

Software Libre para Solución de Líneas de Transmisión

Pérez Merlos, J.C.; Salgado Gallegos, M.; Albarrán Trujillo, S.E.

Información del Artículo	Resumen
Recibido: 22 de septiembre, 2025 Aceptado: 20 de noviembre, 2025	
Palabras clave: Línea de transmisión, software libre, Carta de Smith, ROE, coeficiente de reflexión	La carta de Smith es una herramienta gráfica útil que permite dar solución a circuitos de alta frecuencia y líneas de transmisión evitando complejos cálculos usando regla y compás. Hoy en día, existen apoyos tecnológicos de software para facilitar el desarrollo de soluciones de esta área de microondas, muchos de estos tienen costo pero otros son libres e incluso en línea. En este trabajo se muestra el uso del software libre SmithChart para dar solución a un problema de línea de transmisión, también se realizan los cálculos en forma analítica, los resultados muestran que con pocos movimientos en el software se obtienen resultados similares a los calculados analíticamente.

1. Introducción

La carta de Smith es una herramienta para el análisis de las líneas de transmisión en cualquier circuito de microondas. La carta es una representación, en el plano del coeficiente de reflexión, de la resistencia y reactancia normalizadas que permite obtener diversos parámetros que caracterizan las líneas de transmisión, así como resolver problemas de adaptación de impedancias de forma gráfica, sin necesidad de recurrir al cálculo complejo [1]. Es una herramienta gráfica ampliamente utilizada en telecomunicaciones, especialmente en las áreas del conocimiento de diseño de circuitos de comunicaciones, líneas de transmisión, ingeniería de antenas y microondas, inventada en la década de los 30's del siglo pasado, desarrollada casi simultáneamente por Mizuhashi Tosaku (1937) y Phillip Hagar Smith (1939) [2].

Zozaya (2018), comenta que esta carta permite el cálculo gráfico de numerosos parámetros técnicos de interés cuyo cálculo analítico comprende operaciones tediosas con números complejos que, si bien en la primera mitad del siglo pasado eran difíciles de llevar a cabo, hoy día con la enorme capacidad de cómputo de cualquier PC o teléfono inteligente, mantiene una importante vigencia formando parte sustancial del currículo de Ingeniería en Telecomunicaciones en todo el mundo [2].

La carta de Smith (ver Figura 1), se usa para calcular impedancias de entrada, ROE, coeficientes de reflexión y otros datos sólo con una regla y un compás, sin usar funciones trigonométricas o hiperbólicas, lo que facilita los cálculos. Aunque se han deducido sus ecuaciones para líneas sin pérdidas (Z_0 real), es posible extender su uso a líneas con bajas pérdidas [3].

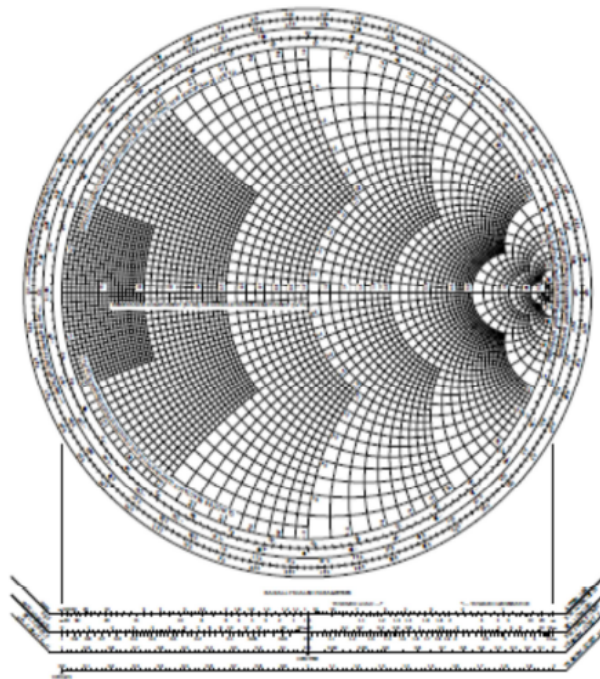


Figura 1: Gráfica o carta de Smith. Fuente: [3].

En el estudio de la transmisión de ondas, las estructuras a través de la cuales se propaga la señal desde el generador hasta un punto de destino (o carga) se denominan líneas de transmisión. En este contexto, para el diseño de circuitos resulta interesante conocer la oposición que presentan los distintos tipos de líneas al paso de las ondas que se pretende estudiar; la medida de esta oposición es conocida como impedancia [1].

De acuerdo con Giraldo (2014), mencionado por Acuña (2018), indica que las líneas de transmisión son medios materiales uniformes diseñados, construidos y empleados para transportar señales eléctricas tal que se garanticen niveles de atenuación, distorsión y respuesta en frecuencia adecuados para los niveles de potencia, alcance y espectro de frecuencia de las señales conducidas. Para el caso de señales inalámbricas, el medio de transmisión es la atmósfera y el vacío, los cuales, no pueden ser modificados y, por eso, las señales a transmitirse por esos medios se acondicionan a sus características [4].

En la Figura 2, se muestra el modelo eléctrico de una línea de transmisión la cual consiste de una resistencia modelando las pérdidas por calor, una inductancia en serie debido a los conductores y un capacitor en paralelo con una conductancia modelando las pérdidas del dieléctrico entre conductores.

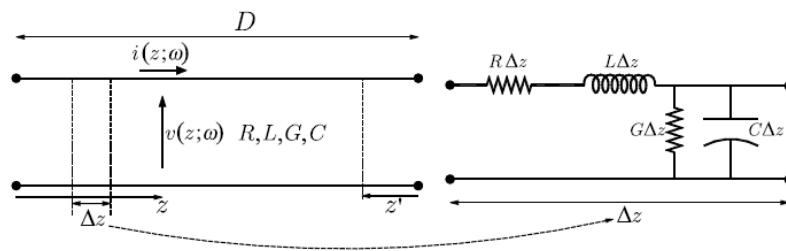


Figura 2: Modelo eléctrico de una línea de transmisión. Fuente: [5].

De acuerdo con Caspers (2012), la carta de Smith es una herramienta muy valiosa e importante que facilita la interpretación de las mediciones de los parámetros S . En su trabajo ofrece una breve descripción general del por qué y, aún más importante, del cómo usarla. Muestra las amplias posibilidades de uso de la carta en diversas aplicaciones de alta frecuencia [6].

Pieper y Dellsperger (2001), comentan que una ventaja reconocida del uso de la carta de Smith es que evita el uso de álgebra compleja para resolver problemas de transmisión. En su trabajo combinan la potencia de la PC con su estética visual, velocidad y precisión para familiarizar a los estudiantes con el uso de la calculadora gráfica de líneas de transmisión de A. Smith. Enfatizan que la versión demo del programa carta de Smith para PC, disponible en internet, está limitada a menos de 6 puntos de datos. A pesar de sus limitaciones para la resolución de problemas de diseño extensos, la versión demo proporciona una excelente herramienta para la instrucción de nivel introductorio de la carta de Smith [7].

Las ecuaciones de Maxwell relacionan los campos eléctricos y magnéticos con las cargas y corrientes que los crean. La solución general de las ecuaciones, en el caso variable en el tiempo, es en forma de ondas que pueden estar ligadas a una estructura, como es el caso de una línea de transmisión o guía de ondas, o bien libre en el espacio como ocurre con las producidas por las antenas. Toda onda se caracteriza por su frecuencia y su longitud de onda, ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio que habitualmente en antenas tiene propiedades del vacío [8].

