

Práctica 2: Intrumentación y reflectometría en el dominio del tiempo

Carlos Fernando Carreño Jerez - 2201729
Juan Esteban Pinto Orozco - 2215585

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

17 de Marzo de 2024

abstract

This report focuses on the analysis of transmission lines, this by means of a standard technique known as "time domain reflectometry", which allows to observe and examine the different effects (reflections) present in the line, in addition to calculating various parameters such as the length or the separation time between pulses (incident-reflected), on the other hand, this practice also stood out for its focus on the correct use of the instruments available in the laboratory, highlighting the spectrum analyser, with which it was possible to collect data to determine the attenuation present in a coaxial cable.

Palabras clave: Reflectometry, Transmission Line, Spectrum Analyser, Reflected waves.

Resumen El presente informe se focaliza en el análisis de las líneas de transmisión, esto por medio de una técnica estándar conocida como "reflectometría en el dominio del tiempo", la cual permite observar y examinar los distintos efectos (reflexiones) presentes en línea, además de calcular diversos parámetros como la longitud o el tiempo de separación entre pulsos (incidente-reflejado), por otra parte, esta práctica también se destacó por su enfoque en el correcto uso de los instrumentos disponibles en el laboratorio, resaltando el analizador de espectro, con el cual se logró recabar datos para determinar la atenuación presente en un cable coaxial.

Palabras clave: Reflectometría, Línea de Transmisión, Analizador de Espectro, Ondas reflejadas.

1. Introducción

En el presente informe de laboratorio, se abordarán diversos aspectos relacionados con la reflectometría en el dominio del tiempo y su aplicación en la caracterización de las líneas de transmisión, además de abordar un enfoque empírico sobre las distintas funcionalidades en la instrumentación del laboratorio, especialmente

en el analizador de espectro. El desarrollo de esta práctica trae consigo el fortalecimiento y adquisición de nuevos conceptos/conocimientos, como el tiempo de propagación de las señales, la interpretación de datos en el osciloscopio y/o el analizador de espectros, la utilización del USRP como transmisor, los fenómenos presentes en las líneas de transmisión, la atenuación presente en la línea, entre otros. Por otra parte, la capacidad de medir fenómenos transitorios en el dominio del tiempo, como es el caso de la reflectometría (utilizando señales en régimen permanente), es crucial para la compresión de los comportamientos internos de estos sistemas, ya que a partir de su análisis se puede prever posibles problemas de transmisión. Para un correcto desarrollo de esta practica se tuvo en consideración la instrumentación brindada en el laboratorio, es decir, los parámetros que deben presentar y asignar a cada uno de los dispositivos, en el caso del osciloscopio, este debe ser capaz de analizar tanto las señales incidentes como reflejadas, además de poder capturar la variación en el tiempo y amplitud presente entre esas ondas, también es esencial contar con un generador de pulsos y un cable coaxial con características conocidas, en el caso del analizador de espectros este debe ser configurado con los parámetros asignados en la práctica (Spam, BW, RBW, Freq), con el fin de analizar correctamente la distribución espectral e interferencias presentes en la señal. Por otra parte, medir la atenuación presente en el cable coaxial permite garantizar la calidad de la transmisión de datos, ya que logra determinar la pérdida presente de la señal en el medio de transmisión.

En conclusión, el objetivo de esta practica se centra en comprender los principios de la reflectometría y su aplicación en las líneas de trasmisión, así como el adquirir habilidades técnicas para el análisis de diversos fenómenos por medio de los equipos de medición presentes en el laboratorio, conocimientos que nos permiten tener una profunda compresión en la transmisión de señales, y que no son solo aplicables en la teoría sino

también en la resolución de problemas de cotidianos en la ingeniería, como detección de fallas en cables de red o problemas de transmisión en diferentes líneas.[1] [2] [3]

2. Metodología

Para el desarrollo de este laboratorio se llevaron a cabo 2 fases metodológicas, correspondientes a la parte A y B de la practica en cuestión. Estas fases se enfocaron en el análisis de los medios de transmisión, partiendo con la verificación de cables coaxiales utilizando una técnica estándar (reflectometría en el dominio del tiempo), además de enfatizar el manejo de los equipos que se implementaran en el desarrollo no solo en esta práctica, sino también en futuras actividades.

