

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIE**  
Facultad de  
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Sistema de laboratorios de CE II con software Quite Universal  
Circuit Simulator**

Autor: Marcel Amador Hernández

Tutores: Dr. C. Ileana Moreno Campdesuñer

Ing. Yanoski Hernández García

Santa Clara, noviembre 2021  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIE**  
Facultad de  
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Electrical Circuits II Lab System with Quite Universal Circuit  
Simulator software**

Author: Marcel Amador Hernández

Thesis Director: Dr. C. Ileana Moreno Campdesuñer

Ing. Yanoski Hernández García

Santa Clara, november 2021  
Copyright©UCLV

## **Dedicatoria**

A mis padres Eva y Amador por formar parte de todos mis logros en la vida, educación y guía,  
bendecido por tenerlos y crecer en un hogar

A mi hermana Meylin, por tu apoyo y cariño siempre

A mi tia Ibett y familia, por su apoyo, cariño y preocupación

A mi novia Martha y familia, por el apoyo siempre, ser paciente, dedicada, te admiro, que  
vengan más metas por cumplir juntos

A mis tutores Iliana y Yanoski, por el apoyo y confianza en la realización del trabajo

A familiares y amigos que han estado siempre presente

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

## RESUMEN

El empleo de los medios informáticos en la planificación de sistemas de laboratorios constituye un eslabón principal en la ingeniería. Las prácticas de laboratorio son fundamentales para la disciplina Circuitos Eléctricos pues representan una de las bases de las carreras de perfil eléctrico. El objetivo general de este trabajo de diploma consiste en elaborar un sistema de laboratorios para la asignatura Circuitos Eléctricos II utilizando el programa Quite Universal Circuit Simulator (QUCS), que es un simulador de circuitos electrónicos que permitirá a los estudiantes el análisis del comportamiento de los circuitos en equipos sin mayores prestaciones, lo que facilitará en gran medida el estudio independiente, siendo de gran utilidad para los cursos semipresenciales. Los principales resultados son: el establecimiento de la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de perfeccionar los laboratorios simulados en la asignatura Circuitos Eléctricos II, el diseño de las prácticas de laboratorios con el simulador QUCS y la elaboración de un tutorial sobre el uso del programa QUCS.

**Palabras Clave:** *sistemas de laboratorios, QUCS, simulación.*

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1 . FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA ACERCA DE LA NECESIDAD DE PERFECCIONAR LOS LABORATORIOS DE SIMULACIÓN DE LA ASIGNATURA CIRCUITOS ELÉCTRICOS II</b> .....	6
1.1. Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de los Circuitos Eléctricos .....	6
2.1.1 Función de las actividades prácticas en la disciplina .....	8
2.1.2 Importancia de la simulación de circuitos eléctricos.....	9
1.2. Necesidad de la modalidad a distancia producto a la situación epidemiológica en Cuba.....	10
1.3. Programas utilizados en la simulación de circuitos eléctricos .....	11
1.3.1. Particularidades del MatLab.....	11
1.3.2. Particularidades del OrCAD.....	13
1.3.3. Particularidades del QUCS.....	15
1.4. Experiencias en la elaboración de prácticas de simulación en la disciplina Circuitos Eléctricos.....	17
1.5. Conclusiones del capítulo.....	18
<b>CAPÍTULO 2 . PRÁCTICAS DE LABORATORIO SIMULADOS DE LA ASIGNATURA CE II</b> ... ..	20
2.1. Sistema de laboratorio de CE II por carrera existente antes de la realización de la investigación .....	20
2.1.1 Sistema de laboratorios Carrera Ingeniería en Automática.....	20
2.1.2 Sistema de laboratorios Carrera Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica.....	23
2.2. Temas escogidos para la simulación .....	25
2.3. Técnica operatoria de las prácticas simuladas elaboradas.....	26
2.4. Breve descripción del funcionamiento del software .....	27
2.5. Guía para simular un circuito eléctrico simple con QUCS .....	28
2.6. Conclusiones del capítulo.....	36
<b>CONCLUSIONES</b> .....	37
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	38
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	39
<b>ANEXOS</b> .....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Simulación de circuitos empleando MatLab [18] .....	12
Figura 1.2. Simulación de un circuito empleando OrCad [21].....	14
Figura 1.3. Simulación de un circuito [24].....	16
Figura 3.1. Ventana principal de QUCS [27].....	27

## INTRODUCCIÓN

El empleo de los medios informáticos presentes en la planificación de sistemas de laboratorios constituye un eslabón fundamental en el proceso de enseñanza aprendizaje, pues crean las condiciones materiales favorables para cumplir con las exigencias científicas del mundo contemporáneo. Además, ajustan los contenidos de cada materia de estudio de manera que respondan a los avances tecnológicos que se suscitan a escala mundial [1].

El sistema de laboratorios está conformado por un conjunto de laboratorios virtuales [2]. El laboratorio virtual es un sistema informático que pretende simular el ambiente de un laboratorio real y que mediante simulaciones interactivas permite desarrollar las prácticas de laboratorio.

Según [3] la creación de un laboratorio virtual se inicia con la formulación conceptual del problema para, a partir de ella, ir sintetizando lo que se quiere conseguir con la aplicación. Para ello se debe:

- Identificar y definir qué se va a recrear (entorno real).
- Identificar las características de las personas a las que va a ir dirigida la aplicación (público objetivo).
- Determinar la interrelación que va a existir entre los usuarios y el entorno virtual (interacción).
- Definir las responsabilidades y roles de los participantes en el proyecto de construcción del laboratorio virtual.

Los objetivos generales de todo laboratorio virtual son [3]:

- Familiarizarse con el experimento.
- Optimizar el uso de los recursos.
- Disminución del uso incorrecto del equipamiento.
- Formar en metodologías de trabajo.
- Manejo de herramientas informáticas actuales.
- Posibilidades de repetir los experimentos.

- Multiplicidad de experimentos simultáneos.
- Comparación de comportamiento de modelos matemáticos frente a dispositivos reales.

Un laboratorio virtual debe estar integrado por las guías de aprendizaje, el contenido informático y las estrategias de evaluación-retroalimentación, con el objetivo claro de formar un conocimiento real con base en la manipulación guiada de un elemento informático y un entorno para recaudar evidencias y evaluar los conocimientos de la experiencia aprendida [3].

La ejecución de los sistemas de laboratorios en la práctica pedagógica se hace obligatorio en determinadas áreas como: las ciencias básicas, la ingeniería y la salud. Permite que los estudiantes adquieran habilidades y destrezas en el manejo de los diferentes materiales y equipos, contrastar los conocimientos teóricos con la práctica y construir un nuevo conocimiento. Para la creación de esta importante herramienta didáctica es necesario hacer uso de una metodología que guíe todo su desarrollo e implementación para alcanzar los objetivos deseados del producto final [4].

En la enseñanza de la ingeniería, las prácticas de laboratorio constituyen un tipo de clase fundamental. Según el artículo 135 de la Resolución N°. 2/2018 del MES “la práctica de laboratorio es el tipo de clase que tiene como objetivos que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos y técnicas de trabajo y de la investigación científica; amplíen, profundicen, consoliden, generalicen y comprueben los fundamentos teóricos de la asignatura o disciplina mediante la experimentación, empleando para ello los medios necesarios” [5].

La disciplina Circuitos Eléctricos (CE) constituye una de las bases fundamentales de las carreras de perfil eléctrico por ser uno de los primeros acercamientos al estudio de los métodos de análisis de circuitos eléctricos. La ejecución de los laboratorios permite que el estudiante analice y simule el comportamiento de los circuitos en equipos sin mayores prestaciones facilitando una mayor eficiencia en el proceso de aprendizaje.

En las asignaturas de la disciplina Circuitos Eléctricos (CE) perteneciente al currículo de todas las carreras que se estudian en la facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE) de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV) se utiliza la práctica de laboratorio fundamentalmente para comprobar los aspectos teóricos a través del análisis de las respuestas de los circuitos. Para ello

se ha elaborado un sistema de prácticas de laboratorio que se realizan tanto con componentes reales como con programas de simulación.

La carencia de componentes y equipos electrónicos para realizar prácticas de laboratorio, así como las ventajas de las prácticas simuladas conllevó incluir un mayor número de estas últimas en la distribución de las actividades prácticas de las asignaturas. A lo largo de la historia se han utilizado diferentes programas de simulación, en función del desarrollo de las tecnologías y las posibilidades que brindarían. A partir del curso 2015-2016 el programa que se utilizaba en la disciplina era el MatLab, el cual puede cubrir todas las exigencias de las asignaturas por las prestaciones que brinda.

Al aparecer la pandemia de covid 19, se dispuso impartir CE I en la modalidad a distancia en las carreras de Ingeniería en Automática y en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e inmediatamente se tuvo que realizar un trabajo metodológico intenso para adecuar las clases a esta modalidad.

Entre las primeras medidas estuvo elaborar un sistema de laboratorio de simulación acorde a las posibilidades tecnológicas de los estudiantes ya que el Matlab tiene un alto consumo de recursos de las computadoras y es más difícil su manejo para los estudiantes. Se toma como decisión utilizar un programa libre que ocupara un mínimo de recursos de hardware y que se ajustara a las necesidades didácticas de la asignatura.

Quite Universal Circuit Simulator (QUCS) es un simulador de circuitos electrónicos de código abierto que posee la capacidad de elaborar un circuito con una interfaz gráfica de usuario y simular el comportamiento del circuito. Soporta una lista creciente de componentes analógicos y digitales. Está pensado para ser mucho más sencillo de utilizar y manejar que otros simuladores de circuito como OrCAD [6] o MatLab [7].

Como resultado, se propone el uso del programa Quite Universal Circuit Simulator para apoyar la realización de los laboratorios, el cual brinda [8]:

- Eficiencia
- Rendimiento del hardware
- Simulación y síntesis de circuitos eléctricos
- Configuración de esquemas

- Presentación de resultados de la simulación en varios tipos de diagramas

En consecuencia, los laboratorios de simulación de CE I se diseñaron con dicho programa, resultando ser bien acogido por los estudiantes de las carreras antes mencionadas.

Una vez controlada la pandemia y con todos los estudiantes vacunados se prevé comenzar las clases en una modalidad híbrida. De este modo, para mantener la homogeneidad en la disciplina, es necesario reestructurar el sistema de laboratorios de CE II con el mismo programa utilizado en la asignatura precedente. Además, considerando que el Plan E tiene menor número de horas presenciales, respecto a los anteriores, es conveniente elaborar prácticas de laboratorio de todos los temas para la profundización por parte de los estudiantes de los contenidos de la asignatura, durante el estudio independiente.

Esta situación problemática conduce al siguiente problema científico: ¿cómo perfeccionar los laboratorios de Circuitos Eléctricos II utilizando el programa Quite Universal Circuit Simulator?

A partir de la problemática anterior se define el siguiente **objetivo general** para esta investigación:

Elaborar un sistema de laboratorios para la asignatura Circuitos Eléctricos II utilizando el programa Quite Universal Circuit Simulator.

Para cumplir con dicho objetivo se plantean los **objetivos específicos** siguientes:

1. Establecer la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de perfeccionar los laboratorios simulados en la asignatura Circuitos Eléctricos II.
2. Diseñar las prácticas de laboratorios con el simulador QUCS.
3. Elaborar un tutorial sobre el uso del programa QUCS.

Dichos objetivos se ejecutan a través de las tareas científicas siguientes:

- Estudio de los contenidos relacionados con los laboratorios de simulación en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los Circuitos Eléctricos II según el Plan E.
- Adiestramiento en el trabajo con el programa QUCS<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>QUCS: Quite Universal Circuit Simulator

- Estudio de las prácticas de laboratorio de simulación existentes en la disciplina para su perfeccionamiento.
- Preparación de prácticas de laboratorio de temas que no estén incluidos en los ya existentes.
- Elaboración de un tutorial sobre el uso del programa QUCS.
- Organización adecuada del informe de tesis, basándose en las orientaciones y normas aprobadas por el MES.

Como resultado de este trabajo se tendrá un sistema de laboratorios de simulación utilizando el programa libre QUCS que permitirá a los estudiantes el análisis del comportamiento de los circuitos en equipos sin mayores prestaciones, lo que facilitará en gran medida el estudio independiente, siendo de gran utilidad para los cursos semipresenciales.

Este documento está conformado por introducción, dos capítulos, conclusiones, bibliografía y anexos. En el primer capítulo se describe la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de disponer de un sistema de laboratorios simulados en la asignatura Circuitos Eléctricos II que pueda realizarse en cualquier modalidad de estudio y sin grandes exigencias de hardware. En el segundo capítulo se presenta el sistema de laboratorios simulados con el software libre QUCS y el tutorial sobre la utilización del programa QUCS. Finalmente se exponen las conclusiones obtenidas, recomendaciones para la continuación de este trabajo en el futuro, las referencias bibliográficas que fueron empleadas y en los anexos aparecen las técnicas operatorias de cada práctica elaborada.