En otro orden de ideas, Albiter et al. (2019), enfatiza que el sistema educativo se ha visto afectado o impactado como consecuencia de la explosión tecnológica de la informática, con un nuevo enfoque de enseñanza denominado Pensamiento Computacional (PC en lo sucesivo), como consecuencia de lo anterior, dentro de la educación superior el uso de los diferentes paquetes informáticos es demasiado múltiple, dentro de este contexto se encuentra el software de simulación el cual se ha ido integrando en la última década como parte de las didácticas de la enseñanza educativa [9].

Pareja Aparicio citado por Albiter (2019), comenta que la simulación sirve como punto intermedio entre los conceptos teóricos y la realidad. Cuanto mejor sea la expresión que defina a la realidad, mejores serán los resultados, porque serán más reales y, a su vez, puede reducir los costos de fabricación, facilitando las tareas de diseño [9].

Asimismo, Rodríguez (2014), opina que utilizar una herramienta de software libre implica ejecutarlo, distribuirlo, estudiarlo, modificarlo y mejorarlo sin restricciones. Su utilización a escala mundial aumenta cada día y el potencial de beneficio que representa para el sector

educativo y de investigación es considerable. Por un lado, reduce los costos para las instituciones académicas; y por otro, les permite a los estudiantes fomentar su curiosidad científica fuera del aula [10].

Añade también, que varios son los motivos que dan importancia a la utilización de software libre en la educación. Por un lado, la significativa reducción de costos para las instituciones educativas y, por otro, la posibilidad que adquiere el estudiante de profundizar su conocimiento hasta donde su curiosidad lo lleve. Lo anterior cobra sentido si se tiene en cuenta que, en el transcurso de su formación, un estudiante de ingeniería debe desarrollar actividades como laboratorios y prácticas que requieren el uso de software para el análisis y la simulación de datos, pero si dicho software es de pago, sólo puede ser utilizado en la institución educativa, lo que limita el tiempo de uso. En cambio, si el software es libre, el estudiante puede seguir trabajando indefinidamente fuera de la institución, lo que fortalece la construcción de su conocimiento [10].

Herrera (2013), hizo una revisión de software libre y dice que éste está orientado a determinados grupos de usuarios, sobre los que se exige un conocimiento mínimo del entorno informático donde se usa determinada herramienta de software, su orientación es innovadora, es decir, prima el entender cómo funciona y sus posibles usos, sobre la practicidad o facilidad de uso que determinada herramienta tenga [11].

Zamanillo et al. (2012), muestra en su trabajo el desarrollo de una herramienta educativa gratuita para el diseño de filtros de microondas. El software, denominado FILMAT 2.0, se basa en un programa previo desarrollado para el diseño de filtros de elementos concentrados y el cual fue desarrollado en MATLAB. Se generó una aplicación independiente, lo que permitió que el software funcione sin necesidad de una licencia de MATLAB, simplemente con un entorno de ejecución gratuito. Los resultados son comparables en calidad a los de los simuladores comerciales. La aplicación fue desarrollada bajo la filosofía de "amigable con el usuario", es fácil de usar y puede ser utilizada por usuarios de cualquier nivel [12].

Liu et al. (2017), mencionan que en las últimas décadas los trabajos de investigación relacionados a las antenas y dispositivos de alta frecuencia, han contribuido al desarrollo de software comercial como herramientas para el diseño de las propias antenas como: CTS Studio, Ansoft HFSS, ADS-Momentum, Altair-Feko, Sonnet Suits, etc.. Estos softwares proporcionan métodos de optimización local (método quasi-Newton, método de programación cuadrática secuencial) y global (algoritmos genéticos y método de grupo de hormigas PSO) sobre un diseño específico. Su trabajo muestra un diseño de antena de microcinta haciendo uso de las facilidades del software "Antenna Design Explorer (ADE)" [13].

Georgescu et al. (2025), comentan una metodología integral y eficaz para la adaptación de impedancia en circuitos analógicos, combinando cálculos analíticos, información gráfica mediante el diagrama de Smith y automatización asistida por computadora con MATLAB. La herramienta desarrollada, basada en MATLAB, genera eficientemente múltiples soluciones de adaptación de impedancia equivalente, simplificando significativamente el proceso de diseño y permitiendo una rápida evaluación y creación de prototipos para ingenieros de RF y microondas [14].

Badii y Oloomi (1998), presentan una aplicación de líneas de transmisión (TLA) MATLAB Toolbox capaz de resolver problemas de emparejamiento o acoplamiento de ramales simples y dobles en líneas de transmisión mediante el método gráfico del diagrama de Smith. El pa-

quete gestiona tanto los casos de ramales cortos como los de ramales abiertos y proporciona una solución analítica y gráfica. Para cada uno de los problemas mencionados, el software genera el diagrama de Smith correspondiente y un resumen de los resultados finales [15].

De acuerdo con Zuniga (2014), MMANA-GAL es un programa para diseñar y analizar antenas. Es gratuito y fue escrito por Alexandr Schewelev, Igor oncharenko y Makoto Mori. La versión pro es el programa GAL-ANA. El nombre MMANA-GAL viene de abreviaciones del nombre de sus tres programadores: MM por Makoto Mori, G por Goncharenko, y AL por Alexandr [3].

Se puede decir, que cada vez se está utilizando más software para circuitos de microondas o alta frecuencia, estos son costosos comúnmente, pero también hay software libre que permite realizar soluciones de líneas de transmisión o para los diseños de antenas como es el caso de SmithChart o MMana-Gal respectivamente etc. Pero comúnmente la información es compleja y las ayudas muy limitadas, en este trabajo se presenta el software libre SmithChart para la solución de problemas con líneas de transmisión.

2. Metodología

Para el desarrollo de la solución del problema de líneas de transmisión, se siguió la siguiente metodología:

- Investigación documental
- Selección del problema a resolver
- Manejo del software SmithChart
- Solución del problema de manera analítica
- Solución del problema con el software SmithChart
- Pruebas y análisis de resultados
- Conclusiones

3. Desarrollo

Descripción de la carta de Smith

La carta de Smith es un gráfico compuesto por círculos denominados círculos de resistencia constante, indicados en la Figura 3, señalados por el número 4, en el centro con el número 1 (1,0) representa la impedancia característica de una línea de transmisión que puede ser de 50, 75 o 100 Ohms comúnmente; la parte extrema izquierda número 2, representa un corto circuito; al otro extremo el número 3, representa un circuito abierto en una línea de transmisión.

