

Práctica 2: Instrumentación y Reflectometría en el dominio del tiempo

Diego Andrés Espinel Fernández - 2195583
Diego Andrés García Díaz - 2195533

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

02 de abril de 2024

Abstract

Este informe de laboratorio se enfoca en el estudio de las líneas de transmisión y la reflectometría, dos conceptos esenciales en el campo de las comunicaciones y las transmisiones de señales. La reflectometría desempeña un papel crucial al ayudarnos a identificar y resolver problemas en las líneas de transmisión. También exploraremos la medición de la atenuación en cables coaxiales y el uso del analizador de espectro para caracterizar señales y detectar fallas en los sistemas de transmisión. Este informe tiene como objetivo comprender la técnica de reflectometría y su utilidad en las comunicaciones, así como identificar posibles inconvenientes en las líneas de transmisión.

Palabras clave: Reflectometría, Líneas de transmisión, atenuación.

1. Introducción

En esta práctica, se reforzó el entendimiento de los conceptos de líneas de transmisión y reflectometría, explorando las posibles situaciones y factores que influyen en una línea de transmisión, así como todo lo relevante al transmitir información a través de un cable. Es crucial realizar mediciones del fenómeno transitorio de reflectometría para detectar y resolver problemas a lo largo de la línea de transmisión, además de evaluar la longitud y la resistencia a lo largo de esta. La reflectometría desempeña un papel fundamental en las comunicaciones, permitiendo comprender el comportamiento de las líneas de transmisión, verificar el rendimiento de las señales y confirmar conceptos como la propagación de ondas, atenuación, pérdidas, ruido e interferencia, entre otros. Gracias a esta técnica, es posible identificar y abordar problemas potenciales en una línea de transmisión al observar y analizar el comportamiento de la señal de salida en comparación con la de entrada.[1]

Para llevar a cabo esta práctica de manera efectiva, es esencial considerar diversos aspectos, como la selección y calibración adecuada de los equipos de medición, así como asegurar que las conexiones y cables estén en buen estado. Además, interpretar los resultados obtenidos es fundamental para comprender el comportamiento de la línea y detectar posibles errores. A pesar de posibles limitaciones y obstáculos durante el experimento, como equipos en mal estado, es posible lograr un desarrollo exitoso.

El uso de un analizador de espectro permite identificar y visualizar las señales generadas, enfocarse en frecuencias específicas, manejar múltiples canales simultáneamente y realizar pruebas y simulaciones para caracterizar otros dispositivos del laboratorio. Medir la atenuación de un cable coaxial en el laboratorio es crucial para comprender cuánta potencia pierde el mensaje durante la transmisión, asegurando que la señal mantenga la potencia necesaria para llegar al destino. Métodos como Time Domain Reflectometry (TDR) o el Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) son útiles para medir esta atenuación, enviando un pulso y analizando los parámetros de la señal reflejada.

La medición de la atenuación es esencial, ya que las señales no siempre se transmiten por el mismo canal, lo que resulta en diferentes niveles de atenuación. Para garantizar la potencia adecuada de la señal en cada canal, es necesario tener en cuenta estos factores durante las mediciones en el analizador de espectro, considerando el ancho de banda, la frecuencia de la señal, el span y la amplitud.

Esta práctica utiliza el analizador de espectro para caracterizar señales y estudiar el efecto de la atenuación del cable, así como las consideraciones necesarias al me-

dir una señal. Se emplea la reflectometría como técnica para detectar fallas y características de la línea de transmisión. Los objetivos abordados incluyen comprender la técnica de reflectometría y su aplicación en las comunicaciones y sistemas de líneas, así como analizar posibles problemas en una línea de transmisión y cómo identificarlos.

2. Metodología

La metodología consta de dos partes en el que la primera parte consta de determinar la longitud de un cable coaxial donde se planteará el desarrollo y las ecuaciones que se usaron junto con los datos obtenidos pero omitiendo su análisis además se tendrán en cuenta las graficas mediante el osciloscopio y la otra parte consta de averiguar la amplitud de la señal teniendo en cuenta la frecuencia.

