

# EXPERIENCIA 4: REFLECTOMETRÍA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO Y ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Laboratorio de Comunicaciones - ELO241. 22 de septiembre de 2012  
Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

EN esta experiencia se aplicarán técnicas de medición de parámetros de líneas de transmisión tales como largo eléctrico, coeficiente dieléctrico, velocidad de fase, pérdidas, entre otras.

Se adaptará una línea de transmisión tipo cable coaxial a un generador de señales mediante una malla tipo "L".

Se aplicará la técnica de reflectometría en el dominio del tiempo (RDT) para obtener impedancias de cargas desconocidas. Además, se utilizará esta técnica para determinar la presencia de discontinuidades o fallas a lo largo de una línea de transmisión.

En todas las pruebas se utilizará el cable coaxial URM 202 con impedancia característica de  $75 \pm 3\Omega$ .

## II. LINEAS DE TRANSMISIÓN

Al analizar el modelo de transmisión/recepción, podemos apreciar que se puede separar en tres partes importantes: sistema de transmisión de información, canal de comunicaciones y sistema de recepción de información; las líneas de transmisión se encuentran consideradas en la segunda parte: son conductores metálicos, utilizados para transferir energía electromagnética entre 2 puntos. A bajas frecuencias, las líneas de transmisión presentan un comportamiento bastante sencillo y predecible, en cambio, a altas frecuencias, las características de propagación se vuelven más complejas.

En un sistema de telecomunicaciones, las señales transmitidas son del orden de los MHz y GHz, razón por la cual resulta de gran importancia el estudio de los fenómenos involucrados en la propagación de ondas de alta frecuencia en sistemas alámbricos.

Otro aspecto a considerar al hablar de líneas de transmisión es la adaptación de impedancias, lo cual apunta a tratar de evitar pérdidas de potencia debido a reflexiones en la carga. Es necesario que la impedancia de carga de la línea de

transmisión sea igual a la impedancia de la línea de transmisión,  $Z_0$ . Si la carga es distinta a  $Z_0$ , es necesario acoplar un dispositivo de manera de modificar la impedancia de carga y por lo tanto, evitar reflexiones.

## III. PARÁMETROS DE IMPORTANCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

A continuación se presentan los parámetros más importantes de una línea de transmisión de tipo cable coaxial como el que se usará en la experiencia del laboratorio, Fig. 1:

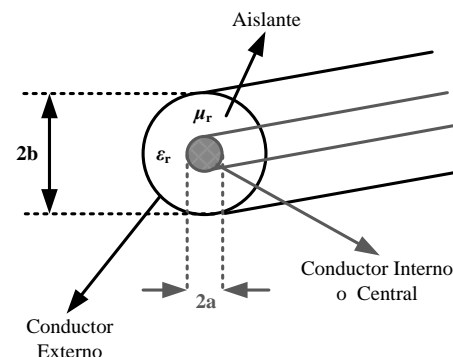


Fig. 1 Diagrama cable coaxial.

Este tipo de líneas de transmisión pueden ser modeladas como un conjunto de parámetros distribuidos, como capacitancias, inductancias, conductancias y resistencias por metro. Dicho modelo se muestra en la Fig. 2:

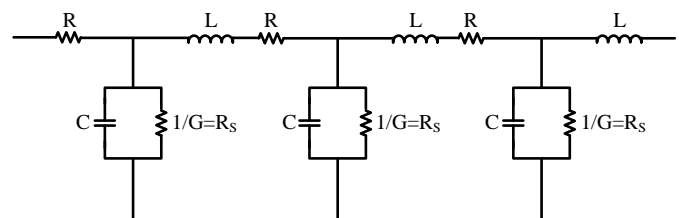


Fig. 2 Modelo equivalente de parámetros distribuidos para una línea de transmisión.