## **CAPÍTULO 1 . FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA ACERCA DE LA NECESIDAD DE PERFECCIONAR LOS LABORATORIOS DE SIMULACIÓN DE LA ASIGNATURA CIRCUITOS ELÉCTRICOS II**

En este capítulo se realiza un estudio de las características del proceso de enseñanza-aprendizaje de los Circuitos Eléctricos, así como la función de las actividades prácticas en la disciplina. Además, se presenta la importancia de la simulación de los circuitos eléctricos y la necesidad de la modalidad a distancia producto a la situación epidemiológica. Igualmente se hace énfasis en determinadas herramientas informáticas o softwares como: MatLab, OrCAD y Qucs, que dan soporte a la simulación de los circuitos eléctricos. Por último, se exponen las experiencias en la elaboración de prácticas de simulación en la disciplina Circuitos Eléctricos.

### **1.1. Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de los Circuitos Eléctricos**

La disciplina Circuitos Eléctricos es una de las principales de las carreras de perfil eléctrico. Consta de dos asignaturas que se imparten en el segundo año de las tres carreras que se estudian en la FIE: Ingeniería Eléctrica, Ingeniería en Automática e Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. Cuenta con 160 horas definidas en el Plan de Estudio E [9], la mayoría destinadas a las actividades prácticas y en menor medida a las clases magistrales. En ella se analizan los circuitos lineales en tres direcciones: análisis de circuitos resistivos, análisis en el dominio del tiempo y análisis en el dominio de la frecuencia.

Los contenidos esenciales que se abordan en la asignatura CE II son:

- Análisis de circuitos en el dominio de la frecuencia compleja. Resonancia en circuitos eléctricos, propiedades de los circuitos resonantes serie, paralelo y serie-paralelo. Factor de calidad y ancho de banda.
- Redes de dos puertos: cuadripolos. Parámetros de admitancia, impedancia, híbridos y de transmisión.

- Circuitos acoplados magnéticamente. Circuitos sencillos con inductancia mutua. Transformador ideal y lineal.
- Frecuencia compleja, funciones de Redes, respuesta en frecuencia, fenómeno de resonancia.
- Análisis de circuitos en el dominio S: aplicación de la transformada de Laplace al análisis de circuitos eléctricos.
- Análisis de circuitos monofásicos con estímulos periódicos no sinusoidales y estímulos aperiódicos (Análisis de Fourier)
- Aproximaciones para obtener funciones transferenciales. Diseño de Filtros pasivos y activos.
- Circuitos polifásicos: Sistemas polifásicos Sistemas monofásicos de tres hilos. Conexión Y-Y trifásica. Conexión  $\Delta$ - $\Delta$  trifásica. Conexión Y- $\Delta$  trifásica. Medición de potencia en sistemas trifásicos.
- Diseño de dispositivos eléctricos de interés en las comunicaciones utilizando la teoría de los parámetros imágenes: atenuadores resistivos, redes de adaptación de impedancias.

La disciplina no solo aborda el análisis de circuitos eléctricos, sino que además se encarga del diseño de configuraciones eléctricas con determinadas prestaciones garantizando el cumplimiento de requerimientos funcionales.

Mediante las prácticas de laboratorio, los estudiantes desarrollan las habilidades necesarias para la ejecución de tareas del perfil eléctrico en la vida laboral y en otras disciplinas, así como la confrontación y verificación de los conocimientos teóricos. Así, se contribuye a formar en el estudiante un método científico de trabajo.

Los dispositivos informáticos constituyen una herramienta de trabajo esencial en la realización de las prácticas de laboratorio, pues facilitan la asimilación y realización de las tareas de análisis y diseño. Además, gracias al uso de programas de simulación del funcionamiento de circuitos eléctricos se verifica la veracidad de los resultados obtenidos al aplicar los métodos analíticos y se asegura la utilización de las tendencias actuales del desarrollo científico técnico.

### **2.1.1 Función de las actividades prácticas en la disciplina**

El objetivo de las actividades prácticas reside en proporcionar una mejor comprensión de los contenidos, en el aprendizaje de ciertas habilidades y técnicas de laboratorio, la relación con la metodología científica y en el desarrollo de determinadas actitudes científicas como: el rigor intelectual, trabajo en equipo, la consideración de las ideas y sugerencias de otras personas y buena disposición para no emitir juicios apresurados. Por tanto, el elevado interés educativo de esta clase de actividades no solo está relacionado con el aprendizaje de destrezas y técnicas específicas de laboratorio o de diagnóstico, sino también con el desarrollo de actitudes y de habilidades cognitivas de alto valor intelectual [4].

Las actividades prácticas en la disciplina Circuitos Eléctricos tienen la función de contribuir al desarrollo de ciertas habilidades [10] que se presentan a continuación:

- Aplicar el método fasorial al análisis de circuitos de corriente alterna monofásicos para calcular impedancias y admitancias, trazar diagramas fasoriales, aplicar los métodos generales de análisis y los teoremas de Thevenin, Norton, Superposición y Máxima transferencia de potencia.
- Analizar circuitos trifásicos balanceados y desbalanceados, en estado estable, en régimen de corriente alterna.
- Utilizar los métodos básicos de análisis de circuitos lineales en el cálculo de circuitos con inductancia mutua y aplicar las relaciones del transformador ideal y del transformador lineal.
- Utilizar los métodos básicos de análisis de los circuitos magnéticos.
- Calcular funciones transferenciales en función de la frecuencia compleja, identificar los polos y ceros y obtener la respuesta de frecuencia en forma aproximada a partir de la propia función.
- Describir el comportamiento de filtros sencillos (activos y pasivos) en aplicaciones prácticas.
- Aplicar el concepto y las propiedades de los circuitos resonantes al análisis de redes RLC serie, paralelo y serie - paralelo.
- Aplicar la transformada de Laplace al cálculo de la respuesta en el tiempo y, fundamentalmente, al cálculo de funciones de redes en circuitos lineales.

- Aplicar el desarrollo en series de Fourier y el teorema de la Superposición al cálculo de circuitos monofásicos en régimen periódico no sinusoidal.
- Utilizar requerimientos de diseño para diseñar las configuraciones más frecuentes de atenuadores resistivos, redes de adaptación de impedancias de banda estrecha y filtros activos, incluyendo para ello la utilización de programas profesionales de computadora.
- Aplicar programas de computación al análisis de circuitos eléctricos de baja y mediana complejidad, incluyendo la interpretación de los resultados.
- Elaborar informes técnicos utilizando las normas técnicas orientadas para este fin, así como observar las reglas establecidas para la protección e higiene del trabajo.
- Adquirir de forma independiente conocimientos relacionados con la disciplina.
- Interpretar, analizar y resolver adecuadamente problemas generales y frecuentes de la profesión, fundamentando coherentemente sus razonamientos, basados en principios físicos y matemáticos.

### **2.1.2 Importancia de la simulación de circuitos eléctricos**

El uso de la simulación por ordenador es una herramienta imprescindible hoy en día a la hora de explicar la electrónica en el aula, al ser la forma más sencilla y rápida de comprobar el funcionamiento de un circuito. Además, no necesita ningún tipo de material adicional para el montaje del mismo o medida de los resultados.

A continuación, se exponen las ventajas que ofrece la simulación de los circuitos eléctricos [11]:

- Permite ilustrar lecciones de teoría visualizando el comportamiento de componentes electrónicos, fuentes de alimentación e instrumentos de medida de una forma rápida y fácil de entender.
- Facilita la visualización de señales difíciles de medir experimentalmente (por ejemplo, corrientes variables en el tiempo o varias tensiones y corrientes simultáneamente).
- Si el alumno conoce un simulador, puede comprobar por sí mismo si la solución que ha encontrado para un ejercicio propuesto es correcta comparándola con la del simulador.
- Permite que el alumno verifique sus propios diseños, testeando si funcionan antes de montarlos manualmente.
- Facilita el diseño de nuevos circuitos por parte de los alumnos.

- Ayuda a encontrar errores en los circuitos y diseños.
- Antes de montar un circuito en el laboratorio, la simulación del mismo facilita su análisis y comprensión.

Las ventajas presentadas anteriormente están referidas únicamente al hecho de que los simuladores de circuitos favorecen de una u otra forma el proceso de enseñanza-aprendizaje en el campo de la electrónica. Sin embargo, el conocimiento acerca del uso de un simulador de circuitos es importante por sí mismo ya que le puede servir al alumno durante su vida profesional si esta se desarrolla en empresas dedicadas al diseño y fabricación de productos electrónicos. Por ello, resulta conveniente que durante su formación el estudiante de ingeniería conozca no solo los simuladores más sencillos (orientados a la docencia), sino que también se familiarice con los entornos de simulación más completos y profesionales.

## **1.2. Necesidad de la modalidad a distancia producto a la situación epidemiológica en Cuba**

Según el artículo 12 de la Resolución 2 del 2018 del MES [5]: “La modalidad a distancia se caracteriza por el aprendizaje autónomo, mediado por el uso de tecnologías y entornos virtuales, y por la articulación de múltiples recursos didácticos, físicos y digitales. Para su desarrollo es fundamental la labor tutorial y el respaldo administrativo-organizativo de centros de apoyo.

Las redes sociales, el correo y la plataforma interactiva Moodle constituyen la base fundamental en esta modalidad, ya que han apoyado tanto a los estudiantes como a los profesores en el acceso y la distribución de la información.

Los efectos de la pandemia provocada por la covid 19 llevaron la Educación Superior cubana a tomar medidas emergentes para dar continuidad al proceso de enseñanza-aprendizaje que se desarrollaba en el país a la llegada de la enfermedad en marzo del 2020. En consecuencia, los colectivos de carreras tuvieron que replantear los diseños curriculares de acuerdo a las posibilidades existentes en los CES y en los territorios de origen de los estudiantes. El curso cerró a finales del 2020 con cierta presencialidad gracias al control epidemiológico logrado en el país. El 2021 comienza con un aumento considerable de la enfermedad y ante la imposibilidad de comenzar cursos presenciales, se decide pasar a la modalidad a distancia temporalmente, lo cual constituyó un enorme reto para la formación universitaria, con énfasis en la enseñanza de

las ingenierías donde los estudiantes deben adquirir un conjunto de capacidades, habilidades y actitudes que les permita cumplir con sus responsabilidades sociales en el ejercicio de la profesión [12].

La Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV asume el desafío. Por ende, los colectivos de las carreras Ingeniería en Automática e Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica acordaron que la asignatura Circuitos Eléctricos I fuera de las pioneras en esta modalidad por la experiencia del colectivo de disciplina en el uso de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje, pero sin desconocer que en esta asignatura los estudiantes deben adquirir un conjunto de capacidades, habilidades y actitudes que les permita cumplir con sus responsabilidades sociales en el ejercicio de la profesión. Para cumplimentar esta compleja tarea se trazó una estrategia didáctica a partir de los recursos digitales anteriormente elaborados en la asignatura y la producción de otros teniendo en cuenta esta nueva modalidad.

Una cuestión fundamental que se acordó fue desarrollar un nuevo sistema de prácticas de laboratorio en un nuevo programa que se adecuara mejor a la nueva modalidad de estudio.

### **1.3. Programas utilizados en la simulación de circuitos eléctricos**

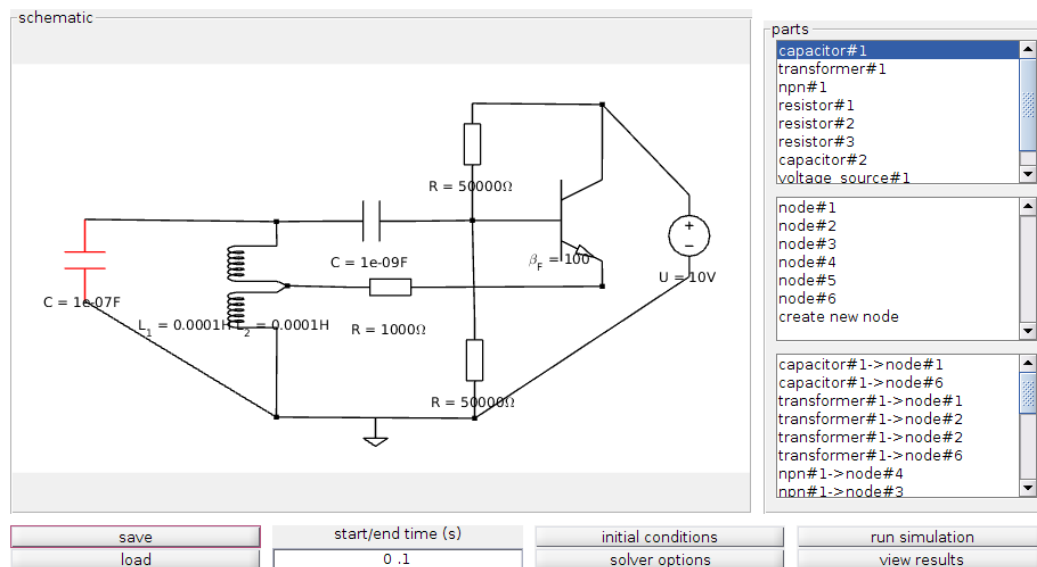
Diseñar y probar circuitos de manera física es una tarea ardua y difícil, pero con la ayuda de los programas de simulación es posible probar primero los diseños antes de implementarlos. Permite asegurar que todo funciona correctamente y así evitar cualquier tipo de fallo y sobre costos [13].

