

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUÍA

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

COMPETENCIAS	CONTENIDO TEMÁTICO	INDICADOR DE LOGRO
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>Modelo de línea de transmisión y concepto de adaptación de impedancias.</p> <p>Impedancia característica (<math>Z_0</math>) e impedancia de carga (<math>Z^L</math>) compleja.</p> <p>Impedancia normalizada <math>z^N = Z^L / Z_0</math>.</p> <p>Coeficiente de reflexión complejo <math>\Gamma</math> (magnitud y fase).</p> <p>Relación de onda estacionaria ROE/VSWR y su relación con <math> \Gamma </math>.</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>Longitud eléctrica normalizada <math>\ell</math> (en múltiplos de <math>\lambda</math>) a lo largo de la línea: desplazamientos hacia el generador (<math>\ell &gt; 0</math>) y hacia la carga (<math>\ell &lt; 0</math>), y su efecto sobre la fase del coeficiente de reflexión <math>\Gamma(\ell)</math>.</p> <p>Impedancia vista <math>Z_{in}(\ell)</math> en diferentes puntos de la línea, definida a partir de <math>\Gamma(\ell)</math> y su interpretación en términos de resistencia y reactancia equivalentes en el punto de observación.</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</p>	<p>Calcula manualmente, a partir de <math>Z_0</math> y <math>Z^L</math>, la impedancia normalizada <math>z^N</math>, el coeficiente de reflexión <math>\Gamma</math>, 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 <math> \Gamma </math> con los parámetros escalados (ROE, Return Loss, coeficiente de potencia reflejada, etc.).</p> <p>Determina e interpreta la longitud eléctrica normalizada <math>\ell</math> (en múltiplos de <math>\lambda</math>) y la impedancia vista <math>Z_{in}(\ell)</math> en uno o varios puntos a lo largo de la línea, utilizando las relaciones teóricas y la Carta de Smith.</p> <p>Relaciona desplazamientos sobre la Carta de Smith (rotación de <math>\Gamma</math> sobre el círculo de <math> \Gamma </math> constante) con cambios en <math>Z_{in}(\ell)</math> y con la posición de máximos y mínimos de tensión a lo largo de la línea.</p> <p>Utiliza el script de Python suministrado para generar una Carta de Smith completa, verificar sus resultados manuales, explorar la variación de <math>\Gamma(\ell)</math> y <math>Z_{in}(\ell)</math>, y discutir diferencias numéricas y de interpretación.</p>

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

	completa, marcar impedancias, visualizar escalas radiales de ROE, Return Loss, coeficientes de reflexión de potencia y de tensión, y explorar la variación de $\Gamma(l)$ y $Z_{in}(l)$ a lo largo de la línea.	Analiza el impacto de la desadaptación (valores de ROE y Return Loss) sobre la potencia entregada a la carga, la eficiencia del sistema radiante y la variación de la impedancia vista $Z_{in}(l)$ a medida que se avanza sobre la línea.
--	---	---

## 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  $\Gamma$  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:

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

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

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:

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

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.

### Longitud eléctrica e impedancia vista a lo largo de la línea

Para estudiar cómo cambian las magnitudes de adaptación a lo largo de la línea, se introduce la longitud eléctrica normalizada  $\ell$ , medida en múltiplos de la longitud de onda  $\lambda$ :

$$\ell = z / \lambda$$

Aquí  $z$  es la distancia medida desde el plano de la carga a lo largo de la línea. Por convenio en esta guía, se considera que:

- $\ell > 0$  corresponde a desplazamientos hacia el generador.
- $\ell < 0$  corresponde a desplazamientos hacia la carga.

En una línea sin pérdidas excitada en régimen sinusoidal, el número de onda es  $\beta = 2\pi / \lambda$ . El coeficiente de reflexión en un punto situado a una distancia  $z$  de la carga se puede escribir como:

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

$$\Gamma(\ell) = \Gamma^L \cdot e^{j(-j \cdot 2\beta z)} = \Gamma^L \cdot e^{j(-j \cdot 4\pi\ell)}$$

donde  $\Gamma^L$  es el coeficiente de reflexión en la carga ( $\ell = 0$ ). Esta expresión muestra que al desplazarse sobre la línea el módulo  $|\Gamma(\ell)|$  permanece constante (se conserva la desadaptación), pero la fase de  $\Gamma(\ell)$  cambia linealmente con la longitud eléctrica  $\ell$ . Cada vez que  $\ell$  aumenta o disminuye en  $0,5 \lambda$ , el factor  $e^{j(-j \cdot 4\pi\ell)}$  recorre un giro completo de  $360^\circ$  sobre el círculo unitario, por lo que el punto  $\Gamma(\ell)$  vuelve a la misma posición en la Carta de Smith.

En términos de diseño, esto significa que longitudes de línea que difieren en múltiplos enteros de  $0,5 \lambda$  son equivalentes desde el punto de vista de la adaptación: producen el mismo coeficiente de reflexión local aunque la distribución de tensión y corriente a lo largo de la línea se haya desplazado.