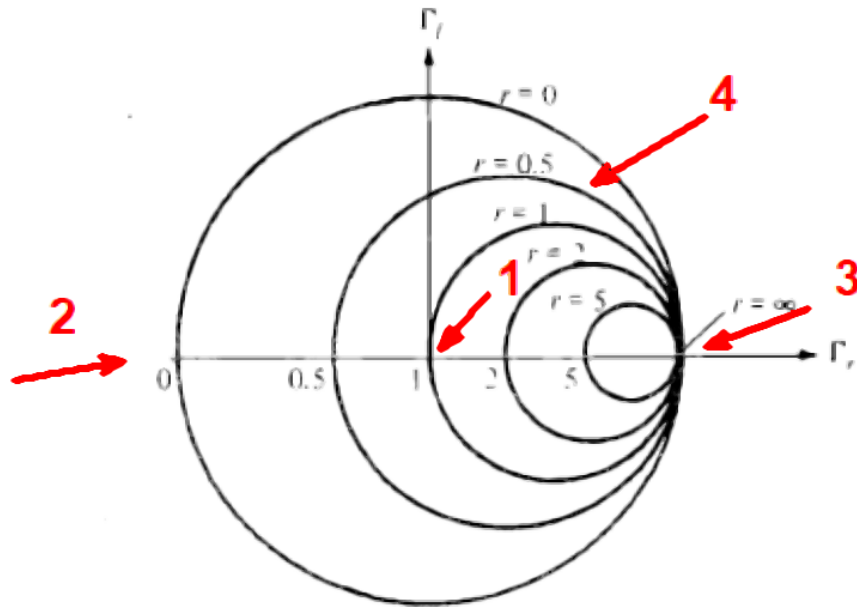


Figura 3: Carta de Smith círculo de resistencia constante. Fuente: [16].

Otros círculos que también contiene, son los llamados círculos de reactancia constante, representados en la Figura 4, haciendo referencia con el número 1 a las reactancias inductivas y con el número 2 a las reactancias capacitivas.

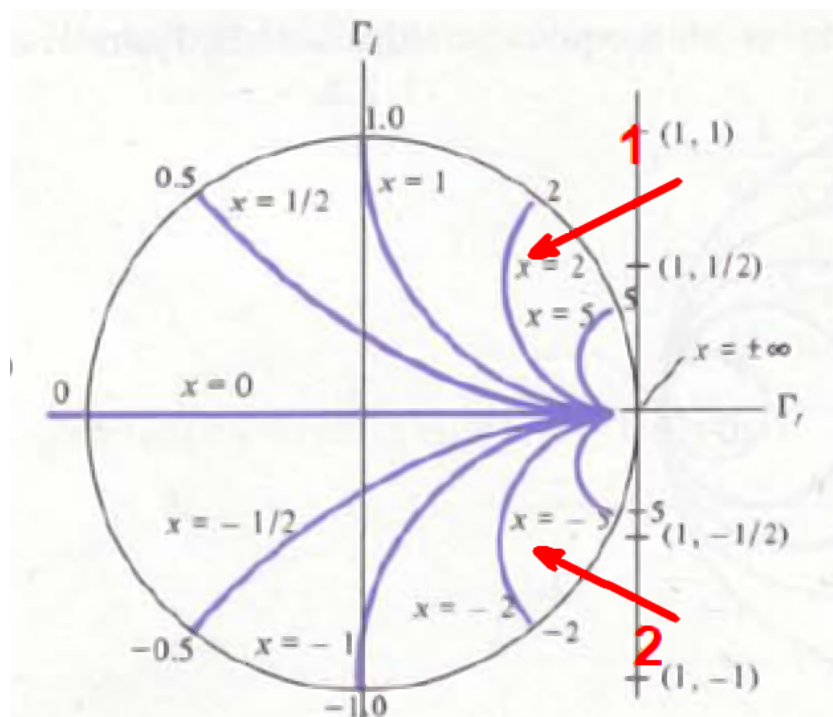


Figura 4: Carta de Smith círculo de resistencia constante. Fuente: [16].

Es decir, esta carta representa un esquema de números complejos tanto de manera rectangular como polar, y permite ver los estados de una línea de transmisión de manera abstracta

como se muestra en la Figura 5, siendo el número 1 la impedancia característica de la línea y el número 2 la impedancia de carga, cuando $Z_0 = Z_L$ se estaría en un punto en el centro de la carta, si $Z_0 \neq Z_L$ se estaría en cualquier punto dentro de la carta, si Z_L es un corto se estaría en el extremo izquierdo de la carta en el número 2 del círculo de la Figura 3, pero si Z_L es infinita o abierta se estaría en el punto 3 también de la Figura 3.

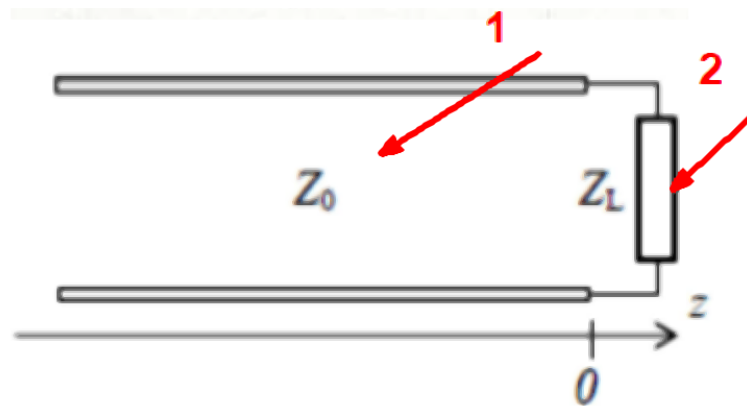


Figura 5: Línea de transmisión genérica que omite los parámetros de resistencias, bobinas, capacitancias y conductancias. Fuente: [3].

A esta función de la carta se denomina carta de Smith de impedancias, pero también tiene la contraparte que son círculos de admitancia que ayudan para cuando existen elementos en paralelo, y es más fácil trabajar en el sistema de admitancias.

Software SmithChart

El software SmithChart es libre, facilita el proceso de solución de problemas con el uso de la carta de Smith, presenta una pantalla inicial como se indica en la Figura 6, es la interfaz de usuario donde se ingresan datos y se reciben los resultados en el diagrama de Smith mostrado en la parte derecha. La ayuda que tiene es escasa, pero aún así es una herramienta muy útil.

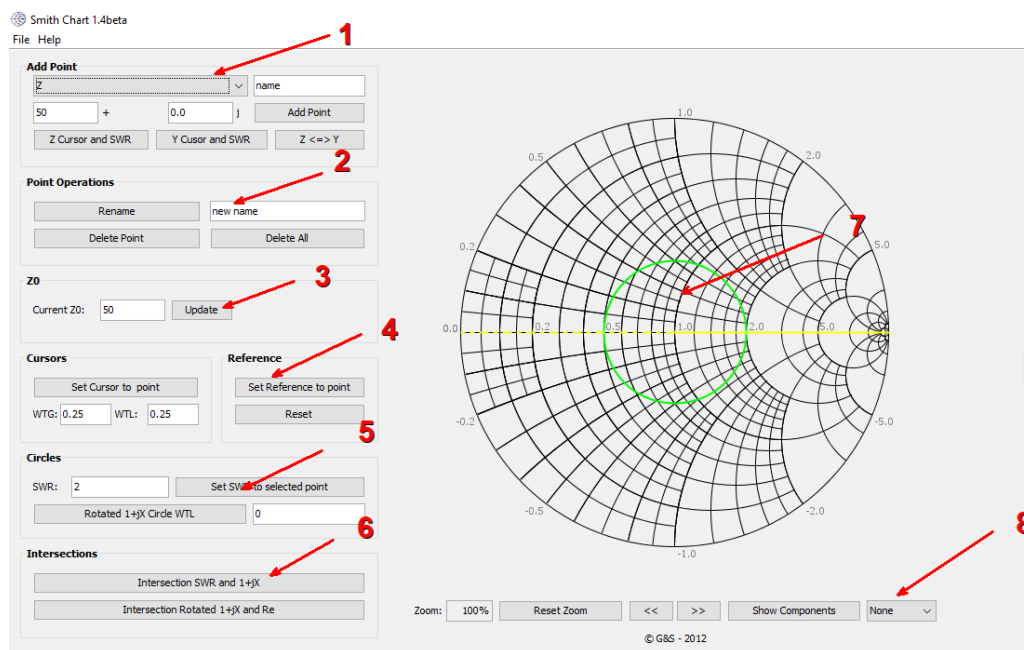


Figura 6: Pantalla de inicio del software SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