Actualmente existe una gran cantidad de simuladores de circuitos como: KiCad [14], ProfiCAD [15], FreePCB [16], TinyCAD [17], MatLab [7], OrCAD [18] , entre otros. A continuación, se presentarán las características fundamentales de los simuladores MatLab, OrCAD y Qucs, que son los más utilizados en los sistemas de laboratorios para la enseñanza de la disciplina Circuitos Eléctricos II.

#### **1.3.1. Particularidades del MatLab**

MATLAB es una plataforma de programación diseñada específicamente para ingenieros y científicos. El centro de MATLAB es el lenguaje MATLAB, un lenguaje basado en matrices

que permite la expresión más natural de las matemáticas computacionales. En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de la simulación de un circuito eléctrico.



**Figura 1.1.** Simulación de circuitos empleando MatLab [19]

Se utiliza para aprendizaje automático, procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, visión artificial, comunicaciones, finanzas computacionales, diseño de control, robótica y muchos otros campos.

Algunas de las características principales de MATLAB son las siguientes [7]:

- Puede comportarse como una calculadora o como un lenguaje de programación.
- Combina muy bien el cálculo y el trazado gráfico.
- Es relativamente fácil de aprender.
- Se interpreta (no se compila), los errores son fáciles de corregir.
- Está optimizado para ser relativamente rápido cuando se realizan operaciones matriciales.
- Tiene algunos elementos orientados a objetos.

Entre sus tareas comunes están:

- Matemáticas y computación.
- Desarrollo de algoritmos.
- Modelado, simulación y prototipos.
- Análisis, exploración y visualización de datos.

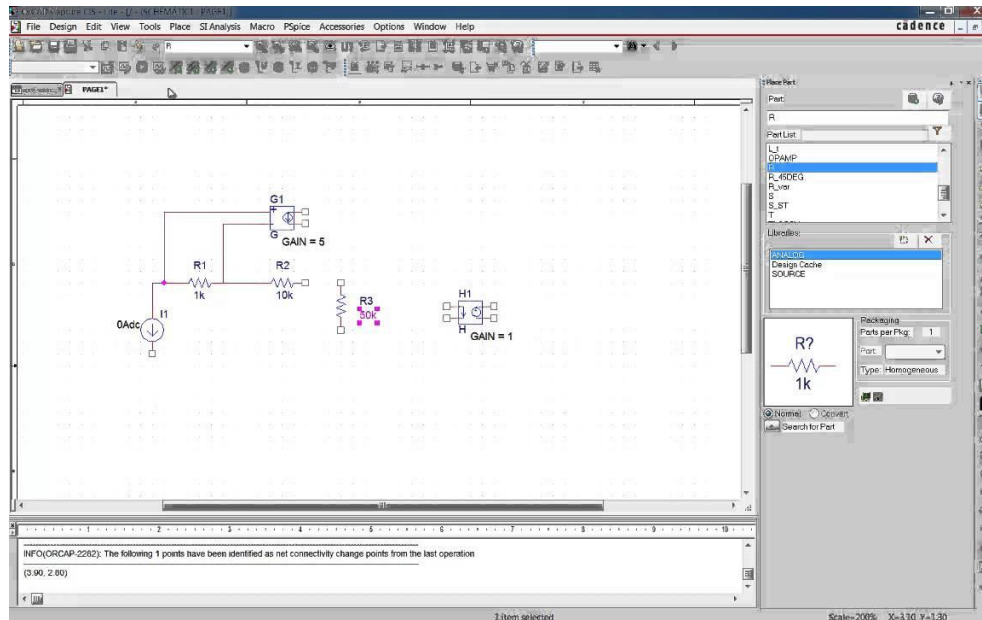
- Gráficos científicos y de ingeniería.
- Desarrollo de aplicaciones, incluyendo la construcción de la Interfaz Gráfica de Usuario.

MatLab está disponible para las plataformas Unix, Windows, macOS y GNU/Linux. A continuación, se presentan los requisitos que necesita la plataforma Windows para ejecutar eficientemente el programa MatLab [20]:

<b>Sistema Operativo</b>	<b>Procesador</b>	<b>Espacio en el disco</b>	<b>Memoria RAM</b>	<b>Gráficos</b>
Windows 10	Cualquier Procesador Intel o AMD x86-64	3.1 GB solo para MATLAB	4 GB	No se requiere de ninguna tarjeta gráfica en específico
Windows 7 Service Pack 1	Se recomienda un procesador Intel o AMD x86-64 con cuatro núcleos lógicos y el soporte al set de instrucciones AVX2	5-8 GB para una instalación típica	Se recomiendan 8 GB	Se recomienda el uso de una tarjeta gráfica que soporte OpenGL 3.3 con 1 GB de memoria en el GPU
Windows Server 2019			Con Polyspace requieren de 4 GB por núcleo	
Windows Server 2016		Se recomienda el uso de una unidad de estado sólido (SSD)		La aceleración de la GPU utilizando Parallel Computing Toolbox requiere una GPU CUDA

### 1.3.2. Particularidades del OrCAD

OrCAD es un programa ampliamente utilizado para el diseño de circuitos electrónicos. Consta de dos bloques básicos: una herramienta para la simulación del comportamiento de circuitos electrónicos (PSPICE) y una herramienta para el diseño de placas de circuito impreso, PCB, (Layout) [18]. En la Figura 1.2 se muestra un ejemplo de simulación de un circuito eléctrico.



**Figura 1.2.** Simulación de un circuito empleando OrCad [21]

Tipos de OrCAD:

- OrCAD Capture: Permite dibujar esquemas de circuitos electrónicos, tanto analógicos, como digitales o mixtos.
- OrCAD Pspice AD: permite simular el comportamiento de circuitos electrónicos analógicos, digitales o mixtos.
- OrCAD Espress: Permite describir sistemas digitales empleando el lenguaje de descripción del hardware VHDL, simularlos a nivel funcional.
- OrCAD Layout: Permite diseñar placas de circuito impreso (PCB) para soportar circuitos electrónicos.

A continuación, se presentan los requisitos que necesita la plataforma Windows para ejecutar eficientemente el programa OrCAD [22]:

Sistema Operativo	Procesador	Espacio en el disco	Memoria RAM	Gráficos
Windows 7 Professional, Enterprise, Ultimate	Intel Pentium 4 o AMD Athlon XP	50 GB	8 GB	Memoria virtual al menos

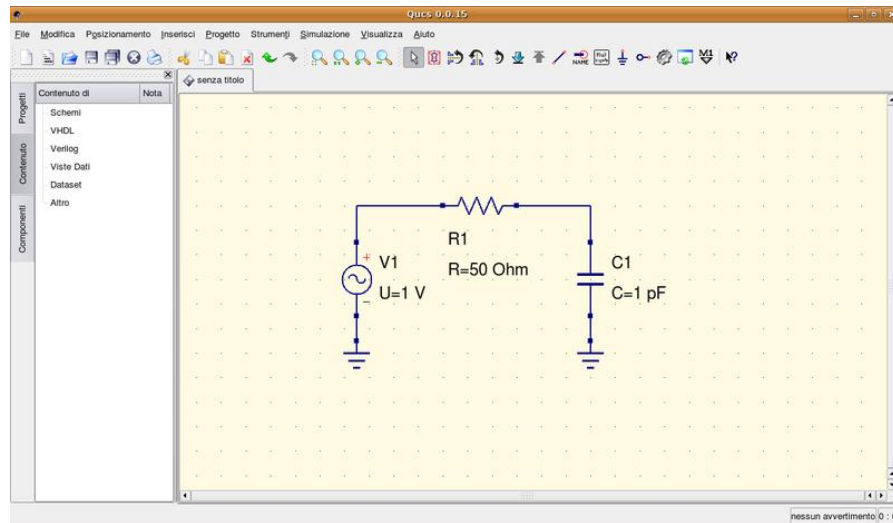
or Home Premium (64-bit)	2000 con múltiples núcleos	Se recomienda 500 GB de espacio libre	Se recomiendan 24 GB	dos veces la memoria física
Windows 8 (64-bit)(All Service Packs)	Se recomienda un procesador Intel Core 2 Duo 2.66 GHz o AMD Athlon 64 X2 5200+			Se recomienda una tarjeta gráfica dedicada
Windows 10 (64-bit)				
Windows 2008 Server R2				
Windows 2012 Server (All Service Packs)				

### 1.3.3. Particularidades del QUCS

QUCS es un programa multiplataforma con una interfaz gráfica basada en Qt<sup>2</sup> capaz de simular el comportamiento del circuito en modo de gran señal, pequeña señal y con ruido eléctrico. Los datos de simulación pueden representarse con varios tipos de diagramas, incluyendo el diagrama de Smith, diagramas cartesianos, tabulares, polares, combinación de polar y Smith, cartesianos en 3D, curvas de lugar, diagramas temporales y tablas de verdad [23].

Los tipos de análisis que incluye son parámetros de dispersión o parámetros-S (incluyendo ruido), de corriente alterna AC (incluyendo ruido), de corriente continua DC, análisis transitorio, análisis en régimen armónico (todavía no finalizado), simulación digital (VHDL y Verilog-HDL) y variación de parámetros. En la Figura 1.3 se muestra un ejemplo de simulación de circuito con este programa.

<sup>2</sup> Qt: framework multiplataforma orientado a objetos ampliamente utilizado para desarrollar programas y herramientas [29]



**Figura 1.3.** Simulación de un circuito [24]

Cuenta con varias componentes como: resistencias, condensadores, bobinas, puestas a tierra, transformador, bloques para corriente continua, polarizador en T, amplificadores, atenuador, bobinas, sondas de corriente y de tensión, conmutadores, varios tipos de Mosfets, amplificadores operacionales, Leds de varios colores, transistores, distintos diodos Zener y diodos convencionales y muchos componentes más.

Otras características incluyen un calculador para líneas de transmisión, síntesis de Filtros, herramientas para el diagrama de Smith para potencia y ruido en adaptación de impedancias, síntesis para diseño de atenuadores, modelado de dispositivos y administrador de bibliotecas de subcircuitos, optimizador para diseños analógicos, interfaz Verilog-A, soporte para lenguajes múltiples (Interfaz Gráfica de Usuario y sistema de ayuda interna), jerarquía de subcircuitos (incluyendo parámetros), potente postproceso de datos utilizando ecuaciones y dispositivos lineales y no lineales definidos simbólicamente.

Desde el punto de vista de los componentes con que cuenta y los tipos de análisis que pueden realizarse en los circuitos eléctricos, garantiza el cumplimiento de los objetivos propuestos en la disciplina CE.

QUCS está disponible para varios sistemas operativos como GNU/Linux, Windows, MacOS, FreeBSD, NetBSD y Solaris. Cuenta con una versión portable que puede ser descargada con facilidad y ejecutarse desde una memoria [23].

## **1.4. Experiencias en la elaboración de prácticas de simulación en la disciplina Circuitos Eléctricos**

La realización de experiencias virtuales constituye un medio de aprendizaje eficaz e innovador que ofrece al estudiante la posibilidad de validar las leyes y métodos de análisis expuestos en la bibliografía. Ante la imposibilidad de realizar laboratorios reales las prácticas virtuales se consolidan como una alternativa interesante que brinda al alumno la posibilidad de realizar simulaciones de diferentes circuitos (casos de estudio) y llegar a conclusiones sobre los resultados obtenidos.

En la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas se han incorporado las computadoras al proceso docente por las ventajas que brindan. El desarrollo de la tecnología de la información y de software dirigidos a estudiantes y profesores de perfil eléctrico, así como el hecho de contar con los recursos necesarios, ha posibilitado la introducción de la computadora como medio auxiliar en la enseñanza de prácticamente todas las asignaturas relacionadas con las carreras que se cursan en dicha facultad [25].