Actividad previa a la práctica:

1. Se reviso el material suministrado por el docente, el cual corresponde a los aspectos básicos y el correcto manejo del osciloscopio y el analizador de espectro.

Material Suministrado:

- https://www.youtube.com/watch?v=aLTCGUQr7cU&ab_channel=UniversitatPolit%C3%A8cnicaUPV
- https://www.youtube.com/watch?v=aLTCGUQr7cU&ab_channel=UniversitatPolit%C3%A8cnicaUPV
- https://www.youtube.com/watch?v=pP-UcCafmv8&t=533s&ab_channel=UniversitatPolit%C3%A8cnicaUPV

Parte A: Reflectometría en el dominio del tiempo

En la primera parte de este laboratorio se enfocó en el análisis de los medios de transmisión, partiendo de la verificación de fallas en los cables coaxiales, esto a través de una técnica estándar (reflectometría en el dominio del tiempo).

1. Se realizó el siguiente montaje utilizando como línea de evaluación el cable coaxial RG58 A/U.

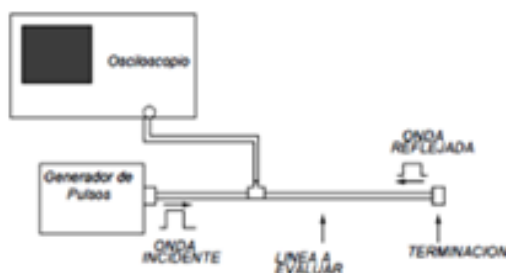


Figura 1: Montaje para la evaluación de la línea

2. Se configura el generador de señales para que envíe un tren de pulsos rectangulares con periodo de 400 kHz y ciclo de trabajo cercano al 10 %, el cual se conectara al osciloscopio por medio de la T, con el objetivo de evaluar la línea (cable coaxial).
3. Se mide con el osciloscopio la onda en el inicio de la línea (canal 1 del osciloscopio) y otra al final de la línea (canal 2 del osciloscopio).
4. Se procede a medir el delta de tiempo existente entre la onda incidente y la onda reflejada.

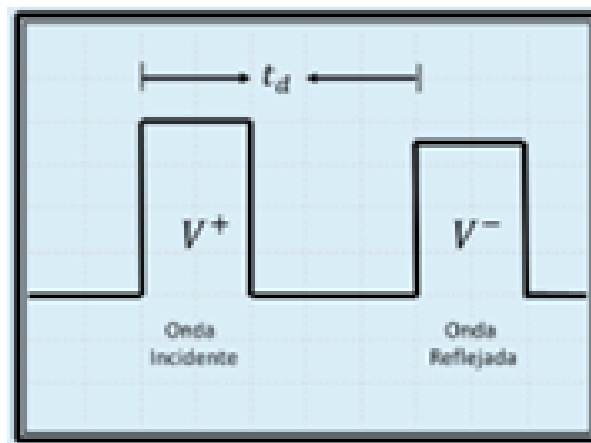


Figura 2: Tiempo de separación entre el pulso incidente y el reflejado.

5. Se calcula la medida del cable coaxial a utilizar basándonos en los parámetros que este tiene inscritos (Inicio XXXXXX FT y Final XXXXXX FT), además se comprueba el valor calculado por medio de la ecuación $d = (v_p \cdot t_d) / 2$.
6. Se procede a medir el delta de amplitud existente entre la onda incidente y la onda reflejada.
7. Se realiza un corto al final de la línea (la misma que inicialmente estaba conectada en el canal 2) apoyado de cables BNC, y se registran las amplitudes y delta de tiempo entre la onda incidente y reflejada en el osciloscopio.
8. Se conecta al final de la línea una carga de 50 ohms, y se registran los valores de tiempo y amplitud entre la onda incidente y reflejada en el osciloscopio.

