

# Práctica 2: INSTRUMENTACIÓN Y REFLECTOMETRÍA

Jeanpau Valencia Quintero - 2200496  
Sebastian Suarez Velazco - 2200519

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

06 de mayo de 2023

## Resumen

En el siguiente informe se realiza la transmisión de una señal desde el SDR del laboratorio a través de una línea de transmisión hacia una carga y se estudian los efectos de la frecuencia y la ganancia del transmisor sobre la atenuación de la señal que llega a la carga, también se hace énfasis en la relación que existe entre el RBW y el SPAN en el analizador de espectros y finalmente se realiza un estudio sobre la aplicación de la reflexión de una señal transmitida para la detección de alguna falla a lo largo de la línea.

**Palabras clave:** Frecuencia, Atenuación, Línea de transmisión, Carga acoplada, Reflectometría.

## 1. Introducción

al usar el osciloscopio se puede tener una caracterización más real en el dominio del tiempo en relación con las amplitudes, frecuencias, ciclo de trabajo, entre otros parámetros de fenómenos de onda que afectan las transmisiones en medios alámbricos para el contexto en el que nos situamos. El osciloscopio. Además, nos permite identificar si hay fallas en una línea de transmisión ya que evidencia la existencia de la componente reflejada de la onda incidida a través de la línea.

La reflectometría en el dominio del tiempo es importante debido a que permite considerar algunos de los fenómenos presentes en las líneas de transmisión, como lo puede ser la reflexión ya que se tiene en cuenta que las líneas de transmisión no son ideales y que además tienen pérdidas que atenúan una señal de entrada reflejando parte de esta, en contraste con lo que se puede encontrar en un escenario ideal. Para aplicar esta técnica en un escenario profesional se puede emplear en la identificación de una falla a través de una línea de transmisión para la cual se tiene un pulso eléctrico que se ingresa a través de esta y se mide el tiempo en que parte de dicho pulso se devuelve al generador debido a la discontinuidad que se encuentra en la línea, conociendo la velocidad de propagación de la línea es posible calcular la distancia a la que

se encuentra la falla, cabe resaltar que esto se hace aplicando 3 pruebas en donde al final de la línea se sitúa un circuito abierto, un corto circuito y finalmente una carga acoplada. La realización de la prueba en circuito abierto y corto circuito es identificar si en una distancia distinta a la longitud de la línea se encuentra una reflexión de la señal transmitida para determinar la falla, por otro lado, en la prueba de la carga acoplada se espera que no haya una componente importante de onda reflejada y en caso de haberla se determina a que distancia se encuentra para identificar la falla.

Como mínimo para desarrollar el experimento de reflectometría de deben considerar tres pruebas, una con circuito abierto, corto circuito y finalmente una carga acoplada. También cabe resaltar que se deben fijar bien las conexiones ya que de no estarlo los resultados obtenidos por el osciloscopio puede dar paso a la incorrecta identificación de una posible falla, para realizar la prueba es necesario contar con el datasheet de la línea que se desea poner a prueba, conocer la longitud de dicha línea y medir la onda al inicio y final de esta. En cuanto a los equipos del laboratorio debe tenerse en cuenta la frecuencia a la cual es ingresada la señal de pulso ya que puede que la señal transmitida y reflejada se superpongan en el osciloscopio para lo cual es recomendable subir la frecuencia; Sin embargo, subir demasiado la frecuencia puede causar más atenuación en la línea, así como limitar la precisión del ancho de banda en el osciloscopio. Finalmente es recomendable tener un ciclo de trabajo del diez por ciento de la señal para poder detectar correctamente la señal reflejada.