Para la realización de las prácticas de laboratorio se siguen los siguientes pasos que constituyen una estrategia integradora [26]:

- Solución teórica de los ejercicios que serán montados en la práctica.
- Simulación de los circuitos en el programa designado según la carrera.
- Montaje de los circuitos y mediciones con los equipos del laboratorio.
- Análisis de mediciones reales.
- Informe técnico integral.

Para realizar los laboratorios simulados se deben preparar los materiales auxiliares para que los alumnos hagan la tarea previa y puedan comparar los resultados con los obtenidos teóricamente.

Generalmente en la facultad de Ingeniería Eléctrica se emplean un conjunto de herramientas de simulación que por sus características y las facilidades que brindan, permiten desarrollar un conjunto de laboratorios de simulación:

- EWB para la realización de las prácticas de laboratorio de la asignatura Circuitos Eléctricos I, por ser un programa con un ambiente similar a un laboratorio real,

permitiendo al estudiante adquirir habilidades en el manejo de los instrumentos de medición y analizar las respuestas de los circuitos estimulados con corriente directa.

- PSPICE para la realización de las prácticas de laboratorios de las asignaturas Circuitos Eléctricos II y III, por ser un programa que permite al estudiante adquirir habilidades en la interpretación y análisis del comportamiento de circuitos estimulados con corriente alterna, haciendo uso de los diferentes tipos de análisis que permite este simulador.
- MATLAB para la realización de las prácticas de laboratorios de la asignatura Circuitos Eléctricos III, por ser un programa que facilita la solución de problemas que se describen utilizando notaciones matemáticas convencionales sin necesidad de ningún lenguaje de programación, permitiendo operaciones matemáticas, matriciales, resolución de ecuaciones lineales y no lineales, ajustes de curvas, transformada de Fourier, procesamiento de señales, etc.

Para atender las dificultades de los estudiantes se utiliza la tutoría, la cual se realiza principalmente por la vía de consultas planificadas. Se prevén tiempos de laboratorio tanto para las mediciones con equipos como simuladas, de forma que los estudiantes puedan, durante su estudio independiente, tanto individual como en equipos, realizar todos los pasos indicados. De esta forma, pueden cumplir los objetivos educativos e instructivos y adquirir las habilidades previstas en los planes de estudio. Para el estudio independiente y la atención diferenciada a los estudiantes, se utilizan las evaluaciones y actividades que forman parte de los cursos montados en Moodle [26].

### **1.5. Conclusiones del capítulo**

La ejecución de prácticas de simulación constituye un importante medio de apoyo para el estudiante pues consolidan los conocimientos adquiridos y su aplicación práctica mediante resolución de problemas. Es un recurso valioso en la modalidad a distancia pues permite la comprobación de los contenidos teóricos.

Los programas: MatLab, OrCAD y QUCS constituyen una herramienta esencial para la resolución y simulación de problemas reales que se presentan en la vida de los ingenieros eléctricos. QUCS resalta sobre los demás ya que es un simulador de circuitos electrónicos

portable, multiplataforma, de código abierto cuya licencia de distribución es GNU/GPL, fácil de utilizar y la demanda en cuanto a requisitos del sistema es baja.

Las potencialidades del programa libre Quite Universal Circuit Simulator se perfilan como idóneas para apoyar los sistemas de laboratorios de la asignatura Circuitos Eléctricos pues cuenta con una versión portable que en las condiciones actuales de pandemia resulta muy útil. Puede ser descargada con facilidad, ejecutarse desde una memoria y ofrece herramientas para la simulación en corriente directa, alterna, estado transitorio, paramétrica y en frecuencias. Además, despierta en el alumno el interés hacia el movimiento de programa libre y su importancia para el logro de la independencia tecnológica.

## **CAPÍTULO 2. PRÁCTICAS DE LABORATORIO SIMULADOS DE LA ASIGNATURA CE II**

En este capítulo se presentan el sistema de prácticas de laboratorio existente antes de realizar este trabajo, para las carreras de Ingeniería en Automática e Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. A continuación, se determinan los contenidos teóricos que se van a incluir en las prácticas simuladas con el nuevo programa y el sistema de laboratorios que se elaboró para dar cumplimiento al principal objetivo de esta tesis. Además, se presenta un tutorial sobre el simulador electrónico QUCS. Inicialmente se hace una breve descripción del funcionamiento del programa y luego se presenta una guía para simular circuitos eléctricos sencillos.

### **2.1. Sistema de laboratorio de CE II por carrera existente antes de la realización de la investigación**

Cada una de las carreras tiene un sistema de laboratorio, de acuerdo al sistema de conocimientos que aparece en el Plan de Estudio E de las mismas.

#### **2.1.1 Sistema de laboratorios Carrera Ingeniería en Automática**

Utilizando MatLab:

##### **Laboratorio 1: Cuadripolos.**

**Sistema de Conocimientos:** Concepto de cuadripolo, ecuaciones básicas, circuitos equivalentes, reciprocidad y simetría, relaciones de entrada, salida y transferencia para distintas condiciones de carga, asociaciones.

##### **Sistema de habilidades:**

1. Caracterizar circuitos eléctricos utilizando los parámetros  $y$ ,  $z$ ,  $h$  y  $t$ .
2. Aplicar fasorialmente los métodos de análisis de circuitos lineales al cálculo de parámetros y otras características de los cuadripolos.
3. Calcular juegos de parámetros en un cuadripolo a través de la medición de magnitudes eléctricas.

## Objetivos

- Obtener las ecuaciones básicas del cuadripolo lineal en función de los parámetros  $Z$ .
- Determinar la impedancia de entrada del cuadripolo con carga.

**Laboratorio 2:** Resonancia en circuitos eléctricos.

**Sistema de Conocimientos:** Resonancia en circuitos eléctricos, propiedades de los circuitos resonantes serie, paralelo y serie-paralelo.

## Sistema de Habilidades

1. Aplicar el concepto y las propiedades de los circuitos resonantes al análisis de redes RLC serie, paralelo y serie - paralelo.
2. Analizar el comportamiento de diferentes configuraciones de circuitos en condiciones de resonancia.

## Objetivos:

- Determinar la frecuencia de resonancia en circuitos serie, paralelo y ramificados.
- Determinar formas de ondas de corriente y voltaje en los diferentes elementos e impedancia de entrada en circuitos resonantes.
- Determinar el ancho de banda en circuitos resonantes.
- Comprobar la influencia de la resistencia en el ancho de banda de un circuito resonante paralelo.

**Laboratorio 3:** Propiedades de la transformada de Fourier.

**Sistema de conocimientos:** Obtención del espectro de señales periódicas no sinusoidales usando la serie de Fourier. Uso de la transformada de Fourier para obtener el espectro de señales no periódicas. Análisis de circuitos monofásicos con señales no sinusoidales.

## Sistema de habilidades

1. Obtener el espectro de una señal periódica no sinusoidal usando las series de Fourier.
2. Obtener el espectro de una señal aperiódica usando la Transformada de Fourier.

3. Realizar el análisis de un circuito eléctrico lineal con estímulos periódicos no sinusoidales aplicando el teorema de la superposición y el método fasorial.

### **Objetivo**

- Comprobar las propiedades de la Transformada de Fourier estudiadas en clase utilizando el asistente matemático MatLab.

### **Laboratorio 4:** Filtros activos.

**Sistema de conocimientos:** Aproximaciones para obtener funciones transferenciales asociadas a filtros. Diseño de Filtros activos.

### **Sistema de habilidades**

1. Obtener las funciones transferenciales dada la característica de amplitud de la respuesta de frecuencia de un filtro usando las aproximantes de Butterworth y Chebyshev.
2. Utilizar requerimientos de diseño para diseñar filtros activos, incluyendo para ello la utilización de programas profesionales de computadora.

### **Objetivo**

- Simular filtros activos con programas profesionales (Multisim, Tina) a partir de especificaciones de diseño.

### **Laboratorio 5:** Circuitos trifásicos.

**Sistema de conocimientos:** Sistemas polifásicos Sistemas monofásicos de tres hilos balanceados y desbalanceados. Conexión Y-Y trifásica. Conexión  $\Delta$ - $\Delta$  trifásica. Conexión Y- $\Delta$  trifásica. Medición de potencia en sistemas trifásicos.

### **Sistema de habilidades**

1. Aplicar el método fasorial al análisis de circuitos trifásicos balanceados en delta y en estrella, incluyendo el caso de cargas trifásicas en paralelo, así como los diferentes tipos de potencia trifásica.

2. Calcular voltajes y corrientes de fase y línea, así como los diferentes tipos de potencia trifásica, en circuitos desbalanceados, conectados en delta y estrella. Determinar el factor de potencia a que está operando una fuente trifásica.

### **Objetivos**

- Comprobar las soluciones obtenidas analíticamente, en circuitos trifásicos, mediante la simulación del circuito

### **2.1.2 Sistema de laboratorios Carrera Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica**

Utilizando MatLab:

**Laboratorio 1:** Cuadripolos.

**Sistema de Conocimientos:** Concepto de cuadripolo, ecuaciones básicas, circuitos equivalentes, reciprocidad y simetría, relaciones de entrada, salida y transferencia para distintas condiciones de carga, asociaciones.

**Sistema de habilidades:**

1. Caracterizar circuitos eléctricos utilizando los parámetros  $y$ ,  $z$ ,  $h$  y  $t$ .
2. Aplicar fasorialmente los métodos de análisis de circuitos lineales al cálculo de parámetros y otras características de los cuadripolos.
3. Calcular juegos de parámetros en un cuadripolo a través de la medición de magnitudes eléctricas.

**Objetivos**

- Obtener las ecuaciones básicas del cuadripolo lineal en función de los parámetros  $Z$ .
- Determinar la impedancia de entrada del cuadripolo con carga.

**Laboratorio 2:** Resonancia en circuitos eléctricos.

**Sistema de Conocimientos:** Resonancia en circuitos eléctricos, propiedades de los circuitos resonantes serie, paralelo y serie-paralelo.

### **Sistema de Habilidades**

1. Aplicar el concepto y las propiedades de los circuitos resonantes al análisis de redes RLC serie, paralelo y serie - paralelo.
2. Analizar el comportamiento de diferentes configuraciones de circuitos en condiciones de resonancia.

### **Objetivos:**

- Determinar la frecuencia de resonancia en circuitos serie, paralelo y ramificados.
- Determinar formas de ondas de corriente y voltaje en los diferentes elementos e impedancia de entrada en circuitos resonantes.
- Determinar el ancho de banda en circuitos resonantes.
- Comprobar la influencia de la resistencia en el ancho de banda de un circuito resonante paralelo.

### **Laboratorio 3:** Filtros activos.

**Sistema de conocimientos:** Aproximaciones para obtener funciones transferenciales asociadas a filtros. Diseño de Filtros activos.

### **Sistema de habilidades**

1. Obtener las funciones transferenciales dada la característica de amplitud de la respuesta de frecuencia de un filtro usando los aproximantes de Butterworth y Chebyshev.
2. Utilizar requerimientos de diseño para diseñar filtros activos, incluyendo para ello la utilización de programas profesionales de computadora.

### **Objetivo**

- Simular filtros activos con programas profesionales (Multisim, Tina) a partir de especificaciones de diseño.

### **Laboratorio 4:** Redes de adaptación de impedancias.

**Sistema de conocimientos:** Parámetros imágenes. Pérdidas de transmisión e inserción. Redes de adaptación de impedancias, diferentes estructuras, rechazo de frecuencia. Atenuadores resistivos, diferentes estructuras.

### **Sistema de habilidades**

1. Aplicar la teoría de los parámetros imágenes para el diseño de atenuadores resistivos y redes de adaptación de impedancias.

### **Objetivos**

Utilizando el Multisim:

- Comprobar los resultados del diseño de redes adaptadoras de impedancias tratadas en clases prácticas.
- Comparar la respuesta de frecuencias de una red L y una red T.
- Observar la influencia de la razón de transformación en la respuesta de frecuencias de las redes L y T.

### **2.2. Temas escogidos para la simulación**

Se considera que cada tema debe tener una práctica de laboratorio donde se puedan comprobar los contenidos teóricos. No obstante, en esta tesis, por problemas de tiempo y tomando los temas afines a las tres carreras se elaboraron cinco prácticas de los siguientes temas:

1. Circuitos lineales en Corriente alterna: Este tema corresponde a CE I, pero en este curso se pide autorización para pasarlo al CE II en las carreras de Ingeniería en Automática y en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, ya que los estudiantes no habían recibido el tema de variables complejas en la disciplina Matemática
2. Cuadripolos
3. Circuitos acoplados magnéticamente. Transformadores
4. Respuesta de frecuencia
5. Resonancia en circuitos eléctricos
6. Circuitos trifásicos

### **2.3. Técnica operatoria de las prácticas simuladas elaboradas**

Las técnicas operatorias de las prácticas de laboratorio elaboradas se encuentran en el Anexo I de este informe, no obstante, se muestran a continuación sus objetivos.