Parte B: Instrumentación

Esta segunda parte se enfocará más en el manejo de los equipos de laboratorio que trabajaremos durante el desarrollo del semestre.

1. Se realiza el siguiente montaje en el software GNU radio con el objetivo de configurar el USRP como transmisor.

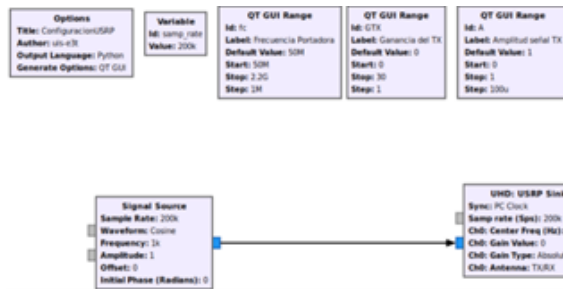


Figura 3: Montaje en GNU Radio para la configuración del USRP como transmisor.

- (SDR-Osciloscopio) Se tomará como referencia el SDR como generador de señales y el canal 1 del osciloscopio, se registrarán los datos correspondientes a la amplitud leída en el osciloscopio al realizar variaciones en la frecuencia de transmisión, respectivamente en los valores de 200 MHz, 300MHz y 500MHz manteniendo la amplitud de la señal constante. Para esto se tuvo en consideración el montaje ilustrado en la fig 3.
- Se realizó la Configuración básica del analizador de espectro según la guía suministrada en la misma práctica, además se varió el RBW en valores distintos con el objetivo de analizar su comportamiento frente al nivel de ruido mostrado en pantalla.
- (SDR-Analizador de Espectro) Usando el SDR como generador de señales (señal de referencia constante) en el puerto RX/TX y el analizador de espectros como equipo de medida se le conectó el cable RG58 A/U y un atenuador de 30 dB, como se puede apreciar a continuación.



Figura 4: Montaje SDR-Analizador de Espectro

A partir de este montaje se variará la ganancia del transmisor para cada valor de frecuencia de transmisión (f_c), con el fin de calcular la atenuación del cable, la toma de datos se relaciona en el siguiente enlace.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1_3eK4FE5OPgTDsKJNmRc3xwpYbnRn8Go2AgTHEFau6c/edit?usp=sharing

3. Resultados de la Practica

Parte A

- Se realizó el montaje ilustrado en la fig 1.
- Configuración del generador de señales y ajuste del ciclo útil con ayuda del osciloscopio



Figura 5: Configuración del generador de señales.



Figura 6: Visualización de la señal generador-osciloscopio

- inicio de la línea (canal 1), Final de la línea (Canal 2).

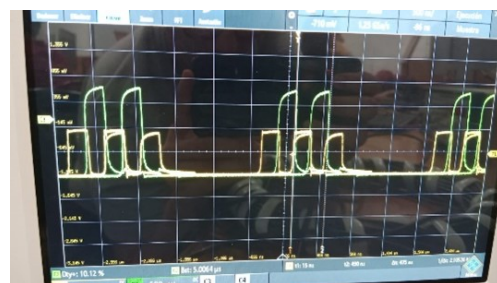


Figura 7: Visualización de la señal canal1(inicio línea) - canal2(fin línea).

