

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUÍA

Nombre de la guía:	Medición del coeficiente de reflexión, ROE y pérdidas de retorno utilizando la Carta de Smith por medio de una herramienta en Python
Código de la guía (No.):	001 – 2025-2
Taller(es) o Laboratorio(s) aplicable(s):	Laboratorio K-105
Tiempo de trabajo práctico estimado:	3 a 4 horas presenciales de laboratorio + 2 horas de trabajo individual extra-clase
Asignatura(s) aplicable(s):	LTT93 - Líneas de Transmisión
Programa(s) Académico(s) / Facultad(es):	Ingeniería de Telecomunicaciones

COMPETENCIAS	CONTENIDO TEMÁTICO	INDICADOR DE LOGRO
<p>Analizar la adaptación de líneas de transmisión y sistemas radiantes mediante la medición e interpretación del coeficiente de reflexión, la Relación de Onda Estacionaria (ROE/VSWR) y las pérdidas de retorno, usando la Carta de Smith y herramientas de software.</p>	<p>Modelo de línea de transmisión y concepto de adaptación de impedancias.</p> <p>Impedancia característica (Z_0) e impedancia de carga (Z_L) compleja.</p> <p>Impedancia normalizada $z^N = Z_L / Z_0$.</p> <p>Coeficiente de reflexión complejo Γ (magnitud y fase).</p> <p>Relación de onda estacionaria ROE/VSWR y su relación con Γ.</p> <p>Pérdida de retorno (Return Loss) y coeficientes de reflexión de potencia y de tensión.</p> <p>Potencia incidente, reflejada, transmitida y pérdidas por desajuste.</p> <p>Carta de Smith: construcción básica, círculos de resistencia y reactancia, círculos de ROE constante.</p> <p>Uso de la Carta de Smith para análisis de adaptación y cálculo gráfico de parámetros.</p> <p>Uso de una herramienta en Python para generar la Carta de Smith completa, marcar impedancias y visualizar escalas de ROE, Return Loss, etc.</p>	<p>El estudiante:</p> <p>Calcula manualmente, a partir de Z_0 y Z_L, la impedancia normalizada z^N, el coeficiente de reflexión Γ, la ROE y la pérdida de retorno, mostrando todos los pasos intermedios.</p> <p>Ubica correctamente la impedancia normalizada en la Carta de Smith, traza el círculo de ROE constante y relaciona gráficamente Γ con los parámetros escalados (ROE, Return Loss, coeficiente de potencia reflejada, etc.).</p> <p>Utiliza el script de Python suministrado para generar una Carta de Smith completa, verifica sus resultados manuales y discute diferencias numéricas y de interpretación.</p> <p>Analiza el impacto de la desadaptación (valores de ROE y Return Loss) sobre la potencia entregada a la carga y la eficiencia del sistema radiante.</p>

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

En un sistema de RF formado por una fuente, una línea de transmisión de impedancia característica Z_0 y una carga Z_L , la **adaptación de impedancias** es fundamental para maximizar la transferencia de potencia y minimizar reflexiones. Cuando $Z_L \neq Z_0$, parte de la onda incidente se refleja en la carga y se propaga de regreso hacia la fuente.

La magnitud y la fase de esa reflexión se describen mediante el **coeficiente de reflexión de tensión** en la carga:

- Impedancia normalizada:
 $Z_N = Z_L / Z_0 = r + jx$ (adimensional).
- Coeficiente de reflexión en la carga (forma en función de Z_L):
 $\Gamma_L = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0)$.
- Coeficiente de reflexión en función de la impedancia normalizada:
 $\Gamma = (Z_N - 1) / (Z_N + 1)$

En general Γ es complejo:

- $\Gamma_L = |\Gamma| \angle \theta$
- $|\Gamma|$ = magnitud del coeficiente de reflexión ($0 \leq |\Gamma| \leq 1$).
- $\theta = \angle \Gamma_L$ = ángulo de fase del coeficiente de reflexión (en grados o radianes).