En el indicador 1, se pueden ingresar los datos de varios parámetros como la impedancia de carga, o la admitancia y pueden ser normalizados o no; en el número 2, se muestran botones para editar o borrar datos del gráfico; el número 3, es uno de los más importantes para indicar la impedancia característica de la línea, ya que con este referente se hacen todos los cálculos; el indicador 4, permite colocar el cursor en un punto para ser una referencia; con el número 5, se realiza el círculo de la relación de onda estacionaria ROE; el número 6, permite colocar los círculos unitarios de impedancia y admitancia para cálculos de acoplamiento; el número 7, es el gráfico de Smith donde se muestran los resultados y, finalmente, el número 8 permite la selección de viajar hacia el generador desde la carga o desde la carga hacia el generador en una línea de transmisión.

4. Pruebas y resultados

Matthew y Sadiku (2003) proponen la solución del problema de manera analítica y en la carta de Smith tradicional, en esta propuesta se desarrolla la solución al problema usando el software SmithChart, el problema planteado es: Una carga de valor $100 + j150$ Ohms, está conectada a una línea de transmisión sin pérdidas de 75 Ohms encuentre [16]:

- Coeficiente de reflexión Γ
- La ROE
- La admitancia de la carga Y_L
- La impedancia de entrada a $0,4\lambda$ de la carga

- e) Las localizaciones de $V_{\max}$ y $V_{\min}$ con respecto a la carga, si la línea es de $0,6\lambda$ de longitud
- f) La impedancia de entrada Z_{ent} en el generador

Solución:

Paso 1. Normalizar la impedancia de carga Z_L , esto se hace de manera analítica dividiendo el valor de la impedancia de carga entre la impedancia característica de la línea, como se indica en la Ec. (1).

$$Z_{LN} = \frac{Z_L}{Z_0} \quad (1)$$

$$Z_{LN} = \frac{100 + j150}{75} = 1,33 + j2$$

Paso 2. Localizar en el diagrama de Smith la impedancia de carga normalizada Z_{LN}

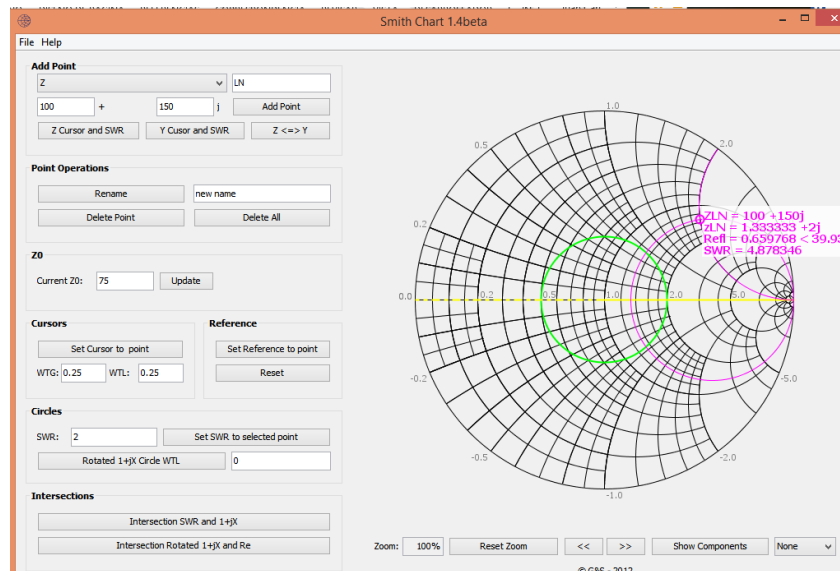


Figura 7: Localización de la impedancia de carga en el software SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7, se muestran los resultados: la impedancia de carga normalizada que coincide con lo calculado en la Ec. (1), además de la relación de onda estacionaria ROE (Voltaje Standing Wave Ratio, VSWR) y el coeficiente de reflexión, esto de manera inmediata.

Paso 3. Para calcular el coeficiente de reflexión se utiliza la Ec. (2), que relaciona la impedancia de carga y la impedancia característica, este resultado es similar al del software:

$$|\rho| = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2)$$

$$|\rho| = \frac{100 + j150 - 75}{100 + j150 + 75} = 0,659 \angle 40^\circ$$

Paso 4. La ROE, se puede calcular partir del coeficiente de reflexión como se indica en la Ec. (3).

$$ROE = S = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (3)$$

$$ROE = \frac{1 + 0,659}{1 - 0,659} = 4,865$$

Los resultados analíticos concuerdan con los datos gráficos del software, como se indica en la Figura 8.

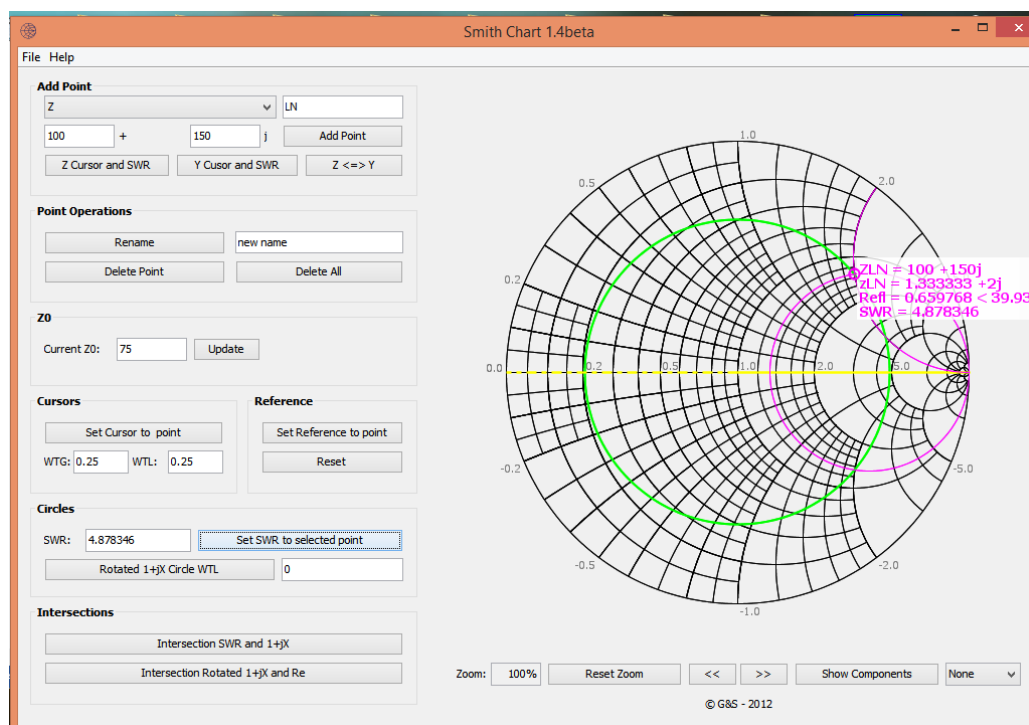


Figura 8: Localización del coeficiente de reflexión y la ROE en el software SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

Paso 5. Para obtener la admitancia de carga Y_L , en la carta de Smith se prolonga una línea desde la impedancia de carga Z_{LN} que pasa por el centro hasta el lado opuesto del círculo de coeficiente de reflexión constante, se debe seleccionar el círculo de resistencia y de reactancia que se crucen con el círculo del coeficiente de reflexión. En el software, hay que colocar el punto de impedancia de carga y presionar un botón para calcular la admitancia de carga (ver Figura 9) y el resultado se muestra en la Figura 10.

