Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 171-176, Oct 2017, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

LABORATORIO VIRTUAL INTERACTIVO LABVI-SMITH

(Laboratorio Virtual para Resolver Problemas de Líneas de Transmisión y Diseño de Acoplamientos Empleando el Método Gráfico de la Carta de Smith).

COMUNICACIONES

Porragas Beltrán Luis Héctor [1], García Valenzuela Verónica [2], Vásquez Santacruz Alejandro [3], Portillo Vélez Rogelio [4].

Universidad Veracruzana [1,2,3,4]
Facultad de Ingeniería Veracruz
Calzada Ruiz Cortínes # 455 Fracc. Costa Verde
C.P. 94294 Boca del Río, Ver Tel/Fax (229) 9216532
email1: lporragas@uv.mx ,

RESUMEN.

El método gráfico de la carta de Smith es una herramienta imprescindible en la caracterización de los sistemas de RF, por lo que el objetivo fundamental de LabVi-Smith es integrar una herramienta muy poderosa para el estudio, análisis y diseño de sistemas de RF implementando en una interface de usuario amigable una carta de Smith electrónica. El programa permite establecer los parámetros comúnmente requeridos en los problemas de líneas de transmisión y en el diseño de acopladores reactivos; por medio de la interface gráfica se muestran en la carta de Smith los trazos y valores obtenidos a partir de un conjunto de especificaciones dadas en formato numérico, evitando con esto el error de interpretación del usuario; otra característica de la interface de LabVi-Smith es que permite seguir la metodología de diseño de los acopladores reactivos, reduciendo significativamente el tiempo de diseño de los acoplamientos.

Palabras clave: Carta de Smith, Acoplamiento, Brazos Reactancia, Coeficiente de Reflexión.

ABSTRACT.

The graphic method of the Smith chart is an essential tool in the characterization of RF systems, so the fundamental objective of LabVi-Smith is to integrate a very powerful tool for the study, analysis and design of RF systems implementing an electronic Smith chart in a user friendly interface. The program allows you to set parameters commonly required in the problems of transmission lines and in the design of stub´s match; through the graphical interface are displayed on the Smith chart strokes and values from a set of specifications given in numerical format, thus avoiding interpretation of user error; Another feature of the interface of LabVi-Smith is that it allows to follow the methodology of design of stub matching, significantly reducing couplings design time.

Keywords: Smith Chart, Match, Stub´s, Reflection Coefficient.

1. INTRODUCCIÓN

Prácticamente todas las aplicaciones de alta frecuencia implican el empleo de la teoría de líneas de transmisión para su descripción y análisis, por lo que actualmente el manejo de la carta de Smith es un tópico básico y muy importante para los estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Es indispensable que los estudiantes ubiquen espacialmente diferentes voltajes, corrientes, impedancias y admitancias (parámetros distribuidos) a lo largo de una línea de transmisión. Estos conceptos son más difíciles de determinar que los conceptos correspondientes a la teoría de circuitos convencional (parámetros concentrados). La carta de Smith es esencialmente una *"calculadora gráfica"* que permite que cálculos matemáticos relativamente complicados que utilizan álgebra y números complejos, puedan ser reemplazados por construcciones geométricas. Esto ayuda a realizar adaptaciones de impedancia con un mínimo de trazos sobre la carta de Smith en lugar de cálculos laboriosos y tardados. Además, se pueden visualizar los diferentes efectos ocasionados por las modificaciones de los parámetros característicos de la línea de transmisión. La carta de Smith originalmente se manejaba en papel, donde se realizaban los trazos empleando lápiz, regla y compás considerando los

procedimientos necesarios para analizar las diferentes variables que se presentan al propagarse una señal por una línea de transmisión o en un sistema de RF[2,3]; sin embargo, actualmente este procedimiento o método de cálculo no es eficiente ya que presenta una exactitud limitada debido a la acumulación de errores de interpretación (humanos) en cada uno de los pasos realizados.