La **Relación de Onda Estacionaria** (ROE o VSWR) es una medida escalar que relaciona el máximo y el mínimo de la envolvente de tensión en la línea cuando hay desadaptación:

- $ROE = S = V_{\max} / V_{\min} = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|)$.

Cuando $S = 1$, la línea está perfectamente adaptada ($|\Gamma| = 0$, no hay reflexión). A medida que S aumenta, la desadaptación empeora y crece la fracción de potencia reflejada.

La **pérdida de retorno** (Return Loss, RL) es otra forma usual de expresar la adaptación, en decibelios, definiéndose a partir de la potencia reflejada frente a la incidente. Usualmente se define como:

- $RL(\text{dB}) = -20 \cdot \log_{10}(|\Gamma|)$.

Valores altos de RL (por ejemplo 20 dB o más) indican buena adaptación: poca potencia es reflejada y la mayor parte se entrega a la carga. Valores bajos de RL (por ejemplo 10 dB o menos) indican mala adaptación y reflejos significativos.

La relación entre ROE y RL puede escribirse como:

$$ROE = \frac{\left(1 + 10^{-\frac{RL}{20}}\right)}{\left(1 - 10^{-\frac{RL}{20}}\right)}$$

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

y, de forma inversa,

- $RL = 20 \cdot \log_{10} \left[\frac{(ROE + 1)}{(ROE - 1)} \right]$

La **potencia reflejada** es proporcional al cuadrado de la magnitud del coeficiente de reflexión:

- Coeficiente de reflexión de potencia: $|\Gamma|^2 = \frac{P_r}{P_i}$

siendo P_i la potencia incidente y P_r la potencia reflejada. La potencia transmitida a la carga es:

- $P_t = P_i - P_r = P_i \cdot (1 - |\Gamma|^2)$.

Se define además la **pérdida por desajuste** (Mismatch Loss) como la pérdida adicional (en dB) debida exclusivamente a la desadaptación, aun suponiendo que el resto del sistema es ideal:

- $ML(dB) = -10 \cdot \log_{10}(1 - |\Gamma|^2)$.

Todas estas magnitudes se relacionan de manera directa y pueden presentarse sobre la Carta de Smith mediante escalas y regletas alrededor del círculo unitario.

Carta de Smith


La **Carta de Smith** es una representación gráfica del plano de impedancias normalizadas $z^N = r + jx$, mapeadas al plano del coeficiente de reflexión Γ . Sobre la carta se dibujan:

- Círculos de resistencia constante (r constante), centrados sobre el eje real.
- Arcos de reactancia constante (x constante), que cortan el círculo unitario superior (inductivos, $+jx$) e inferior (capacitivos, $-jx$).
- El borde del círculo unitario, que corresponde a $|\Gamma| = 1$.

Cada punto de la Carta de Smith representa tanto una impedancia normalizada z^N como el correspondiente Γ . Los círculos concéntricos de radio constante alrededor del origen representan valores constantes de $|\Gamma|$, y por tanto están asociados a valores constantes de ROE, RL y del resto de parámetros que dependen solo de $|\Gamma|$.

En versiones "completas" de la Carta de Smith se añaden regletas y escalas adicionales alrededor del círculo unitario, que permiten leer directamente:

- ROE (SWR).
- ROE en dB.
- Pérdida de retorno RL (dB).
- Coeficiente de reflexión de potencia $|\Gamma|^2$.
- Coeficiente de reflexión de tensión $|\Gamma|$.
- Pérdida por desajuste (Mismatch Loss).
- Factores adicionales relacionados con la pérdida debida a la ROE.

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

El script en Python asociado a esta guía genera una Carta de Smith normalizada completa, marca la posición de Γ_L para la impedancia de carga seleccionada y dibuja el círculo de $|\Gamma|$ constante, además de mostrar las regletas inferiores que representan cada uno de los parámetros mencionados.

