



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

86.29 - PROPAGACION Y SISTEMAS IRRADIANTES

Trabajo Práctico nro. 1 - Líneas de Transmisión

Alumno:

Iglesias, Fernando (94842)

Índice

1. Introducción	2
2. Modelo y especificaciones de las líneas de transmisión	2
3. Medidor RLC	3
3.1. Principio básico de medición	3
3.2. Ecuaciones del medidor RLC	3
3.3. Modelo circuital equivalente	4
3.4. Ecuaciones del cable coaxial	5
4. Determinación de la impedancia característica	6
5. Medición de la impedancia característica utilizando el VNA	7
5.1. Calibración del VNA	7
5.2. Diagramas de Smith	7
5.3. Expresión de Z_0	8
5.4. Impedancia característica con carga	9
6. Medición de la pérdida por inserción y la atenuación	9
7. Bibliografía	10

1. Introducción

En el presente trabajo se caracterizan tres líneas de transmisión coaxiales mediante método de baja y alta frecuencia.

Los modelos y longitudes de las líneas de transmisión utilizadas en las mediciones son:

- Línea de transmisión 1: RG-213. 0,96 metros de longitud.
- Línea de transmisión 2: RG-58. 4,08 metros de longitud.
- Línea de transmisión 3: RG-58. 6,78 metros de longitud.

2. Modelo y especificaciones de las líneas de transmisión

A continuación se presentan los parámetros característicos de las líneas de transmisión en base a las hojas de datos relevadas.

```
,,,
    Coaxial Cable RG-213 - Electrical Properties
,,,

rg213_z_0 = 50 # +-2 ohm    Charasteristic Impedance
rg213_vp = 66 # %    Relative Propagation Velocity
rg213_C = 101e-9 # F/m    Capacitance
rg213_L = 0.253e-6 # H/m    Inductance
rg213_f_max = 2.4e6 # Hz
rg213_inner_R = 5.8 # ohm/km
rg213_outer_R = 4.1 # ohm/km

rg213_inner_conductor = 2.26 # mm
rg213_dielectric = 7.25 # mm
rg213_outer_conductor = 8.11 # mm
rg213_jacket = 10.31 # mm

,,,
    Coaxial Cable RG-58 - Electrical Properties
,,,

rg58_z_0 = 50 # +-2 ohm    Charasteristic Impedance
rg58_vp = 66 # %    Relative Propagation Velocity
rg58_C = 100e-9 #+-5 F/m    Capacitance
rg58_L = 0.253e-6 # H/m    Inductance
rg58_f_max = 2.4e6 # Hz
rg58_inner_R = 39 # ohm/km
rg58_outer_R = 15 # ohm/km

rg58_inner_conductor = 0.90 # mm
rg58_dielectric = 2.90 # mm
rg58_outer_conductor = 3.55 # mm
rg58_jacket = 5 # mm
```

3. Medidor RLC

3.1. Principio básico de medición

El medidor *RLC* es un instrumento que mide la impedancia ante la resistencia del componente o elemento que se opone a la corriente en un circuito de corriente alterna y la diferencia de potencial del mismo. Es posible calcularse a través de la ley de *Ohm* expresada fasorialmente según la ecuación,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{|V|/\underline{\Theta}_V}{|I|/\underline{\Theta}_I} = \frac{|V|}{|I|} \underline{\Theta}_V - \underline{\Theta}_I = |Z|/\underline{\Theta} \quad (3.1)$$

A partir del desarrollo de la ecuación puede apreciarse que el medidor *RLC* obtiene las magnitudes de tensión y corriente *RMS*, y su respectiva diferencia de fase.