El uso del analizador de espectros provee los parámetros necesarios para realizar un análisis a fondo de las señales en frecuencia, lo que permite caracterizar su respuesta a escenarios como lo pueden ser los fenómenos presentes en las líneas de transmisión, por ejemplo en el contexto de atenuaciones el uso del analizador de espectros provee información de potencia recibida lo que permite identificar la atenuación por la línea de transmisión la cual al ser comparada con la hoja de datos de la lí-



nea utilizada deber ser aproximadamente la misma. Una de las técnicas utilizadas consiste en la prueba de señal transmitida, en donde por lo general se envía un pulso o tono en el contexto de la telefonía a una frecuencia determinada y un nivel de dBm, la señal recibida se le es realizada una medición y se evalúa respecto a las necesidades del cliente proveedor, esto mediante un cable de tipo pasivo. [1]

En un cable coaxial es importante medir la atenuación porque permite conocer que tanto decae la señal al final de la línea con respecto a la señal transmitida en el inicio de esta, además se puede saber qué porcentaje de potencia es realmente transmitida a una carga.

Desde nuestra perspectiva de estudiantes la atenuación es importante porque nos permite conocer como realmente operan las líneas de transmisión ya que con ello sabremos cuanto porcentaje de una señal es realmente recibida a través de una línea de transmisión. También podemos ver que la atenuación tiene una importante utilidad cuando se busca caracterizar una señal muy grande o con una potencia alta en un dispositivo. Además, la atenuación es un parámetro con el cual podemos identificar el cableado de una línea de transmisión según la longitud de dicha línea. Al medir la atenuación a través de una línea de transmisión en un analizador de espectro debe considerar que la frecuencia central de la señal transmitida sea la misma en el analizador, se debe configurar un SPAN que permita caracterizar muy bien la señal, también debe tener un nivel de referencia que permita ver la señal completamente, si la señal es muy grande puede considerar un atenuador para que esta sea completamente caracterizada en el analizador de espectros y finalmente situando un marcador en el máximo de la señal puede ver que tanto se atenúa la señal recibida en el analizador respecto del generador.

## 2. Procedimiento

- Para poder determinar la longitud de un cable coaxial de forma experimental se realizan los siguientes pasos a tener en consideración:

1. el cable coaxial a ser evaluado (RG 58 A/U) se le son insertadas según la prueba, 3 tipos de cargas al final de la línea de transmisión.
2. posterior a la aplicación de las cargas se realiza una caracterización del dispositivo a hacer la prueba, donde este debe cumplir con los criterios para poder visualizar la onda posteriormente en el instrumento de medición.

3. una vez obtenido esto se realiza la transmisión de un pulso de corta duración.
4. posterior a esto se hace una toma de datos mediante el dispositivo a medir, con el fin de obtener los datos de amplitud de onda incidente, onda reflejada y el tiempo de separación.
5. ya teniendo en cuenta estos datos y valores como lo es la velocidad de propagación los cuales son propios de la hoja de datos, (hoja de datos del cable RG58 A/U), se realiza el cálculo de la distancia del cable coaxial, la cual sigue la siguiente formula:

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

dónde:

$$V_p = 0,66$$

El porcentaje de error que maneja la técnica, se puede determinar comparando la distancia obtenida con la longitud real del cable coaxial, con el valor obtenido mediante la formula, en este caso se utilizan los valores máximo y mínimo para poder determinar un intervalo de error para la longitud de cable coaxial, podemos observar en la figura 1, el tiempo de separación de las ondas para una carga de 28.5 [ohm].

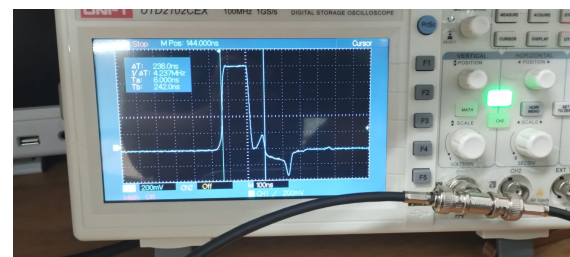


Fig. 1: Medición de tiempo de separación en prueba de carga 28.5 [ohm]

Donde se obtuvieron los siguientes datos:

$$T_d = 236 [ns]$$

De donde podemos concluir que este valor es el valor máximo de tiempo que se ha medido.