Además del coeficiente de reflexión local, es útil definir la impedancia vista o impedancia de entrada en un punto de la línea,  $Z_{in}(\ell)$ . Esta impedancia se define como el cociente entre la tensión y la corriente de la onda total en ese punto, observando la línea hacia la carga. Utilizando la definición general de coeficiente de reflexión en función de la impedancia local,

$$\Gamma(\ell) = [Z_{in}(\ell) - Z_0] / [Z_{in}(\ell) + Z_0]$$

se puede despejar  $Z_{in}(\ell)$  en función de  $\Gamma(\ell)$ :

$$Z_{in}(\ell) = Z_0 \cdot [1 + \Gamma(\ell)] / [1 - \Gamma(\ell)]$$

Esta expresión es válida para cualquier punto de la línea (siempre que  $Z_0$  sea real y la línea se considere sin pérdidas). En particular, para  $\ell = 0$  se tiene  $Z_{in}(0) = Z^L$ , y a medida que  $\ell$  aumenta o disminuye, el punto correspondiente a  $Z_{in}(\ell)$  recorre la Carta de Smith siguiendo el círculo de  $|\Gamma|$  constante, alternando regiones inductivas (semiplano superior) y capacitivas (semiplano inferior).

El script en Python asociado a esta guía implementa de forma explícita estas relaciones. El programa solicita al usuario una lista de longitudes eléctricas  $\ell$  (en múltiplos de  $\lambda$ ), calcula para cada una:

- El coeficiente de reflexión local  $\Gamma(\ell)$  mediante la relación  $\Gamma(\ell) = \Gamma^L \cdot e^{j(-j \cdot 4\pi\ell)}$ .
- El coeficiente de transmisión de tensión  $T(\ell) = 1 + \Gamma(\ell)$ .
- La impedancia vista  $Z_{in}(\ell)$  usando  $Z_{in}(\ell) = Z_0 \cdot (1 + \Gamma(\ell)) / (1 - \Gamma(\ell))$ .

y representa cada uno de estos puntos sobre la Carta de Smith mediante marcadores cuadrados de color púrpura. En el cuadro emergente (hover) se muestran para cada  $\ell$  el valor equivalente de longitud dentro de un intervalo de una semilongitud de onda (debido a la periodicidad cada  $0,5 \lambda$ ), la fase de  $\Gamma(\ell)$  y la impedancia vista  $Z_{in}(\ell)$  expresada como  $R_{in}(\ell) + j X$

### 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  $\Gamma$ . Sobre la carta se dibujan:

- Círculos de resistencia constante ( $r$  constante), centrados sobre el eje real.

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

- 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  $\Gamma$ . 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.

El script en Python asociado a esta guía genera una Carta de Smith normalizada completa, marca la posición de  $\Gamma^L$  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  $\Gamma$ , 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.

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

- (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:
  - 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.

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

### 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:

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

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

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**:

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

### Caso B – Carga compleja inductiva

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

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

Proceda de forma análoga al Caso A:

1. Calcule  $Z'_L = \frac{Z_L}{Z_0}$
  2. Obtenga  $\Gamma_L = \frac{(Z_L - Z_0)}{(Z_L + Z_0)}$
- Expresé:
- $Z_L = a + jb$
  - $|\Gamma|$  y  $\theta$  (en grados).
3. Calcule S, RL(dB),  $|\Gamma|^2$  y  $P_t / P_i$ .
  4. Localice  $z^N$  en la Carta de Smith impresa, determine gráficamente la ROE y compare.
  5. 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 capacitativa

- 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  $\Gamma$  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  $\Gamma_L$  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**:

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

- $z_0 = 50\Omega$
- $z_L = 25 + j0\Omega$

Observe y registre:

- Coordenadas de  $\Gamma^L$  ( $\text{Re}\{\Gamma\}$ ,  $\text{Im}\{\Gamma\}$ ).
- 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  $\Gamma^L$ , 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.

3. 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  $\Gamma$  respecto al Caso B. (Ambas Ilustraciones deben ser capturas de pantalla tomadas por el estudiante al ejecutar los Casos B y C, respectivamente.)

4. (Opcional, si el docente lo requiere) Utilice la opción de desplazamiento a lo largo de la línea (parámetros de longitud normalizada  $\ell$  en el script) para:

- Introducir, cuando el programa lo solicite en consola, varios valores de longitud eléctrica  $\ell$  (por ejemplo,  $\ell = 0, 0,10, 0,25, -0,10$ , etc.), entendidos como múltiplos de la longitud de onda  $\lambda$  ( $\ell$  en  $\lambda$ ), donde  $\ell > 0$  indica desplazamiento hacia el generador y  $\ell < 0$  hacia la carga.
- Para cada valor de  $\ell$  ingresado, localizar en la Carta de Smith el marcador cuadrado púrpura correspondiente a  $\Gamma(\ell)$  y, al pasar el cursor sobre él, leer en el cuadro emergente los valores de  $\angle\Gamma(\ell)$ ,  $Z_{in}(\ell) = R_{in}(\ell) + j X_{in}(\ell)$  y la longitud equivalente dentro de una semilongitud de onda.

