

# Práctica 2: INSTRUMENTACIÓN Y REFLECTOMETRÍA

Juan Sebastian Avila Diaz- 2200524  
Jose Eduardo Beltrán Gómez-2184677

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

13 de Octubre de 2023

## Resumen

Con el desarrollo de la práctica se busca comprobar experimentalmente el comportamiento de los coeficientes de reflexión en tres casos específicos planteados: corto circuito, circuito abierto y al conectar una resistencia de 50 Ohms, para lo anterior resulto ser indispensable el uso del osciloscopio y del generador de señales. La parte dos cumplía la finalidad de ayudar al estudiante a entender la importancia del correcto ajuste de parámetros como el ancho de banda, SPAN y frecuencia de corte en el analizador de espectros, lo anterior se logró gracias al análisis y medición del ruido captado por la antena del laboratorio.

**Palabras clave:** SPAN, coeficiente de reflexión, frecuencia de corte, nivel de ruido, ancho de banda.

## 1. Introducción

- En la practica se fortalecieron conceptos importantes respecto a las lineas de transmisión y su comportamiento en presencia de diferentes coeficientes de reflexión, para lo anterior se tomaron casos como eliminar el efecto reflexivo con una carga y analizar conexiones como lo son un corto y circuito abierto. Otro concepto importante es el del analisis de señales en cuanto a parámetros como el ancho de banda, frecuencia portadora y SPAN.
- El medir este fenómeno en el dominio del tiempo es una técnica analógica que permite medir el impulso transitorio o onda reflejada esto para determinar de manera mas precisa lo que pasa en el cable coaxial o algo que este afectando el paso de la onda por el cable, esto suele ser importante para comprender lo que ocurre en el fenómeno y sus diferentes comportamientos. Al medir este en régimen permanente facilita su analisis en cuanto a lo que se recibe con la onda reflejada la cual da información generosa sobre la onda incidente.
- La reflectometria en el dominio del tiempo es usada principalmente en lineas de transmisión lo cual permite identificar fallas en la linea y hacer un calculo aproximado de donde se ubica el problema en la linea. Usando la reflectometria es importante para afianzar conceptos importantes sobre lineas de transmisión lo cual es algo esencial para el análisis de resultados como lo son la velocidad de propagación, tiempo de espera entre el incidente y la reflejada, de manera que es algo que da una gran ganancia en aprendizaje sobre este tema [1]. En lo cotidiano esta técnica es utilizada para localizar daños en la linea como lo son cortos o perdidas importantes de señal.
- Las condiciones mínimas a tener en cuenta son conocimientos sobre el osciloscopio, analizador de espectro ya que este sera esencial para obtener datos confiables, saber la medida del cable coaxial y que se encuentre en buen estado debido a que influye mucho en los resultados de la practica. Las restricciones que se tuvo en la practica fue principalmente con el analizador de espectro ya que este cuando se cambia na el ancho de banda no se podían medir algunas frecuencias y de igual manera las resoluciones de algunas señales no son tan buenas para hacer un buen analisis del comportamiento de la señal, por ultimo los cables podrían afectar drásticamente el laboratorio ya que algunos presentaban fallas de manera que arrojaban resultados algunos incoherentes.
- El analizador de espectro fue una herramienta importante ya Este equipo es algo muy esencial para la practica ya que permite medir la potencia de la señal, analizar frecuencia central, ancho de banda, ancho de banda de resolución(RBW), frecuencia de corte, medir niveles de referencia entre otras utilidades que tiene el analizador de espectro para el analisis de señales, lo cual lo hace indispensable para una practica de laboratorio de comunicaciones si

lo que se desea saber es lo que suceden en el cable coaxial.