### A. Parámetros Distribuidos del Cable Coaxial

Como se mencionó anteriormente, la línea de transmisión presenta cuatro parámetros distribuidos, y se pueden considerar sólo dos de los cuatro si se habla de línea de bajas pérdidas, siendo sólo relevantes la inductancia distribuida y la capacitancia distribuida. La inductancia distribuida tiene como expresión:

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left( \frac{b}{a} \right) \left[ \frac{H}{m} \right] \quad (1)$$

Y por su parte, la capacitancia distribuida resulta:

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)} \left[ \frac{F}{m} \right] \quad (2)$$

Otro parámetro de interés de la línea de transmisión es la impedancia característica,  $Z_0$ , la cual se define como:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left( \frac{b}{a} \right) = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \left( \frac{b}{a} \right) [\Omega] \quad (3)$$

Este parámetro es crucial dentro del diseño de sistemas de telecomunicaciones que utilicen líneas de transmisión, ya que está ligado estrechamente a la transmisión eficiente de potencia desde el generador hacia la carga o antena (carga adaptada).

### B. Constante de Propagación en Líneas de Transmisión

La constante de propagación  $\gamma$ , está definida como:

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad (4)$$

La constante  $\gamma$  puede expresarse en términos de la constante de atenuación  $\alpha$  y de la constante de fase  $\beta$ , según:

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta \quad (5)$$

Por lo tanto,  $\alpha$  y  $\beta$  pueden también expresarse en función de los parámetros distribuidos de la línea:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (RG - \omega^2 LC) + \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} \right]} \quad (6)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\omega^2 LC - RG) + \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} \right]}$$

Las líneas de transmisión con pérdidas pueden introducir distorsión en las señales que se propagan a través de ellas (banda ancha), a menos que se cumplan ciertas relaciones en sus parámetros (condición sin distorsión).

Existen, en general, tres fuentes de distorsión:

- a)  $Z_0 = Z_0(\omega)$  (Dependencia de la frecuencia)
- b)  $\alpha = \alpha(\omega)$  (Distorsión por atenuación)

c)  $V_p = V_p(\omega)$  (Distorsión de fase)

Las condiciones para mínima distorsión son:

$$\begin{aligned} \text{a) } L/R = C/G &\Rightarrow Z_0 = \sqrt{R/G} = \sqrt{L/C} \\ \text{b) } L/R = C/G &\Rightarrow \gamma^2 = \left( \sqrt{RG} + j\omega\sqrt{LC} \right)^2 \\ &\Rightarrow \alpha = \sqrt{RG} \quad \beta = \omega\sqrt{LC} \\ \text{c) Distorsión de fase (de a) y b): } V_p &= \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (7)$$

### C. Líneas de transmisión sin Pérdidas

En una línea de transmisión sin pérdidas, de acuerdo al modelo desarrollado, se tiene que  $R=G=0$ .

Esto nos lleva a que:

$$\alpha = 0 \Rightarrow \gamma = j\beta = j\omega\sqrt{LC} \quad (8)$$

o bien,

$$\begin{aligned} \beta = \omega\sqrt{LC} &\Rightarrow V_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ \lambda = \frac{2\pi}{\beta} &= \frac{2\pi}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{f\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (9)$$

De acuerdo a las condiciones expuestas, la impedancia característica de la línea,  $Z_0$ , resulta:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (10)$$

### D. Reflexión en Líneas de Transmisión

Consideremos una línea de transmisión, de impedancia característica  $Z_0$  y longitud  $L$ , conectada a un generador de impedancia de salida  $Z_G$ , y a una carga  $Z_L$  como indica la Fig. 3.

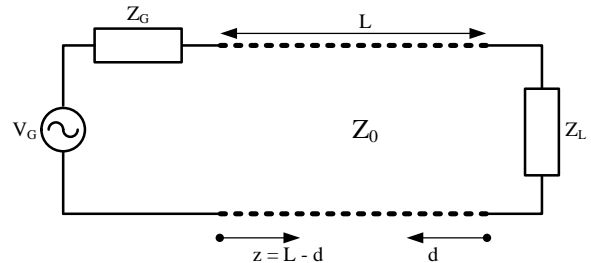


Fig. 3 Esquema equivalente de una línea de transmisión.