Para determinar la longitud de un cable coaxial de manera experimental, se genera una onda cuadrada utilizando un generador de pulsos. Se conecta un cable coaxial corto al osciloscopio mediante una conexión en T, dejando un terminal de la T libre para conectar el inicio del cable coaxial que se va a medir. En otro canal del osciloscopio, se conecta el extremo final del cable coaxial que se está evaluando. En el osciloscopio, se observan y registran tanto la onda incidente como la onda reflejada. Utilizando los cursores del osciloscopio, se mide el intervalo de tiempo Δt desde el inicio de la onda incidente hasta el inicio de la onda reflejada, tal como se ilustra en la Fig 1.



Fig. 1: Medición de Δt

Después de obtener el valor de t , se procede a calcular la velocidad de propagación del cable coaxial, la cual

equivale al 66 % de la velocidad de la luz [2], es decir, $v_p = 198000000$ metros por segundo. A continuación, se emplea la siguiente formula:

$$d = \frac{v_p * t}{2}$$

Remplazando se obtiene el valor de la distancia experimental del cable coaxial.

$$d = 44,49[m]$$

Para llevar a cabo la medición teórica del cable, también es posible utilizar la etiqueta grabada en el propio cable coaxial. Esta etiqueta suele estar expresada en pies (ft), que luego se convierten a metros (m). [3]

La medición del cable implica restar los valores indicados en los extremos del cable coaxial, como se ilustra en la Fig 2.



Fig. 2: Medida de los extremos del cable coaxial.

Al restar los extremos del cable y convertirlos a metros se obtiene que la distancia del cable coaxial teóricamente como: $d = 42,672[m]$.

Al calcular el porcentaje de error se utiliza la siguiente formula:

$$\%error = \left| \frac{valormedido - valorteorico}{valorteorico} \right| * 100$$

Remplazando los valores obtenemos el valor del porcentaje de error:

$$\%error = \left| \frac{44,49 - 42,672}{42,672} \right| * 100$$

$$\%error = 4,26$$

La siguiente ecuación determina el coeficiente de reflexión de manera experimental:

$$\Gamma_L = \frac{V_-}{V_+}$$

donde V_- es la amplitud de la onda reflejada y V_+ es la amplitud de la onda incidente, dicha amplitud es calcula en el osciloscopio usando los cursores. Para calcular el valor teórico del coeficiente de reflexión se realiza mediante la relación de impedancias como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Se establece que Z_L representa la impedancia conectada al final de la línea mediante un potenciómetro, mientras que tiene un valor de $50[\Omega]$, que es la impedancia característica del cable coaxial. Se llevó a cabo una comparación entre cuatro cargas conectadas al final de la línea, donde dos de ellas poseen un valor menor a $50[\Omega]$, y las otras dos tienen un valor mayor a $50[\Omega]$. A continuación, se presentan las gráficas de estas impedancias, a las cuales se les calculó el coeficiente de reflexión.

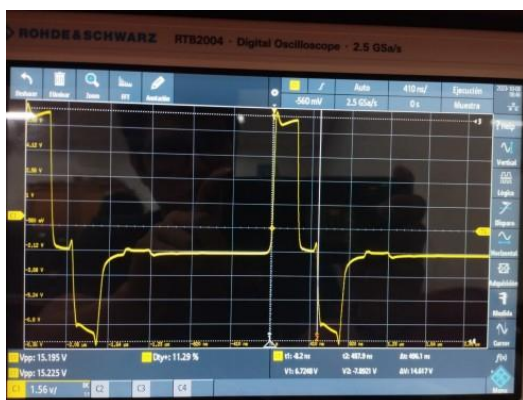


Fig. 3: Grafica de impedancia de $10[\Omega]$



Fig. 4: Grafica de impedancia de $27[\Omega]$



Fig. 5: Grafica de impedancia de $200[\Omega]$



Fig. 6: Grafica de impedancia de $300[\Omega]$

Para la segunda parte se tomó la configuración USRP y tomando el SDR como osciloscopio. El SPAN de medida fue modificado, utilizando valores tanto por debajo como por encima del valor indicado anteriormente, y se

observó el cambio del valor de RBW mostrado en la pantalla.

Posteriormente, se procedió a configurar nuevamente el valor de ancho de banda en 1 MHz y se seleccionó la tecla BW para habilitar la opción de RBW Manual.