4. Medición del delta de tiempo entre la onda incidente y la onda reflejada. (línea abierta al final)



Figura 8: Medición del Delta de tiempo entre onda incidente y reflejada

5. Cálculo de las dimensiones del cable coaxial.

Dimensiones Marcadas en el la Línea:

Inicio: 037172 [ft] Final: 037312 [ft] Longitud de la Línea (teórica) = Final - Inicio Longitud de la Línea (teórica) = 140 [ft] Longitud de la Línea (teórica) = 42.672 [m]

Ya que la línea se encuentra abierta, es decir la parte final no está llegando a una carga, este se puede considerar la distancia en la cual se presenta un defecto en la línea, por lo cual podemos verificar la distancia por medio de la siguiente ecuación:

$$d = \frac{(V_p * td)}{2} \quad (1)$$

Donde V_p corresponde al 66% de la constante de la velocidad de la luz (3×10^8 m/s), este dato fue obtenido a partir de un datasheet del cable (<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/96218/ETC/RG58U.html>). En el caso de la variable td, esta corresponde al tiempo de separación entre el pulso incidente y el reflejado, el cual fue obtenido por medio del osciloscopio, tal como se ilustra en la fig 8 ($td = \Delta t = 430$ ns). De esta manera el valor de la línea sería igual a:

$$d = \frac{(0,66 * 3 \times 10^8 \text{ m/s}) * (430 \times 10^{-9} \text{ s})}{2} = 42,57 \text{ [m]} \quad (2)$$

Valores muy próximos, ya que su margen de error es solo del 0.23

6. Medición del delta de amplitud entre la onda incidente y la onda reflejada. (línea abierta al final)

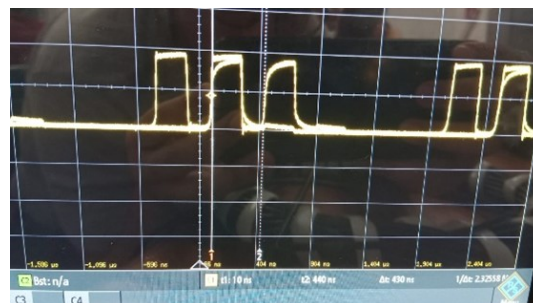


Figura 9: Medición del Delta de amplitud entre onda incidente y reflejada.

$$\Delta V = 97,66 \text{ [mV]} \quad (3)$$

7. Amplitudes y delta de tiempo entre la onda incidente y la onda reflejada en presencia de un corto.

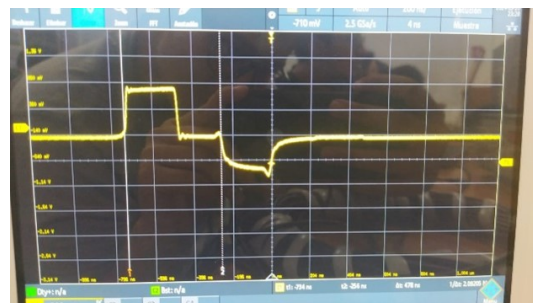


Figura 10: Medición del Delta de tiempo entre onda incidente y reflejada en corto



Figura 11: Medición del Delta de Amplitud entre onda incidente y reflejada en corto.

$$\Delta t = 478 \text{ [ns]} \\ \Delta V = 1,7286 \text{ [V]}$$

8. Amplitudes y delta de tiempo entre la onda incidente y la onda reflejada conectando la línea a una carga de 50 ohms.

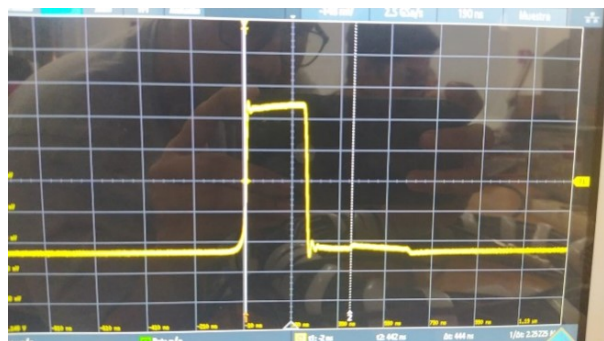


Figura 12: Medición del Delta de tiempo entre onda incidente y reflejada a una carga de 50 ohns