3. OBJETIVO(S)

Al finalizar la práctica el estudiante estará en capacidad de:

1. Calcular manualmente el coeficiente de reflexión Γ , la ROE, la pérdida de retorno y la potencia transmitida para diferentes cargas conectadas a una línea de transmisión.
2. Ubicar impedancias normalizadas en la Carta de Smith, trazando el círculo de ROE constante asociado y relacionando la posición del punto con los parámetros de adaptación.
3. Utilizar una herramienta en Python que genera la Carta de Smith para verificar experimentalmente y de forma gráfica sus resultados analíticos.
4. Interpretar físicamente el significado de ROE, Return Loss y potencia reflejada/transmitida en el contexto de sistemas radiantes (cables y antenas).

4. RECURSOS REQUERIDOS

Talleres o Laboratorios:

- Laboratorio de Líneas de Transmisión / Antenas y Radio.

Equipos y herramientas:

- Computador por estudiante o por pareja con Python 3 instalado.
- Librerías de Python: numpy, matplotlib (instaladas previamente).
- Script de Python "smithchart.py" entregado por el docente.
- (Opcional) Analizador de cables y antenas (medidor de ROE/VSWR) para mostrar medidas reales sobre una antena y cable coaxial.

Materiales:

- Hoja impresa de una Carta de Smith completa (adjunta a esta guía, una por estudiante o por pareja).
- Hojas blancas, lápiz, borrador y calculadora científica.
- Computador personal con vscode + Python instalado

Material bibliográfico y multimedia:

- Diapositivas del curso sobre ROE, Return Loss y coeficiente de reflexión.
- Artículo técnico sobre medidas en sistemas radiantes (ROE, pérdidas de retorno y reflectometría).

5. ASPECTOS DE SEGURIDAD

- En caso de utilizar solo computadores y simulación, los riesgos son mínimos; se recomienda mantener ordenado el puesto de trabajo y evitar cables sueltos que puedan provocar tropiezos.
- Si se usan analizadores de RF y transmisores reales:

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

- No encender transmisores sin carga adecuada (antena correcta o carga ficticia) para evitar daños por potencia reflejada.
- Verificar la integridad de cables y conectores antes de energizar.
- No manipular conectores RF mientras el sistema está transmitiendo.
- Seguir las instrucciones del docente y del manual de los equipos.

6. PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

La práctica se sugiere en tres momentos: repaso conceptual, cálculo manual y verificación con la Carta de Smith (impresa y generada por Python).

Actividad 1 – Repaso conceptual guiado

1. En grupos pequeños, leer la sección de fundamentos teóricos de la guía y las diapositivas asignadas sobre ROE y pérdidas de retorno.
2. Responder en el cuaderno (para entregar en el informe):
 - ¿Qué significa físicamente tener $|\Gamma| = 0$? ¿Y $|\Gamma| = 1$?
 - ¿Qué diferencia hay entre ROE y pérdida de retorno? ¿Cuál es más intuitiva para comparar sistemas muy diferentes?
 - ¿Por qué una ROE alta no siempre implica un valor "malo" de pérdidas de retorno en la práctica, si consideramos también las pérdidas del cable?

Actividad 2 – Cálculo manual de parámetros de adaptación

Trabajar inicialmente con $Z_0 = 50 \Omega$. Para cada caso, el estudiante debe **hacer todas las cuentas a mano** (en el cuaderno) antes de usar la herramienta en Python.

Caso A – Carga puramente resistiva desadaptada

- Línea con $Z_0 = 50 \Omega$.
- Carga $Z_L = 25 \Omega$ (puramente resistiva, menor que Z_0).

Calcule:

1. Impedancia normalizada:

$$Z'_L = \frac{Z_L}{Z_0}$$

2. Coeficiente de reflexión en la carga:

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

Expresé Γ_L en forma rectangular ($a + jb$) y polar ($|\Gamma| \angle \theta$).