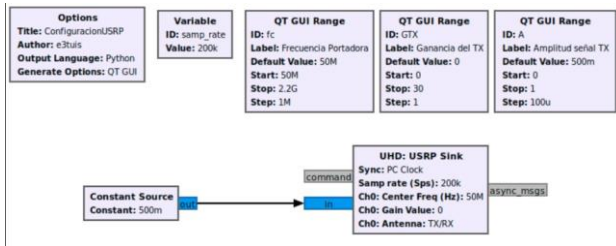


Fig. 7: GNURadio configuración USRP con SDR como osciloscopio

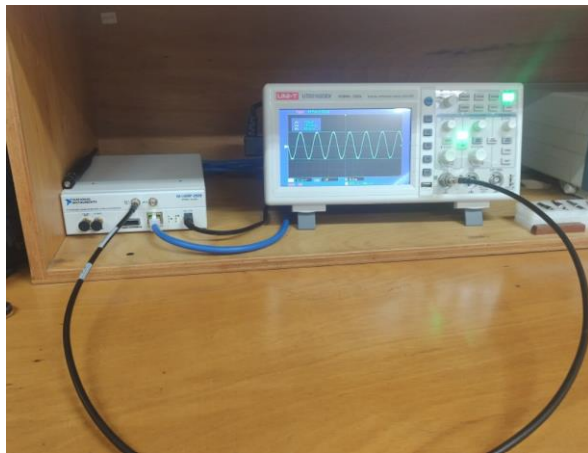


Fig. 8: Conexión del SDR al osciloscopio

Utilizando el SDR como generador de señales (se utilizó la señal de referencia constante) a través del puerto RX/TX, y el analizador de espectros como equipo de medición, se conectó el cable RG58 A/U junto con un atenuador de 30 dB.

La configuración de la conexión para la visualización en el analizador de espectros es la siguiente:

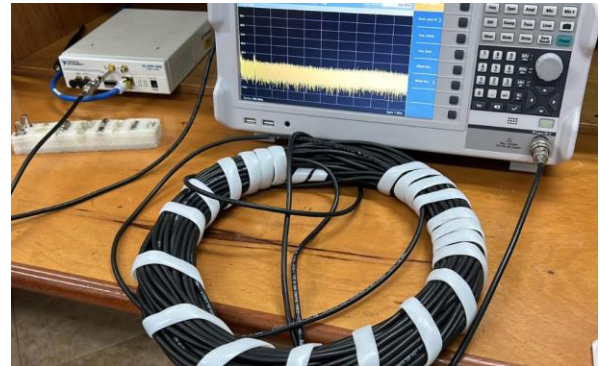


Fig. 9: Medida de atenuación de un cable coaxial

3. Resultados

Compara medidas de coeficiente de reflexión		
impedancia	teórico	Experimental
Ω		
$Z_1 = 10$	-0,666	-0,652
$Z_2 = 27$	-0,298	-0,23
$Z_3 = 200$	0,6	0,595
$Z_4 = 300$	0,714	0,686

Fig. 10: Medidas de coeficiente de reflexión.

Al comparar el coeficiente de reflexión experimental con el teórico, es posible identificar una discrepancia entre los valores, conocida como error relativo. Esta discrepancia puede ser atribuida a varios factores, incluyendo las limitaciones de los instrumentos de medición que no son ideales, así como los componentes utilizados en la línea de transmisión, como las cargas conectadas a través del potenciómetro y el cable coaxial, entre otros elementos. Dado que ningún componente es perfecto en la práctica, es común que se presenten pequeños errores, tal como se observó en la tabla de medidas del coeficiente de reflexión.

Una alternativa para medir la longitud del cable es utilizar la frecuencia de la fuente. Conociendo la velocidad, es posible analizar el tiempo que tarda la señal en regresar y, de esta manera, calcular la longitud del cable. Este método requiere tener en cuenta la frecuencia de transmisión y la velocidad de propagación del cable, que

en este caso es aproximadamente el 66.3 % de la velocidad de la luz.

Se adjunta un diagrama de bloques que representa el proceso que experimenta una señal al pasar por los componentes en un sistema de transmisión.

