

## Práctica 2: INSTRUMENTACIÓN Y REFLECTOMETRÍA

Ariza Villamizar William Andrés - 2184684  
Martínez González Brayan Camilo - 2194667  
Perdomo Morales Andrés Felipe - 2195534

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones  
Universidad Industrial de Santander

26 de Noviembre del 2022

### Resumen

En la siguiente practica se trataran algunos temas de gran importancia para así comprender la técnica de reflectometría y los diversos datos que se pueden extraer de este concepto, a parte de eso como identificar parámetros reales importantes mediante un sistema de potencia de entrada y salida, medidas de atenuación, información de los cables coaxiales como lo son la longitud, su atenuación respectiva y el correcto uso del analizador de espectro, observando en el dominio del tiempo los distintos índices de reflexión y como poder variar esta componente.

**Palabras clave:** reflectometría, atenuación, USRP, RG58 A/U, analizador.

### 1. Introducción

Antes de introducirnos en cálculos experimentales, diagramas, gráficas y comparativos es necesario comprender diversos temas, como primera instancia vamos a resolver una inquietud muy importan la cual es un parámetro muy importante del cable coaxial, el cual es la atenuación que el genera, cuando estamos haciendo algún montaje hay que tener presente este fenómeno ya que es un factor que genera que la señal que circula por ella se atenúa y ese factor depende también de la longitud del cable, el cual es un tema que se tratara en este laboratorio.

Una de las forma de poder estimar la atenuación del cable es conociendo las diversas etapas que recorre el sistema que en este caso es de potencia, se puede hallar la potencia de entrada, si existe algún tipo de ganancia, alguna atenuación diferente a la del cable coaxial, y la potencia de salida, en este caso se pueden sumar los diversos factores y despejando la atenuación del cable coaxial; otra forma de poder hallar este parámetro de atenuación del cable seria mediante a la longitud del

cable y dependiendo a la frecuencia que estoy utilizando en mi sistema, es posible dirigirnos a la hoja de datos del cable coaxial donde se podrá identificar la atenuación en dB/[unidad de medida] contra la frecuencia, donde con la longitud que tengo del cable y la frecuencia de trabajo poder saber que tanto atenúa.

El analizador de espectro es de gran importancia, ya que con el es posible identificar la potencia de una señal de salida, la frecuencia donde se pueden observar los picos de potencia, y demás información que es de gran utilidad para poder sacar medidas de densidad de potencia, ancho de banda. Para poder realizar las mediciones en el analizador de espectro primero se debe determinar la frecuencia de operación, la cual se me centrara en él, después de ello se ajusta el span/div que se va ajustando de tal manera para que se puedan observar los picos de potencia importantes, también es necesario ajustar el nivel de referencia llegado el caso de que los picos se observen muy pequeños, y gracias a los botones de mkr poder desplazarse en el espectro dando la posibilidad de visualizar a que frecuencia y que valor de potencia tienen los picos. La técnica de la reflectometría en el dominio del tiempo es un concepto de gran importancia, ya que determinando el tiempo de propagación de la onda, y conociendo la velocidad de propagación de un cable coaxial, es posible determinar la longitud del cable, lo cual se explicara en este laboratorio, pero no simplemente es tener presente este concepto, es de gran utilidad ya que se pueden hacer estimaciones, y comparaciones en procesos de trabajos laborales, ya que nos acerca mas a la realidad de la cosa, y el poder analizar de manera acertada todos estos fenómenos de las ondas incidentes y reflejadas con la reflectometría.

Como ya he mencionado y se pude destacar un poco más, la técnica de reflectometría también me puede hacer visualizar de que manera se encuentra la onda reflejada, y con ella sacar información importante como por ejemplo

el índice de reflexión que se está presentando en configuraciones específicas, como por ejemplo, en circuito abierto, en corto circuito, cuando la impedancia de carga es la misma que la impedancia de la línea, todos estos fenómenos poder observarlos, y compararlos con temas teóricos, en este laboratorio se explicaran estos diversos temas.

Debemos tener presente que para poder desarrollar correctamente el experimento de reflectometría es necesario tener una frecuencia de operación alta, además de eso, asignar un duty cycle de la onda que se le inyecta, que tanto los cursores horizontales y verticales en el osciloscopio estén bien ubicados, igualmente el trigger el cual me ajusta que la onda se mueva indeseadamente, hacer las respectivas conexiones con el cable coaxial, y así poder determinar los parámetros mencionados anteriormente, algo por añadir es que en este laboratorio que trabajamos con esta técnica de reflectometría de acuerdo a los datos que fueron necesarios extraer no hubo ninguna restricción con las capacidades de los equipos en el laboratorio.