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

3. ROE:

$$S = \frac{(1 + |\Gamma|)}{(1 - |\Gamma|)}$$

4. Pérdida de retorno:

$$RL_{dB} = -20 \cdot \log_{10}(|\Gamma|)$$

5. Coeficiente de reflexión de potencia:

$$|\Gamma|^2$$

6. Potencia transmitida normalizada a la carga:

$$\frac{P_T}{P_I} = 1 - |\Gamma|^2$$

Luego, en la Carta de Smith **impresa**:

- Localice el punto correspondiente a z^N sobre la Carta de Smith.
- Identifique el círculo de $|\Gamma|$ constante que pasa por ese punto y anote el valor aproximado de ROE leído desde la carta.
- Compare el valor de ROE leído gráficamente con el calculado analíticamente.

Caso B – Carga compleja inductiva

- Línea con $Z_0 = 50 \Omega$.
- Carga $\Gamma_L = 100 + j50\Omega$

Proceda de forma análoga al Caso A:

- Calcule $Z'_L = \frac{Z_L}{Z_0}$
- Obtenga $\Gamma_L \frac{(Z_L - Z_0)}{(Z_L + Z_0)}$
Exprese:
 - $Z_L = a + jb$
 - $|\Gamma|$ y θ (en grados).
- Calcule S, RL(dB), $|\Gamma|^2$ y P_t / P_i .
- Localice z^N en la Carta de Smith impresa, determine gráficamente la ROE y compare.
- Identifique si la reactancia de la carga es inductiva o capacitiva a partir de la posición del punto (semiplano superior o inferior en la carta).

Caso C – Carga compleja capacitiva

- Línea con $z_0 = 50\Omega$
- Carga $z_L = 25 - j75\Omega$

Repita los pasos 1 a 5 del caso anterior y responda, además:

- ¿Cómo cambia la fase de Γ respecto al Caso B?
- ¿Qué implicaciones tiene el signo de la parte imaginaria de Z_L en la posición del punto sobre la carta (semiplano superior vs inferior)?

Actividad 3 – Verificación con la Carta de Smith en Python

Usando el script de Python suministrado por el docente (Carta de Smith completa con regletas):

1. Ejecute el script en su computador.
Verifique que se abra una ventana con:
 - La Carta de Smith normalizada (círculos de resistencia y reactancia).
 - El punto marcado Γ_L para la carga ingresada.
 - El círculo de $|\Gamma|$ constante asociado.
 - Las regletas inferiores con ROE, RL, $|\Gamma|^2$, etc.
 - El cuadro emergente (hover) con los valores calculados.