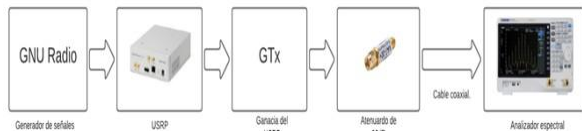


Fig. 11: Diagrama de flujo

El proceso de transmisión inicia cuando el programa GNU Radio envía una señal al dispositivo de radio definido por software (USRP), el cual está configurado con una ganancia predeterminada de -9 dB. Esta ganancia es establecida por defecto en el USRP y aplicada a la señal entrante. En la salida del USRP, se conecta un atenuador de 30 dB, el cual cumple la función de protección y ayuda a reducir las posibles interferencias. El cable coaxial a través del cual se transmitirá la señal se conecta al atenuador, y finalmente, el extremo del cable coaxial se enlaza al analizador espectral, donde se visualizan los componentes espectrales de la señal.

Determinación de la atenuación del cable coaxial:

Atenuación Cable			
Frecuencia MHz	GTX = 6 dB	GTX = 12 dB	GTX = 18 dB
50	-5.45	-5.55	-5.85
60	-4.55	-4.65	-4.95
70	-4.75	-4.65	-4.85
80	-4.95	-5.05	-5.15
90	-5.45	-5.65	-5.85
100	-6.05	-6.15	-6.25
200	-10.65	-10.85	-10.95
300	-15.35	-15.45	-15.75
400	-20.35	-20.65	-20.75
500	-21.95	-22.35	-22.55
600	-23.85	-24.15	-24.35
700	-26.95	-27.25	-27.35
800	-29.45	-29.75	-29.95
900	-32.45	-32.65	-32.75
990	-34.85	-35.35	-35.45

Fig. 12: Atenuación del cable coaxial.

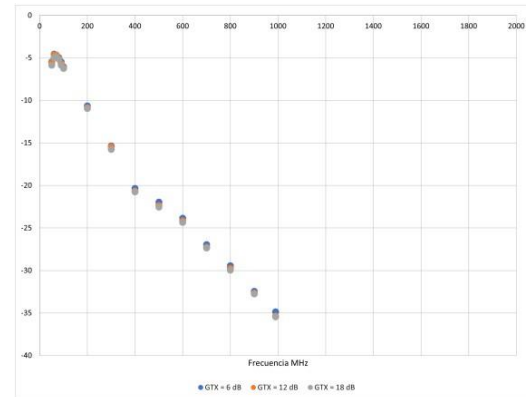


Fig. 13: Grafica atenuación del cable coaxial.

En los sistemas de transmisión, es crucial conocer las pérdidas presentes para determinar con qué potencia llega la señal y así poder compensarlas, evitando la distorsión de la misma. Para calcular la atenuación en una línea de transmisión, se emplea la siguiente ecuación [1]: $Atenuacion = PotenciaTransmitida + Ganancias - Perdidas$. Al sustituir los valores pertinentes en la ecuación, se puede calcular la potencia. En la práctica realizada, se utilizó un atenuador de 30 dB y se experimentó con tres valores distintos de ganancia: 6 dB, 12 dB y 18 dB. Además, se consideró una potencia de transmisión de -9,05 dB y la potencia medida mediante el analizador de espectro.

Para validar los datos de atenuación del cable obtenidos en la práctica, se comparan con los datos teóricos proporcionados en el datasheet del cable RG58 A/U[2]. Es importante tener en cuenta que los valores en la tabla de Excel están expresados en ganancias negativas, por lo tanto, la atenuación es positiva. En la hoja de datos del datasheet, se toma como referencia un cable de 100 metros. Por lo tanto, para poder compararlo con el cable de 42.67 metros utilizado en la práctica, se debe realizar la siguiente conversión:

$$A_{42,67} = \frac{42,67 * A_{100}}{100}$$

Compara medidas de atenuación		
Frecuencia [MHz]	Teórica [dB/42,67m]	Experimental [dB/42,67m]
50	5.21	5.45
200	11.22	10.65
700	24.79	26.95
900	29.57	32.45

Para la parte que se debe calcular el voltaje de la onda dependiendo de la frecuencia y el porcentaje que no se atenúa de la onda de realización esta tabla junto con las gráficas donde en el eje X es la amplitud generada y el eje Y es la amplitud medida:

Frecuencia [GHz]	Generada [V]	Recibida [mV]	% Recibida
200	0,5	67,57	13,51%
	0,25	36,04	14,42%
	0,125	17,79	14,23%
	0,0625	9,34	14,94%
300	0,5	51,35	10,27%
	0,25	25,12	10,05%
	0,125	11,34	9,07%
	0,0625	6,41	10,26%
500	0,5	16,82	3,36%
	0,25	10,65	4,26%
	0,125	5,26	4,21%
	0,0625	1,84	2,94%