Las ondas de voltaje y corriente para un punto a distancia “ $z$ ” desde el generador hacia la carga, están dadas por:

$$\begin{aligned} V(z) &= V_1 e^{-\gamma z} + V_2 e^{\gamma z} \\ I(z) &= \frac{1}{Z_0} (V_1 e^{-\gamma z} - V_2 e^{\gamma z}) = I_1 e^{-\gamma z} + I_2 e^{\gamma z} \end{aligned} \quad (11)$$

Evaluando estas expresiones en el extremo de la carga ( $z = L$ ).

$$\begin{aligned} V(L) &= V_1 e^{-\gamma L} + V_2 e^{\gamma L} \\ I(L) &= \frac{1}{Z_0} (V_1 e^{-\gamma L} - V_2 e^{\gamma L}) \end{aligned} \quad (12)$$

La razón del voltaje a la corriente en la carga debe dar la impedancia de carga:

$$Z(L) = Z_L = \frac{V(L)}{I(L)} = Z_0 \left( \frac{V_1 e^{-\gamma L} + V_2 e^{\gamma L}}{V_1 e^{-\gamma L} - V_2 e^{\gamma L}} \right) \quad (13)$$

Rescribiendo la ecuación anterior de la forma:

$$Z_L = Z_0 \left( \frac{1 + \frac{V_2 e^{\gamma L}}{V_1 e^{-\gamma L}}}{1 - \frac{V_2 e^{\gamma L}}{V_1 e^{-\gamma L}}} \right) \quad (14)$$

La razón  $\Gamma_L = V_2 e^{\gamma L} / V_1 e^{-\gamma L}$  define el coeficiente de reflexión en la carga, y expresa la razón entre la onda reflejada y la onda incidente en la carga. En algunos textos se denomina  $\sigma_L$ .

$$\Gamma_L = \frac{V_{ref_L}}{V_{inc_L}} = \frac{V_2 e^{\gamma L}}{V_1 e^{-\gamma L}} = - \frac{I_{ref}}{I_{inc}} \quad (15)$$

Así,  $Z_L$  puede expresarse en términos de  $\Gamma_L$  o viceversa:

$$Z_L = Z_0 \left( \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \right), \quad \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (16)$$

En general,  $Z_L$  y/o  $Z_0$  (y por lo tanto  $\Gamma_L$ ) pueden ser complejos, es decir:

$$\Gamma_L = |\Gamma_L| \cdot e^{j\theta_L} \quad (17)$$

En relación a lo anterior, se pueden hacer algunas observaciones:

- Para impedancias con parte real positiva,  $|\Gamma_L| \leq 1$
- $\theta_L$  es la diferencia de fase entre las ondas de voltaje reflejado e incidente.
- $\Gamma$  puede ser definido en cualquier parte de la línea, como la razón de las ondas reflejada e incidente en dicho punto, esto es:

$$\Gamma(z) = \frac{V_{ref_z}}{V_{inc_z}} = \frac{V_2 e^{\gamma z}}{V_1 e^{-\gamma z}} \quad (18)$$

Consideremos ahora el cambio de variable  $z=L-d$ , siendo  $d$  la coordenada con referencia en la carga. Así,

$$\Gamma(L-d) = \frac{V_2 e^{\gamma(L-d)}}{V_1 e^{-\gamma(L-d)}} = \frac{V_2 e^{\gamma L}}{V_1 e^{-\gamma L}} e^{-2\gamma d} = \Gamma_L e^{-2\gamma d} = \Gamma(d) \quad (19)$$

Lo anterior nos indica que  $\Gamma(d)$  puede ser conocido en cualquier punto de la línea de transmisión, conocido  $\Gamma_L$ .

Considerando  $\gamma = \alpha + j\beta$ , se tiene:

$$\begin{aligned} \Gamma(d) &= \Gamma_L e^{-2\alpha d} e^{-2j\beta d} \\ &= |\Gamma_L| e^{j\theta_L} e^{-2\alpha d} e^{-2j\beta d} = |\Gamma_L| e^{-2\alpha d} e^{j(\theta_L - 2\beta d)} \end{aligned} \quad (20)$$

Es útil representar  $\Gamma$  en forma polar, gráficamente, para observar lo que ocurre con su valor a lo largo de la línea de transmisión:

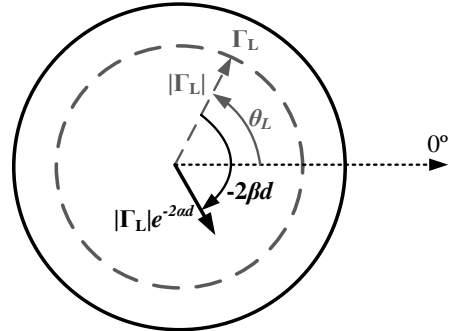


Fig. 4 Diagrama polar para  $\Gamma_L$  con  $\alpha \neq 0$ .