**PRÁCTICA VIRTUAL 1:** Circuitos de corriente alterna.

**Objetivos:** Determinar por medio de la simulación las relaciones volt-ampéricas de los diferentes elementos del circuito y la potencia en circuitos de corriente alterna. Determinar el factor de potencia de una red y proponer acciones de mejora.

**PRÁCTICA VIRTUAL 2:** Redes de dos puertos o Cuadripolos

**Objetivos:** Obtener por medio de la simulación los parámetros de impedancia, admitancia, híbridos y de transmisión de diferentes redes de dos puertos.

**PRÁCTICA VIRTUAL 3:** Circuitos acoplados magnéticamente. Transformadores.

**Objetivos:** Describir las relaciones el voltaje y la corriente en circuitos con inductancia mutua, en régimen sinusoidal incluyendo las características fundamentales de los transformadores lineales e ideales.

**PRÁCTICA VIRTUAL 4:** Respuesta de frecuencia.

**Objetivos:** Determinar y analizar de forma aproximada las características de amplitud y fase contra frecuencia de funciones de redes.

**PRÁCTICA VIRTUAL 5:** Circuitos resonantes.

**Objetivos:** Medir los principales parámetros de los circuitos resonantes serie y paralelo. Comprobar las propiedades de los circuitos resonantes.

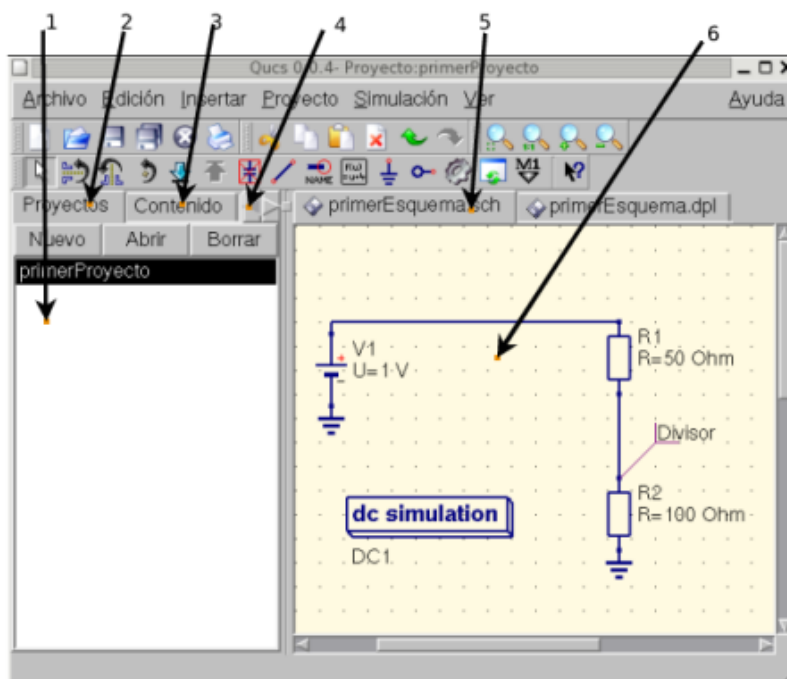
**PRÁCTICA VIRTUAL 6:** Circuitos trifásicos

**Objetivos:** Determinar tensiones y corrientes en circuitos trifásicos balanceados con cargas conectadas en estrella y delta. Determinar la potencia trifásica total consumida por una carga en un sistema trifásico balanceado y desbalanceado, aplicando el método de Blondel.

## 2.4. Breve descripción del funcionamiento del software

La primera vez que se ejecuta el programa QUCS se crea el directorio ".qucs" dentro del directorio /home del usuario. Todos los archivos se graban en este directorio o en alguno de sus subdirectorios. Después de cargado, la ventana principal tiene un aspecto similar al de la Figura 2.1.

En el lado derecho hay un área de trabajo (6) que contiene los esquemas, visores de datos, etc. Al utilizar las pestañas (5) sobre esa área, se puede cambiar con rapidez entre los documentos que estén abiertos. A la izquierda de la ventana principal se encuentra el área (1) cuyo contenido depende de la pestaña seleccionada en la parte superior: Proyectos (2), Contenido (3) y Componentes (4).



**Figura 2.1.** Ventana principal de QUCS [27]

Después de ejecutar Qucs, la pestaña de "Proyectos" (2) se activa. Si es la primera vez que arranca este programa, esta área está vacía porque no existe ningún proyecto.

Para hacer una simulación simple de corriente continua como la de la Figura 2.1 primero se activa la pestaña Componentes. Luego se observa una caja desplegable donde se puede escoger un grupo de componentes, y debajo, los componentes del grupo seleccionado.

Una vez que se selecciona un elemento y se lleva a la hoja, al pulsar el botón derecho del ratón rota el símbolo, al pulsar el botón izquierdo coloca el componente en el esquema. Para editar los parámetros de los elementos, se hace doble clic sobre ellos.

Para conectar los componentes, se emplea el botón cablear de la barra de herramientas o por el menú principal: Insertar ->Cable. Los subcircuitos se usan para dar más claridad a un esquema.

En QUCS cada esquema que contenga una conexión de subcircuito es un subcircuito. Para conseguir una conexión de subcircuitos, dirigirse a la barra de herramientas, la vista de componentes (en componentes sueltos) o al menú Insertar -> Insertar conexión. Después de colocar todas las conexiones del subcircuito hay que guardar el esquema.

En el proceso de instalación se instalan varios programas:

- /usr[/local]/bin/Qucs - el interfaz gráfico
- /usr[/local]/bin/Qucsator - el simulador (aplicación de consola)
- /usr[/local]/bin/Qucsedit - un simple editor de texto
- /usr[/local]/bin/Qucshelp - un programita para mostrar el sistema de ayuda

Todos los programas son aplicaciones independientes y pueden ejecutarse por separado. El programa principal o interfaz gráfico llama a Qucsator para realizar una simulación, llama a Qucsedit para mostrar archivos de texto y llama a Qucshelp para mostrar el sistema de ayuda.

Otra característica a resaltar son las posibles funciones matemáticas que se pueden realizar. Dichas funciones van desde las operaciones más elementales hasta las trigonométricas, logarítmicas, exponenciales, con matrices, derivadas y otras relacionadas con vectores [23].

## **2.5.Guía para simular un circuito eléctrico simple con QUCS**

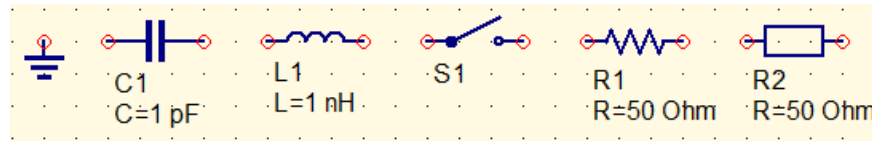
A continuación, se explica el funcionamiento básico del programa [28]:

- Componentes

En la parte izquierda está posicionada la lista de componentes donde se encuentran los componentes sueltos, fuentes y sondas. Los componentes que se utilizan con más frecuencia son:

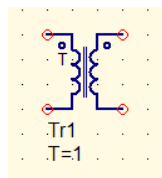
Componentes sueltos:

Tierra (es determinante el uso de la componente en el circuito para una correcta ejecución y obtener valores resultantes), Condensador o Capacitor (se le puede definir un valor de tensión inicial), Bobina, Conmutador (controlado por tiempo) al hacer doble clic es importante el estado inicial ya sea normalmente cerrado o abierto, también se puede definir el tiempo que vaya a demorar en producirse la conmutación, el otro parámetro a tener en cuenta son las Resistencias.



Transformador ideal:

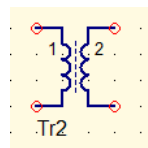
Con fuente de acoplamiento, haciendo doble clic se define la relación de transformación, ya sea reductor o elevador



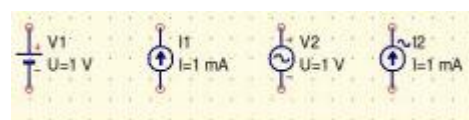
Bobinas acopladas:

Es el transformador lineal, al hacer doble clic son 2 bobinas acopladas, se trabaja como circuito magnético de bobinas acopladas, inductancia entre las 2 bobinas y k el factor de acoplamiento, k (una medida de cuanto una bobina influye en la otra)

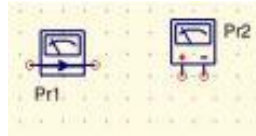
El valor de k entre 0 y 1, más cerca de 1, va a hacer mayor el flujo q atraviesa el campo magnético por lo tanto se induce una mayor corriente en la segunda bobina



Fuentes: Fuentes de tensión y de intensidad dc (fuente continua); Fuente de tensión y de intensidad ac (fuente senoidal).



Sondas: Sonda de corriente en serie (amperímetro); Sonda de tensión en paralelo (voltímetro).

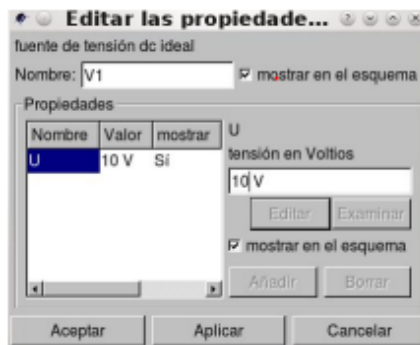


- Construcción de un circuito

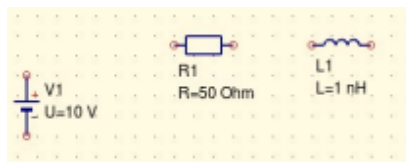
Se selecciona el componente deseado y se sitúa en el lugar que se requiere. La flecha situada en el centro del menú superior, permite, deseleccionar el componente elegido.



Para introducir valores, rotar y otras funciones, se debe seleccionar un componente cualquiera, hacer doble clic, y luego llenar los campos requeridos que saldrán en un menú.



Seguidamente se insertan tantos componentes como se necesiten.

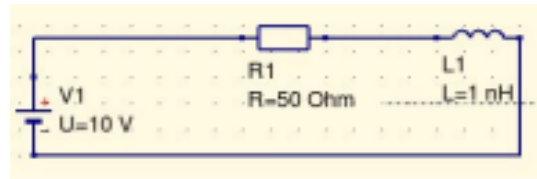


Uniones: en el menú, en la parte superior central, se selecciona el cable de unión

Tener en cuenta M1 que permite poner marcas en el gráfico para definir valores exactos y poder visualizar punto a punto con exactitud en pares ordenados x;y



De esta manera se unen los componentes por sus terminales.



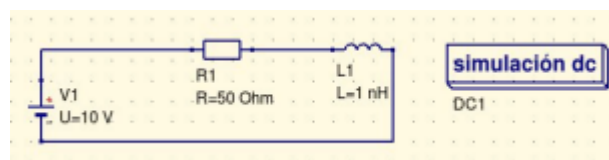
- Simulación

Se pueden realizar cuatro tipos de simulaciones:

En continua 1 (simulación DC); en senoidal 2 (simulación AC) que se puede hacer dejando constante la frecuencia para los circuitos de corriente alterna en estado estable, también pudiera ser variando la frecuencia para estudiar la respuesta de frecuencia de un circuito con un filtro que regula las indicaciones, resonancia para ver en q frecuencia ocurre la resonancia; en el dominio temporal 3 (simulación transitoria) aquí varia el tiempo lo que permite observar una forma de onda en el tiempo y analizar el desfase, las ecuaciones permiten extender los cálculos q se necesiten. Otra simulación pudiera ser 4 Parámetro de barrido, se analiza desde un inicio hasta el final con un paso determinado.

<p><b>simulación del parámetro S</b></p> <p>SP1 Type=lin Start=1 GHz Stop=10 GHz Points=19</p>	<p><b>simulación transitoria</b></p> <p>TR1 Type=lin Start=0 Stop=1 ms</p>
<p><b>simulación dc</b></p> <p>DC1</p>	<p><b>simulación ac</b></p> <p>AC1 Type=lin Start=1 GHz Stop=10 GHz Points=19</p>

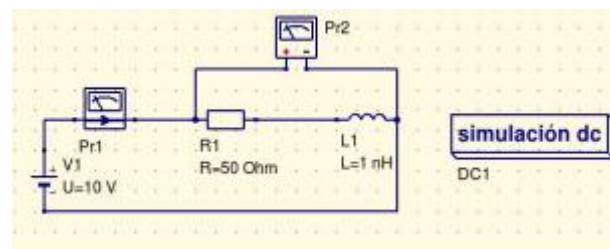
Se debe seleccionar la opción de simulación que se encuentra dentro del menú situado en la sección de componentes. Luego se elige la que se quiera y se coloca al lado del circuito. En el ejemplo siguiente se tiene en cuenta DC.