Debido a lo anterior, existe un gran interés en automatizar esta herramienta gráfica para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje con la finalidad de lograr un manejo y aplicación práctica eficiente de la carta de Smith en la solución de diferentes problemas de ingeniería de RF[7,8]. Los recientes avances en las tecnologías multimedia proporcionan una gran oportunidad para mejorar significativamente los procesos de enseñanza aprendizaje promoviendo en el estudiante una participación activa y autónoma. En la actualidad existen repositorios de objetos de aprendizaje, los cuales en forma de simuladores están disponibles a través de Internet, ya sea comercialmente o en la forma de herramientas de dominio público. Estos desarrollos se basan por lo general en applets de Java o animaciones flash siendo muy pocos hasta ahora los desarrollados en LabView®. Java se emplea generalmente cuando se necesita velocidad o tener una simulación muy compleja, Flash tiene más ventajas para aplicaciones e-learnings y LabView® *(acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)* es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. LabView® fue creado por la compañía National Instrument (1976) y está disponible para plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux cuyas últimas versiones se pueden usar para el diseño del firmware de un instrumento RF de última generación, a la programación de alto nivel del mismo instrumento, todo ello con código abierto. Es una plataforma que está impulsando fuertemente el desarrollo de equipos educativos interactuando con diferentes lenguajes y aplicaciones tales como NET, ActiveX, Multisim, Matlab/Simulink y AutoCAD; también cuenta con varios tipos de interfaces para comunicaciones como TCP/IP, Bluetooth, USB, Irda, VXI, GPIB [7,8]. En base a lo anterior se desarrolló el laboratorio virtual **LabVi-Smith** bajo esta plataforma para poderlo escalar aprovechando el potencial de LabView®. El simulador **LabVi-Smith** es básicamente una carta de Smith electrónica cuya interface gráfica es completamente amigable al usuario y a través de la cual se despliegan los parámetros básicos para el diseño y análisis de los problemas de líneas de transmisión. Existen programas más sofisticados, sin embargo las principales ventajas de **LabVi-Smith** es su simplicidad y facilidad de uso. Una razón importante del interés de desarrollar herramientas que apliquen la carta de Smith, es ayudar a entender los cambios que se producen al variar parámetros tales como: la carga, la longitud de la línea o la posición a lo largo de la línea, obteniendo así información valiosa del comportamiento de los sistemas. Los estudiantes deben comprender a fondo el fundamento y aplicación de la carta de Smith siendo uno de los objetivos fundamentales de este laboratorio virtual. En la actualidad existe un gran número de literatura en donde se demuestra que los modelos de la teoría de líneas de transmisión o de parámetros distribuidos son aplicables a una amplia variedad de problemas físicos. Esto incluye la: caracterización y diseño de dispositivos de microondas, guías de onda, sistemas acústicos, ondas electromagnéticas planas y la teoría de líneas de transmisión [2,3].

En muchas de las aplicaciones comprendidas en el área de las comunicaciones eléctricas, el principal problema que se maneja es el del acoplamiento entre las etapas de los sistemas para lograr la máxima transferencia de señal de una etapa a otra. Como ya se mencionó, una de las limitantes de la carta de Smith es que al ser un método gráfico se puede caer en errores de interpretación de escalas (error humano) el cual puede reducirse al 100 % automatizando el proceso al realizar un programa que grafique la carta de Smith y proporcione la información del área gráfica a través del procesamiento matemático de la información en función de las ecuaciones de diseño de la carta de Smith. Las ventajas para los estudiantes y catedráticos es clara, primero, los estudiantes tienen un método

más rápido para evaluar la teoría y validar las soluciones de los problemas planteados por el catedrático; y segundo, los catedráticos cuentan con una herramienta útil para explicar la teoría de una manera interactiva, evitando diapositivas estáticas o diagramas complejos en el pizarrón que muestren en clase ejercicios prácticos de una manera más rápida que permita el análisis de un mayor número de variables [7,8].

2. OBJETIVO

Realizar un laboratorio virtual que conjunte las ventajas del método gráfico de la carta de Smith con el uso de un programa interactivo que ayude a visualizar, interpretar y familiarizarse con el uso de esta herramienta e interpretar la interacción de las diferentes variables involucradas en problemas de RF y el diseño de acopladores de manera amigable y de fácil asimilación y aplicación práctica para el usuario.

3. DESARROLLO.

Se empleó un programa gráfico que facilita la implementación modular, con la finalidad de realizar sub-instrumentos SubVI`s (subrutinas) para ejecutar tareas específicas y lograr así una reducción y simplificación en la estructura final así como su reutilización en programas más complejos. La Fig 1 muestra los módulos principales diseñados para el laboratorio virtual **LabVi-Smith**.

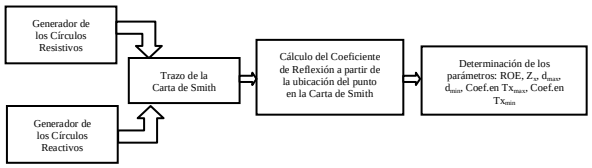


Fig 1. Módulos (SubVi`s) Básicos del laboratorio Virtual LabVi-Smith.