En la figura 2 podemos observar el comportamiento respecto a una carga acoplada, que para este caso el acoplamiento es de 50 [ohm], de lo que obtenemos el valor mínimo medido en el instrumento.

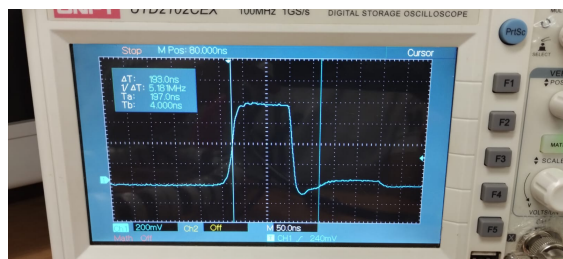


Fig. 2: Medición de tiempo de separación en prueba de carga acoplada

Los datos obtenidos son los siguientes:

$$T_d = 197 \text{ [ns]}$$

A partir de los valores obtenidos se propone un intervalo de error de longitud del cable coaxial, del cual se concluye lo siguiente:

$$\left| \frac{19,5 - 19,07}{19,5} * 100 \right| \leq error \leq \left| \frac{19,5 - 23,364}{19,5} * 100 \right|$$

Lo que al final es:

$$2,20 \% \leq error \leq 19,81 \%$$

- La siguiente tabla muestra los valores de impedancia tomados en la practica y el valor teórico como el valor tomado con la relación de impedancia

$$(Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0) \quad (1)$$

Compara medidas de coeficiente de reflexión		
impedancia [ohm]	teórico	Experimental
$\infty$	1	0.93
0	-1	-0.73
13	-0.587	-0.43
28.5	-0.273	-0.23
50	0	0.07
73.5	0.190	0.26
179	0.563	0.44

El error en la medida de reflexión puede deberse a la tolerancia de la impedancia de la línea de transmisión que puede no ser exactamente de 50ohms; Además, no se cuenta con el mismo cable para toda la conexión pues entre la fuente y el osciloscopio los cuales podrían no tener exactamente la misma

impedancia característica. Finalmente, el potenciómetro conectado al final de la línea entregaba valores que variaban con regularidad por lo que teóricamente el valor de la impedancia de la carga no es preciso.

- No es posible usar la misma frecuencia de la fuente para medir un cable de diferente longitud, la frecuencia permite determinar la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas a través de un cable, sin embargo esta velocidad cambia según la longitud del cable y la impedancia característica del mismo lo que puede generar algún tipo de reflexión o atenuación indeseada que afecte la precisión de la medición de la longitud del cable, por lo tanto si se quiere que dicha medición sea precisa entonces es conveniente utilizar una frecuencia en función de la longitud del cable y su impedancia característica.[2]

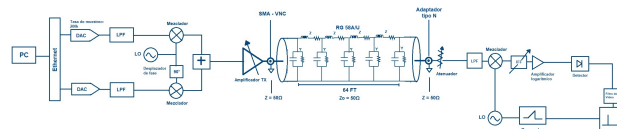


Fig. 3: Diagrama de bloques de subsistemas entre el USRP y el analizador de espectros.

- La figura 3 hace referencia al proceso que se realiza entre el USRP y el analizador de espectros con transición por la línea de transmisión de tipo coaxial, inicialmente se realiza la extracción de la señal por software, en este caso por GNU-Radio, esto se transmite por un cable de Ethernet. Posterior al proceso de transmisión por cable Ethernet "pasabanda" se realiza una conversión de Digital a analógico, la cual tiene una frecuencia de muestreo de 200k, siguiente se realiza un filtrado para limitar la señal para evitar cierta cantidad de ruido, a partir de esto se realiza un proceso de conversión ascendente para la que en este caso se tiene una señal constante, la señal constante se ve modificada para el oscilador local del USRP provocando que se obtenga en la salida una señal senoidal de frecuencia central especificada en el software, al final este proceso la señal se ve amplificada para poder ser transmitida por el medio.[3] Debido a que la línea de transmisión, la impedancia de entrada del USRP y la impedancia de entrada del analizador de espectro son cercanas a 50 [ohm], las perdidas por reflexión se