- Conocer la atenuación del cable es primordial ya que con esta se tendría el conocimiento de cuanto reducción de amplitud de la señal abra desde el inicio hasta el final del cable coaxial, con este conocimiento se determina en cuanto ganancia debemos aplicar a la señal para que la atenuación del cable no la afecte, de esta manera se asegura la calidad de la onda que va por el cable coaxial. Ay variedad de técnicas de medición pero el método mas efectivo para medir la atenuación el cual es con equipo especializado en dicha función lo cual arroja datos con mayor precisión, la dificultad de este método radica en que son equipos costos lo cual lo hace de difícil acceso[2].
- La medida de atenuación es algo de gran importancia ya que el saber cuanto atenuación tiene el cable coaxial permite saber cuanto ganancia debe tener la señal para no ser afectada de igual forma es una medida que siempre hay que tener en cuenta para distintos casos ya que puede estar presente en varios escenarios y el conocimiento de esto es la diferencia entre errores de medición o perdidas de la señal [?].
- las condiciones mínimas son el ancho de banda, el span de medida para ver la señal completa, que la frecuencia coincida con la asignada, manipular bien los marcadores para ver los valores de las atenuaciones al variar la ganancias y frecuencias de transmisión.
- Los objetivos de esta practica se dividieron en dos partes, para la primera fue el analisis de medios de transmisión en cuanto medición de fallas presentadas en el cable coaxial y su interpretaciones de los resultados para tener un entendimiento claro de lo que sucede en el cable. Como segunda parte el afianzar conceptos importantes en cuanto la manipulación de los equipos, ver el comportamiento de las atenuaciones con respecto a la frecuencia y el ancho de banda. Con esto ver sus aplicaciones como dificultades que se pueden llegar a tener.

## 2. Procedimiento

- Para aplicar el método de reflectometria es muy importante tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$d = \frac{Vp * Td}{2}$$

donde Vp es la velocidad de propagación del medio y Td es el tiempo de separación entre el pulso incidente y el reflejado [4].

$$Vp = 2 * 10^8$$

$$Td = 456,9ns$$

El tiempo Td es prácticamente el mismo para los cálculos tomados experimentalmente en los casos del corto circuito y del circuito abierto como se aprecia en las figuras 1 y 2, de la ecuación de distancia se tiene que:

$$d = 45,69m$$

Se tiene que el valor de la longitud del cable medida experimentalmente es de aproximadamente 45,69 m, la manera de realizar esta medida teóricamente era realizar la resta entre el valor inicial y final que se puede observar en el cable coaxial, realizando el procedimiento se anterior se obtuvo un valor de 140 ft (42,675 m).

Ahora que se tiene un valor experimental y uno teórico es fácil saber los porcentajes de error que maneja la medida de longitud por reflectometria a partir de la siguiente ecuación:

$$error = \left( \frac{|V_{teor} - V_{exp}|}{V_{teor}} \right) * 100$$

De lo anterior se tiene que el porcentaje de error es de un 7,06 %.

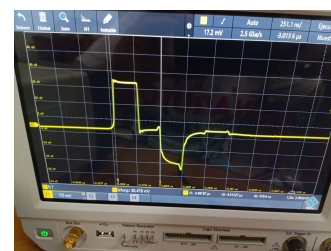


Fig. 1: Corto circuito

- Teniendo en cuenta que la impedancia característica es de  $50 \Omega$  se hallan los valores del coeficiente de reflexión gracias a la siguiente formula:

$$|T| = \frac{ZL - ZO}{ZL + ZO}$$

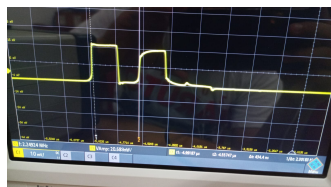


Fig. 2: circuito abierto

Comparar medidas de coeficientes de reflexión		
impedancia[Ohms]	téorico	Experimental
235	0.65	0.59
600	0.85	0.64
10	-0.43	-0.47
20	-0.67	-0.66

Para valores superiores a  $50 \Omega$  :

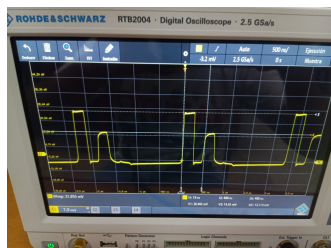


Fig. 3: ZL de 235 Ohms

Primer valor superior al valor de la impedancia característica:

$$Z_L = 235 \Omega$$

De lo cual se obtiene el siguiente coeficiente de reflexión:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{235 - 50}{235 + 50} = 0,65$$

Segundo valor superior al valor de la impedancia característica:

$$Z_L = 600 \Omega$$

De lo cual se obtiene el siguiente coeficiente de reflexión:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{600 - 50}{600 + 50} = 0,85$$