El programa bajo el cual se desarrolló el instrumento es LabView® de la Compañía de National Instruments; se eligió LabView® ya que presenta las ventajas de interacción en tiempo real, modularidad y capacidad para posteriormente incorporar señales de entrada-salida (E/S) al instrumento de manera dinámica o interactuar con prototipos implementados a nivel físico; además de poderse escalar con diversas opciones de interconectividad y lenguajes.

La región en la que se suele utilizar más frecuentemente la carta de Smith es dentro de la región de radio unitario. En la Fig 2 se muestra la carta de Smith convencional de Impedancias Normalizada.

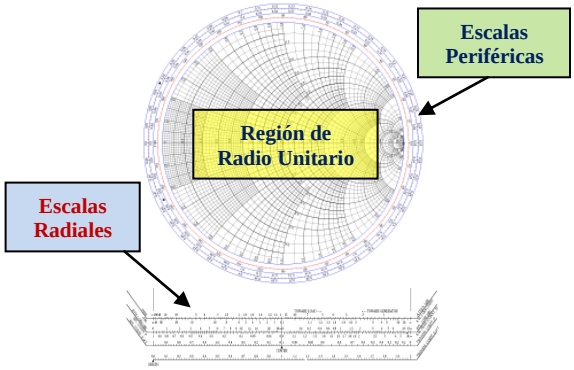


Fig 2. Carta de Smith convencional de Impedancias.

La carta de Smith cuenta con escalas periféricas en longitudes de onda (λ) y en grados. La escala de longitudes de onda se utiliza regularmente en problemas con parámetros distribuidos y representa la distancia medida a lo largo de la línea de transmisión conectada entre el generador o fuente y la carga hasta el punto en consideración. La escala de grados representa el ángulo del coeficiente de reflexión de tensión en ese punto[2]. La carta de Smith también puede ser utilizada en análisis de problemas que involucren parámetros concentrados como en el caso de la teoría de circuitos. La carta de Smith se traza en el plano complejo del coeficiente de reflexión en dos dimensiones y se escala en términos de la **impedancia**, **admitancia** o **inmitancia** normalizada; estos gráficos de Smith se conocen como la **carta Z** (Fig 2), **carta Y** o y **carta YZ** respectivamente (ver Fig 3).

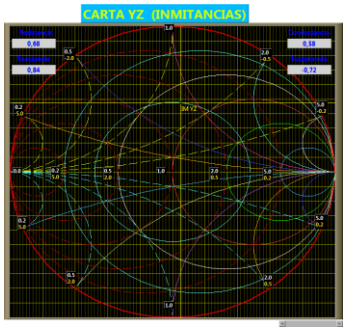
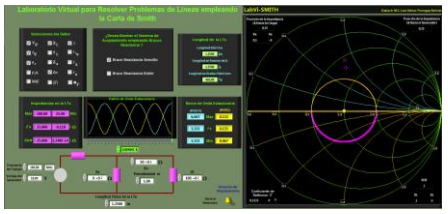
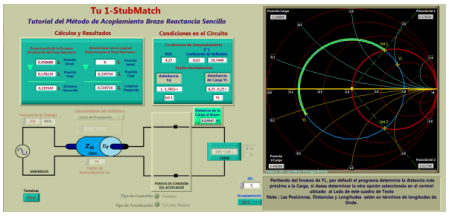


Fig 3. Carta YZ del Laboratorio Virtual Si-CSmith[7].

Las escalas normalizadas permiten que la carta de Smith se utilice para diferentes tipos de problemas que impliquen cualquier impedancia característica o impedancia del sistema la cual representará el punto central del gráfico. La impedancia de normalización más comúnmente utilizada es la de 50 Ω. La Fig 4a muestra el panel frontal o interface de usuario del simulador **LabVi-Smith**, mientras que la Fig 4b la del simulador **Tu 1-StubMatch**[8] para el diseño de acopladores.



a)



b)

Fig 4. Panel Frontal del Laboratorio Virtual LabVi-Smith.