Al presionar la tecla F2 se ejecuta la simulación. Cada vez que se cambie algún valor de un componente, o se modifique el circuito, se debe hacer una simulación, para que se actualicen los resultados. La presentación de resultados, que se puede ver en tabla, con 2 formas diagrama cartesiano y tabular

- Visualizar resultados

Para analizar los resultados se deben utilizar sondas, es decir, colocar amperímetros y voltímetros en el circuito. Para ello se debe ir a la sección de componentes y posteriormente a sondas. La sonda de corriente se coloca en serie con el elemento para poder calcular la corriente que circula por él. La sonda de tensión se selecciona, se coloca en el dibujo y, posteriormente se debe utilizar el cable de unión para poder conectarla en paralelo entre los terminales entre los cuales queremos medir la diferencia de potencial.



Para visualizar los resultados, en la sección de componentes se selecciona diagramas. Para decidir qué valores de las sondas de tensión y corriente se van a mostrar en la tabla de resultados se puede ejecutar la tecla tabular.

**Editar las propiedades del di...**

Datos

Entrada del gráfico: Pr2.V

Notación numérica: módulo/ángulo (grados) Precisión: 3

Conjunto de Datos: prueba1

Nombre	Tipo	Tamaño
Pr1.I	indep 1	
Pr2.V	indep 1	
V1.I	indep 1	

Gráfico: Pr1.I, Pr2.V

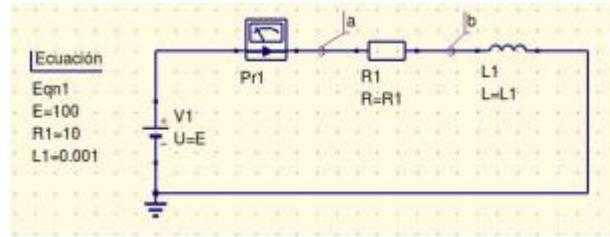
Nuevo Gráfico

Eliminar Gráfico

Aceptar Aplicar Cancelar

number	Pr1.I	Pr2.V
1	0.2	10

- Visualización de resultado de otra forma



Los valores de los componentes se pueden indicar introduciendo los datos en unas ecuaciones. Para ello en el menú superior se debe seleccionar en el icono ecuaciones e introducir las

ecuaciones que se necesitan, añadiendo la fórmula



Existe otra forma de calcular la diferencia de potencial en el circuito. Se puede introducir nombre en diferentes partes del circuito. En el ejemplo, se pusieron a y b. El programa al simular calculará la tensión entre el terminal a y el nudo de referencia, y también la tensión entre el terminal b y el nudo de referencia.

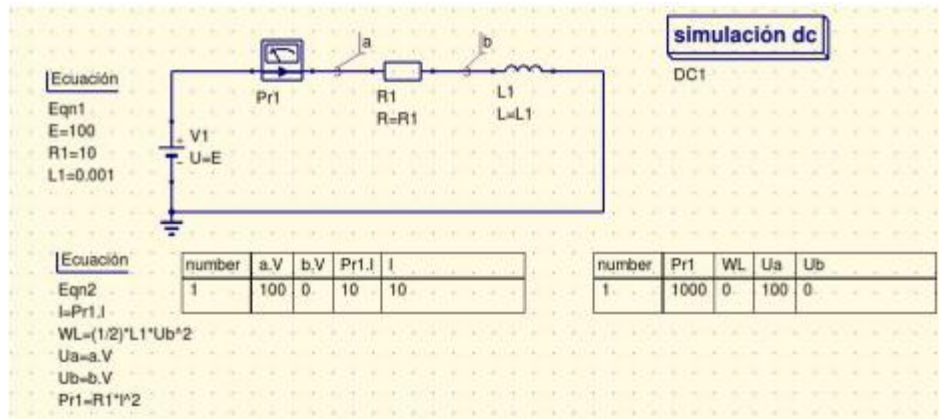
Si la simulación es en continua (simulación DC), aparecen unas variables que son (todas son valores constantes):

a.V: tensión entre el terminal a y referencia.

b.V: tensión entre el terminal b y referencia.

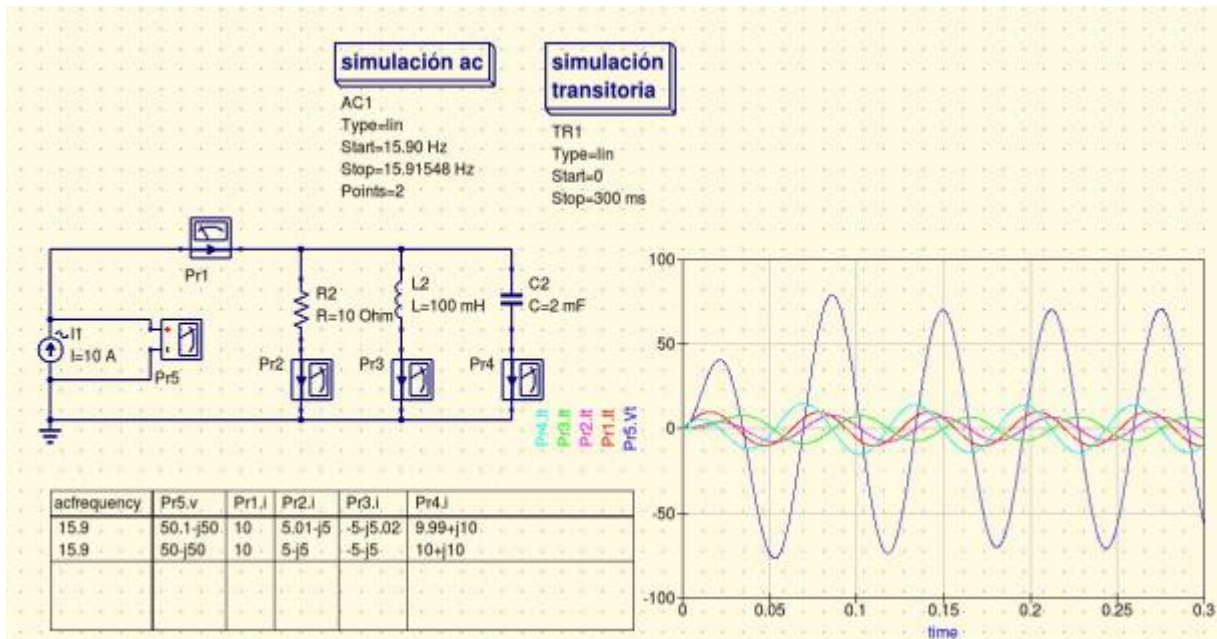
Pr1.I: corriente medida por la sonda.

Se simula (F2) y posteriormente se pueden incluir más fórmulas para calcular potencia, energías, poner ecuaciones adicionales, entre otros. Por último, se visualizan los resultados: componentes->diagramas->Tabular.



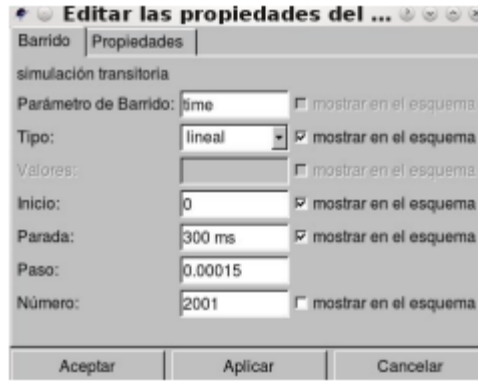
Simulación alterna.

Se puede realizar una simulación con fuentes senoidales.



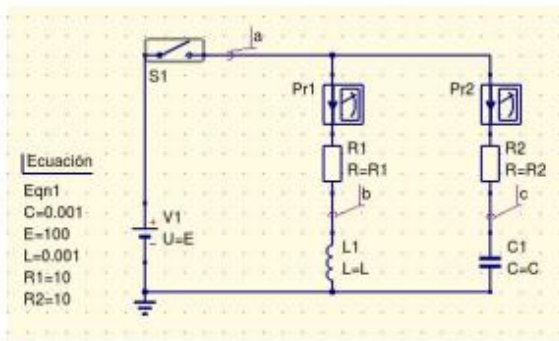
Para ello se diseña el circuito, empleando fuentes de tipo senoidal para ello.

La simulación ac, permite determinar las corrientes y tensiones en forma compleja obtenidas por las sondas (por ejemplo, Pr5.i; Pr1.v) y representarla en una tabla. Seleccionando la simulación ac, se puede decidir el rango de frecuencias a simular. Como mínimo se sitúan dos frecuencias que coincidan con la frecuencia de la fuente utilizada.



Simulación transitoria.

Se puede hacer una simulación en el dominio del tiempo. En la figura se ve un ejemplo.



Se cierra un conmutador en el instante  $t=1$  ms (el conmutador está situado en el menú de componentes sueltos). El conmutador se puede situar inicialmente abierto o cerrado, y se especifica en qué instante cambia de posición.

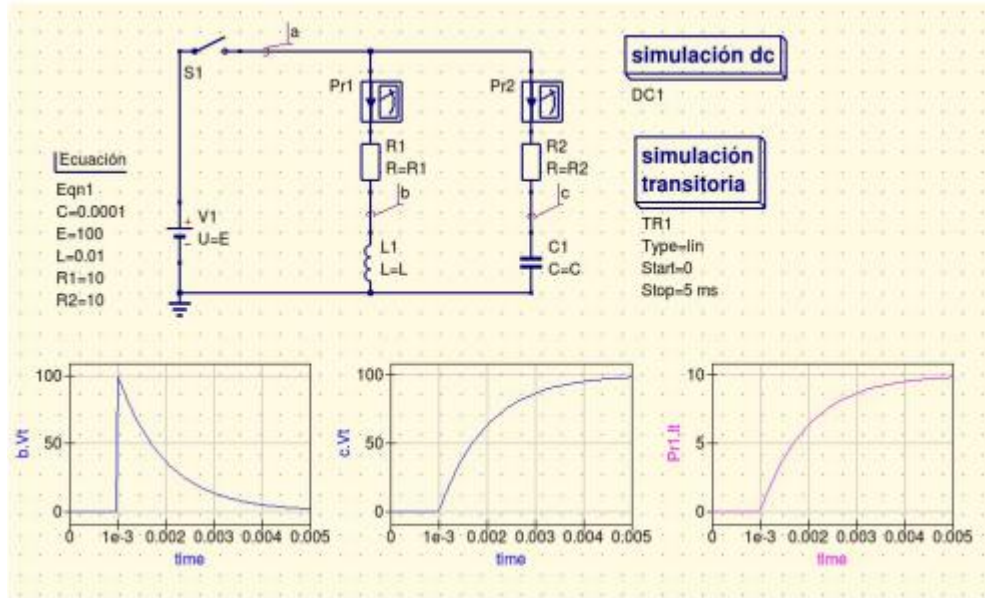
Para realizar una simulación transitoria, se debe seleccionar en el menú de componentes, el submenú simulaciones y dentro de él, simulación transitoria. Se deben introducir el tiempo de comienzo (Start), el tiempo final (Stop) y el número de puntos a representar (número). En principio se debe elegir un número suficientemente alto para que los errores sean pequeños. Al realizar la simulación (F2), aparecen variables nuevas, que dependen del tiempo:

Pr1.It: corriente temporal.

a.Vt: tensión del terminal a respecto al nudo de referencia, en función del tiempo.

b.Vt: tensión del terminal b respecto al nudo de referencia, en función del tiempo.

c.Vt: tensión del terminal c respecto al nudo de referencia, en función del tiempo.



Para visualizar los resultados se iría al menú componentes->diagramas->Cartesiano. Se selecciona la variable a representar, que son terminadas en It o Vt (corriente o tensión) según el tipo de variable empleada (ejemplo Pr1.It).

## 2.6. Conclusiones del capítulo

El sistema de laboratorios elaborado responde a la necesidad de utilizar un nuevo programa de simulación que sea más asequible a los estudiantes en la modalidad a distancia o híbrida, para poder cumplimentar los objetivos de la asignatura.

Se presentan cinco laboratorios para las carreras de IA e ITE, cuyos estudiantes están familiarizados con el programa durante la impartición de la asignatura precedente (CE I).

La guía de uso del programa QUCS servirá de apoyo a los estudiantes para utilizarlo en la comprobación de los resultados analíticos de ejercicios de clases prácticas y propuestos por el profesor o el libro.

## CONCLUSIONES

El software libre utilizado (QUCS) constituye una herramienta que está al alcance de docentes y estudiantes. Permite la simulación de circuitos eléctricos y fomenta el empleo de software libre con fines docentes como alternativa ante el problema que supone el software propietario. Además, se despierta en el alumno el interés hacia el movimiento de software libre y su importancia para el logro de la independencia tecnológica.