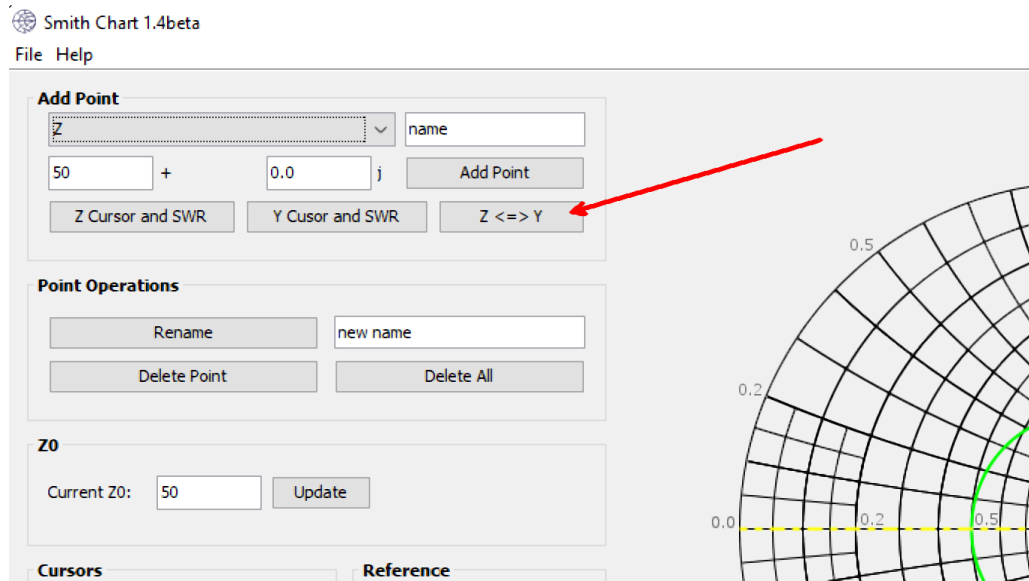


Figura 9: Localización del coeficiente de reflexión y la ROE en el software SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

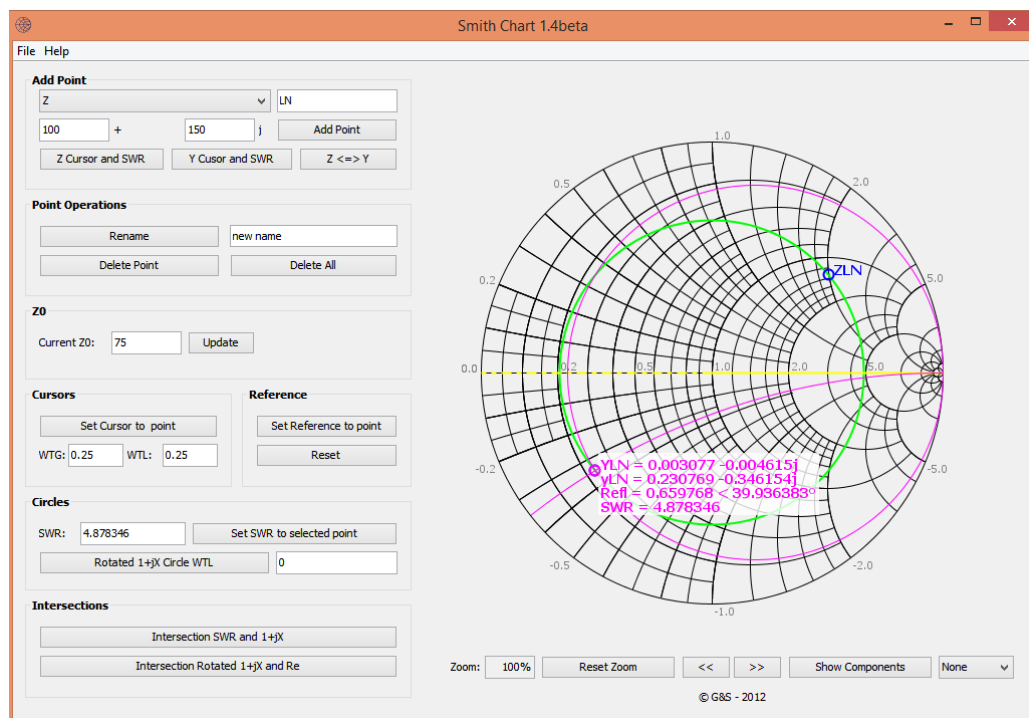


Figura 10: Localización de la admitancia de carga normalizada y des-normalizada en el software SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

El resultado muestra un valor de admitancia de carga normalizada (en Mhos o Siemens) y des-normalizada de:

$$Y_{LN} = 0,2307 - j0,3461$$

$$Y_L = 0,003077 - j0,004615$$

Este valor está normalizado a la impedancia característica de la línea del problema, que es de 75 Ohms, para des-normalizar se puede hacer con la Ec. (4), para encontrar los valores reales.

$$Y_L = Y_0 Y_{Ln} \quad (4)$$

Y considerar que la admitancia de carga es el inverso de la impedancia como se indica en la Ec. (5).

$$Y_0 = \frac{1}{Z_L} \quad (5)$$

Calculando de manera analítica y aplicando la Ec. (5) el resultado es:

$$Y_L = \frac{1}{75}(0,228 - j0,35) = 0,00304 - j0,00467 \text{ Mhos}$$

O de otra manera se puede utilizar la Ec. (6).

$$Y_L = \frac{1}{Z_L} \quad (6)$$

$$Y_L = \frac{1}{100 + j150} = 0,00304 - j0,00467 \text{ Mhos}$$

Que coincide con los datos obtenidos en el software.

Paso 6. Para obtener la impedancia de entrada, si la línea es de $0,4\lambda$ desde la carga, se procede de la siguiente forma. Se sabe que una vuelta en la carta de Smith corresponde a 360° y es igual a $0,5\lambda$, y 1λ es igual a 720° con esto como referencia se puede decir que:

$$0,4\lambda = 0,4 \times 720 = 288^\circ$$

Por lo que, en la carta de Smith, a partir del punto de impedancia de carga normalizada Z_{LN} se gira hacia el generador 288° en el sentido de las manecillas del reloj, sobre el círculo de coeficiente de reflexión constante hasta el punto de cruce (ver Figura 11), ahí se lee la impedancia de entrada normalizada Z_{entN} .