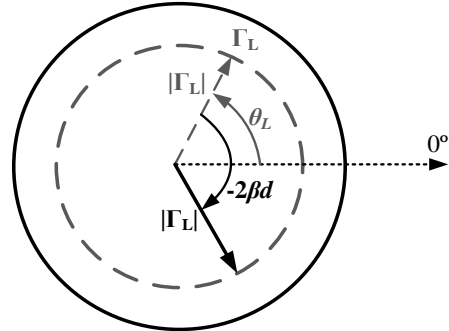


Fig. 5 Diagrama polar para  $\Gamma_L$  con  $\alpha = 0$ .

Para una línea con pérdidas, Fig. 4, el hecho que  $\Gamma_d = 0$  no implica que  $Z_L = Z_0$ , ya que existen atenuaciones en la línea de transmisión.

#### IV. ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS

Para evitar pérdidas de potencia en una línea de transmisión, la carga de la línea debe tener una impedancia igual a la impedancia característica de la línea  $Z_0$ . Esto evita la formación de ondas reflejadas y, por lo tanto, la transmisión de la potencia desde la línea de transmisión hacia la carga es total (generalmente, una antena). Si por el contrario, la impedancia de la carga no es igual, denominándose carga desadaptada, se debe acoplar algún tipo de dispositivo de manera de adaptar la carga a la línea de transmisión. Esto cambia la impedancia de carga “vista” por la línea de transmisión, lo que permite lograr máxima transferencia de potencia a la carga.

Dentro de las técnicas más comunes de adaptación de impedancia se pueden mencionar:

- Transformadores  $\lambda/4$ .
- Stubs o troncos.
- Mallas “T” y “L”.
- Baluns.

#### A. Transformadores $\lambda/4$ .

Son trozos de línea de transmisión de largo  $\lambda/4$  usados para adaptar cargas resistivas puras. Si la impedancia de carga fuese compleja, se debe buscar un punto desde la carga hacia el generador en donde la impedancia vista hacia la carga sea resistiva pura.

Para lograr adaptación de la impedancia de carga, el transformador  $\lambda/4$  debe cumplir con la siguiente relación, Fig. 6:

$$Z_T = \sqrt{Z_L \cdot Z_0} \quad (21)$$

En donde:

$Z_T$ : impedancia característica del transformador.

$Z_L$ : impedancia de carga.

$Z_0$ : impedancia característica de la línea de transmisión.

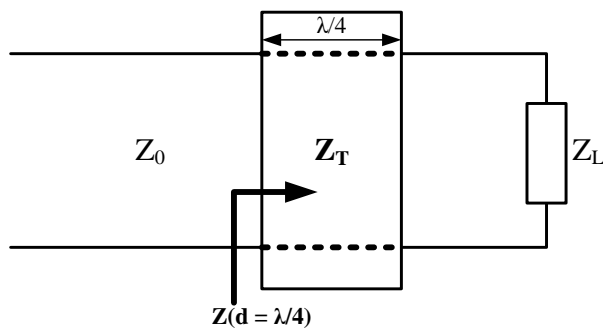


Fig. 6 Transformador de  $\lambda/4$ .

#### B. Stubs o troncos.

Son trozos de líneas de transmisión terminados en una carga conocida. Estas líneas tienen un largo adecuado y se ubican estratégicamente para remover o anular la parte reactiva de la carga y modificar la parte resistiva de ésta, si se desea. Los stubs son útiles para adaptar cargas resistivas puras o cargas complejas.

