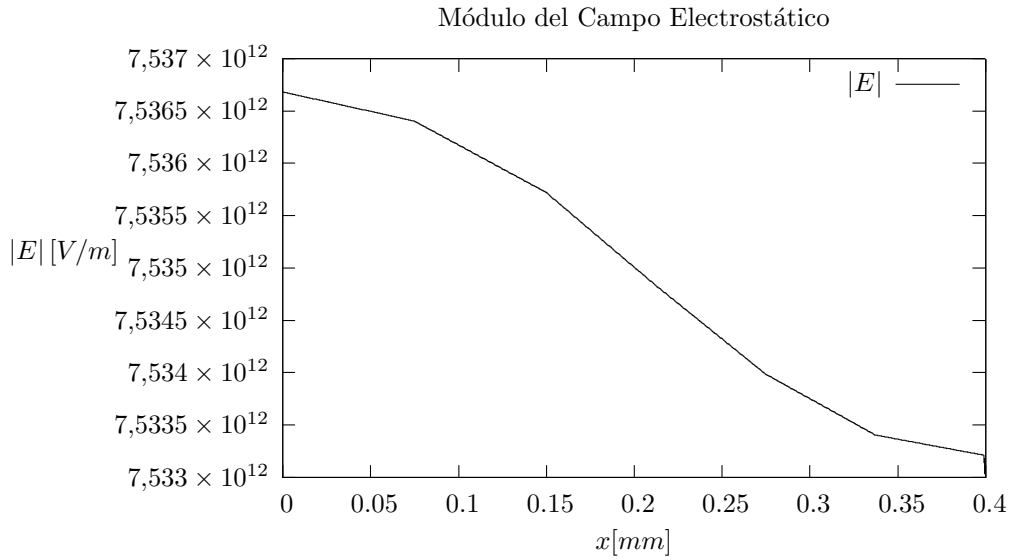


Figura 10: Líneas equipotenciales: caso Magnetostático.

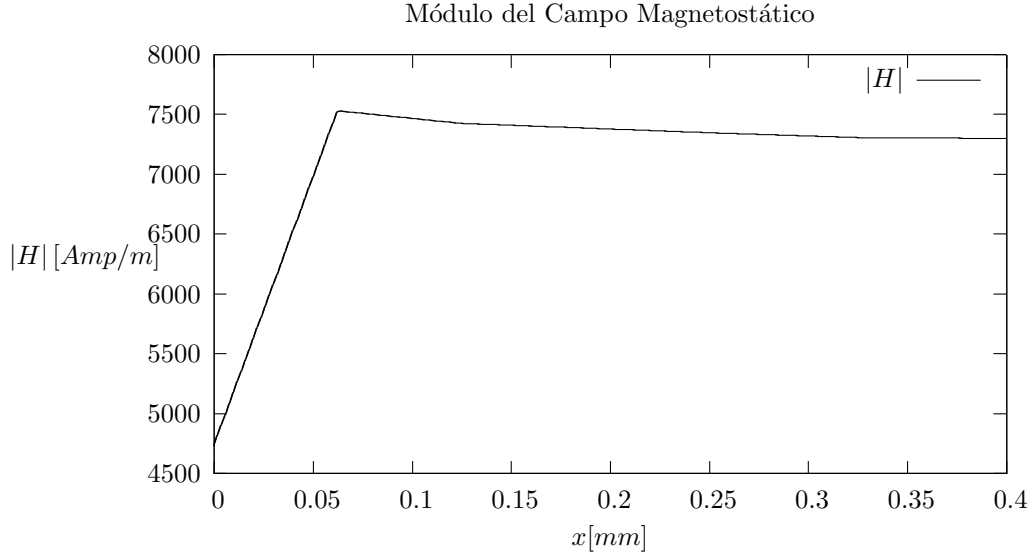
c) Campo Electrostático

Para realizar este punto se decidió graficar el modulo del campo electrostático sobre la línea recta que va desde la línea conductora hasta la línea de tierra de la microstrip.



Campo Magnetostático

Como en el caso anterior se tomo la línea recta entre cintas para realizar el gráfico del módulo del campo.



d) Cálculo de Z_0 mediante simulación numérica

A partir de la simulación para el caso electrostático se calculó la capacidad de la configuración por unidad de longitud, hallándose que para una carga de $Q = 1C$, se obtuvo $V = 1,567965 \times 10^9$

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{V} = 6,3 \times 10^{-10} F = 630 pF$$

El cálculo se hizo realizando la integral $\int E dx$, entre las dos cintas conductoras.

Para el caso magnetostático, integrando $\int B n$ desde la cinta de señal hasta la cinta de tierra se obtuvo el flujo $\Phi = 1,866 \times 10^{-7} Wb$ y luego se dividió por la corriente $I = 10A$,

$$L = \frac{\Phi}{I} = 1,866 \times 10^{-8} = 18,66 nHy$$

También se utilizaron en este caso los programas TXLine y UltraCLC para calcular Z_0 , obteniéndose los siguientes valores: Para TXLine: $Z_0 = 36,7\Omega$ Para UltraCLC: $Z_0 = 17,5\Omega$

Microstrip **TXLINE**

Material Parameters

Dielectric: Air Conductor: Copper

Dielectric Constant: 2 Conductivity: 5.88E7 S/m

Loss Tangent: 0

Electrical Characteristics

Impedance: 36.703 Ohms

Frequency: 10 GHz

Electrical Length: 16134 deg

Propagation Constant: 16134 deg/m

Effective Diel. Const.: 1.8052

Loss: 1.9612 dB/m

Physical Characteristic

Physical Length (L): 1000 mm

Width (W): 2 mm

Height (H): 0.4 mm

Thickness (T): 0.05 mm

UltraCAD Design, Inc.

Solve For **Data Input**

Units ☐ In. ☒ Mils.

☒ Units ☐ Oz.

H: 15.748

T: 1.9685

W: 78.74

Zo: 17.4956793

Er: 2

Is there capacitive loading on this line? ☒ No ☐ Yes

Lo = Intrinsic Inductance = 1.88 nH/in

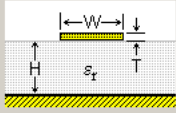
Co = Intrinsic Capacitance = 6.152 pF/in

Tpd = Propagation Delay = 1.294 ns/ft

.108 ns/in

.773 ft/ns

9.27 in/ns




Se hace notar que estos valores no se asemejan a los obtenidos con el programa Femm de simulación ni con la aproximación del Anexo. Esto puede deberse a las fórmulas que implementan los programas para el cálculo de Z_0 .

Entonces, con estos resultados

$$Z_{0S} = \sqrt{\frac{L}{C}} = 5,51 \Omega$$

e) Otras formas de cálculo para Z_0

A partir de la expresión aproximada que figura en el Anexo, se calculó Z_0 mediante la siguiente fórmula

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{ff}}} \left(\frac{w}{t} + 1,98 \left(\frac{w}{t} \right)^{0,172} \right)^{-1}$$

Con lo cual

$$Z_{0R} = 6,1 \, \Omega$$

Referencias

[wak] Wakerly Digital Design.

[dat] All Datasheet.
[<http://www.alldatasheet.com/>].