

## Práctica 2: INSTRUMENTACIÓN Y REFLECTOMETRÍA

Jose David Florez Ramos -  
2174241

Angie Tatiana Chaparro Blanco -  
2184212

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

13 de octubre de 2023

### Resumen

La reflectometría en el dominio del tiempo demostró ser esencial para detectar cortocircuitos, circuitos abiertos y discontinuidades en líneas de transmisión. Al introducir una carga equivalente, se evaluaron los efectos mediante un analizador de espectro. Este enfoque no solo nos ayudó a identificar problemas, sino que también ofreció una profunda comprensión de la salud y rendimiento de la línea, destacando su utilidad en el análisis y mantenimiento de sistemas eléctricos y de comunicación.

**Palabras clave:** Reflectometría, línea de transmisión, cortocircuito, circuito abierto, analizador espectros.

### 1. Introducción

Los conceptos que fortalecerán esta práctica son los siguientes:

- Reflectometría: Es una técnica usada para analizar las propagaciones de onda, es especialmente más usada en las líneas de transmisión.
- Analizador de espectros: Es un dispositivo de medición utilizado para analizar la amplitud de señales en función de su frecuencia.
- Señales en régimen permanente: se refiere a señales que han alcanzado una condición estable o constante a lo largo del tiempo.

La reflectometría en el dominio del tiempo es una técnica de medición que se usa en comunicaciones para explorar cómo las señales viajan, se dispersan y se reflejan en entornos diversos. Esta técnica es importante ya que al aplicarla nos ayuda a resolver comportamientos de sistemas eléctricos tales como lo son los cortocircuitos y las discontinuidades en la línea de transmisión. Esto podemos verlo usando señales permanentes o señales estables, lo cual nos da una versión más detallada de lo que ocurre dentro de la línea.

Debemos tener en cuenta que hay ciertas restricciones con respecto a las capacidades de los equipos de laboratorio, pueden ser limitaciones con el ancho de banda, resolución, precisión, exactitud, sensibilidad, entre otros. Esto puede afectar la calidad de las mediciones a tomar.

el analizador de espectro es una herramienta electrónica muy útil en el laboratorio ya que tiene muchas ventajas, tales como:

1. Visualización de Espectro: Proporciona una representación gráfica de la distribución de frecuencias de una señal, lo que permite identificar fácilmente componentes específicos en el dominio de la frecuencia.
2. Análisis de Frecuencia: Facilita un análisis detallado de la frecuencia de las señales, permitiendo identificar interferencias, armónicos, y otros fenómenos que no son evidentes en el dominio del tiempo.
3. Análisis de Espectro en Tiempo Real: Algunos analizadores de espectro modernos ofrecen capacidades de análisis en tiempo real, lo que es esencial para sistemas dinámicos y en constante cambio.
4. Identificación de Interferencias: Permite identificar y localizar interferencias en el espectro electromagnético, ayudando en la resolución de problemas en sistemas de comunicación.
5. Análisis de Modulación: Puede analizar la modulación de las señales, lo que es vital en sistemas de comunicación inalámbrica para entender cómo la información se transmite a través de diferentes portadoras.
6. Medición de Potencia: Facilita la medición precisa de la potencia de señales en diferentes bandas de frecuencia, lo que es esencial para el diseño y la optimización de sistemas de comunicación.
7. Análisis de Señales Moduladas: Es capaz de analizar señales moduladas en frecuencia, amplitud, fase, y otras modulaciones complejas, lo que lo hace esencial en la caracterización de

sistemas de comunicación avanzados.

8. **Compatibilidad con Diferentes Tipos de Señales:** Puede analizar una amplia variedad de señales, desde señales analógicas hasta digitales, lo que lo convierte en una herramienta versátil para diversos entornos y aplicaciones.

Otra herramienta bastante útil en el laboratorio es el osciloscopio, está dispositivo electrónico al igual que el analizador de espectro tiene varias ventajas tales como:

1. **Visualización en Tiempo Real:** Un osciloscopio brinda una representación visual en tiempo real de las señales eléctricas. Se puede ver cómo evolucionan y detectar cambios instantáneos.
2. **Mediciones Precisas:** Permite mediciones precisas de amplitud, frecuencia, periodo, y otros parámetros de la señal, proporcionando información detallada sobre el comportamiento de la onda.
3. **Análisis de Forma de Onda:** La forma de onda revela muchos detalles sobre el sistema o circuito bajo prueba. Un osciloscopio permite analizar la forma de onda para identificar problemas o características específicas.
4. **Detección de Problemas:** Facilita la detección y resolución de problemas en circuitos electrónicos al mostrar visualmente cómo se comportan las señales en diferentes puntos del circuito.
5. **Versatilidad:** Puede utilizarse para analizar una amplia gama de señales, desde formas de onda simples hasta complejas modulaciones y protocolos de comunicación.
6. **Documentación e Informes:** Muchos osciloscopios modernos permiten la captura de pantallas y datos, facilitando la documentación de resultados y la generación de informes para análisis posteriores o presentaciones.
7. **Interfaz Intuitiva:** Con interfaces de usuario cada vez más amigables, los osciloscopios modernos son accesibles para usuarios de todos los niveles de experiencia.