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

- Registrar en una tabla (para incluirla en el informe) las columnas:  $\ell [\lambda]$ ,  $\angle \Gamma(\ell) [^\circ]$ ,  $Z_{in}(\ell) [\Omega]$ ,  $R_{in}(\ell) [\Omega]$ ,  $X_{in}(\ell) [\Omega]$ . Comentar cómo varía la impedancia vista  $Z_{in}(\ell)$  al moverse hacia el generador o hacia la carga y cómo se alternan regiones inductivas y capacitivas.
- Verificar experimentalmente la periodicidad de  $\Gamma(\ell)$ : comprobar que longitudes que difieren en múltiplos de  $0,5 \lambda$  conducen al mismo punto de  $\Gamma$  sobre la Carta de Smith. El script muestra para cada  $\ell$  tanto la longitud original como la longitud equivalente dentro de una semilongitud de onda y el número de semilongitudes ( $0,5 \lambda$ ) eliminadas.
- Analizar cómo la posición de máximos y mínimos de tensión y corriente se relaciona con los valores de  $Z_{in}(\ell)$  y con el movimiento del punto  $\Gamma(\ell)$  sobre el círculo de  $|\Gamma|$  constante.

**Ilustración 5 (opcional)** Ejemplo de rotación de  $\Gamma$  sobre el círculo de  $|\Gamma|$  constante al introducir un desplazamiento  $\ell$  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  $\Gamma$  se ha movido angularmente.)

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  $\Gamma^L$ .
  - 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 Ilustraciones numeradas (Ilustración 2, Ilustración 3, Ilustración 4, etc.), con sus respectivos pies de Ilustración.

## Actividad 4 – Discusión y análisis

En el informe, responda y discuta:

En el informe, apoyándose en las **tablas de comparación** y en las **Ilustraciones 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 Ilustración 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 (Ilustraciones 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 Ilustraciones).

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

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:
  - o Qué es el coeficiente de reflexión  $\Gamma$  y cómo se relaciona con  $Z_0$  y  $Z^L$ .
  - o Cómo se define la ROE y su relación con  $|\Gamma|$ .
  - o Qué son la pérdida de retorno, el coeficiente de reflexión de potencia y la pérdida por desajuste.
  - o Cómo la Carta de Smith permite visualizar estos conceptos.
4. **Desarrollo experimental**, incluyendo obligatoriamente:
  - o Cuentas manuales detalladas para los Casos A, B y C ( $Z'_L$ ,  $\Gamma$ ,  $|\Gamma|$ ,  $\theta$ , S, RL,  $|\Gamma|^2$ ,  $P_t/P_i$ ).
  - o Tablas de comparación entre resultados manuales, lectura gráfica en la Carta de Smith impresa y resultados del script en Python.
  - o **Ilustraciones de salida del script en Python:**
    - **Ilustración 1.** Ejemplo general de la interfaz del script de la Carta de Smith (pantalla completa, con Carta, regletas y hover).
    - **Ilustración 2.** Carta de Smith para el Caso A ( $Z_0 = 50 \Omega$ ,  $Z^L = 25 \Omega$ ).
    - **Ilustración 3.** Carta de Smith para el Caso B ( $Z_0 = 50 \Omega$ ,  $Z^L = 100 + j50 \Omega$ ).
    - **Ilustración 4.** Carta de Smith para el Caso C ( $Z_0 = 50 \Omega$ ,  $Z^L = 25 - j75 \Omega$ ).
    - **Ilustración 5 (opcional).** Ejemplo de desplazamiento a lo largo de la línea ( $\Gamma$  rotando sobre el círculo de  $|\Gamma|$  constante para un  $\ell \neq 0$ ).

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

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

5. **Análisis de resultados**, donde el estudiante discuta:
  - o La coherencia entre las tres fuentes de información (cálculo manual, carta impresa, script de Python).
  - o El impacto de la desadaptación en términos de potencia reflejada y transmitida.
  - o La utilidad práctica de ROE y RL en el contexto de cables y antenas.
  - o Referencias explícitas a las Ilustraciones: por ejemplo, “como se observa en la Ilustración 3, el punto  $\Gamma$  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.).

Código	FGL 029
Versión	03
Fecha	18-07-2023

## 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](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](https://www.rohde-schwarz.com/.../vector-network-analyzer-fundamentals_258354.html) [rohde-schwarz.de+rohde-schwarz.com+2](https://www.rohde-schwarz.de+rohde-schwarz.com+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](https://cdn.rohde-schwarz.com/.../IoT-design-guide_eGuide_en_3683-3959-92_v0100.pdf) [cdn.rohde-schwarz.com.cn+1](https://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](http://w2zk.com)

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

---