Fig. 14: Para diferentes frecuencias y tensiones medimos la tensión recibida

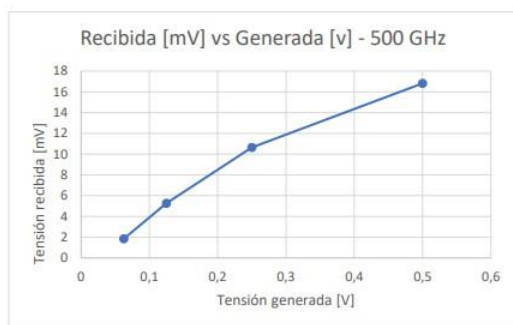
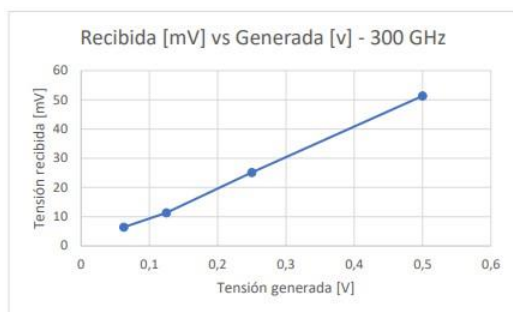


Fig. 15: Relación Voltaje generada y recibida

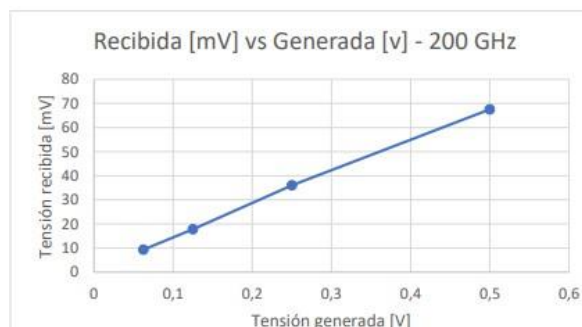


Fig. 16: Relación Voltaje generada y recibida

Se observa que en todos los casos se presenta atenuación, siendo evidente que a medida que en los casos en donde la frecuencia es mayor existe entonces una mayor atenuación, siendo en el peor de los casos del 97,06 % y en el mejor de los casos del 85,06 %.

4. Conclusiones

- Cuando se conecta una carga que tiene el mismo valor de impedancia que el cable coaxial (en este caso, 50 ohm) al final de la línea de transmisión, no se produce ninguna reflexión en la línea. Sin embargo, si se conecta una carga con una impedancia menor que la del cable, se reflejará una onda invertida en comparación con la onda incidente. Por otro lado, si se conecta una carga con una impedancia mayor que la del cable, la onda se reflejará en el mismo sentido que la onda incidente.
- A medida que aumenta la frecuencia, también aumenta la atenuación. Las ondas reflejadas tienen una amplitud mayor y se acercan más a la onda incidente cuando al final de la línea se conecta una impedancia grande.
- Durante la transmisión de señales a través de un cable coaxial, se producen pérdidas conocidas como atenuación. Estas pérdidas deben ser medidas y tenidas en cuenta para evitar la pérdida de la señal transmitida y la generación de ruido que pueda afectarla.
- Al realizar mediciones, es común que se produzcan errores al comparar las medidas teóricas con las experimentales, debido a que los instrumentos no son ideales y presentan ciertos errores. Este error relativo está presente en todas las mediciones experimentales y también puede verse afectado por el estado y los rangos de tolerancia de los componentes utilizados.



Referencias

- [1] “Moodle: Instrumentación y reflectometría en el dominio del tiempo.” [Online]. Available: <https://tic.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=68605§ion=39>
- [2] ““datasheets”. leading cable manufacturer | cable supplier | b3 international. accedido el 2 de abril de 2024. [en línea]. disponible:” [Online]. Available: <https://www.b3cable.com/technical-library-docs?q=Rg58>
- [3] ““rg58c-u pdf”. alldatasheet.com - electronic parts datasheet search. accedido el 1 de abril de 2024. [en línea]. disponible:” [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1025137/PASTERNAK/RG58C-U.html>