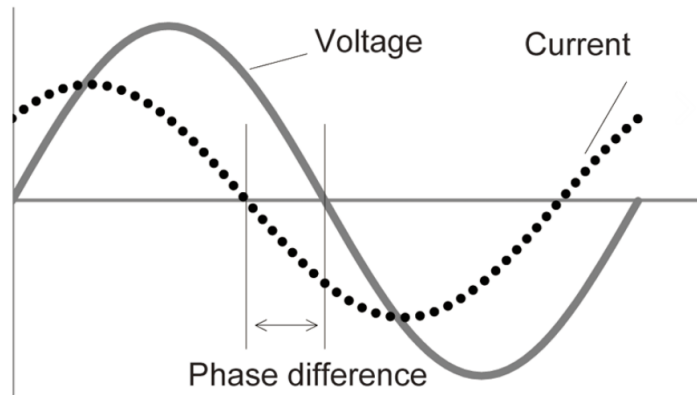


Figura 3.1: Representación gráfica de la tensión y corriente.

3.2. Ecuaciones del medidor RLC

La impedancia Z consiste de una parte real R_s y una parte imaginaria X , y sus parámetros individuales pueden ser calculados al descomponerlos en el plano complejo.

$$Z = R_s + j \cdot X = |Z|/\underline{\Theta} \quad (3.2)$$

siendo, $\Theta = \tan^{-1} \frac{X}{R_s}$, $R_s = |Z| \cdot \cos(\Theta)$, $X = |Z| \cdot \sin(\Theta)$ y $|Z| = \sqrt{R_s^2 + X^2}$.

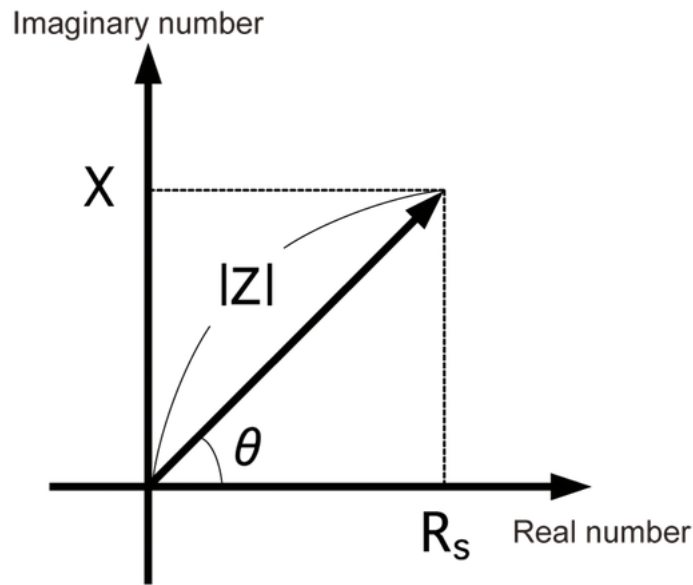


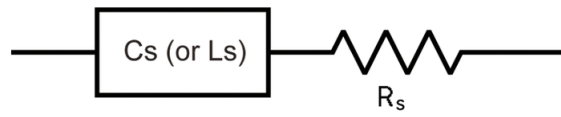
Figura 3.2: Representación gráfica de la impedancia en el plano complejo.

3.3. Modelo circuital equivalente

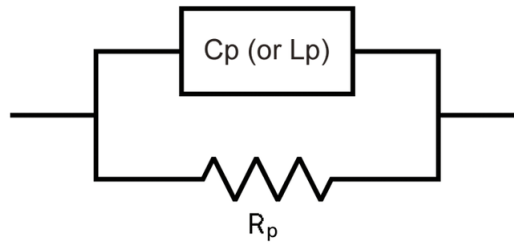
El medidor *RLC* calcula el valor de la impedancia (Z) y la fase (Θ) y en efecto, parámetros como la inductancia (L), la capacitancia (C) y la resistencia (R). Las ecuaciones utilizadas para calcular estas variables dependen exclusivamente de la configuración serie o paralelo del modelo circuital equivalente en que se encuentre operando el instrumento.

El usuario debe seleccionar la configuración del modelo circuital equivalente de modo que se reduzca el error en la medición. El modelo circuital equivalente en configuración serie asume que C_s o L_s en serie con la resistencia R_s , mientras que la configuración paralelo interpreta que estos componentes se encuentran en paralelo.

En general, el modelo en serie se utiliza para componentes o elementos de **baja impedancia**, aquellos con una impedancia menor o igual a $1000\ \Omega$. En cambio, el modelo en paralelo se emplea para elementos de **alta impedancia**, de impedancia mayor o igual a $10\ \Omega$.