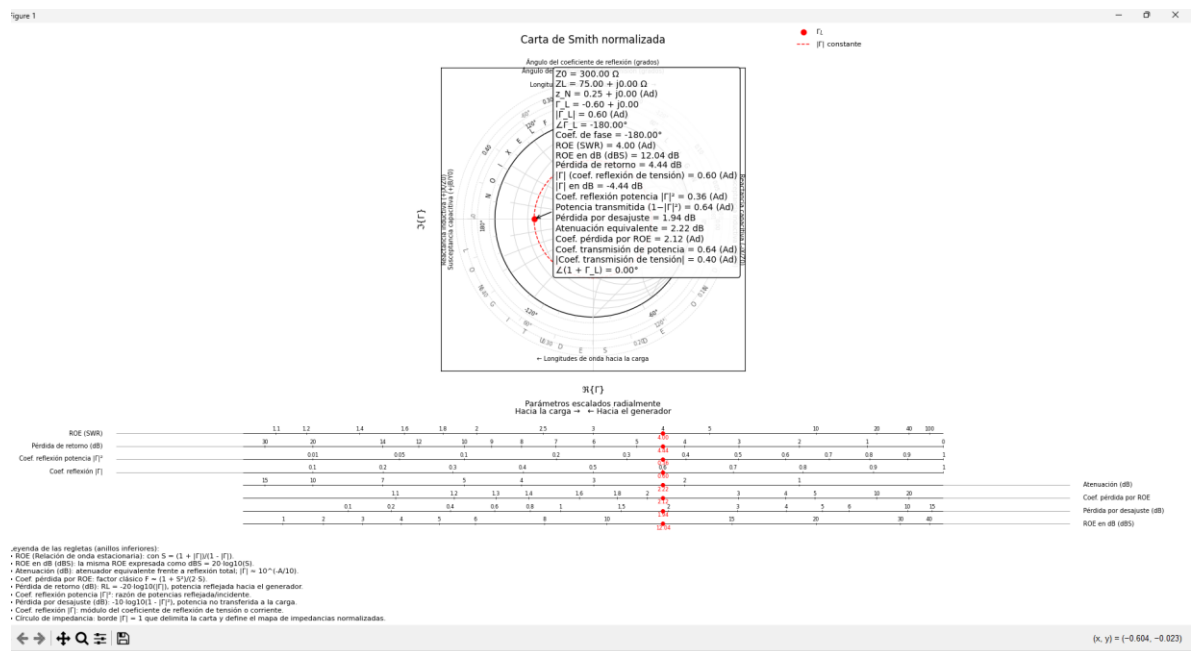


Ilustración 1 Ejemplo de ventana principal del script en Python con la Carta de Smith completa, regletas inferiores y cuadro de hover activo (captura de pantalla de referencia elaborada por el docente).

2. Ingrese los parámetros del **Caso A**:
 - $z_0 = 50 \Omega$
 - $z_L = 25 + j0 \Omega$

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

Observe y registre:

- Coordenadas de Γ^L ($\text{Re}\{\Gamma\}$, $\text{Im}\{\Gamma\}$).
- Magnitud $|\Gamma|$ y ángulo.
- Valores de ROE, RL, $|\Gamma|^2$, P_t y demás parámetros mostrados en el cuadro emergente.

Ilustración 2 Carta de Smith generada por el script para el Caso A ($Z_0 = 50 \Omega$, $Z_L = 25 \Omega$). Se aprecia el punto Γ^L , el círculo de $|\Gamma|$ constante y las regletas inferiores marcando el valor de ROE y RL. (Aquí el estudiante debe insertar la captura de pantalla correspondiente a su ejecución del Caso A.)

Registre en una tabla (para el informe) los valores calculados a mano y los valores mostrados por el script. Discuta cualquier diferencia de redondeo.

- Repita el proceso para los **Casos B y C**, comparando siempre:
 - Valores analíticos (a mano).
 - Valores numéricos del script.
 - Estimación gráfica a partir de la Carta de Smith impresa.

Ilustración 3 Carta de Smith para el Caso B ($Z_0 = 50\Omega$, $Z_L = 100 - j50\Omega$). El punto queda en el semiplano superior (reactancia inductiva) y se observa el círculo de $|\Gamma|$ constante.

Ilustración 4 Carta de Smith para el Caso C ($Z_0 = 50\Omega$, $Z_L = 25 - j75\Omega$). El punto queda en el semiplano inferior (reactancia capacitiva) y se aprecia el cambio de fase de Γ respecto al Caso B. (Ambas figuras deben ser capturas de pantalla tomadas por el estudiante al ejecutar los Casos B y C, respectivamente.)

- (Opcional, si el docente lo requiere) Utilice la opción de desplazamiento a lo largo de la línea (parámetros de longitud normalizada ℓ en el script) para:
 - Introducir valores de $\ell > 0$ (hacia el generador) y $\ell < 0$ (hacia la carga).
 - Observar cómo se rota el punto Γ alrededor del círculo de $|\Gamma|$ constante.
 - Registrar el cambio de fase y analizar cómo la posición de máximos y mínimos de tensión se desplaza a lo largo de la línea.

Ilustración 5 (opcional) Ejemplo de rotación de Γ sobre el círculo de $|\Gamma|$ constante al introducir un desplazamiento ℓ distinto de cero (visualización del efecto de movimiento a lo largo de la línea). (Si se incluye esta parte, el estudiante debe adjuntar una captura donde se vea claramente que el punto Γ se ha movido angularmente.)

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

5. Tome capturas de pantalla de la Carta de Smith para al menos uno de los casos (por ejemplo el Caso B), donde se vean claramente:
 - El punto Γ_L .
 - El círculo de $|\Gamma|$ constante.
 - Las regletas inferiores con el valor marcado de ROE, RL y demás parámetros.