El simulador electrónico QUCS servirá de apoyo a los estudiantes que utilicen este programa para comprobar los contenidos teóricos que se imparten en la disciplina CE, así como los resultados de los cálculos efectuados al realizar ejercicios propuestos por el profesor.

Como resultado de la investigación, se diseñó un sistema de laboratorio, cumpliéndose de esta forma el objetivo general planteado ya que:

1. Se realizó la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de perfeccionar los laboratorios simulados en la asignatura Circuitos Eléctricos II
2. Se diseñaron las prácticas de laboratorios con el simulador QUCS
3. Se elaboró un tutorial sobre el uso del programa QUCS

## **RECOMENDACIONES**

Derivadas del estudio realizado, así como de las conclusiones generales emanadas del mismo, se recomienda:

1. En las disciplinas que necesiten simulaciones de circuitos eléctricos, cuyas prácticas estén montadas en otros softwares propietarios, migrar los sistemas de laboratorios empleando el software QUCS.
2. Ampliar la cantidad de laboratorios simulados para completar todos los temas de la disciplina en las carreras de la FIE
3. Añadir a la plataforma Moodle en la sección correspondiente, la herramienta QUCS, así como los materiales didácticos necesarios para su utilización.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Enrique, A. Vega, and B. B. Fonseca, “Estudio sobre evaluación de competencias en la Plataforma de Laboratorios Remotos,” vol. 12, no. 2, pp. 54–66, 2019.
- [2] EcuRed, “Laboratorio virtual - EcuRed,” 2018.  
[https://www.ecured.cu/Laboratorio\\_virtual](https://www.ecured.cu/Laboratorio_virtual) (accessed Oct. 13, 2021).
- [3] EcuRed, “Metodología para la creación de un laboratorio virtual - EcuRed,” 2019.  
[https://www.ecured.cu/Metodología\\_para\\_la\\_creación\\_de\\_un\\_laboratorio\\_virtual](https://www.ecured.cu/Metodología_para_la_creación_de_un_laboratorio_virtual) (accessed Oct. 13, 2021).
- [4] F. Castellanos and O. M. Martínez Palmera, “Laboratorios virtuales (LV) como apoyo a las prácticas a distancia y presenciales en ingeniería,” *Inge-Cuc*, vol. 6, no. 1, pp. 259–266, 2010.
- [5] Ministerio de Justicia, “Resolución No. 2/2018,” *Gac. Of. la República Cuba*, 2018.
- [6] “About OrCAD | OrCAD.” <https://www.orcad.com/about/overview> (accessed Oct. 13, 2021).
- [7] MathWorks, “MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink,” 2021. [https://la.mathworks.com/products/matlab.html?s\\_tid=hp\\_products\\_matlab](https://la.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_products_matlab) (accessed Oct. 13, 2021).
- [8] M. Pareja, “Software libre y simulación de circuitos electrónicos,” 2013, [Online]. Available:  
[https://www.acta.es/medios/articulos/ayudas\\_y\\_herramientas/013001.pdf%0A%0A](https://www.acta.es/medios/articulos/ayudas_y_herramientas/013001.pdf%0A%0A).
- [9] I. Moreno, J. Curbelo, and R. Orozco, “Estrategia didáctica para potenciar el proceso de enseñanza aprendizaje de los Circuitos Eléctricos en el Plan E,” *Even. Prov. Univ.* 2018, 2016.
- [10] J. J. Ortega Villalba, “Documento base para el diseño de los planes de estudio ‘E,’” 2018.
- [11] M. Montijano, “La simulación de circuitos en el aula de Electrónica,” 2009.
- [12] I. Moreno and E. Ortiz, “Estructura de curso en Moodle para modalidad de educación a distancia en la enseñanza de ingenierías.” 2021.
- [13] R. Velasco, “Diseña y prueba tus circuitos electrónicos con estos programas,” 2021.  
<https://www.softzone.es/programas/utilidades/simuladores-circuitos-electronicos/> (accessed Oct. 26, 2021).
- [14] J.-P. Charras and F. Tappero, “KiCad | 5.1 | English | Documentation | KiCad,” 2015.  
<https://docs.kicad.org/5.1/en/kicad/kicad.html> (accessed Oct. 15, 2021).

- [15] ProfiCAD, “Electrical Diagrams Software,” p. 91, 2014, [Online]. Available: <http://www.proficad.com>.
- [16] A. Wright, “FreePCB User Guide Version 1 . 4,” pp. 1–168, 2007.
- [17] M. Pyne, “TinyCAD User ’ s Manual Founding author,” 2013.
- [18] Cadence Design Systems, “About OrCAD | OrCAD,” 2021. <https://www.orcad.com/about/overview> (accessed Oct. 16, 2021).
- [19] MathWorks, “Electronic Circuit Simulation Tool - File Exchange - MATLAB Central,” 2021. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/56195-electronic-circuit-simulation-tool> (accessed Oct. 16, 2021).
- [20] MathWorks, “System Requirements for MATLAB - MATLAB & Simulink,” 2021. <https://es.mathworks.com/support/requirements/matlab-system-requirements.html> (accessed Oct. 27, 2021).
- [21] OrCad, “File:Orcad schematic capture.PNG - Wikipedia,” 2016. [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orcad\\_schematic\\_capture.PNG](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orcad_schematic_capture.PNG) (accessed Oct. 16, 2021).
- [22] FlowCAD, “OrCAD / Allegro Hardware and Software Requirements 17 . 2 64-Bit Requirement,” pp. 1–3, 2016.
- [23] QUCS, “Qucs project: Quite Universal Circuit Simulator,” 2017. <http://qucs.sourceforge.net/index.html> (accessed Oct. 16, 2021).
- [24] QUCS, “File:Qucs screenshot.png - Wikimedia Commons,” 2009. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Qucs\\_screenshot.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Qucs_screenshot.png) (accessed Oct. 16, 2021).
- [25] I. Moreno and J. Chaljub, “Uso de las NTIC en la enseñanza de los Circuitos Eléctricos,” *Memorias del Simp. 100 Años la Enseñanza la Ing. Eléctrica*, 2000.
- [26] I. Moreno, “Experiencias en el uso de las TIC en la enseñanza de los circuitos eléctricos,” *Rev. Energética*, vol. XXX, no. 2, 2009, [Online]. Available: [http://www.cujae.edu.cu/ediciones/.%5C%5CEnergetica%5C%5CVol-XXX%5C%5C2009%5C%5C36-46\\_Experiencias.pdf](http://www.cujae.edu.cu/ediciones/.%5C%5CEnergetica%5C%5CVol-XXX%5C%5C2009%5C%5C36-46_Experiencias.pdf).
- [27] Qucs Team, “Empezando por el principio — documentación de Qucs Help - 0.0.18,” 2014. <https://qucs-help.readthedocs.io/es/qucs-0.0.18/start.html> (accessed Oct. 29, 2021).
- [28] S. Contreras, “Figura 1: Programa qucs. El funcionamiento básico del programa se explica a continuación.” pp. 3–8, 2018.
- [29] The Qt Company, “Qt | Design & Development Framework for Cross-platform Applications,” 2021. <https://www.qt.io/product> (accessed Oct. 26, 2021).

## ANEXOS

### **PRÁCTICA VIRTUAL 1:** Circuitos de corriente alterna.

**Objetivos:** Determinar por medio de la simulación las relaciones volt-ampéricas de los diferentes elementos del circuito y la potencia en circuitos de corriente alterna. Determinar el factor de potencia de una red y proponer acciones de mejora.

**Duración:** 2 horas.

#### **Bibliografía:**

Hayt W. Kemmerly J., Engineering Circuit Analysis, Séptima Edición, 2007. Parte II, capítulo 10.

#### **Preparación Previa:**

Estudie la conferencia 10 “Características V/A de los elementos del circuito” y responda las siguientes preguntas:

- 1- Explique qué magnitudes físicas caracterizan a una senoide.
- 2- ¿Qué se entiende por Fasor?
- 3- ¿Cómo se define el valor eficaz de una corriente eléctrica y como se calculan los valores eficaces de corriente y tensión?
- 4- Explique los conceptos de reactancia inductiva, capacitiva e impedancia.
- 5- Explique en qué consiste el método fasorial y su importancia en el análisis de circuitos de corriente alterna.

Estudie la conferencia 11 “Potencia en circuitos de corriente alterna” y conteste las interrogantes siguientes:

- 6- ¿Qué se entiende por potencia activa, reactiva y aparente?
- 7- ¿Qué significado físico tiene el factor de potencia y cuál es su importancia práctica?
- 8- ¿Cuándo decimos que el factor de potencia es en atraso y cuando en adelante?
- 9- ¿Cómo puede mejorarse el factor de potencia de una red?

#### **Técnica Operatoria:**

**Primera parte:** Relaciones volt-ampéricas en resistores, inductores y capacitores.

Cargue con el simulador Qucs el archivo CIRCUITOS DE CA RLC SERIE.sch. Note que se muestra un circuito RLC serie que se encuentra estimulado por una fuente de CA de 12 V, 60 Hz y una fase inicial de 30 grados. El amperímetro mide la corriente que circula por el circuito mientras que los voltímetros miden la tensión en cada uno de los elementos del circuito.

Corra la simulación y observe los resultados que se obtienen en las tablas que se muestran en la vista de datos. En la primera tabla las mediciones se expresan en forma polar (módulo y fase) mientras que en la segunda tabla se expresan en forma rectangular (parte real y parte imaginaria).

Basado en las mediciones que aparecen en las tablas de datos obtenidas como resultados de la simulación encuentre los valores de R, XL, Xc, L, C y Zt (Impedancia total). Complete la tabla siguiente con sus cálculos.

R	XL	Xc	L	C	Zt

Repita la simulación para valores de frecuencias de 20 Hz, 40 Hz, 80 Hz y 100 Hz

Para cambiar el valor de frecuencia haga doble clic sobre el bloque de simulación AC y coloque el valor de frecuencia deseada.

Repita los cálculos anteriores y complete la tabla para cada uno de los valores de frecuencia seleccionados.

Frecuencia	R	XL	Xc	L	C	Zt
20 Hz						
40 Hz						
80 Hz						
10 Hz						

**Observe cómo varían XL, Xc y Zt con la frecuencia, llegue a conclusiones al respecto.**

**Resuelva el circuito y compare los resultados teóricos con los obtenidos en la simulación.**

**Segunda parte:** Cargue con el simulador Qucs el archivo CIRCUITOS DE CA RLC SERIE GRAFICAS DE CORRIENTE Y TENSION.sch. Note que se muestra un circuito RLC serie que se encuentra estimulado por una fuente de CA de 12 V, 50 Hz. El amperímetro mide la corriente que circula por el circuito mientras que los voltímetros miden la tensión en cada uno de los elementos del circuito.

Corra la simulación y observe las gráficas de tensión (azul) y corriente (roja) en cada uno de los elementos (resistor, inductor y capacitor). A partir de las gráficas determine los valores que caracterizan a cada una de las sinusoides representadas y refleje sus resultados la tabla siguiente:

Magnitud	Período T	Frecuencia f	Amplitud Im	Fase $\emptyset$	Irms
I					
VR					
VL					
VC					

Para determinar los valores de amplitud utilice la opción Poner Marcas en el Gráfico (M1) que aparece en la parte superior derechas del simulador.

Calcule la potencia activa que consume cada elemento de la red a la frecuencia de 60 Hz.

Resistor	Inductor	Capacitor
Pa =	Pa =	Pa =

**Explique los resultados obtenidos y llegue a conclusiones.**

Calcule el ángulo de desfase  $\emptyset$  de la corriente con respecto a tensión medida en cada uno de los elementos del circuito a la frecuencia de 60 Hz

En el resistor	En el inductor	En el capacitor
$\emptyset =$	$\emptyset =$	$\emptyset =$

**Llegue a conclusiones al respecto.**

**Tercera parte:** Corrección del factor de potencia.

Cargue con el simulador Qucs el archivo FACTOR DE POTENCIA CORRECCION.sch. Corra la simulación y note que se muestra una gráfica de Fp vs C. Además, en la tabla de datos se relacionan los valores de factor de potencia que se obtienen para cada valor de C en el circuito.

Basado en los resultados de la simulación responda:

**¿Para que el valor de C el factor de potencia es igual a la unidad?**

**¿Para qué valor de C el factor de potencia es 0.877 en adelanto?**

**¿Para qué valor de C el factor de potencia es 0.877 en atraso?**

**Confeccione el triángulo de potencia para los casos anteriores.**

**¿Qué ocurre con el factor de potencia del circuito si desconectamos el capacitor?**

**Llegue a conclusiones.**

**Dibuje el triángulo de potencia de la red para un factor de potencia de 0.877 en atraso.**

(Tenga en cuenta que los sensores de tensión y corriente del simulador nos dan valores de amplitud y no valores rms como los instrumentos físicos)

Presente informe con las tablas de resultados obtenidos en las diferentes actividades, dando respuesta a las interrogantes que se formulan y explicando las conclusiones a las que llegó en cada caso.