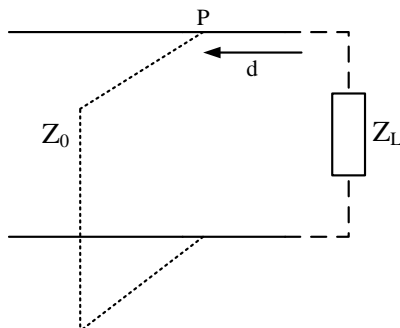


Fig. 7 Stub en paralelo terminado en corto circuito.

#### C. Mallas “T” y “L”.

Estas mallas de adaptación se ubican entre la línea de transmisión y la impedancia de carga. La malla “T” se muestra a continuación:

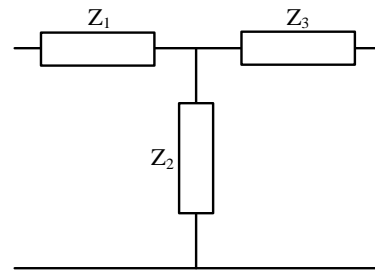


Fig. 8 Malla T.

La malla “L” es un caso particular de la malla “T” con  $Z_3=0$  ó  $Z_1=0$ .

Para lograr adaptar la impedancia de carga a la línea de transmisión se debe cumplir con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Z_{out} &= Z_2 // (Z_1 + Z_{in}) + Z_3 \\ Z_{in} &= Z_2 // (Z_3 + Z_{out}) + Z_1 \end{aligned} \quad (22)$$

En donde  $Z_{out} = Z_L$  y  $Z_{in} = 0$ . Luego, despejando para las impedancias de interés, característica y de carga, tenemos:

$$\begin{aligned} Z_{in} &= \frac{Z_3 + Z_{out}}{Z_2 + Z_3 + Z_{out}} Z_2 + Z_1 \\ Z_{out} &= \frac{Z_1 + Z_{in}}{Z_1 + Z_2 + Z_{in}} Z_2 + Z_3 \end{aligned} \quad (23)$$

Nos queda un sistema de 2 ecuaciones y 3 incógnitas, lo que nos permite fijar una de estas variables y resolver el sistema para las otras dos. Por simplicidad y considerando el caso de la malla “L” la variable fijada será  $Z_3$  ó  $Z_1$ , dependiendo de los valores de las impedancias de entrada y salida de la malla.

En esta experiencia se usará la malla “L”, Fig. 9, considerando que la impedancia de entrada,  $Z_{in}$ , es menor que la impedancia de salida,  $Z_L$ .

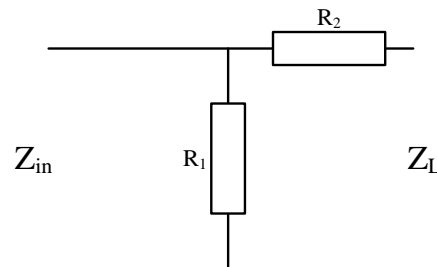


Fig. 9 Malla L para  $Z_{in} > Z_L$ .

Desarrollando las expresiones asociadas a las condiciones de impedancia de entrada y salida, se llega a:

$$R_1 = \frac{R_{in}}{\sqrt{1-F_t}}, \quad R_2 = R_L \sqrt{1-F_t}, \quad F_t = \frac{R_{in}}{R_L} \quad (24)$$

En esta experiencia se usará  $R_{in} = 50\Omega$  (generador de señales) y  $R_L = 75\Omega$  (cable coaxial URM 202).

#### D. Baluns.

Son dispositivos para adaptar impedancias. Estos son utilizados para adaptar líneas de transmisión balanceadas a cargas desbalanceadas o adaptar líneas de transmisión desbalanceadas a cargas balanceadas. Un ejemplo de estos dispositivos es el balun que adapta de  $300[\Omega]$  de la antena de televisión a los  $75[\Omega]$  del cable coaxial que llega a los televisores.