encuentran despreciables, sin embargo la señal si se ve afectada por la longitud de cable y la frecuencia asignada en el proceso de heterodinación en el USRP, en específico por los componentes inductivos y capacitivos asociados a los efectos por el campo electromagnético, implicando una atenuación proporcional a la frecuencia, así entonces la señal llega a la entrada del analizador de espectros con una potencia atenuada, entrado al analizador de espectros la señal es atenuada y filtrada para evitar respuestas no deseadas como componentes de ruido o armónicos, a partir de esto se realiza un proceso similar al de un receptor superheterodino, en el cual se utiliza una oscilador local con un generador de barrido para poder sintonizar el espectro de frecuencia de la señal, y se realiza un filtrado de frecuencia intermedia, el cual lleva una ganancia, para poder definir el ancho de banda de resolución (RBW) para la señal, finalmente realizando una conversión de la señal a escala logarítmica, y esta siendo enviada a un detector y a un filtro de video los cuales tienen el rol de representar en el display del analizador de espectros la señal.[4]

- Para hallar el valor de la potencia de la señal que llega a la carga se debe tener en cuenta la sumatoria de todas las ganancias y atenuaciones que ocurren a lo largo del sistema:

$$P_s = -(P_e + \sum G - \sum \alpha)$$

Así, entonces la potencia para el primer caso de una señal de 50MHz de frecuencia con una ganancia del transmisor de 3dB es entonces

$$P_s = -(-12,5dBm + 3dB - 30dB + 44,65dBm)$$

$$P_s = -(-12,5dBm + 17,65dB)$$

$$P_s = -5,15dBm$$

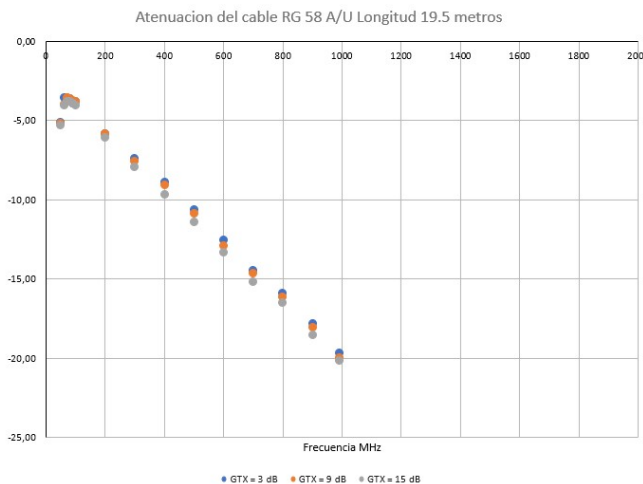


Fig. 4: Grafica de atenuación para el coaxial RG58A/U

Los datos de la figura 4 se tomaron de las siguientes tablas de datos:

Atenuación en el coaxial			
Frecuencia MHz	GTX = 3 dB	GTX = 9 dB	GTX = 15 dB
50	-5.15	-5.22	-5.35
60	-3.51	-3.95	-4.07
70	-3.55	-3.55	-3.75
80	-3.65	-3.58	-3.78
90	-3.88	-3.69	-3.91
100	-3.83	-3.86	-4.09
200	-5.80	-5.83	-6.12
300	-7.39	-7.58	-7.98
400	-8.90	-9.13	-9.69
500	-10.60	-10.92	-11.42
600	-12.57	-12.90	-13.37
700	-14.51	-14.68	-15.19
800	-15.93	-16.13	-16.52
900	-17.81	-18.11	-18.50
990	-19.66	-20.00	-20.17

- Se realiza el proceso de comprobación de los datos respecto a 0 Hz, estos valores se aproximan con los que se pueden encontrar en la hoja de datos del cable), pero aplicando una regla de tres la cual se puede lograr con la siguiente ecuación:

$$\alpha_{19,50[m]}(f) = \frac{\alpha_{100[m]}(f) * 19,50[m]}{100[m]}$$

La diferencia en los datos se debe a que se está realizando un ajuste lineal mediante regla de 3 de los



datos obtenidos para obtener una aproximación a los valores que se obtienen con 19.50 metros de longitud de cable coaxial.