Partiendo de los fundamentos matemáticos que originan la carta de Smith, se puede establecer que el coeficiente de reflexión y la impedancia terminal se relacionan a través de una transformación bilineal. Estos parámetros se expresan en forma compleja sin ningún tipo de unidades. Ambos cambian con la frecuencia, de manera particular, por lo que es necesario que para cualquier medición, indicarse junto con la impedancia característica la frecuencia a la que se lleva a cabo el ejercicio. Cualquier coeficiente de reflexión debe tener una magnitud entre 0 y 1 ($0 \leq \Gamma \leq 1$) así, a la frecuencia de prueba, este puede ser expresado por un punto dentro de un círculo de radio unitario. El gráfico de escala Smith está diseñado de tal manera que el coeficiente de reflexión se puede convertir a un valor de impedancia normalizada o viceversa. Esta técnica es una alternativa gráfica para la sustitución de los valores en las ecuaciones. Para el caso de líneas de baja pérdida, la Ec.1 representa la relación de la impedancia normalizada en términos del coeficiente de reflexión.

$$\overline{Z_L} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \qquad \text{Ec.1}$$

Empleando la identidad de Euler y la Ec.1, se puede llegar a establecer una ecuación para determinar la impedancia de entrada considerando una longitud determinada de línea de transmisión de baja pérdida como se muestra en la Ec.2

$$Z_{ent}(l) = Z_o \frac{Z_L Cos(\beta l) + jZ_o Sen(\beta l)}{Z_o Cos(\beta l) + jZ_L Sen(\beta l)} \qquad \text{Ec.2}$$

4. RESULTADOS

La Fig 4a muestra el panel principal del simulador, siendo ésta la interfase gráfica con el usuario y en la que se pueden visualizar todos los resultados obtenidos de las diferentes variables eléctricas a considerar en un análisis al mismo tiempo. Se realizaron varias pruebas para validar al instrumento comprobando los resultados obtenidos, con problemas resueltos en diferentes bibliografías [2,3] y otros simuladores [4,5,6].

El problema se plantea en la Fig 5, su solución se divide en dos etapas; en la primera, los parámetros a calcular son: a) Coeficiente de Reflexión, b) Razón de Onda Estacionaria, c) Impedancia a una determinada distancia hacia la carga o hacia el generador, d) Factores de voltaje máximo, mínimo y en la carga y e) Distancia al primer máximo y mínimo de voltaje (respecto a la carga).

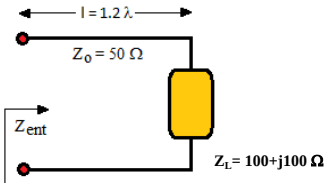


Fig 5. Planteamiento del problema. [2]

La información de la Tabla 1 se obtuvo de las interfaces gráficas del **LabVi-Smith** realizado en *LabView®*, y 2 programas, uno en *Java*[4] y otro en *Flash*[7] cuyos paneles gráficos se muestran en las Fig´s 6 y 7 respectivamente. Los resultados obtenidos fueron los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Valores obtenidos del problema propuesto.

Inciso		LabVi-Smith	Instrumento En Java [4]	Instrumento En Flash [6]
a) ROE		4.2656	4.2656	4.2666
b) Γ	Γ_L	0.6202∠29.7449°	0.62017∠29.7448°	0.620∠29.745°
	Γ_X	0.6202∠-27.434ª	0.6202∠-27.434ª	No lo calcula
c) $Z_x(l)$	→ Z_L	25 + j 25	25 + j 25	25 + j 25 (b)
	→ Z_G	99-11 – j 50.44	97.98 – j 50.73	95 – j 50.75 (b)
d) $Z_x(l)$	d_{Vmin}	0.4119 λ	0.4119 λ	No lo calcula
	d_{Vmax}	0.1619 λ	0.1619 λ	No lo calcula

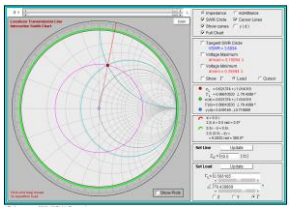


Fig 6. Panel gráfico del simulador hecho en Java [4].

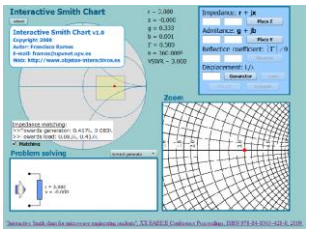


Fig 7. Panel gráfico del simulador hecho en Flash [6].

En la segunda parte del problema se determinan las características del acoplador, es decir: la distancia de conexión y longitud del brazo (2 opciones). El planteamiento del problema se representa de manera gráfica en la Fig 8.

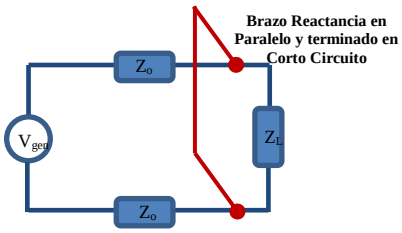


Figura 8. Esquema del Acoplador.

Siguiendo el procedimiento establecido, los resultados se muestran en la Tabla 2, en la que se realiza una comparación con instrumentos virtuales similares con otras plataformas de desarrollo y cuyos paneles se muestran en las Fig´s 9 y 7.