Estas capturas se utilizarán en la sección de **Desarrollo experimental** del informe como figuras numeradas (Figura 2, Figura 3, Figura 4, etc.), con sus respectivos pies de figura.

Actividad 4 – Discusión y análisis

En el informe, responda y discuta:


En el informe, apoyándose en las **tablas de comparación** y en las **Figuras 1–5** (según las que haya generado), responda y discuta:

1. ¿Para cuál de los tres casos se obtiene la mejor adaptación (mayor RL, menor ROE)? Justifique con valores numéricos y señale en qué figura se observa más claramente.
2. ¿Cuál de las cargas presenta el mayor componente reactivo? ¿Cómo se refleja esto en la posición del punto sobre la Carta de Smith (Figuras 3 y 4)?
3. Si el sistema representara una antena conectada a un transmisor de potencia fija, ¿qué implicaciones tendría la desadaptación observada en términos de:
 - Cobertura (área de servicio).
 - Riesgo para el transmisor (potencia reflejada, referencias en las figuras).
4. ¿Por qué un valor de RL muy alto (por ejemplo 30 dB) suele considerarse un objetivo razonable en sistemas radiantes prácticos? Relacione su respuesta con la potencia reflejada ($|\Gamma|^2$) y la potencia transmitida a la carga, y comente cómo se vería este caso en la Carta de Smith generada por el script.

7. PARÁMETROS PARA ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de laboratorio debe contener, como mínimo:

1. **Portada** con: nombre de la institución, programa, asignatura, título de la práctica, nombres de los integrantes, docente, fecha y número de la guía.
2. **Objetivos** de la práctica (copiados y adaptados desde esta guía).
3. **Fundamento teórico** breve (1 a 2 páginas) donde el estudiante explique con sus palabras:
 - Qué es el coeficiente de reflexión Γ y cómo se relaciona con Z_0 y Z_L .
 - Cómo se define la ROE y su relación con $|\Gamma|$.
 - Qué son la pérdida de retorno, el coeficiente de reflexión de potencia y la pérdida por desajuste.
 - Cómo la Carta de Smith permite visualizar estos conceptos.
4. **Desarrollo experimental**, incluyendo obligatoriamente:
 - Cuentas manuales detalladas para los Casos A, B y C (Z'_L , Γ , $|\Gamma|$, θ , S, RL, $|\Gamma|^2$, P_r/P_i).
 - Tablas de comparación entre resultados manuales, lectura gráfica en la Carta de Smith impresa y resultados del script en Python.
 - **Figuras de salida del script en Python:**

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM	Código	FGL 029
		Versión	03
		Fecha	18-07-2023

- **Figura 1.** Ejemplo general de la interfaz del script de la Carta de Smith (pantalla completa, con Carta, regletas y hover).
- **Figura 2.** Carta de Smith para el Caso A ($Z_0 = 50 \Omega$, $Z^L = 25 \Omega$).
- **Figura 3.** Carta de Smith para el Caso B ($Z_0 = 50 \Omega$, $Z^H = 100 + j50 \Omega$).
- **Figura 4.** Carta de Smith para el Caso C ($Z_0 = 50 \Omega$, $Z^L = 25 - j75 \Omega$).
- **Figura 5 (opcional).** Ejemplo de desplazamiento a lo largo de la línea (Γ rotando sobre el círculo de $|\Gamma|$ constante para un $\ell \neq 0$).

Cada figura debe ir con su **pie de figura** bajo el formato:

Ilustración n. Descripción breve (qué caso representa, qué parámetros se ingresaron, qué se destaca en la imagen: punto Γ^L , círculo de $|\Gamma|$, valores de ROE/RL resaltados en las regletas, etc.)