Compara medidas de Atenuacion respecto a 0 Hz		
Frecuencia [MHz]	teórica [dB/m]	Experimental [dB/m]
60	-2.87	-3,51
200	-5.18	-5,80
400	-7.93	-8,90
900	-13.51	-17,81

Otra forma para poder validar estos datos consiste en considerar los valores teóricos que se pueden encontrar en la hoja de datos del cable), y a partir de los valores obtenidos experimentalmente, desde 50MHz 60 MHz se realiza una medición relativa donde se considera que este tiene una atenuación de 0dB medidas respecto a esta, donde todas las atenuaciones se miden contra esta referencia, asimismo es necesario realizar una regla de 3 para poder determinar la atenuación que se tiene en el cable, pues en la hoja de datos se encuentra predeterminada una longitud de 100m, es posible observar este calculo en la siguiente tabla:

Compara medidas de atenuación respecto a 50 MHz		
Frecuencia [MHz]	teórica [dB/m]	Experimental [dB/m]
60	0	0
200	-2.808	-2.29
400	-5.5575	-5.39
900	-11.1345	-14.3

donde el cálculo en base a la referencia se basa en lo siguiente:

$$\alpha = P_{f=50MHz} - P_{f>50MHz}$$

### 3. Conclusiones

Se realiza la estructuración de las siguientes conclusiones generales percibidas en la práctica de laboratorio:

- Se estudia la atenuación como un fenómeno de transmisión de una señal en un medio alámbrico que trae por consecuencia la disminución de la amplitud de la señal transmitida a la carga en función de la frecuencia, para lo cual se demuestra que al

transmitir una señal a mayor frecuencia esta sufre un factor de atenuación mayor.

- Es importante mencionar la función del RBW al permitir mostrar una mejor resolución de una señal en el analizador de espectros, se pudo determinar que entra mas se disminuya el RBW la resolución de dicha señal es mayor sin embargo el tiempo empleado en el analizador para dar dicha resolución es muy alto, lo cual lo vuelve menos eficiente, es por esta razón que se busca una relación entre el RBW y el span que permita caracterizar una señal de manera eficiente y con una buena resolución.
- Se identificó la reflectometría como un método que permite encontrar una falla en una línea debido a alguna discontinuidad en la misma, lo interesante de este método es el hecho de que utiliza el concepto de la reflexión de la onda transmitida por un generador para hallar la distancia de la línea mediante tres pruebas que fueron descritas en el informe, de lo anterior se puede resaltar el hecho de comprobar cómo actúa el coeficiente de reflexión para diversas cargas conectadas al final de la línea ya que según lo descrito teóricamente a partir de una carga con valor igual a la impedancia característica de la línea se establece una referencia con respecto a dicho coeficiente ya que como se describió en la ecuación 1 si la impedancia de carga es menor que la impedancia característica entonces se presenta una reflexión de la señal transmitida con un desfase de 180° y caso contrario si la impedancia de carga es mayor que la impedancia característica entonces al igual que en el caso anterior se presenta una componente reflejada de la onda transmitida pero esta se encuentra en fase.

### Referencias

- [1] A. M. Peña, "Medidas de niveles de señal y atenuación en líneas de transmisión analógicas y digitales." [Online]. Available: <https://acortar.link/iP1lrm>
- [2] J. Z. C. Perez vega and A. C. Lopez, *Sistemas de Telecomunicación*, 1st ed. Servicio de publicaciones de la universidad de Cantabria, 2007.
- [3] "Usrp-2954 block diagram," *National Instruments*. [Online]. Available: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usrp-2954-feature/page/block-diagram.html>



- [4] R. Y, "What is spectrum analyzer? block diagram, working and applications of spectrum analyzer," Jan 2021. [Online]. Available: <https://electronicsdesk.com/spectrum-analyzer.html>