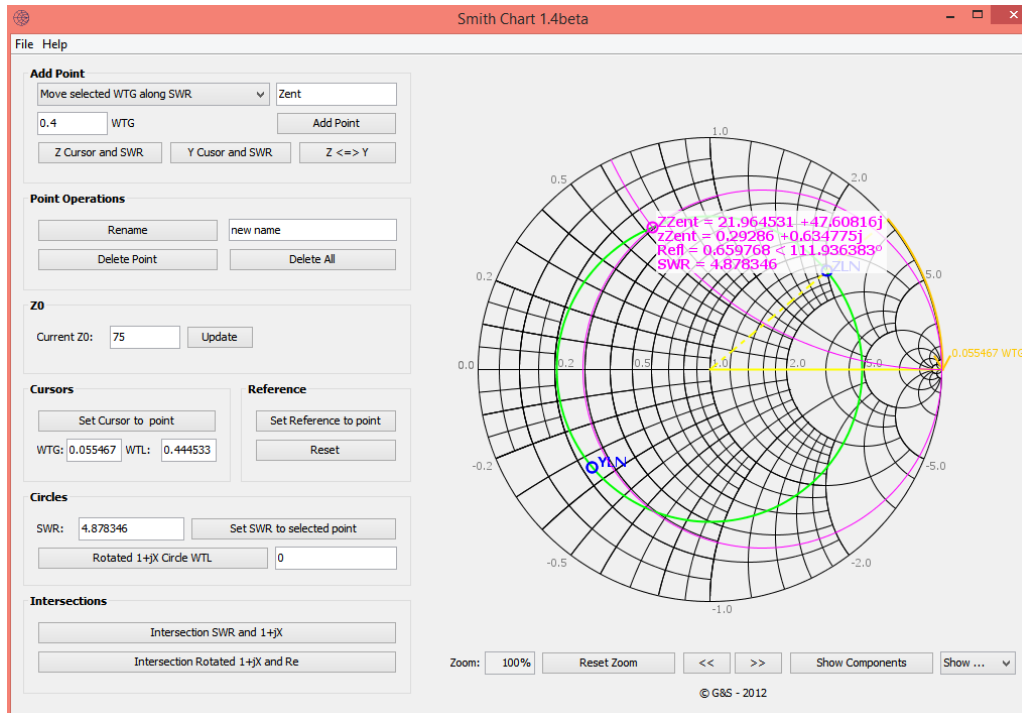


Figura 11: Localización de la impedancia de entrada normalizada y des-normalizada para una distancia de $0,4\lambda$ en SmithChart. Fuente: Elaboración propia

El software proporciona el resultado tanto normalizado como des-normalizado de la impedancia de entrada, en este caso, la impedancia de entrada normalizada es:

$$Z_{entN} = 0,29286 + j0,6347 \text{ Ohms}$$

Si se desea des-normalizar la impedancia de entrada se puede aplicar la Ec. (7).

$$Z_{ent} = Z_0 Z_{entN} \quad (7)$$

$$Z_{ent} = 75(0,29 + j0,63) = 21,75 + j47,25 \text{ Ohms}$$

Que coincide con los datos del software SmithChart.

Analíticamente se puede calcular la impedancia de entrada con una fórmula que incluye una tangente hiperbólica como se muestra en la Ec. (8), aquí es donde el software ahorra este tipo de cálculos y gama que se describe en la Ec. (9).

$$Z_{ent} = Z_0 \left[\frac{Z_L + jZ_0 \tanh(\gamma l)}{Z_0 + jZ_L \tanh(\gamma l)} \right] \quad (8)$$

Donde:

γ = constante de propagación y es un número complejo

l = distancia en mts

Z_0 = Impedancia característica de la línea

Z_L = Impedancia de carga

$$\Upsilon = \alpha + j\beta \quad (9)$$

Donde:

α = constante de atenuación

β = constante de fase

Cuando la línea es sin pérdidas, se puede aplicar, la fórmula de la Ec. (10) donde la tangente se aproxima a la tangente hiperbólica y como no hay pérdidas el factor α se hace cero:

$$Z_{ent} = Z_0 \left[\frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \right] \quad (10)$$

A la relación βl se le conoce como la longitud eléctrica y se expresa en grados eléctricos (que son la mitad de los grados geométricos que se toman en cuenta en la carta de Smith) o radianes. Aplicando la Ec. (10) se tiene:

$$Z_{ent} = 75 \left[\frac{100 + j150 + j75 \tan 144^\circ}{75 + j(100 + j150) \tan 144^\circ} \right]$$

De forma rectangular el resultado se:

$$Z_{ent} = 21,9 + j47,61 \text{ Ohms}$$

De forma polar el resultado es:

$$Z_{ent} = 54,41 \angle 65,25^\circ$$

Que coincide con lo graficado y obtenido en el software de manera más fácil, la diferencia radica en los decimales que se toman en cuenta.

Paso 7. Para obtener el primer máximo y mínimo de voltaje desde la impedancia de carga normalizada, sobre el círculo de coeficiente de reflexión constante se viaja hacia el generador hasta el primer cruce con el eje los reales, ahí es el primer máximo de voltaje.

$$\text{El primer } V_{max} = \frac{40^\circ}{720^\circ} \lambda = 0,055\lambda$$

El segundo máximo de voltaje es sumando una vuelta a la carta de Smith que equivale a sumar $0,5\lambda$ al valor anterior como se indica a continuación.

$$\text{El segundo } V_{max} \text{ está } = 0,055\lambda + \frac{\lambda}{2} = 0,55\lambda$$

El primer mínimo está $0,25\lambda$ del primer máximo por lo que es igual a:

$$\text{primer } V_{min} = 0,055\lambda + \frac{\lambda}{4} = 0,3055\lambda$$

En el software SmithChart se realiza como sigue:

La carga está a 40° grados del eje de los reales, este valor es igual a $0,055\lambda$ y se integra en los datos del software como indica la Figura 12.

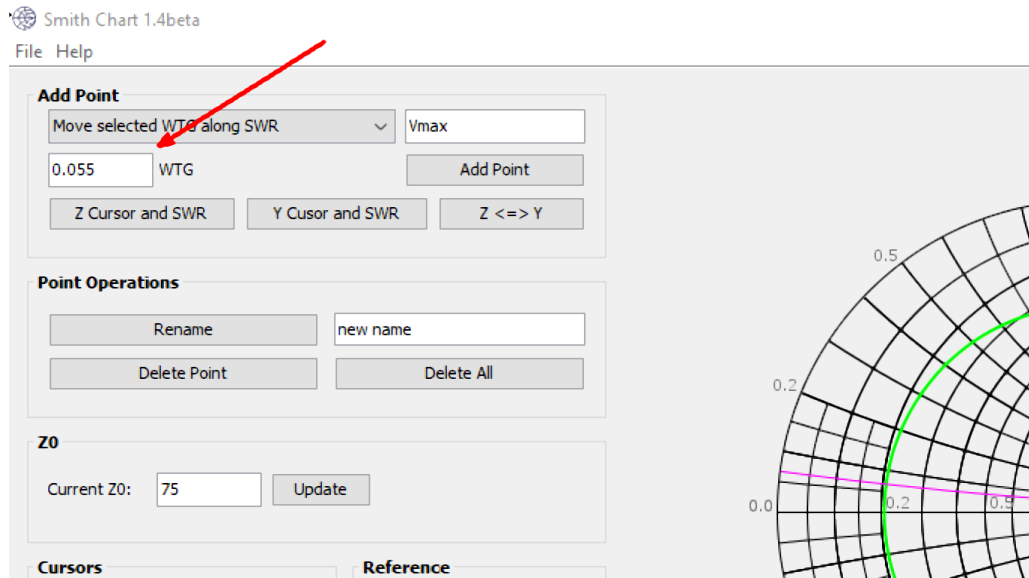


Figura 12: Ingreso del punto a cuarenta grados o $0,055\lambda$ de la carga hacia al generador en SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