5. **Análisis de resultados**, donde el estudiante discuta:
 - La coherencia entre las tres fuentes de información (cálculo manual, carta impresa, script de Python).
 - El impacto de la desadaptación en términos de potencia reflejada y transmitida.
 - La utilidad práctica de ROE y RL en el contexto de cables y antenas.
 - Referencias explícitas a las figuras: por ejemplo, “como se observa en la Figura 3, el punto Γ se desplaza al semiplano inductivo...”.
6. **Conclusiones**, redactadas en forma clara y concreta, que respondan a los objetivos de la práctica.
7. **Bibliografía**, citando las fuentes relevantes utilizadas (artículos técnicos, libros de texto, diapositivas, documentación del script, etc.), según el estilo acordado (IEEE Somos Ingenieros.).

8. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

En esta práctica no se generan residuos peligrosos. Los únicos residuos esperados son:

- Hojas de papel usadas, que deben depositarse en las canecas destinadas para papel y cartón.
- Cualquier otro residuo generado deberá disponerse en los contenedores adecuados siguiendo el plan de manejo de residuos de la institución.

No se manipulan sustancias químicas ni materiales biológicos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. H. Smith, *Electronic Applications of the Smith Chart: In Waveguide, Circuit and Component Analysis*, 2nd ed. Atlanta, GA, USA: Noble Publishing, 2000.
- [2] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2016.
- [4] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1996.
- [5] P. Denisowski, “Understanding the Smith chart,” *Rohde & Schwarz – R&S® Essentials*, art. técnico en línea, consultado nov. 2025. Disponible en: https://www.rohde-schwarz.com/.../understanding-the-smith-chart_257989.html
- [6] R. & Schwarz, “Vector network analyzer fundamentals – Voltage standing wave ratio (VSWR) and return loss,” sección de la serie *R&S® Essentials*, recurso en línea sobre VNA, consultado nov. 2025. Disponible en:

https://www.rohde-schwarz.com/.../vector-network-analyzer-fundamentals_258354.html [rohde-schwarz.com/cn+2](https://www.rohde-schwarz.com/cn+2)

[7] S. Arar, "RF Design Basics: VSWR, Return Loss, and Mismatch Loss," *All About Circuits*, art. técnico, 5 feb. 2023. Disponible en: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/rf-design-basics-vswr-return-loss-mismatch-loss/> [Electronics Notes](#)


[8] "What is the Smith Chart: understanding the basics," *Electronics Notes*, recurso en línea sobre análisis en líneas de transmisión y carta de Smith, consultado nov. 2025. Disponible en: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/smith-charts/smith-chart-basics.php> [Electronics Notes](#)

[9] Keysight Technologies, "VSWR, Reflection Coefficient, Return Loss, and Mismatch Loss," Application Note, recurso en línea, consultado nov. 2025. (Incluye las relaciones $|\Gamma|$, VSWR, RL y mismatch loss utilizadas en la guía de laboratorio). Disponible en: <https://www.keysight.com/>

[10] R. & Schwarz, "Understanding the Smith Chart" (webinar y material asociado), *Rohde & Schwarz Webinars*, recurso complementario para el uso práctico de la carta de Smith en analizadores de redes, consultado nov. 2025. Disponible en: <https://www.everythingrf.com/webinars/details/1478-understanding-the-smith-chart> [everythingrf.com](https://www.everythingrf.com)

[11] R. & Schwarz, "Antenna design, measurement and optimization – IoT design guide," guía de diseño y medición de antenas que incluye el uso de VNA, parámetros S, ROE y carta de Smith, 2024. Disponible en: https://cdn.rohde-schwarz.com/.../IoT-design-guide_eGuide_en_3683-3959-92_v0100.pdf cdn.rohde-schwarz.com/cn+1

[12] "S-Parameter Techniques – HP Application Note 95-1," Hewlett-Packard, nota de aplicación clásica sobre parámetros S, reflexión y adaptación en RF/microondas, citada en recopilaciones técnicas recientes de radioaficionados y profesionales. [w2zk.com](https://www.w2zk.com)

	GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO - EXPERIMENTAL Talleres y Laboratorios de Docencia ITM		Código	FGL 029
			Versión	03
			Fecha	18-07-2023

Elaborado por:	David González Herrera
Revisado por:	MSc. Willer Ferney Montes Granada
Versión:	001
Fecha:	11/14/2025