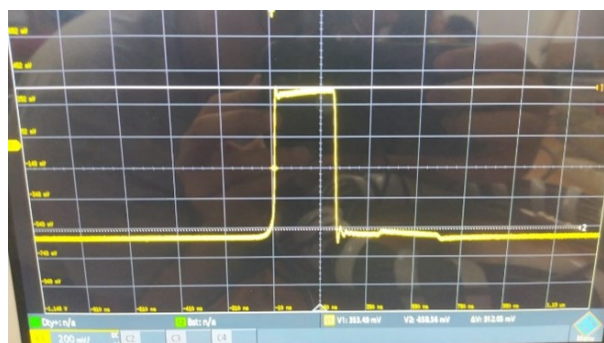


Figura 13: Medición del Delta de Amplitud entre onda incidente y reflejada a una carga de 50 ohns

$$\Delta t = 444[ns]$$

$$\Delta V = 912,05[mV]$$

Parte B

- Se realiza el montaje en GNU radio.

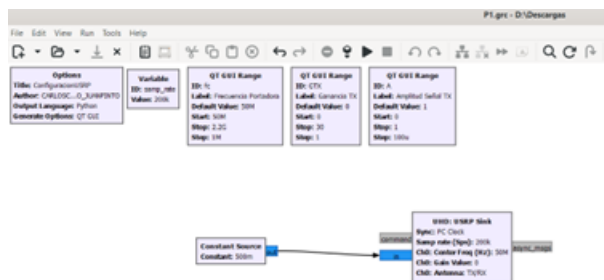


Figura 14: Montaje en GNU radio USRP como transmisor

- Datos Obtenidos al variar la frecuencia de transmisión. (se añaden algunas imágenes de evidencia de los datos recolectados por el osciloscopio).

FC = 200 [MHZ]	
AMPLITUD GENERADA	AMPLITUD MEDIDA EN EL OSCILSCOPIO
0.5	158.27 [mV]
0.25	158.27 [mV]
0.125	158.27 [mV]
0.0625	158.8 [mV]
FC = 300 [MHZ]	
AMPLITUD GENERADA	AMPLITUD MEDIDA EN EL OSCILSCOPIO
0.5	109.76 [mV]
0.25	107.31 [mV]
0.125	106.33 [mV]
0.0625	107.8 [mV]
FC = 500 [MHZ]	
AMPLITUD GENERADA	AMPLITUD MEDIDA EN EL OSCILSCOPIO
0.5	35.28 [mV]
0.25	38.71 [mV]
0.125	34.24 [mV]
0.0625	35.28 [mV]

Figura 15: Amplitud leída en el osciloscopio al realizar variaciones en la frecuencia de transmisión

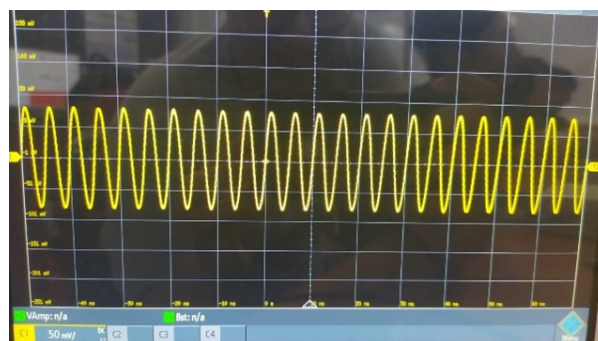


Figura 16: Amplitud a Frecuencia 200MHz con Amplitud generada a 0.5.

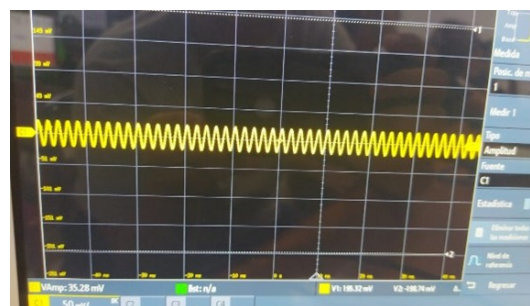


Figura 17: Amplitud a Frecuencia 500MHz con Amplitud generada a 0.5

- RBW frente al nivel de ruido generado. (se añaden algunas imágenes de evidencia de los datos recolectados por el osciloscopio).