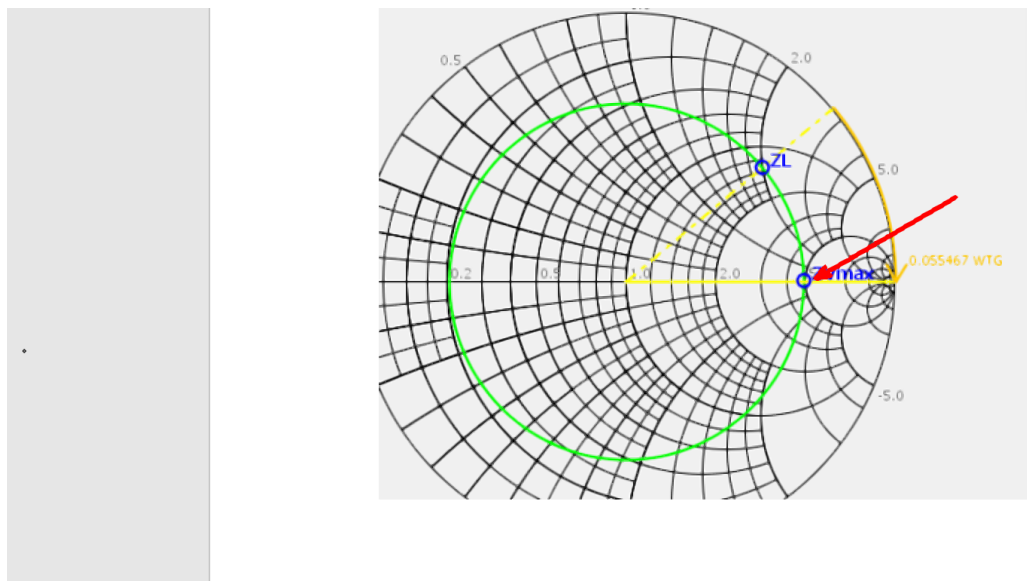


Figura 13: Localización del primer máximo de voltaje en SmithChart. Fuente: Elaboración propia

El resultado de la Figura 13 muestra el primer máximo de voltaje a $0,055\lambda$ de la carga que es el cruce con el eje de los reales.

De la misma forma se ingresa el valor del primer mínimo que está a $0,3055\lambda$ desde la carga, en el software como un punto se ingresa el dato, y se selecciona hacia el generador como se observa en las Figuras 14 y 15.

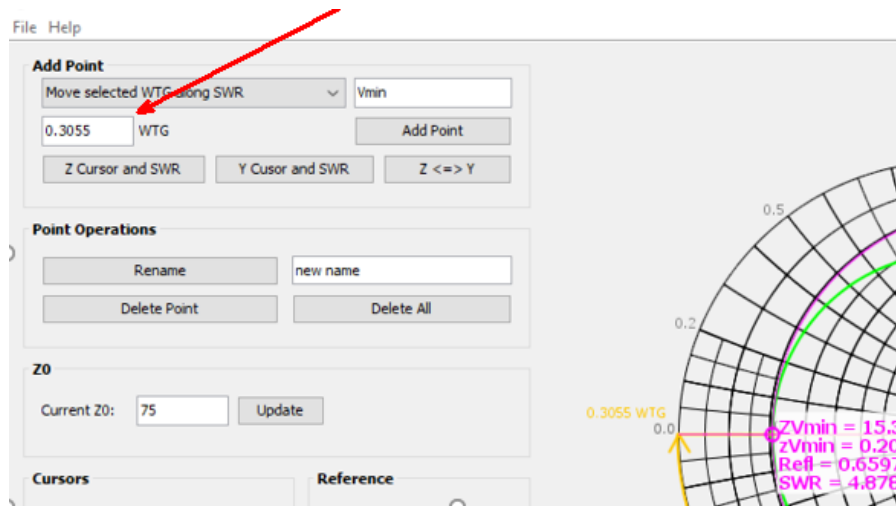


Figura 14: Ingreso del punto $0,3055\lambda$ desde la carga hacia al generador en SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

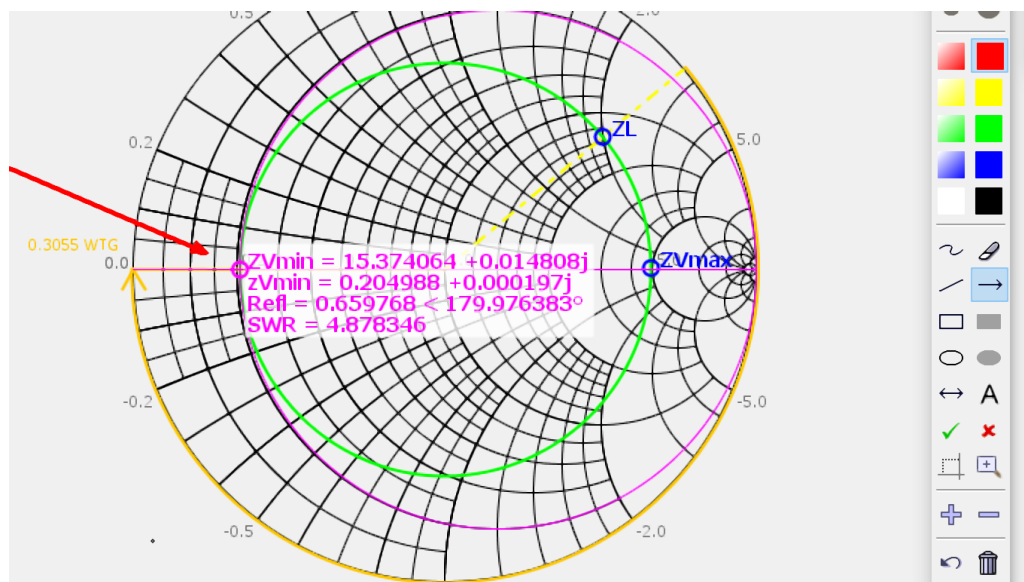


Figura 15: Gráfico de localización del primer mínimo de voltaje en SmithChart. Fuente: Elaboración propia.

Paso 8. Para obtener la impedancia de entrada si la línea es de $0,6\lambda$ desde la carga, se procede de la misma forma que el punto 6; se sabe que una vuelta en la carta de Smith corresponde a 360° y es igual a $0,5\lambda$, y 1λ es igual a 720° con esto como referencia se puede decir que:

$$0,6\lambda = (0,6)720^\circ = 432^\circ = 1 \text{ revolución} + 72^\circ$$

Se parte del punto Z_{LN} y se gira hacia el generador a lo largo del círculo de coeficiente de reflexión constante, hasta avanzar 72° o $0,1\lambda$ hasta encontrar el punto de cruce, ese punto es la impedancia de entrada.