Tabla 2.- Valores obtenidos del Problema propuesto en cada uno de los simuladores.

Inciso		**LabVi-Smith**	**Instrumento En Java®[5]**	**Instrumento En Flash®[6]**
a) P_{Int}	P_{Int1}	0.178234 λ	No la calcula	No la calcula
	P_{Int2}	0.321766 λ	No la calcula	No la calcula
b) d_{Brazo}	d_{min}	0.219547 m	0.2195 λ (158.07°)	0.220 λ
	d_{max}	0363078 m	0.3631 λ (261.41°)	0.363 λ
c) l_{Brazo}	l_{min}	0.0897543 m	0.0898 λ	No la calcula
	l_{max}	0.410246 m	0.4102 λ	No la calcula

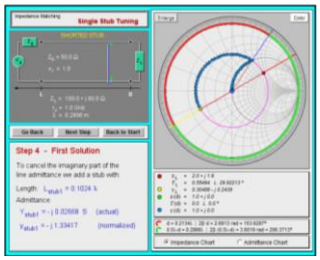


Fig 9. Panel gráfico del simulador hecho en Java®[5].

De la comparación de los resultados anteriores, se pudo comprobar y validar la precisión y exactitud del instrumento, así como su versatilidad, facilidad, simplicidad y capacidad para la presentación de los resultados.

5. CONCLUSIONES.

Los estudiantes encontraron a **LabVi-Smith** una herramienta atractiva, innovadora, de fácil uso y con grandes ventajas en la reducción de los tiempos de resolución de los problemas y en la adquisición y fijación del conocimiento, así como la asimilación práctica del diseño de acopladores reactivos. De las comparativas realizadas entre las interfaces se pueden sintetizar las siguientes diferencias:

- En los Simuladores en Java®[5,6] se utilizan más paneles frontales, perdiéndose la percepción global del problema, además solo es posible decidir el tipo de terminación del brazo en caso de querer conectarlo diferente (serie o paralelo) usando otro simulador, es decir, se necesitan 2 programas.
- En el Simulador de Flash®[4] la interface no es nada amigable además de no mostrar la metodología de diseño ni explica cómo o de dónde salen los valores numéricos de acoplamiento, por lo que para el usuario con poca experiencia la

información es difícil de interpretar para su aplicación práctica.

- El laboratorio desarrollado en LabView® **LabVi-Smith** tiene una mayor interactividad al contar con mayor información en un solo panel frontal, además de permitir que el usuario decida las características del acoplador y la secuencia de acoplamiento. **LabVi-Smith** brinda además la ventaja de ser una interfaz en español siendo más amigable al usuario, incorporando un cuadro de texto en el que se describe de manera detallada el procedimiento que acompaña los trazos en la carta y en condiciones en el circuito. Los resultados obtenidos por el **LabVi-Smith** son bastante similares a los del simulador de Java®, cuya discrepancia radica en la resolución empleada, esto es posible ajustarse con el inconveniente de sacrificar el tiempo de ejecución.

6. REFERENCIAS

[1]. Smith P. "Transmission-Line Calculator". Electronics. 1939. Vol. 12, No.1, pp 29-31.

[2]. Neri R. & Porragas L. Líneas de Transmisión. Veracruz, México: Universidad Veracruzana. 2013. pp. 182-196.

[3]. Blake R. Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. México: Thompson Intl. 2004 pp. 182-196.

[4]. Amanogawa Standing Wave Pattern. http://www.amanogawa.com/archive/... …StandingWavePattern2/… …StandingWavePattern2-2.html

[5]. Amanogawa Serie Stub Tuning. http://www.amanogawa.com/archive/SeriesStub/SeriesStub-2.html

[6]. F.Ramos. Interactive Smith Chart (online) http://labvirtual.webs.upv.es/smith.htm

[7]. L. Porragas. Laboratorio Virtual Interactivo **Si-CSmith** (Simulador para el Análisis y Aplicación del Método Gráfico de la Carta de Smith). Innovación Tecnología y Educación (CIVITEC 2014). Tomo 5 Ingenierías, pp 962-971.

[8]. Porragas, Luis. Laboratorio Virtual **"Si 1-StubMatch"** para el Diseño de Acopladores de Impedancias usando Brazos Reactancia. Revista de Tecnología e Innovación (ISSN: 2410-3993). Vol 3 Num 7, pp 13-21. http://ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol3num7/Revista_de_Tecnologia_e_Innovaci%C3%B3n_V3_N7_2.pdf