RBW	RUIDO [dBm]
1KHz	-107,13
3kHz	-91,1
10KHz	-92,94
30KHz	-91,33
100KHz	-82,88
200KHz	-78,93
300KHz	-77,77
1MHz	-72,28
3MHz	-67,27
3MHz	-66,95

Figura 18: Nivel de ruido respecto al valor de RBW



Figura 19: Nivel de Ruido con un BRW de 30KHz

4. Ganancia del transmisor para cada valor de frecuencia de transmisión.

GTX	Datos Medidos		
	Potencia medida en dBm		
Frecuencia	GTX = 6 dB	GTX = 12 dB	GTX = 18 dB
50	-33,5	-12,66	-22,74
60	-29,7	-24,39	-15,12
70	-27,4	-21,98	-16,02
80	-27,3	-21,4	-15,64
90	-28,8	-23,42	-17,64
100	-29,22	-24	-18,8
200	-29,38	-23,4	-17,65
300	-29,5	-24,2	-18,31
400	-30,42	-25,64	-19,7
500	-32,33	-27,32	-21,59
600	-33,5	-27,98	-21,9
700	-35,6	-30	-24,5
800	-39,4	-33	-27,65
900	-41,5	-35,5	-29,5
990	-45	-39,3	-34,6

Figura 20: Datos medidos

atenuacion Cable			
Frecuencia MHz	GTX = 6 dB	GTX = 12 dB	GTX = 18 dB
50	-0,50	14,34	-1,74
60	3,30	2,61	5,88
70	5,60	5,02	4,98
80	5,70	5,60	5,36
90	4,20	3,58	3,36
100	3,78	3,00	2,20
200	3,62	3,60	3,35
300	3,50	2,80	2,69
400	2,58	1,36	1,30
500	0,67	-0,32	-0,59
600	-0,50	-0,98	-0,90
700	-2,60	-3,00	-3,50
800	-6,40	-6,00	-6,65
900	-8,50	-8,50	-8,50
990	-12,00	-12,30	-13,60

Figura 21: Datos Resultado

4. Análisis de Resultados

Parte A

Puntos 1 y 2.

Se realizó el montaje correctamente, tal y como se visualiza en la figura 6, logrando obtener las medidas especificadas para la señal rectangular según lo indicado en la guía.

Puntos 3

En esta parte, pudimos visualizar cómo era el comportamiento de la onda al final del circuito, siendo la gráfica de color verde en la figura 7. Podemos observar cómo es en amplitud la suma de la onda original y la onda reflejada. También podemos notar que la onda en el punto donde se crea la reflexión tiene una diferencia de tiempo igual a la mitad entre la onda original y la reflejada. Esto se debe a que ambas viajaban por un cable de una medida específica, y el final del cable era el punto de retorno de la onda reflejada, lo que ocasiona que la diferencia de tiempo entre ambas sea idéntica, ya que recorren el mismo camino.

Puntos 4

Aquí logramos conocer cuál era la diferencia entre la onda de entrada y la onda reflejada, lo cual nos permite evaluar si pueden chocar entre sí, lo que podría causar problemas en la transmisión de la onda original. Este conocimiento es fundamental para prevenir posibles interferencias o distorsiones en la señal durante su envío.

Puntos 5

Al comprobar la dimensión del cable y conociendo la original, se pudo constatar que el fallo en la transmisión de la onda original, en caso de ocurrir, se estaría dando en la distancia esperada. Esto nos permitió obtener como resultado que pareciera que ocurriera un poco antes, pero dentro de un margen de error aceptable para el procedimiento.

Puntos 6,7,8

En estos tres puntos, se observó cómo era la onda reflejada al estar abierta, en corto y con una resistencia de 50 ohmios. Para esto, se realizó un análisis común que permitió examinar de manera más precisa sus comportamientos.