### V. REFLECTOMETRÍA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO (RDT)

Cuando se tiene una línea de transmisión de largo finito y terminada en una carga cuya impedancia corresponde a  $Z_0$ , se dice que la línea está adaptada ( $\Gamma_L=0$ ) por lo que no existe una onda que se refleje hacia el generador. Si la carga es distinta de  $Z_0$  ( $\Gamma_L \neq 0$ ) una segunda señal reflejada a partir de la señal incidente se propagará desde la carga hacia el generador. Esta onda reflejada equivale a la potencia no transmitida hacia la carga.

La Reflectometría en el Dominio del Tiempo (RDT) es una técnica de medición basada en el principio de reflexión de la señal. Mediante esta técnica es posible determinar el largo físico y eléctrico de una línea de transmisión, localizar fallas y/o discontinuidades, determinar la impedancia característica de la línea de transmisión, determinar la impedancia de carga al final de la línea de transmisión, la velocidad de propagación, etc. La onda reflejada es distinguible gracias al tipo de señal a utilizar en el método, ya que son pulsos de duración y frecuencia adecuadamente seleccionados. Los rebotes (ecos) de cada pulso transmitido a lo largo de la línea de transmisión son recibidos y medidos, lo que permite obtener los parámetros de interés. El tiempo entre el pulso enviado y sus rebotes se utiliza para determinar el largo o el/los puntos de discontinuidad a lo largo de la línea de transmisión. Por lo tanto, la información relevante está contenida en la forma y magnitud del pulso reflejado.

#### A. Principio de Medición de RDT

El principio de método de RDT puede ser resumido de la siguiente manera:

- Si la impedancia del generador es la misma que la impedancia característica de la línea de transmisión, para un voltaje  $V_G$  del pulso fijado en el generador,  $V_G/2$  serán transmitidos a la línea.
- Por lo tanto, en  $t=0^+$ , el voltaje en  $z=0$  en la línea es de  $V(0, 0)=V_G/2$ .
- Luego, en  $t=\tau/2$ , el pulso alcanza el final de la línea de transmisión y se refleja un pulso de amplitud  $V(\tau/2, L) = \Gamma_L V_G/2$ .
- Luego, en  $t = \tau$ , el pulso reflejado alcanza la posición  $z=0$ ,

en donde, si la duración del pulso es la adecuada, ambas señales incidente y reflejada, se sumarán algebraicamente, quedando  $V(\tau, 0) = V_G/2 + \Gamma_L V_G/2$ .

- No existirá mas cambio en la señal resultante ya que no existirán mas rebotes a partir de  $t = \tau$ .

#### 1) Parámetros de interés que se pueden determinar con RDT

En base al principio de medición de RDT, se pueden estimar algunos parámetros básicos de la línea de transmisión con sólo observar la forma de onda resultante, estos parámetros son:

- Largo físico: es el largo real del cable a utilizar.
- Largo eléctrico: es el largo del cable considerando la distancia que recorre la misma señal en el espacio libre en el mismo tiempo.
- Velocidad de fase: es la velocidad con que se propaga la señal dentro en la línea de transmisión.
- Coeficiente dieléctrico relativo  $\epsilon_r$ : coeficiente asociado al dieléctrico usado en la fabricación del cable coaxial URM 202.
- Longitud de onda en la línea de transmisión: longitud de onda de la señal que se propaga en la línea de transmisión.
- Pérdidas: pérdidas asociadas al cable.
- Si no se conoce la impedancia característica  $Z_0$ , con una carga conocida, se puede determinar  $Z_0$ .

Los parámetros mencionados se estiman de acuerdo a las siguientes expresiones:

Si conocemos el tiempo que le toma a la señal recorrer la línea de transmisión,  $\tau$ , podemos estimar el largo eléctrico de la línea de transmisión,  $L_E$ , como:

$$L_E = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad (25)$$

Si conocemos el largo físico del cable,  $L$ , y el tiempo que le toma a la señal recorrer la línea de transmisión, podemos estimar la velocidad de fase,  $V_P$ , como:

$$V_P = \frac{2L}{\tau} \quad (26)$$

Luego, al conocer la velocidad de fase, se puede estimar el coeficiente dieléctrico relativo  $\epsilon_r$  de acuerdo a:

$$V_P = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (27)$$

De acuerdo a las ecuaciones anteriores, la longitud de onda de la señal en la línea de transmisión,  $\lambda_L$  será:

$$\lambda_L = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (28)$$

### B. Análisis de Forma de Onda

Se pueden obtener una infinidad de formas de onda resultantes a partir del tipo de impedancia de carga que se conecta a la línea (ya sea resistiva pura, imaginaria o compleja), pero podemos mencionar algunos casos de interés.