Existen muchas maneras para evaluar la atenuación en un medio de transmisión, tales como:

- **Reflectómetro de dominio de tiempo (TDR):** Este dispositivo emplea pulsos de señal con el fin de determinar la distancia y la atenuación en una línea de transmisión. La atenuación se puede calcular al medir la cantidad de energía que se disipa durante la propagación de la señal.
- **Analizador de redes vectorial (VNA):** Utilizado para evaluar la respuesta de una red eléctrica, el VNA abarca la medición de la atenuación y la fase de las señales. Es eficaz para medir la atenuación en un medio de transmisión siempre que se

conozca la impedancia de la línea de transmisión.

Es importante medir la atenuación de un cable coaxial por varias razones, entre estas para verificar que el cable este en condiciones favorables y no se encuentre afectado de alguna manera. La atenuación se define como la pérdida de energía de la señal durante su transmisión a lo largo del cable coaxial. Si la atenuación es demasiado alta significa que el cable no es de buena calidad o que presenta problemas. Conocer la atenuación es esencial para optimizar la transmisión de señales a través del cable; al comprender cuánta energía se pierde, es posible ajustar la señal de entrada para contrarrestar esta pérdida y lograr una señal de salida óptima.

Adquirir habilidades en la medición de la atenuación de un medio de transmisión permite comprender a fondo el funcionamiento de la transmisión de señales en sistemas de comunicación. Este conocimiento no solo proporciona una comprensión más profunda de las teorías y conceptos detrás de la comunicación de datos, sino que también desempeña un papel crucial en el diseño de sistemas de comunicación. Al entender cómo la atenuación afecta la transmisión de señales, los estudiantes y profesionales pueden concebir sistemas más efectivos y eficientes.

## 2. Procedimiento

La técnica de reflectometría en el dominio del tiempo se utiliza para estimar la longitud de un cable coaxial. Se envía una señal al cable y se mide la cantidad de energía reflejada. La reflexión en el extremo del cable se produce debido a la impedancia del cable y cualquier discontinuidad en el mismo. La longitud del cable se puede calcular midiendo el tiempo que tarda la señal reflejada en volver al punto de origen. El porcentaje de error que maneja esta técnica depende de varios factores, como la calidad del equipo utilizado y la precisión de las mediciones. En general, se considera que la técnica es bastante precisa, con un error de alrededor del 5% o menos. Se recomienda realizar varias mediciones y promediar los resultados para obtener una estimación más precisa de la longitud del cable.

Compara medidas de coeficiente de reflexión		
impedancia $\Omega$	teórico	Experimental
966	0.902	0.930
850	0.889	0.931
30	-0.25	-0.599
4.7	-0.828	-0.914

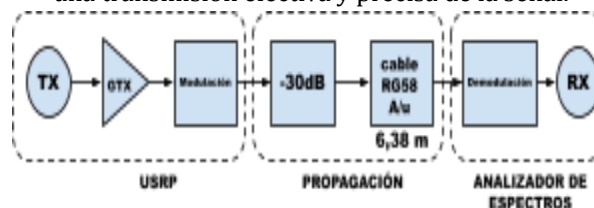
**Tabla 1.** coeficientes de reflexión

Hay varias razones para los errores de medición del coeficiente de reflexión. Primero, el valor experimental del coeficiente de reflexión se calcula como la relación entre la amplitud de la onda reflejada y la amplitud de la onda incidente. Sin embargo, en la práctica, es difícil medir con precisión estas amplitudes debido a factores como el ruido, las interferencias y las limitaciones de los equipos de medición. Teniendo en cuenta que el valor teórico del coeficiente de reflexión se calcula en función de la relación entre la impedancia de carga y la impedancia característica. Sin embargo, debido a las tolerancias de los componentes y las conexiones, es posible que la impedancia real no coincida exactamente con la impedancia teórica, lo que puede introducir errores en la medición del coeficiente de reflexión. En resumen, los errores de medición en el coeficiente de reflexión pueden atribuirse a la dificultad para medir con precisión las amplitudes de las ondas incidentes y reflejadas, así como a las posibles diferencias entre las impedancias teóricas y reales. Es importante tener en cuenta estos errores al interpretar los resultados de las mediciones de reflectancia. Es posible usar la misma frecuencia de la fuente para medir el mismo cable usado en la práctica, siempre y cuando se tomen en cuenta ciertas recomendaciones. Es importante asegurarse de que la fuente de señal tenga una impedancia de salida baja y que la carga del cable sea adecuada para evitar distorsiones. Además, se debe tener en cuenta que la medición puede verse afectada por la longitud del cable y las condiciones ambientales.