## 2. Procedimiento

- 1. Descripción del proceso que sufre la señal al pasar por cada uno de los subsistemas que existen en el sistema de transmisión entre el USRP y el analizador de espectros.

El proceso el cual sufre la señal cuando pasa por casa uno de los sistemas que existe es el siguiente:

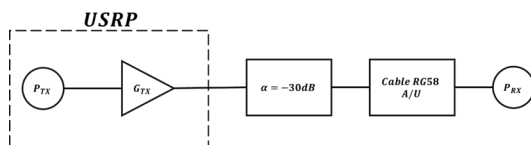


Fig. 1: Diagrama del proceso de entrada y salida de la potencia.

Donde:

- $P_{Tx}$  es la potencia de entrada el cual está definida por el radio del laboratorio.
- $G_{Tx}$  es la ganancia de entrada que fue establecida por los bloques de GNURADIO.
- $\alpha$  es un valor de atenuación para bajar el valor de la potencia que entrega el radio.

- Cable *RG58A/U* es la referencia del cable coaxial y para corroborar datos fue necesario revisar la hoja de datos la cual varia su atenuación dependiendo de la frecuencia.
- $P_{Rx}$  es la potencia de salida que se puede visualizar en el analizador de espectros. Entonces el proceso total que sufre la señal de entrada es la siguiente:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - \alpha - \alpha_{cable} \quad (1)$$

- 2. Importancia de medir la atenuación en función de la frecuencia

Es importante medir la atenuación en función de la frecuencia ya que dependiendo del valor de la frecuencia puede variar el valor de la atenuación del cable, esa información nos la brinda la hoja de datos que se puede observar a continuación.

Nom. Attenuation Table

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)
1	1.4
10	5.0
50	12.2
100	17.8
200	26.6

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)
400	40.7
700	58.1
900	69.3
1000	74.9

Fig. 2: Atenuación del cable RG58 A/U dependiendo la frecuencia.

- 3. Descripción del proceso realizado para validar los datos experimentales y los datos teóricos con ayuda de la hoja de datos del cable RG58 A/U.

Para poder obtener los datos experimentales fue necesario hacer uso del radio, el cable coaxial, el atenuador, GNURADIO y el analizador de espectros para obtener la potencia para así poder mediante la tabla brindada por el docente obtener los datos de la atenuación del cable y así poderlo comparar con la hoja de datos.



Fig. 3: Dispositivo de Radio Definido por Software o USRP con cable coaxial y atenuador de 30dB.

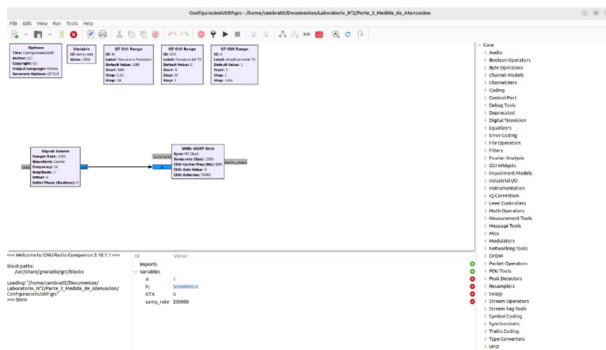


Fig. 4: Bloques de GNURADIO para poder generar la potencia de salida y visualizarla en el analizador de espectros.

Como se puede observar en la imagen 2 donde se compara la frecuencia en MHz y la Atenuación en dB/100m, con esta información se puede comparar la tabla que creamos para hallar la atenuación del cable coaxial.