Analíticamente se hace lo siguiente:

$$Z_{entN} = 1,8 - j2,2 \text{ Ohms}$$

Aplicando la Ec. (7).

$$Z_{ent} = 75(1,8 - j2,2) = 135 - j165 \text{ Ohms}$$

Se puede comprobar calculando la distancia eléctrica y observando que los grados utilizados en la Ec. (10) son eléctricos la mitad que los grados geométricos que son 432° :

$$\beta l = \frac{2\pi(0,6\lambda)}{\lambda} = 360^\circ(0,6) = 216^\circ$$

Sustituyendo valores en la Ec. (10) se tiene:

$$Z_{ent} = 75 \left[\frac{100 + j150 + j75 \tan 216^\circ}{75 + j(100 + j150) \tan 216^\circ} \right]$$

$$Z_{ent} = 135 - j165 \text{ Ohms}$$

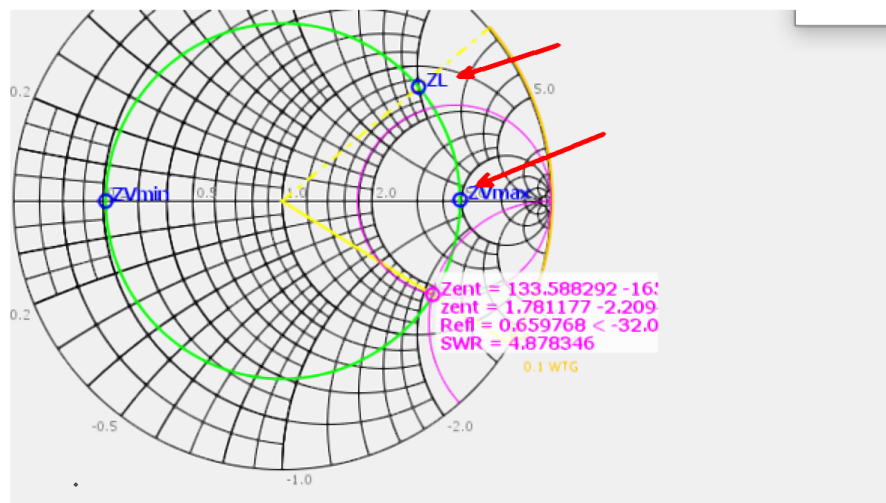


Figura 16: Localización de la impedancia de entrada cuando la línea es de $0,6\lambda$ en SmithChart.
Fuente: Elaboración propia.

$$Z_{entN} = 1,8 - j2,2 \text{ Ohms}$$

$$Z_{ent} = 75(1,8 - j2,2) = 135 - j165 \text{ Ohms}$$

Los resultados de la Figura 16, en el software SmithChart muestran que la impedancia de entrada normalizada es de $1.781177 - j2.209$ y la des-normalizada de $133.588 - j165$ que son más precisos que los calculados analíticamente, por el truncamiento, pero son muy semejantes.

5. Conclusiones

El software libre permite diseñar y simular antenas con líneas de transmisión, o acoplamientos de manera rápida y eficiente.

El software SmithChart facilitó la obtención de resultados sobre el problema de la línea de transmisión, los resultados con los cálculos analíticos son similares.

En el problema resuelto se obtuvo un coeficiente de reflexión de 0.659 y una ROE de 4.865 aunque es un ejemplo didáctico se puede decir que es un mal resultado ya que el coeficiente de reflexión debe tender a 0 y la ROE un valor menor a 2 para considerarse línea acoplada.

Existe software propietario y comúnmente es de un costo elevado, el software libre es una opción para instituciones y jóvenes estudiantes de bajos recursos.

Direcciones de correo de los autores

PÉREZ MERLOS, J.C.: jcjc63@yahoo.com

SALGADO GALLEGOS, M.: msalgadog@uaemex.mx

ALBARRÁN TRUJILLO, S.E.: sealbarrant@uaemex.mx

Referencias

- [1] A. A. Müller, M. J. Pérez-Peñalver y E. Sanabria-Codesal, *MSEL*. 2016.
- [2] A. Zozaya, «Smith Chart ad hoc using GNU Octave for didactics purposes,» *Ingeniería UC*, vol. 25, n.º 3, págs. 381-387, 2018.
- [3] D. Morales Escobar, *Líneas de transmisión: Guía para el alumno*. 2014.
- [4] L. L. Acuña Carpio, *Líneas de transmisión*. Lima Perú: Escuela Profesional de Electrónica y Telecomunicaciones, Dpto. Telecomunicaciones e Informática, 2018.
- [5] E. Gago-Ribas, C. Dehesa-Martínez y M. González-Morales, «Complex analysis of the lossy-transmission line theory: A generalized smith chart,» *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 14, n.º 1, págs. 173-194, 2006.
- [6] F. Caspers, «RF engineering basic concepts: the Smith chart,» *arXiv preprint*, 2012, arXiv:1201.4068.
- [7] R. Pieper y F. Dellsperger, «Personal computer assisted tutorial for Smith charts,» en *Proc. 33rd Southeastern Symposium on System Theory (Cat. No. 01EX460)*, 2001.
- [8] . C. Aznar, J. R. Robert, J. M. R. Casals, L. J. Roca, S. B. Boris y M. F. Bataller, *Antenas*. Univ. Politécnica de Catalunya, 2004, vol. 3.
- [9] J. J. Albiter, M. R. V. Mendoza y C. E. J. Dorantes, *El pensamiento computacional en la electrónica: La importancia del software de simulación en la comprensión del principio de funcionamiento de los componentes electrónicos*. Alfaomega, 2019. dirección: <http://doi.org/10.17993/3ctic.2019.84.85-113>

- [10] W. R. Rodríguez Dueñas, «Software libre para educación e investigación en ingeniería,» *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 9, n.º 18, págs. 12-22, 2014. DOI: [10.26507/rei.v9n18.383](https://doi.org/10.26507/rei.v9n18.383)
- [11] L. R. C. Herrera, «Herramientas de software libre para aplicaciones en ciencias e ingeniería,» *Revista Politécnica*, n.º 32, 2013.
- [12] J. M. Zamanillo Sainz de la Maza, . Fernández Ríos y M. I. Zamanillo Sainz de la Maza, «FILMAT 2.0 Software de diseño de filtros de microondas en tecnología microtira para aplicaciones docentes,» *inf. téc.*, 2012.
- [13] B. Liu, A. Irvine, M. O. Akinsolu, O. Arabi, V. Grout y N. Ali, «GUI design exploration software for microwave antennas,» *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 4, n.º 4, págs. 274-281, 2017.
- [14] A.-F. Georgescu et al., «Automatic Procedure and the Use of the Smith Chart in Impedance Matching in Analog Circuits,» *Electronics*, vol. 14, n.º 14, pág. 2746, 2025.
- [15] V. Badii y H. M. Oloomi, «Transmission line application MATLAB Toolbox based on the graphical design methods of the Smith chart,» *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 6, n.º 1, págs. 23-30, 1998.
- [16] S. Matthew y O. Sadiku, *Elementos de electromagnetismo*. España: Crítica, 2003.