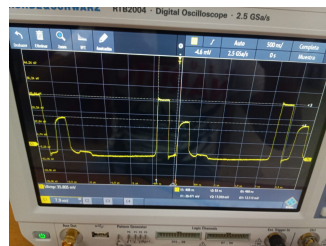


Fig. 4: ZL de 600 Ohms

Para valores inferiores a  $50 \Omega$  :



Fig. 5: ZL de 20 Ohms

Primer valor inferior al valor de la impedancia característica:

$$Z_L = 20 \Omega$$

De lo cual se obtiene el siguiente coeficiente de reflexión:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{20 - 50}{20 + 50} = -0,43$$

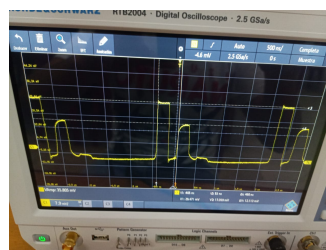


Fig. 6: ZL de 10 Ohms

Segundo valor inferior al valor de la impedancia característica:

$$Z_L = 10 \Omega$$



De lo cual se obtiene el siguiente coeficiente de reflexión:

$$\Gamma = \frac{ZL - ZO}{ZL + ZO} = \frac{10 - 50}{10 + 50} = -0,67$$

- Teniendo en cuenta muchos factores se puede decir con certeza que no es conveniente y no resulta probable medir la longitud de un cable de diferente longitud usando la misma frecuencia de fuente, como en este caso no tenemos una línea de transmisión sin pérdidas es importante tener en cuenta que la impedancia característica varía con la frecuencia y esto claramente afecta en la señal transmitida y la reflejada, debido a lo anterior puedo decir que no es posible medir un cable diferente con la misma frecuencia de fuente.
- En la figura 7 podemos notar el proceso que sufre la señal desde que es transmitida gracias al USRP hasta que es recibida por el analizador de espectros, en el USRP se tenía un valor de ganancia y de frecuencia portadora que se iban variando entre los valores determinados para la práctica, la señal resultante del proceso anterior se encuentra inmediatamente con un atenuador de aproximadamente 30dB y a continuación es transmitida gracias al cable coaxial RG58 A/U el cual como se demostrara posteriormente genera ciertas atenuaciones y cumple la función de llevar la señal hasta el analizador en el cual posteriormente se realizarán las medidas pertinentes para poder calcular la atenuación del cable.

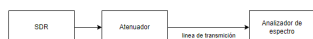


Fig. 7: Diagrama de bloques

- Para realizar la media de atenuación del cable coaxial que se usó en la práctica, se empleaba GNUradio y el SDR como un generador de señales por el puerto RX/TX, a partir de la guía presente para el desarrollo de las prácticas se notaba como el analizador de espectros tenía la funcionalidad de aparato para realizar mediciones y por ende a este se le conectaba el cable RG58 A/U, además de lo mencionado anteriormente para el desarrollo de este laboratorio fue necesario conectar un atenuador de un valor de 30 dB. Para tener buenas medidas del nivel de ruido resultaba muy importante tener

en cuenta parámetros como la frecuencia central, el ancho de banda y el nivel de referencia, se iba variando la ganancia y frecuencia de transmisión hasta obtener los datos requeridos para completar la tabla de atenuaciones y obtener la gráfica.

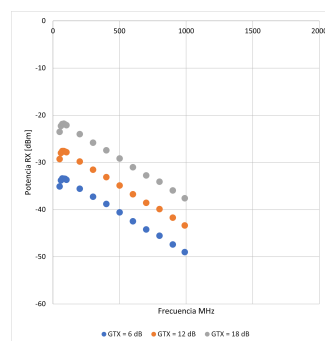


Fig. 8: Gráfica de atenuación

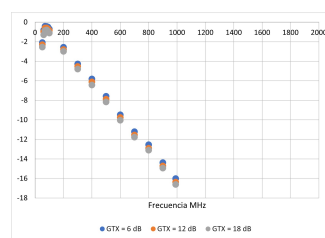


Fig. 9: Gráfica de atenuación

Si se analizan el excel con detenimiento se puede notar que la fórmula empleada para calcular la atenuación del cable es  $A = \text{Potencia de transmisor [dBm]} + \text{GTX-atenuador} - (\text{valor de ganancia correspondiente a las frecuencias})$ .