Datos Medidos				
Potencia medida en dBm				
GTX	0	5	10	15
Frecuencia	GTX = 0 dB	GTX = 5 dB	GTX = 10 dB	GTX = 15 dB
50	-43.8	-39.1	-33.9	-29.1
60	-42.5	-37.5	-32.9	-30.9
70	-42.1	-37.2	-32.6	-27.9
80	-42.1	-37.5	-32.6	-27.9
90	-45.8	-41.4	-36.2	-28.2
100	-43.5	-38.5	-42.5	-28.8
200	-51.5	-42.8	-42.1	-33.3
300	-50.5	-47.4	-41.1	-36.5
400	-53.3	-48.5	-43.8	-39.1
500	-56.1	-51.5	-46.8	-46.1
600	-59.2	-54.4	-53.6	-48.5
700	-62.2	-57.5	-52.9	-48.1
800	-64.5	-63.9	-55.4	-50.1
900	-68.7	-63.5	-62.2	-54
1000	-70.4	-65.8	-63.5	-56.1
1800	-91.5	-87.2	-82.2	-77.4

Fig. 5: Datos medidos de la potencia mediante el analizador de espectros asignando valores de ganancia por GNURADIO.

Frecuencia MHz	atenuación Cable				Hoja De datos	
	GTX = 0 dB	GTX = 5 dB	GTX = 10 dB	GTX = 15 dB	dB/100m	dB
50	-4.70	-5.00	-4.80	-5.00	12.2	4.68541
60	-3.40	-3.40	-3.80	-6.80		
70	-3.00	-3.10	-3.50	-3.80		
80	-3.00	-3.40	-3.50	-3.80		
90	-6.70	-7.30	-7.10	-4.10		
100	-4.40	-4.40	-13.40	-4.70	17.8	6.83609
200	-12.40	-8.70	-13.00	-9.20	26.6	10.21573
300	-11.40	-13.30	-12.00	-12.40		
400	-14.20	-14.40	-14.70	-15.00	40.7	15.630835
500	-17.00	-17.40	-17.70	-22.00		
600	-20.10	-20.30	-24.50	-24.40		
700	-23.10	-23.40	-23.80	-24.00	58.1	22.313305
800	-25.40	-29.80	-26.30	-26.00		
900	-29.60	-29.40	-33.10	-29.90	69.3	26.614665
1000	-31.30	-31.70	-34.40	-32.00	74.9	28.765345
1800	-52.40	-53.10	-53.10	-53.30		

Fig. 6: Datos medidos de la potencia mediante el analizador de espectros asignando valores de ganancia por GNURADIO.

Al final de la imagen 6 se observa el valor respecto a la hoja de datos en dB/100m con el dB que debería dar de manera experimental, donde se puede comparar la información respecto a la frecuencia y variando la ganancia  $T_x$ .

También es necesario añadir que el valor de la atenuación del cable se pudo determinar gracias al docente ya que con el Network Analyzer se puede visualizar el valor de la atenuación respecto a la frecuencia para así poder comparar con datos experimentales y teóricos.

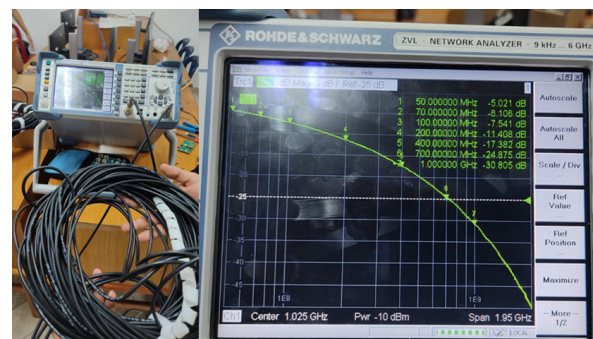


Fig. 7: Network Analyzer con valores de atenuación del cable coaxial con respecto a la frecuencia.

- 4. Explicación para poder determinar la atenuación del cable coaxial.

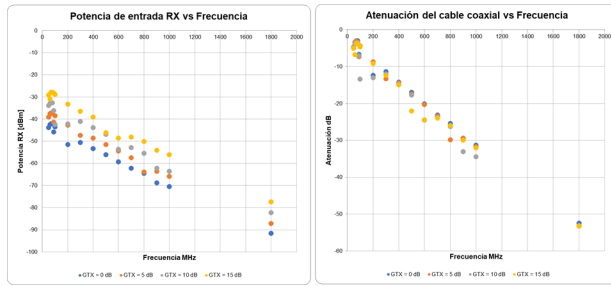


Fig. 8: Información de la potencia de entrada y la atenuación del cable coaxial respecto a la frecuencia.