Es posible usar la misma frecuencia de la fuente para medir el mismo cable usado en la práctica siempre y cuando se tomen en cuenta las recomendaciones mencionadas. En caso contrario, se debe cambiar la frecuencia para obtener mediciones precisas y confiables.

El proceso de transmisión de señal entre el USRP y el analizador de espectros se compone de varios subsistemas que intervienen en la calidad y precisión de la señal transmitida. Primero, la señal pasa por el subsistema de ganancia del USRP, donde se ajusta la intensidad de la señal para evitar distorsiones o pérdidas durante la transmisión. Luego, la señal se somete al subsistema de modulación, donde se modifica la señal para su transmisión en el canal adecuado. Posteriormente, la señal es enviada al subsistema de transmisión, donde se emite al medio ambiente para su propagación. Finalmente, la señal es recibida por el analizador de espectros y sometida al subsistema de demodulación, donde se recupera la señal original para su análisis y procesamiento. Cada uno de estos subsistemas es crucial para garantizar

una transmisión efectiva y precisa de la señal.



**Diagrama de bloques.** USRP-Analizador de espectros.

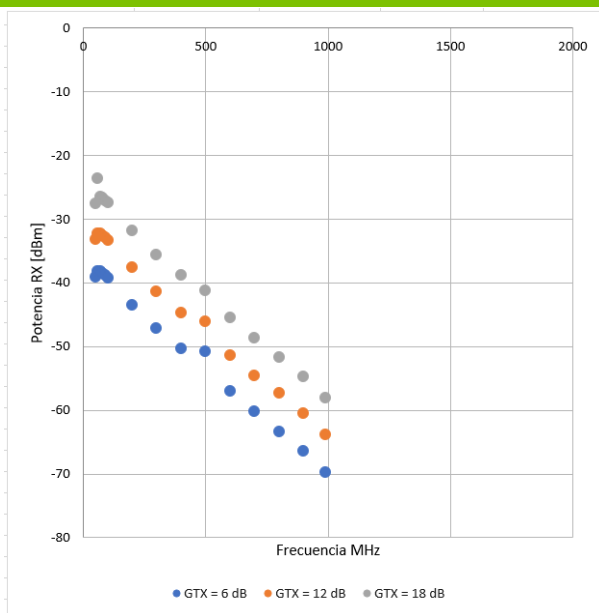
Se ajustó la atenuación del cable coaxial al conectarlo a un atenuador de 30 decibelios. Esto se hizo con el propósito de ajustar la ganancia del transmisor a medida que se modificaba la frecuencia de operación.

Datos Medidos			
Potencia medida en dBm			
GTX	6	12	18
Frecuencia	GTX = 6 dB	GTX = 12 dB	GTX = 18 dB
50	-39,1	-33,17	-27,51
60	-38,21	-32,3	-23,63
70	-38,17	-32,25	-26,54
80	-38,47	-32,65	-26,7
90	-38,85	-32,94	-27,11
100	-39,28	-33,4	-27,49
200	-43,54	-37,62	-31,82
300	-47,21	-41,34	-35,57
400	-50,37	-44,7	-38,82
500	-50,82	-46,03	-41,29
600	-56,97	-51,37	-45,47
700	-60,28	-54,6	-48,6
800	-63,4	-57,27	-51,72
900	-66,48	-60,47	-54,67
990	-69,72	-63,84	-58,02