Series equivalent circuit



Parallel equivalent circuit

Figura 3.3: Configuración serie-paralelo del modelo circuital equivalente.

3.4. Ecuaciones del cable coaxial

Ante la excitación de una fuente de tensión y de corriente es posible obtener la capacitancia y la inductancia del cable coaxial, respectivamente.

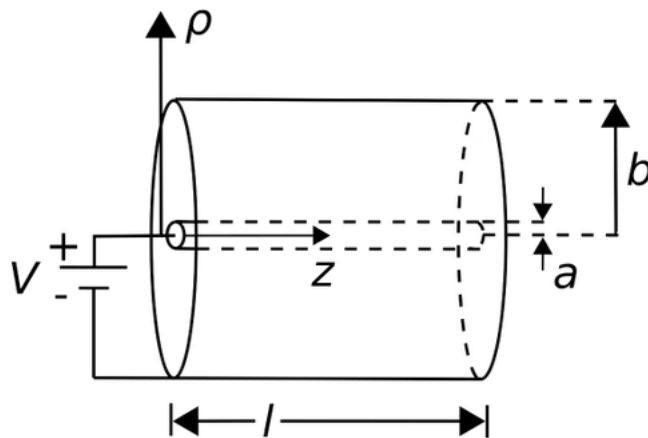


Figura 3.4: Cable coaxial excitado con una fuente de tensión para determinar la capacitancia.

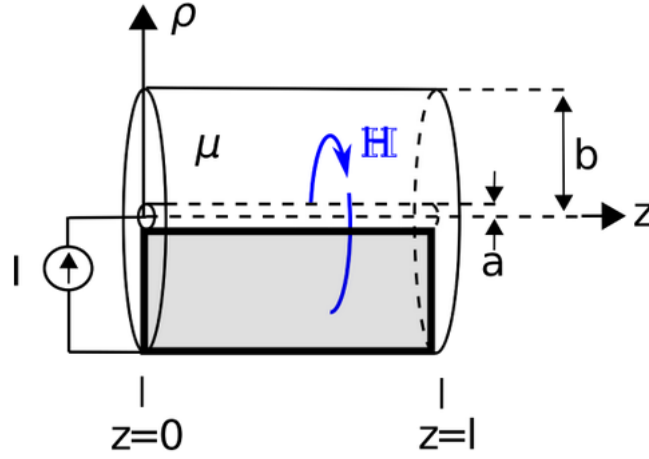


Figura 3.5: Cable coaxial excitado con una fuente de corriente para determinar la inductancia.

$$Z_0 = \frac{138 \cdot \log_{10}(\frac{D}{d})}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.3)$$

$$v_f = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (3.4)$$

$$\epsilon_r = (\frac{c}{v_f})^2 \quad (3.5)$$

$$C = \frac{7,354 \cdot \epsilon_r}{\log_{10}(\frac{D}{d})} \quad (3.6)$$

$$L = 140,4 \cdot \log_{10}(\frac{D}{d}) \quad (3.7)$$

$$frecuencia_{corte} = \frac{11,8}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot \pi \cdot (\frac{D+d}{2})} \quad (3.8)$$

4. Determinación de la impedancia característica

De manera analítica se obtiene la impedancia característica a partir de las hojas de datos de los fabricantes según la ecuación,

$$Z_0 = \frac{\sqrt{\mu_0}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \cdot \ln(\frac{D}{d}) \quad (4.1)$$

-	d [mm]	D [mm]	ϵ_r	$Z_0 \Omega$
RG-213	2.26	8.11	2.25	51.6
RG-58	0.90	3.55	2.25	50.8

5. Medición de la impedancia característica utilizando el VNA

5.1. Calibración del VNA

En primer lugar, se realiza la calibración del VNA previo a realizar una medición dado que se debe ajustar el rango de frecuencias de operación deseado. En efecto, el VNA realiza un barrido de frecuencias en tres configuraciones, circuito abierto (CA), circuito cerrado (CC) y con una carga de $50\ \Omega$.