El proceso para poder determinar la atenuación del cable coaxial es el siguiente, ya como de manera experimental se determinó la potencia de entrada con respecto a la frecuencia y se tiene la ecuación determinada después de la imagen 1, es posible despejarla para poder obtener la atenuación del cable:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - \alpha - P_{Rx} \quad (2)$$

El valor de la potencia de entrada  $P_{Tx}$  fue posible determinarse con un cable corto y conectándolo directamente en el analizador de espectros dando un valor de  $-9,1dBm$ , el  $G_{Tx}$  se variaba con el GNURADIO, el atenuador era constante de  $-30dB$  y la potencia de salida se determinó con el proceso que sufre la señal de entrada pasando por todo el sistema y llegando al analizador de espectros.

- 5. Técnica de reflectometría en el dominio del tiempo para estimar la longitud de un cable coaxial.

Para poder determinar la longitud del cable coaxial es necesario aplicar la siguiente formula:

$$V_p = \frac{2 * l}{t_d} \quad (3)$$

Donde:

- $V_p$  es la velocidad de propagación en el cable coaxial, el cual se puede determinar gracias a la hoja de datos del cable RG58 A/U:

Electrical Characteristics at 20°C

Max.DC Resistance (Ω/km)	Max. DC Shield Resistance (Ω/km)	Impedance (Ω)	Nom. Inductance (μH/m)	Nom. Capacitance to Shield (pF/m)	Nom. Velocity of Propagation (%)	Nom. Time Delay (ns/m)	Min. Return Loss 5 - 1000 MHz (dB)	Max. Operating Voltage (V RMS)
39	19	50 ± 3	0.30	100	66	5.05	23	300

Fig. 9: Características eléctricas del cable coaxial, donde se puede extraer el valor de la velocidad de propagación.

$l$  es la longitud del cable coaxial que se puede determinar mediante la técnica de reflectometría en el dominio del tiempo o con la información que me brinda el cable en las dos puntas y restado, entonces primero vamos a determinarlo de esta manera para después compararlo con la técnica de reflectometría.



Fig. 10: Medidas del cable coaxial en las puntas con unidades de ft.

$$l_{teorico} = 37702[ft] - 37576[ft] = 126[ft] = 38,405[m] \quad (4)$$

$t_d$  es el tiempo de propagación el cual se puede determinar midiendo la distancia que hay entre la onda incidente y la onda reflejada, como se puede observar a continuación:

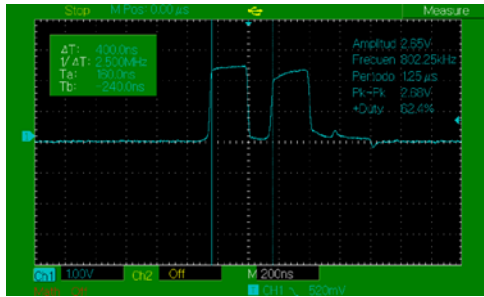


Fig. 11: Onda incidente y reflejada para determinar el tiempo de propagación,  $t_d=400\text{ns}$ .

Ya teniendo la velocidad de propagación y el tiempo de propagación se puede determinar la longitud del cable mediante la técnica de reflectometría:

$$l_{\text{experimental}} = \frac{V_p * t_d}{2} \quad (5)$$

$$l_{\text{experimental}} = \frac{\frac{66}{100} * 3 * 10^8 * 400 * 10^{-9}}{2} = 39,6[m] \quad (6)$$

Observando que si se haya la longitud del cable coaxial de manera experimental se llega a un valor cercano al teórico.

#### 6. Error de medida del coeficiente de reflexión.

Impedancia	Coefficiente de reflexión teórico	Amplitud de la onda incidente medida	Amplitud de la onda reflejada medida	Coefficiente de reflexión medido	Tiempo de propagación de la onda	Longitud teórica
$\infty$	1	2.65[V]	2.62[V]	0.98	400[ns]	38.405[m]
0	-1	2.4[V]	-2.35[V]	-0.97		
50	0	2.52[V]	-60[mV]	-0.00001		
<50	-0.5	2.36[V]	-1.24[V]	-0.49		
>50	0.5	2.5[V]	1.18[V]	0.64		

Fig. 12: Registro de coeficientes de reflexión.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (7)$$

Primero se explicará cómo se obtuvieron los datos de la tabla, como primera instancia la impedancia de carga infinita es cuando el cable coaxial se encuentra en circuito abierto lo que me indica un coeficiente de 1, pero si se observa en el osciloscopio, realmente no es ideal dado que hay atenuaciones y comportamientos que se dan mientras viaja la onda y se regresa en lo ideal. Así mismo se obtiene el índice de reflexión cuando la impedancia de línea es 0, 50, <50 y >50, para cada caso, todas estas evidencias se pueden observar en las siguientes

imágenes, donde se observa las amplitudes respectivas, el tiempo de propagación, y algo mas que añadir es que la longitud teórica ya se había determinado en un ítem anterior. La primera imagen que se debería presentar es la de índice de reflexión de 1, pero hay que tener presente que es la misma imagen 10 donde la impedancia de carga es infinita dado el circuito abierto.