#### 1) Línea de transmisión terminada en corto circuito

En este caso se tiene  $Z_L=0$ , por lo que el coeficiente de reflexión  $\Gamma_L$  nos queda como:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{0 - Z_0}{0 + Z_0} = -1 \quad (29)$$

Lo anterior indica que las ondas incidente y reflejada en  $z=0$  tendrán la misma amplitud pero estarán en contrafase, por lo que la suma algebraica resulta nula.

#### 2) Línea de transmisión terminada en carga adaptada

En este caso se tiene  $Z_L = Z_0$ , por lo que el coeficiente de reflexión  $\Gamma_L$  nos queda como:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{Z_0 - Z_0}{Z_0 + Z_0} = 0 \quad (30)$$

Lo anterior indica que no existirá onda reflejada en la carga, por lo que el pulso en  $z=0$  no se verá afectado en su amplitud.

#### 3) Línea de transmisión terminada en circuito abierto

En este caso se tiene  $Z_L \rightarrow \infty$ , por lo que el coeficiente de reflexión  $\Gamma_L$  nos queda como:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{\infty - Z_0}{\infty + Z_0} = 1 \quad (31)$$

Lo anterior indica que las ondas incidente y reflejada en  $z=0$  tendrán la misma amplitud y estarán en fase, por lo que la suma algebraica resulta en una duplicación del voltaje del generador.

La respuesta a escalón (unitario) de estos casos resistivos, junto con algunas impedancias imaginarias simples, pueden resumirse en la Fig. 10. Estas respuestas suponen una línea de transmisión de largo  $L_Z$  y velocidad de propagación  $V_P$ . La tensión desplegada corresponde al voltaje a la entrada de la línea de transmisión (voltaje incidente + reflejado).

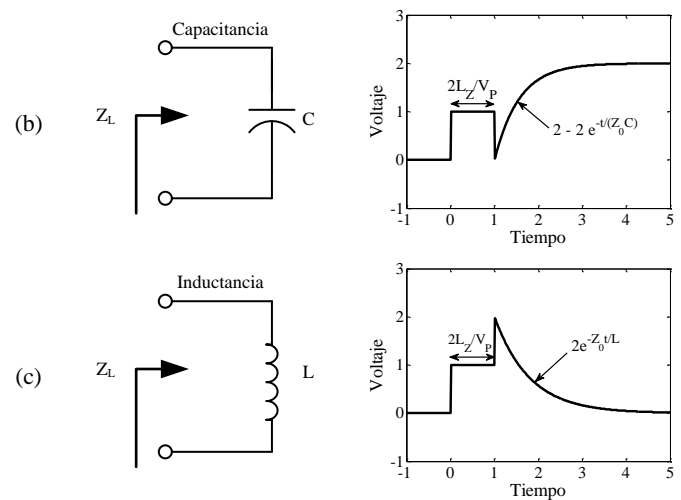
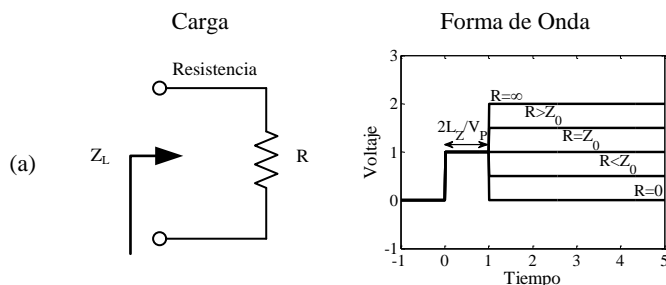


Fig. 10 RDT.

## VI. TRABAJO EN EL LABORATORIO

En esta experiencia de laboratorio, se utilizarán los siguientes equipos y módulos:

- 1 Osciloscopio TEK TDS 210 con opción FFT
- 1 Generador de señales
- 2 Cable coaxial URM 202
- 4 Cargas desconocidas a determinar mediante RDT
- 1 Módulo de adaptación de impedancias: malla L.