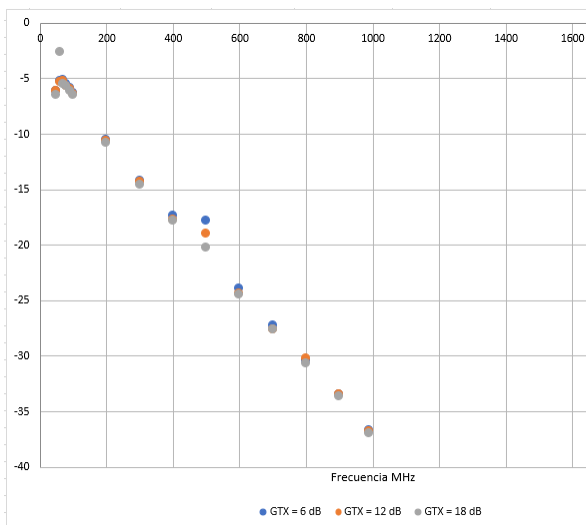
**Tabla 2.** potencia en dBm

atenuacion Cable			
Frecuencia MHz	GTX = 6 dB	GTX = 12 dB	GTX = 18 dB
50	-6.10	-6.17	-6.51
60	-5.21	-5.30	-2.63
70	-5.17	-5.25	-5.54
80	-5.47	-5.65	-5.70
90	-5.85	-5.94	-6.11
100	-6.28	-6.40	-6.49
200	-10.54	-10.62	-10.82
300	-14.21	-14.34	-14.57
400	-17.37	-17.70	-17.82
500	-17.82	-19.03	-20.29
600	-23.97	-24.37	-24.47
700	-27.28	-27.60	-27.60
800	-30.40	-30.27	-30.72
900	-33.48	-33.47	-33.67
990	-36.72	-36.84	-37.02

**Tabla 3.** atenuación del cable



Gráfica 1. potencia recibida en escala logarítmica



Gráfica 2. Atenuación cable coaxial en metros.

Para determinar la atenuación de un cable coaxial es necesario medir la diferencia de amplitud entre las señales transmitidas y recibidas en varios puntos a lo largo del cable. Esto se puede hacer utilizando un analizador de espectro y realizando mediciones de potencia en las frecuencias de interés.

Midiendo la potencia de la señal transmitida al comienzo del cable y compárela con la potencia de la señal recibida en varios puntos del cable podemos llegar a determinar la atenuación. La diferencia de rendimiento entre las señales transmitidas y recibidas se debe a la atenuación del cable.

Usando estas medidas de potencia, puedes calcular la atenuación en decibeles (dB) usando la siguiente fórmula:

$$\text{Atenuación (dB)} = 10 * \log_{10} \left( \frac{\text{potencia de transmisión}}{\text{potencia de recepción}} \right)$$

La atenuación se expresa en dB por unidad de longitud de cable (por ejemplo, dB/m). Esta medición permite evaluar la pérdida de señal a lo largo del cable y determinar la calidad y eficiencia de la transmisión de datos.

Es importante señalar que este proceso requiere mediciones precisas y equipos adecuados, como un analizador de espectro y cables de prueba calibrados. Adicionalmente, se recomienda realizar mediciones a diferentes frecuencias para obtener información completa sobre la atenuación del cable.

Compara medidas de Atenuación		
Frecuencia [MHz]	teórica [dB/m]	Experimental [dB/m]
80	-5.47	-5.70
300	-14.21	-14.57
600	-23.97	-24.47
800	-30.40	-30.72

Tabla 4. comparación de medidas de atenuación

### 3. Conclusiones

Al desarrollar esta práctica de instrumentación y reflectometría en el dominio del tiempo, se han identificado varios puntos relevantes y aportes importantes. En primer lugar, se ha fortalecido el entendimiento de los conceptos relacionados con la reflectometría en el dominio del tiempo y su aplicación en el ámbito de las comunicaciones. Esto ha permitido comprender la importancia de medir un fenómeno transitorio como la reflectometría utilizando señales en régimen permanente.

Además, se ha destacado la relevancia de la reflectometría en el proceso de aprendizaje de la asignatura, ya que proporciona una herramienta práctica para resolver problemas de ingeniería cotidianos. Se han discutido las consideraciones mínimas para desarrollar el experimento de reflectometría en el osciloscopio, teniendo en cuenta las capacidades de los equipos y las facilidades técnicas del laboratorio.

En cuanto a la utilización del analizador de espectro en el laboratorio de comunicaciones, se han identificado varias ventajas principales, como la capacidad de



analizar y visualizar las características de las señales de manera precisa y eficiente. Esto resulta especialmente útil para la medición de la atenuación de un cable coaxial en el laboratorio.

Medir la atenuación del cable coaxial en el laboratorio es importante porque permite evaluar la pérdida de señal a lo largo del cable y determinar la calidad y eficiencia de la transmisión de datos. Además, también se discutió la posibilidad de utilizar diferentes técnicas y dispositivos para medir la atenuación de los medios de transmisión.

En conclusión, esta práctica fortalece los conceptos relacionados con las mediciones en el dominio del tiempo y las mediciones de reflectancia y contribuyó a

comprender su importancia en el campo de la comunicación. Además, adquirí experiencia práctica en el laboratorio utilizando un analizador de espectro y midiendo la atenuación del cable coaxial.

## Referencias

- [1] J. G. Proakis and M. Salehi, "Fundamentals of communication systems," Boston : Pearson, 2014.
- [2] <https://amphenolprocom.com/es/productos/cables-es/produkter/66-rg-58-a-u-xll>