De esta forma, el instrumento corrige los errores sistemáticos en tiempo real y mide los parámetros de las líneas.

<https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/rf-vector-network-analyzer-vna/how-to-calibrate-vna.php>

5.2. Diagramas de Smith

En las siguientes figuras se presentan los diagramas de *Smith* en cortocircuito y circuito abierto de cada línea de transmisión.

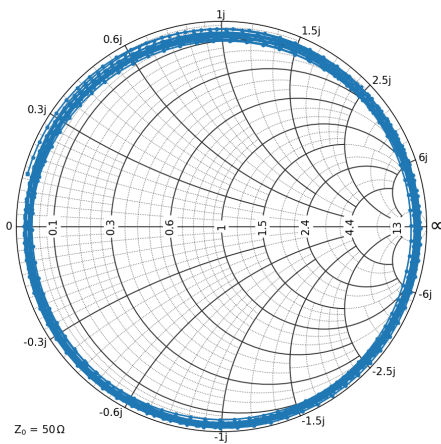


Figura 5.1: Línea de transmisión 1 en circuito abierto.

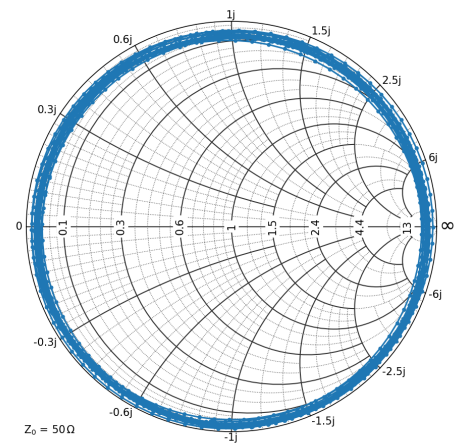


Figura 5.2: Línea de transmisión 1 en cortocircuito.

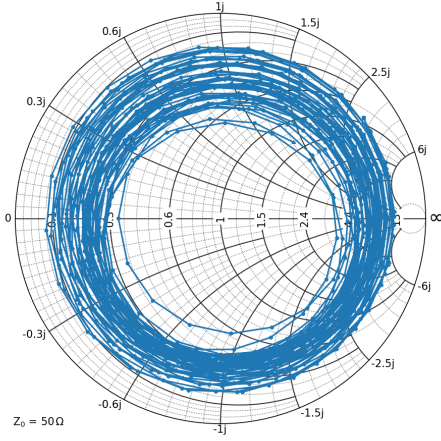


Figura 5.3: Línea de transmisión 2 en circuito abierto.

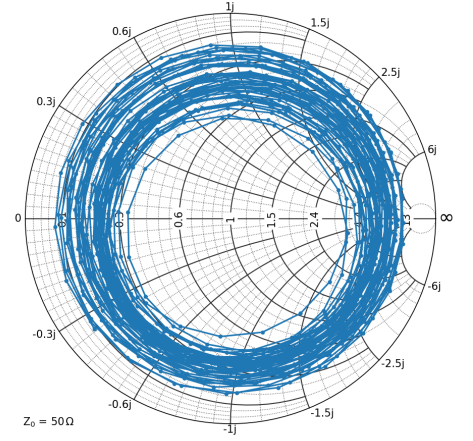


Figura 5.4: Línea de transmisión 2 en cortocircuito.

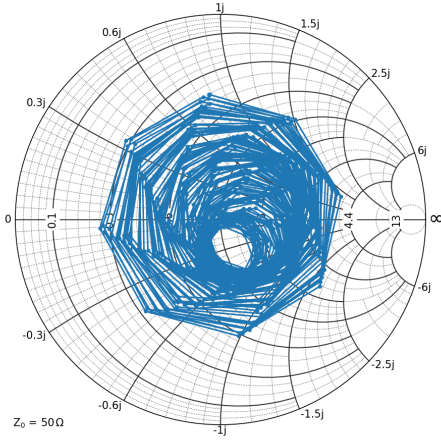


Figura 5.5: Línea de transmisión 3 en circuito abierto.