El esquema de RDT a considerar en esta experiencia es el siguiente:

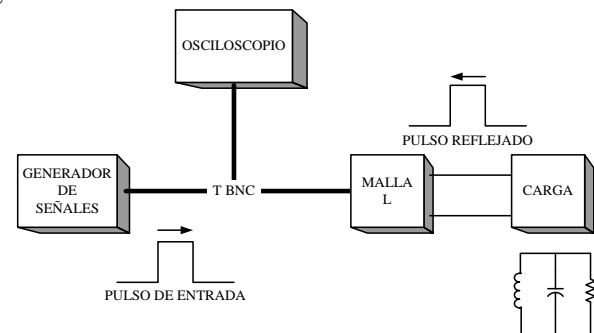


Fig. 11 Esquema básico de RDT.

## VII. INFORME PREVIO

1. Investigue el esquema de medición mediante RDT.
2. Investigue los parámetros de interés asociados al cable coaxial URM 202, tales como el valor de la constante dieléctrica de éste y estime la velocidad de propagación y longitud de onda de la señal, además de las pérdidas asociadas al cable. Establezca un método para medir la atenuación del cable.
3. Calcule los parámetros de mallas L para  $Z_L=75\Omega$  y  $Z_0=50\Omega$ ;  $Z_L=300\Omega$  y  $Z_0=75\Omega$ ;  $Z_L=50\Omega$  y  $Z_0=75\Omega$ .
4. Reproduzca las formas de onda de RDT para distintas  $Z_L$ : RC serie/paralelo, RL serie/paralelo, con  $R>Z_0$  y  $R<Z_0$ . Desarrolle expresiones temporales para la respuesta de cada uno de los casos mencionados utilizando análisis con la transformada de Laplace. Establezca un método

para estimar los parámetros asociados a la carga mediante la respuesta RDT.

**Nota:** Considere la respuesta ante un pulso de duración adecuadamente seleccionada (báse en el retardo de propagación del pulso a través del cable coaxial; suponga que este retardo es medible, y por lo tanto, conocido). Utilice como material de apoyo la toolbox de Matemática Simbólica de Matlab. Específicamente, las funciones *laplace*, *ilaplace* y *heaviside*. Incluya los scripts en el Anexo de su Informe Previo.

### VIII. ENSAYO E INFORME FINAL

Para los puntos 1 y 2, se recomienda usar pulsos de pequeña duración de tal forma de que no ocurra superposición de pulsos en la entrada de la línea de transmisión. Para todos los casos use frecuencias entre los 100 y 200 kHz.

1. Implemente el esquema RDT y observe la señal resultante al usar frecuencias alrededor de los 100 ~ 200 kHz, sin adaptar el generador de señales a la línea de transmisión mediante la malla L, con línea terminada en CA y CC. Adapte luego el generador a la línea de transmisión y observe las señales resultantes. Comente.
2. Mida los parámetros asociados al cable coaxial URM 202, tales como: largo físico, largo eléctrico, velocidad de fase, longitud de onda y estime las pérdidas.
3. Mediante RDT obtenga las distintas formas de onda asociadas a las cargas entregadas en el laboratorio y determine la naturaleza y valor aproximado de las cargas.
4. Mediante la unión H/H de  $75\Omega$ , empalme dos cables coaxiales URM 202, observe la forma de onda resultante. Mida los tiempos asociados a los rebotes y vea si coinciden con la disposición física de los elementos.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] W.Tomasi: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4a Edición, Prentice Hall 2003
- [2] Radiación electromagnética: [http://www.lesia.insa-toulouse.fr/~emccompo/online/emc/origin\\_sus.html](http://www.lesia.insa-toulouse.fr/~emccompo/online/emc/origin_sus.html)
- [3] Efectos de interferencia electromagnética en cables: <http://www.vitatech.net/pub7.html>
- [4] Curso “Líneas de transmisión y GG.OO”, caps. 1.2 y 1.3.