En el punto 6, se visualizó que al estar abierto, la onda llegaba al final de la línea y se devolvía por el mismo camino, manteniendo su sentido y presentando algunas pérdidas que se asumen debido al cable, aunque no causaban cambios significativos en la onda reflejada.

En el punto 7, al encontrarse en cortocircuito, se observó que la onda se invertía y presentaba un mayor nivel de pérdidas debido al cortocircuito presente, lo que ilustra cómo múltiples ondas podrían afectar la amplitud de las siguientes.

En el punto 8, al añadir una resistencia, se notó que esta consumía gran parte de la onda, provocando que la onda reflejada no fuera muy pronunciada. Esto sugiere que mediante la implementación de resistencias que disipen el exceso de energía en forma de calor, se puede lograr una transmisión efectiva de ondas.

En conclusión, en estos tres puntos se visualizan los tres casos más básicos que pueden ocurrir al implementar una línea de transmisión en las comunicaciones. Desde el mejor caso, que sería la resistencia que evita la reflexión de la onda, hasta el peor caso, que sería el cortocircuito causante de pérdidas en las demás ondas que se estén transmitiendo.

Parte B

Puntos 1 En esta primera parte, pudimos observar que por medio del software de GNU Radio, somos capaces de implementar un generador de señal, el cual usa como medio de transmisión el SDR de modo que pudiéramos enviar desde el computador, al ejecutar el esquema planteado, una señal discreta llegando al SDR como una señal real

Puntos 2 En esta parte, estuvimos variando la amplitud en el programa y observamos los resultados en el osciloscopio a diferentes frecuencias. Pudimos notar que, aunque modificáramos la amplitud considerablemente en el programa, al pasar por el SDR y llegar al osciloscopio, los cambios se minimizaban debido a las pérdidas que ocurrían. Esto nos indica que, en el proceso de enviar información de un punto a otro, cuanto mayor sea la distancia, mayores pérdidas tenderá a tener.

Puntos 3

En esta parte, al haber estado variando el RBW, pudimos visualizar su funcionamiento. Notamos que a menor frecuencia, el RBW es más sensible a las diferencias entre las señales, mientras que a mayor frecuencia, presenta un tipo de desenfoque, lo que puede hacer que

interprete varias ondas como una sola. Esto se puede comprobar al visualizar el ruido, ya que a medida que aumenta la frecuencia, este disminuye, debido a que el equipo pierde la capacidad de distinguir entre las diferentes ondas.

Por otro lado, también se concluyó que su comportamiento sería de una forma lineal, lo que sugiere que podría ser posible calcular una ecuación que describa su comportamiento para posibles aplicaciones. Esto es importante porque proporcionaría una herramienta matemática para predecir y modelar el comportamiento del RBW en diferentes situaciones, lo que podría ser útil en el diseño y la optimización de sistemas de medición y análisis de señales.

Puntos 4

A medida que aumenta la frecuencia en un cable coaxial, la potencia de transmisión tiende a disminuir debido a la mayor pérdida de señal por efectos como la atenuación y la dispersión. Esto se debe a que a frecuencias más altas, aumentan las pérdidas por efectos resistivos y dieléctricos en el cable, lo que reduce la eficiencia de transmisión [4]. La relación de onda estacionaria (VSWR) también tiende a aumentar con la frecuencia, lo que indica una mayor reflexión de la señal y, por lo tanto, una menor potencia transmitida efectivamente [5].

De los gráficos y tablas podemos concluir que, teniendo una atenuación constante de 30dB, a medida que la frecuencia de la señal aumenta, esta atenuación no varía, pero sí impacta más en la línea, ya que como describimos anteriormente, el aumento en la frecuencia de la señal los efectos de la atenuación son mayores, haciendo decaer la potencia de señal recibida de forma exponencial, tal y como podemos ver en los gráficos.