- Gracias a el analizador de espectros se logró tomar datos correspondientes a la atenuación del cable coaxial RG58 A/U en diferentes frecuencias que fueron establecidas por el profesor, en base de estos datos tomados experimentalmente se realizó una comparación con los valores teóricos dados por el fabricante en el datasheet [?], es muy importante tener en cuenta que estos están elaborados a partir de una longitud de 100 m, por lo cual para realizar un análisis correcto se debe realizar el proceso de conversión de unidades pertinente.

Como mencionamos anteriormente no se pueden relacionar los datos de manera correcta debido a que en los valores de fábrica son respecto a 100 m de



Compara medidas de coeficiente de reflexión		
Frecuencia [Mhz]	Valor teórico [dB/100m]	Valor experimental [dB/42,675 m]
50	-12,2	-2,31
100	-17,8	-0,87
200	-26,6	-2,79
400	-40,7	-6,12
700	-58,1	-11,50
900	-69,3	-14,67

longitud y los medidos de manera experimental fueron tomados con un cable coaxial de 42,675m, para solucionar lo anterior usamos la siguiente formula:

$$Ac = \frac{Ac_{fabrica} * L[m]}{100}$$

Compara medidas de coeficiente de reflexión		
Frecuencia [Mhz]	Valor teórico [dB/100m]	Valor experimental [dB/42,675 m]
50	-5,2	-2,31
100	-7,59	-0,87
200	-11,35	-2,79
400	-17,36	-6,12
700	-24,79	-11,50
900	-29,57	-14,67

Analizando los datos se puede decir que los valores hallados respecto a los que se encuentran en el datasheet varían considerablemente.

### 3. Conclusiones

- Cuando se realizaron las conexiones que se pedían para el laboratorio correspondientes al corto circuito y circuito abierto, se puede analizar que el coeficiente de reflexión en magnitud toma el valor mas alto posible, por lo cual se puede decir con certeza que la onda incidida sera reflejada en su totalidad[5].
- Si se analiza conexión en corto circuito se nota que la onda incidente se refleja totalmente pero con amplitud negativa.
- El delta de tiempo que se puede observar gracias al osciloscopio, que esta presente entre la onda incidida y la onda reflejada es el mismo para el

corto circuito y para el circuito abierto.

- Se pudo comprobar de manera experimental el hecho de que al tener un valor de impedancia de carga igual a la impedancia característica de la linea se anula el efecto reflexivo(Lo cual se afirma al calcular el coeficiente de reflexión de manera teórica ya que este tiene un valor de 0).
- Para calcular y medir la atenuación del cable en el laboratorio se puede notar como la imprecisión de algunos equipos(Analizador de espectros y cables para realizar las conexiones pertinentes) y del factor humano generan diferencias bastantes significativas en los valores esperados,mientras que para el caso de la medida de la longitud del cable se obtuvo un error de 7 % respecto al valor deseado lo cual es bastante aceptable y se le atribuye al hecho de tener unos buenos osciloscopios que cuentan con una alta precisión.

### Referencias

- [1] A. de Reflectometría, “Aplicaciones de reflectometría – medium,” 11 2019. [Online]. Available: <https://medium.com/aplicaciones-de-reflectometr%C3%ADa>
- [2] A. GmbH, “Glosario: La atenuación de los cables coaxiales | Koax24.” [Online]. Available: <https://www.koax24.de/es/servicio/glosario/atenuacion.html>
- [3] “Medir la atenuación de un cable coaxial o de pares de cobre | Mediateca de EducaMadrid.” [Online]. Available: <https://mediateca.educa.madrid.org/video/l157342p12dnnnjq#:~:text=1%C2%BA%20Se%20comprueba%20el%20funcionamiento,las%20p%C3%A9rdidas%20del%20cable%20utilizado.>
- [4] Galache, “Cable coaxial,” *GEEKNETIC*. [Online]. Available: <https://www.geeknetic.es/Guia/55/Cable-Coaxial.html#:~:text=El%20cable%20coaxial%20es%20mucho,par%20trenzado%20se%20consiguen%20100Mbps.>
- [5] S. M. N. S. Du, Ke-Lin. Cambridge University Press, 2010. [Online]. Available: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWCSFRFS2/wireless-communication/wireless-communication>