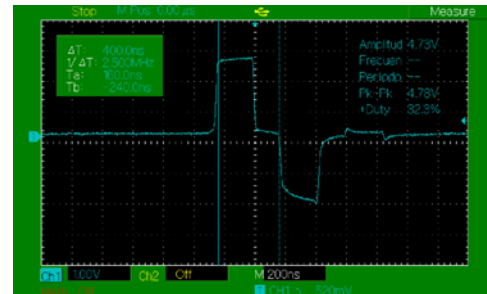


Fig. 13: Coeficiente de reflexión de -1.

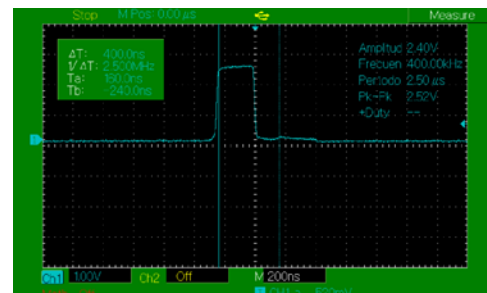


Fig. 14: Coeficiente de reflexión de 0.

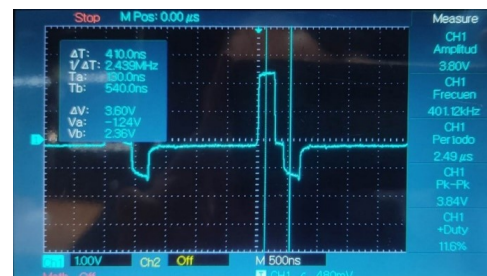


Fig. 15: Coeficiente de reflexión de -0.5 con una impedancia de carga de 17.2[Ohm].



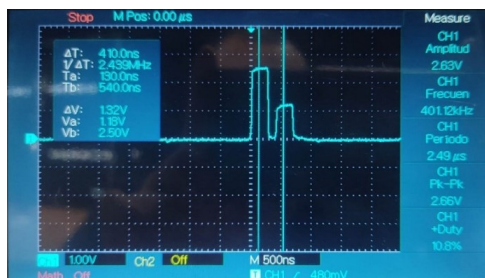


Fig. 16: Coeficiente de reflexión de 0.5 con una impedancia de carga de 228.9[Ohm].

### 3. Conclusiones

Se puede concluir que gracias al buen uso de la técnica de reflectometría se puede extraer importante información de una onda incidente y reflejada como lo es el tiempo de propagación, igualmente verificar si el sistema se encuentra en circuito abierto, en corto circuito, o en algún valor de coeficiente de reflexión variable a 1 y -1.

El buen uso de los aparatos del laboratorio como lo son el osciloscopio y el analizador de espectro, nos permite obtener de manera experimental datos como lo son amplitud hablando en el tiempo, y potencia hablando en la frecuencia, que es de gran utilidad para la obtención de más información de una onda que viaja por un cable coaxial y así aplicarlo en la industria.

Tener el dominio de comprender una hoja de datos es de gran importancia ya que nos brinda información puntual como en este caso del cable coaxial que se trabajó en el laboratorio.

El parámetro de la atenuación que me genera el cable coaxial es un factor que afecta y no se puede omitir, ya que esta etapa cuando pasa por un sistema me afecta a la salida, y hay que tener presente la forma correcta de hallar este parámetro y saber cómo identificarlo.

Ya que los datos calculados experimentalmente son de datos reales, es necesario compararlos con información teórica para así poder corroborar y así validar tanto datos como información.

### 4. Referencias.

1. B3 International, "RG58A/U Type Coaxial Cable", CI046, Nov. 2014.
2. Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2011.
3. J. D. J. Rugeles Uribe, T. Mancilla Bojacá y C. H. Clavijo Sánchez, Caracterización de la plataforma de radio definido por software USRP N210 - WBX", Revista GTI, vol. 12, n.º 34, pp. 91–101, febrero de 2014.