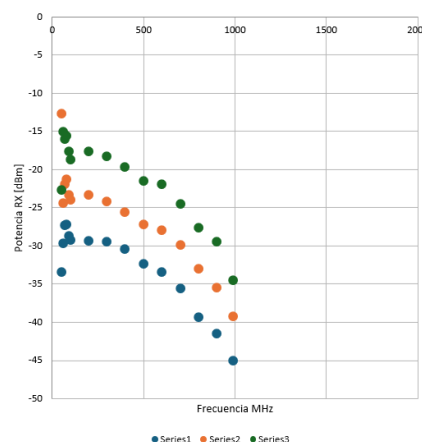


Figura 22: Gráfico

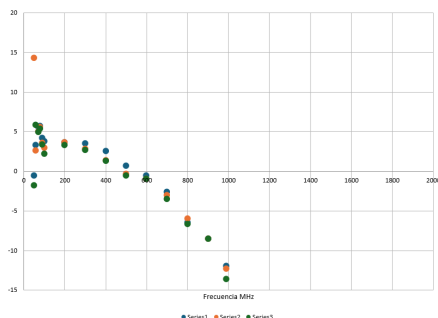


Figura 23: Grafico

5. Conclusiones

- Se logro adquirir nuevos conocimientos sobre la detección de fallas y análisis sobre una línea de transmisión, esto a travez del análisis por reflectometría en el dominio del tiempo, técnica que nos permitió encontrar diversos parametros como la distancia en la que se presentan defectos en la línea, tiempos de propagación, comportamiento en la señal, entre otros.
- Por medio de esta practica se fortalecio las habilidades practicas sobre el manejo de la instrumentación disponible en el laboratorio, a travez de la toma de datos y calibración de estos para la correcta realización del laboratorio.
- Se analizo el comportamiento que sigue una señal transmitida cuando se presentan diversas fallas en la línea, como el caso de un corto en esta, donde la señal se reflejaba e invertida por esta, disminuyendo asi su amplitud, en el caso de estar abierto esta se reflejaba pero no se invertia la señal, finalmente al entrar en contacto con una carga, la señal reflejada era menor, ya que gran parte de la señal enviada era “recibida” por la carga, disminuyendo asi en gran medida las perdidas o retorno de la señal.
- Fue posible determinar la distancia donde se presenta la falla en la línea por medio de una análisis matemático y experimental (recabando datos de la señal por medio del osciloscopio), donde se pudo concluir que ambos métodos son correctos para determinar la posición donde se genero el defecto, ya que como se vio en el apartado de resultados, estos dos métodos presentan un margen de error de solo del 0.23 % entre si, lo cual podemos considerar despreciable en este tipo de análisis.
- Se analizo el comportamiento de RBW (Resolución de Ancho de Banda) contratándolo con le ruido presente en la señal, esto por medio del analizador

de espectros, llegando a la conclusión de que el RBW es una medida del aanalizador de espectro que permite distinguir las frecuencias entre distintas señales, tomando cierto rango de frecuencias como un solo componente, por esto cuanto se aumenta el RBW la señal de ruido disminuye, por le caso contrario al disminuir el RBW se mejora la sensibilidad con la que el analizador de espectro distingue entre señales, permitiendo asi una detección de señales mas débiles.

- Haber analizado la atenuación presente en un cable coaxial nos permite revelar patrones de comportamiento importantes para la transmisión de señales a lo largo de distancias variables y en diferentes frecuencias.

Referencias

- [1] U. P. de València UPV. Manejo básico del analizador de espectro hp8590l. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=aLTCGUQr7cU>
- [2] R. Schwarz. Understanding basic spectrum analyzer operation. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=P5gxNGckjLc>
- [3] U. P. de València UPV. Manejo básico del osciloscopio digital tektronix tds 3012. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=pP-UcCafmv8&t=533s>
- [4] Wikipedia. Línea de transmisión. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_de_transmisi%C3%B3n
- [5] ——. Supertienda de transmisores de radio / tv. [Online]. Available: <https://www.pcs-electronics.com/es/guides/coaxial-cable/>