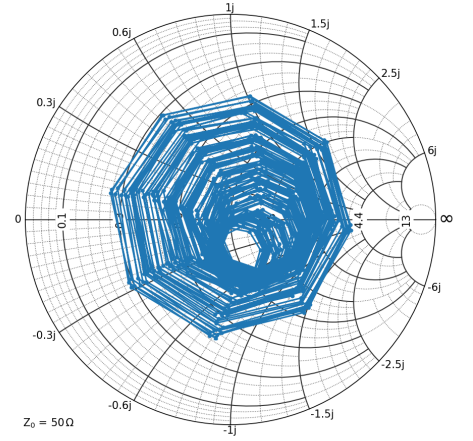


Figura 5.6: Línea de transmisión 3 en cortocircuito.

5.3. Expresión de Z_0

De la expresión general de la impedancia vista a la entrada de una línea con carga Z_L ,

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \frac{Z_L + j \cdot Z_0 \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)}{Z_L + j \cdot Z_L \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)} \quad (5.1)$$

Suponiendo que la carga es un cortocircuito, se obtiene que $Z_L = 0$, por lo tanto,

$$Z_{in}(CC) = Z_0 \cdot \frac{j \cdot Z_0 \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)}{Z_0} = \frac{Z_0}{j \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)} \quad (5.2)$$

Por otra parte, si la carga es un circuito abierto, entonces,

$$Z_{in}(CA) = \frac{Z_0}{j \cdot \tan(\beta \cdot L)} \quad (5.3)$$

Finalmente, del producto entre las impedancias de entrada a circuito abierto resulta Z_0^2 , siendo,

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in}(CC) \cdot Z_{in}(CA)} \quad (5.4)$$

Las frecuencias a utilizar son aquellas que se encuentren dentro de las condiciones de borde, dado que en $Z = 0$ y $Z = \infty$ se presentan indeterminaciones.

5.4. Impedancia característica con carga

A partir de los archivos de extensión *s1p* del parámetro S_{11} para cada línea con una carga de 75Ω , se represento la impedancia característica de cada línea de transmisión.

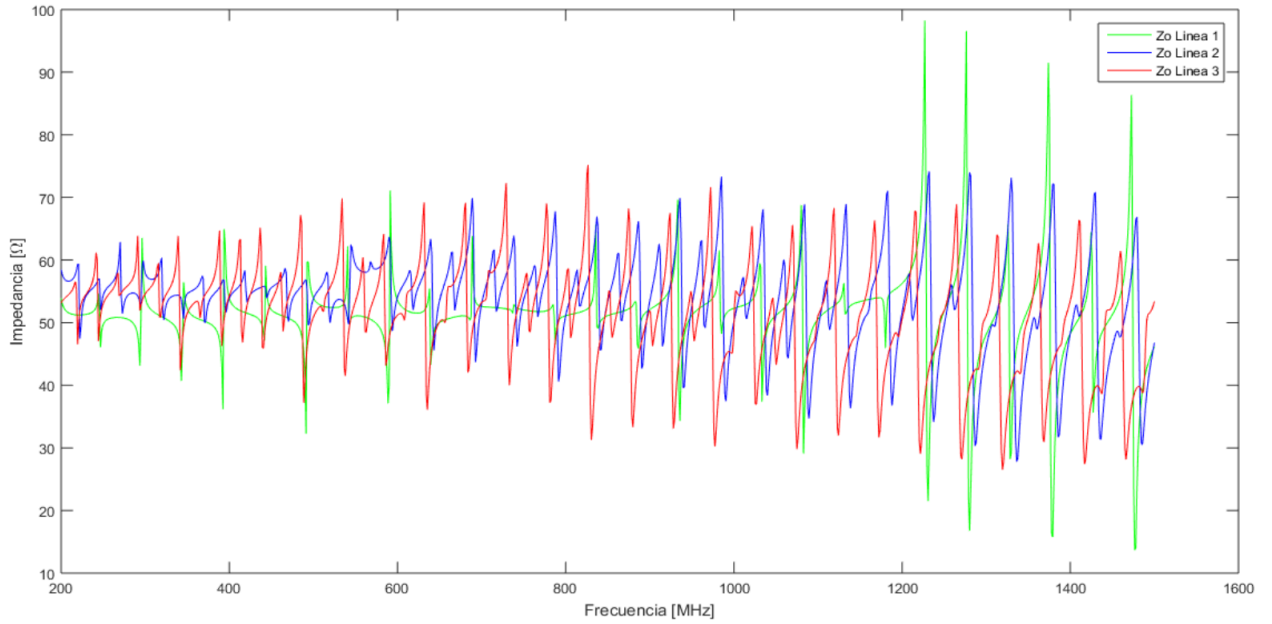


Figura 5.7: Impedancia característica de cada línea de transmisión propuesta.

6. Medición de la pérdida por inserción y la atenuación

A partir de los archivos de extensión *s1p* de los parámetros S obtenidos con el VNA, se obtuvo la atenuación por atenuación e inserción con una escala de $dB/100 m$ a partir del parámetro S_{21} .

En el siguiente gráfico se puede observar

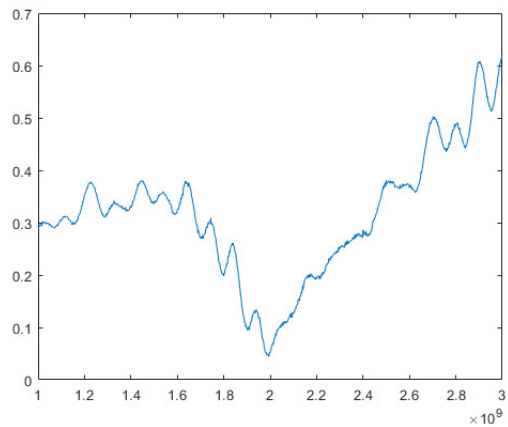


Figura 6.1: Pérdidas por inserción de la líneas de transmisión 1.

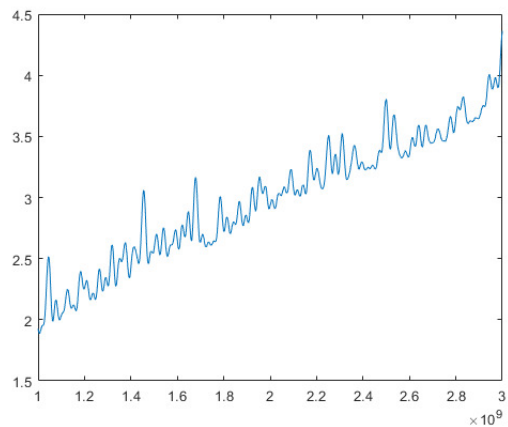


Figura 6.2: Pérdidas por inserción de la líneas de transmisión 2.

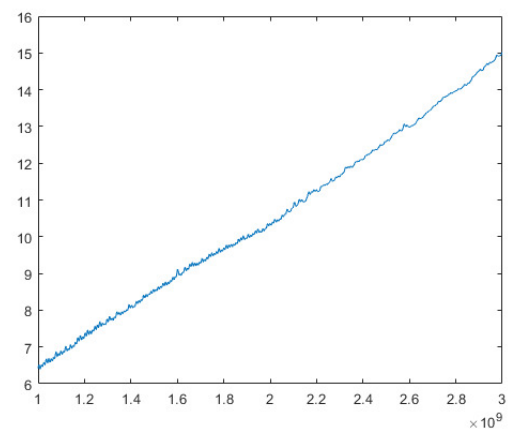


Figura 6.3: Pérdidas por inserción de la líneas de transmisión 3.

7. Bibliografía

- Cabke coaxial de la marca RFS, <http://products.rfsworld.com/websearchecat/datasheets/?q=RGC213-50J>.

- **Cable coaxial de la marca RFS**, <http://www.rfsworld.com/websearchecat/datasheets/pdf/?q=RG58-50JF>.
- **Electromagnetics I (Ellingson)**, [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Book:_Electromagnetics_I_\(Ellingson\)](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Book:_Electromagnetics_I_(Ellingson))