## PRÁCTICA VIRTUAL 2: Redes de dos puertos o Cuadripolos

**Objetivos:** Obtener por medio de la simulación los parámetros de impedancia, admitancia, híbridos y de transmisión de diferentes redes de dos puertos.

**Duración:** 2 horas.

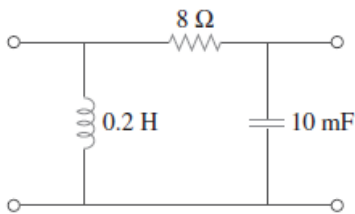
### Bibliografía:

Hayt W. Kemmerly J., Engineering Circuit Analysis, Séptima Edición, 2007. Parte II, capítulo 17.

### Preparación Previa:

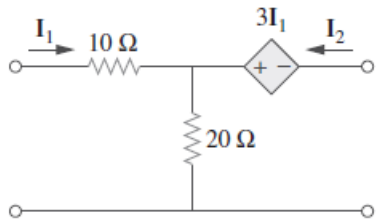
Estudie la conferencia 1 “Redes de dos puertos” y responda las siguientes preguntas:

1- Calcule los parámetros de impedancia y admitancia para la red de dos puertos mostrada en la figura para una frecuencia de trabajo de 60 Hz.



2- Explique cómo se determinan los parámetros híbridos y de transmisión para una red de dos puertos.

3- Determine los parámetros transmisión para red de dos puertos siguiente:



### Técnica Operatoria:

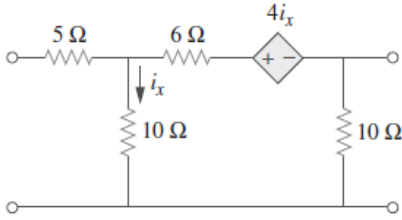
**Primera Parte:** Cargue en el simulador el archivo ParametrosZ.sch. Observe que se han implementado dos circuitos para determinar los parámetros de impedancia de la red de dos puertos mostrada en la actividad 1 de la preparación previa. Corra la simulación y tome nota de los resultados obtenidos.

$Z_{11}$	$Z_{21}$	$Z_{12}$	$Z_{22}$

**Compare los resultados de la simulación con los obtenidos teóricamente y explique cómo fue posible con los circuitos mostrados determinar los parámetros Z de la red.**

**Segunda Parte:** Modifique los circuitos y las ecuaciones planteadas en ParametrosZ.sch de manera que se puedan obtener los parámetros Y para la red. **Explique el método seguido por usted.**

**Tercera parte:** Cargue el archivo ParametrosX.sch. En el mismo se propone un método para obtener determinados parámetros de la red de dos puertos siguiente:



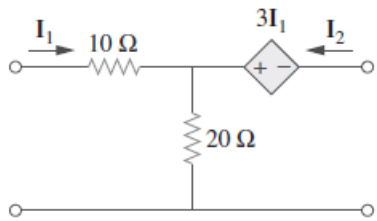
Observe los circuitos y las ecuaciones que se muestran. Tenga en cuenta que V3 es tensión de entrada mientras V4 e I4 son tensión y corriente de salida. Corra la simulación y tome nota de los resultados obtenidos.

$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{12}$	$X_{22}$

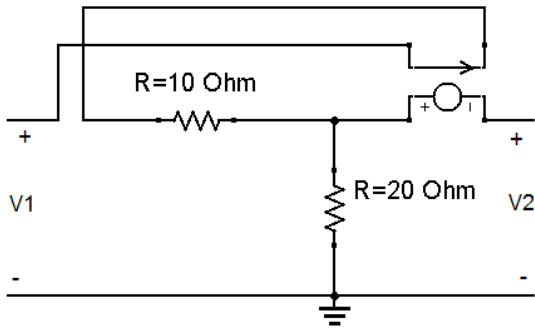
**Identifique cuales son los parámetros que se han obtenido en este caso. Fundamente su respuesta.**

Realice los cálculos teóricos y compare los resultados obtenidos con los de la simulación.

**Cuarta Parte:** Utilice el simulador Qucs para determinar los parámetros de transmisión de la red de dos puertos siguientes:



El circuito montado en el simulador debe quedar de esta manera. Note que la corriente de entrada  $I_1$  se utiliza como variable de control de la fuente dependiente.



Debe plantear el circuito anterior dos veces, primero con la salida en circuito abierto  $I_2 = 0$  y luego con la salida en cortocircuito  $V_2 = 0$ .

A la entrada debe utilizar una fuente prueba que puede ser de corriente (1 A) o tensión (1 V).

Mida las variables de entrada y salida ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ )

Utilice una simulación de corriente directa.

Plantee un juego de ecuaciones que les permita calcular los parámetros de transmisión, similar a las utilizadas en los ejemplos anteriores para calcular otros parámetros.

Corra la simulación, muestre una tabla con los parámetros de transmisión y tome nota.

$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{21}$	$X_{22}$

**Compare los resultados obtenidos teóricamente en la preparación previa con los resultados de la simulación.**

Presente informe con las tablas de resultados obtenidos en las diferentes actividades, dando respuesta a las interrogantes que se formulan y explicando las conclusiones a las que llegó en cada caso.

### PRÁCTICA VIRTUAL 3: Circuitos acoplados magnéticamente. Transformadores.

**Objetivos:** Describir las relaciones el voltaje y la corriente en circuitos con inductancia mutua, en régimen sinusoidal incluyendo las características fundamentales de los transformadores lineales e ideales.

**Duración:** 2 horas.

**Bibliografía:**

Hayt W. Kemmerly J., Engineering Circuit Analysis, Séptima Edición, 2007. Parte II, capítulo 13.

**Preparación Previa:**

Estudie las conferencias 2 y 3 “Circuitos acoplados magnéticamente” y “Transformadores lineales e ideales”. Responda las siguientes preguntas:

1- Teniendo en cuenta que  $V1=5\text{sen}(\omega t)$  (V),  $k=0.566$  y  $f=1\text{kHz}$ . Las resistencias están dadas en Ohm.

Para el circuito de la figura 1, calcule:

- a) La corriente expresada en forma instantánea.
- b) La corriente para  $k=0.7$  y  $k=0.99$
- c) Impedancia de entrada a la frecuencia de trabajo para todos los valores de  $k$ .

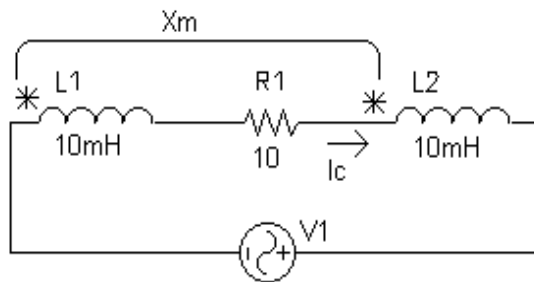


Figura 1

2- Con las mismas condiciones del ejercicio anterior, determine para la figura 2:

- a) Corriente expresada en forma instantánea.
- b) Impedancia de entrada a la frecuencia de trabajo.

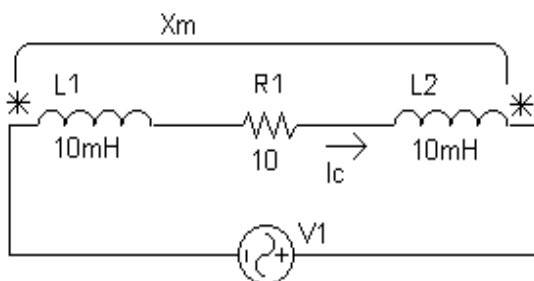


Figura 2

3- Para el transformador lineal mostrado en la figura 3 determine las tensiones  $V2$ ,  $V3$  así como las corrientes en cada malla. Considere  $L1= L2= 10\text{ mH}$  y  $K= 0.6$

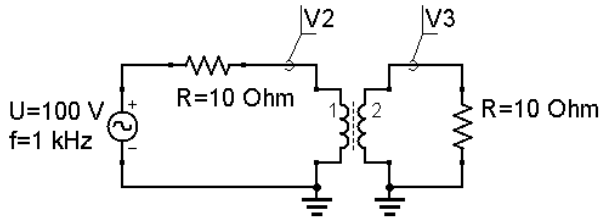


Figura 3

4- Para el transformador ideal mostrado en la figura 4 determine los valores de amplitud y rms de las tensiones V1 y V2 así como las corrientes en el circuito primario y secundario del transformador medidas por los amperímetros 1 y 2. Determine la potencia absorbida por la carga de 100 ohm. Considere  $N1/N2= 10$ .

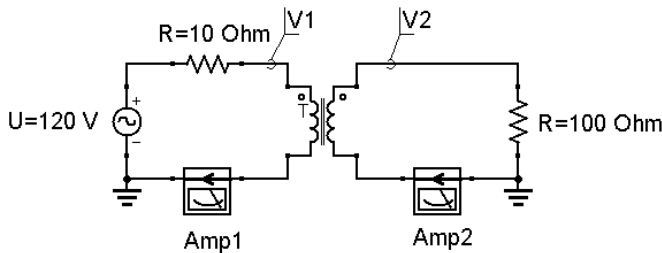


Figura 4

### Técnica Operatoria:

**Primera parte:** Bobinas acopladas magnéticamente.

1-Cargue con el simulador Qucs el archivo Circuito acoplado mag-1.sch. El circuito muestra la conexión serie concordante de dos bobinas ( $L1=L2=10$  mH y  $k=0.566$ ) magnéticamente acopladas, energizadas por una fuente de 5 V a la frecuencia de 1 kHz.

Corra la simulación y observe la gráfica obtenida para la corriente en el tiempo. Utilice la opción de poner marcas en el gráfico M1 para determinar en la gráfica la amplitud de la corriente. Luego calcule su valor rms y el módulo de la impedancia.

Repita la simulación para valores de  $k=0,7$  y  $k=0,99$  y llene la tabla que se muestra.

Para cambiar el valor del coeficiente de acoplamiento  $k$  de doble clic sobre el símbolo de las bobinas acopladas.

k	Im	Irms	Z
0.566			
0.7			
0.99			

**¿Cómo influye el factor de acoplamiento  $k$  en la magnitud de la corriente que circula por circuito? Explique su respuesta.**

**Compare los resultados obtenidos a partir de la simulación con resultados analíticos del primer ejercicio de la preparación previa y legue a conclusiones.**

2-Cargue con el simulador Qucs el archivo Circuito acoplado mag-2.sch. El circuito muestra la conexión serie oposición de dos bobinas ( $L_1=L_2=10$  mH y  $k=0.566$ ) magnéticamente acopladas, energizadas por una fuente de 5 V a la frecuencia de 1 kHz.

Corra la simulación y observe la gráfica obtenida para la corriente en el tiempo. Utilice la opción de poner marcas en el gráfico M1 para determinar en la gráfica la amplitud de la corriente. Luego calcule su valor rms y el módulo de la impedancia.

k	Im	Irms	Z
0.566			

**Compare los resultados con los resultados obtenidos en el circuito anterior. Fundamente su respuesta y llegue a conclusiones al respecto.**

**Segunda parte:** Transformador lineal.

1-Cargue el archivo transformador lineal.sch, observe que se muestra el circuito de un transformador lineal cuyas bobinas son 10 mH con un coeficiente de acoplamiento  $k=0.6$ . Corra la simulación y en las gráficas obtenidas utilice la opción de poner marcas en el gráfico M1 para determinar las amplitudes de las tensiones V2 y V3. Posteriormente varíe el valor de  $k$  a 0.99 dando doble clic en el símbolo del transformador y determine nuevamente los valores de amplitud las V2 y V3. Complete la tabla siguiente con los resultados obtenidos.

k	V2	V3
0.6		
0.99		

**¿Cómo influye el coeficiente de acoplamiento  $k$  en las amplitudes de las tensiones a la entrada y a la salida del transformador lineal? Explique su respuesta.**

2- Cargue el archivo transformador lineal 2.sch, note que se muestra el circuito de un transformador lineal muy parecido al ejemplo anterior. Corra la simulación y observe las gráficas obtenidas. ¿Qué diferencias se observan con respecto a las gráficas del punto anterior? Explique su respuesta.

**Tercera parte:** Transformador Ideal.

1- Cargue el archivo transformador ideal.sch. Se muestra un transformador energizado con corriente alterna de 120 V de amplitud y frecuencia de 60 Hz que alimenta una carga de 100 Ohm conectada a su devanado secundario.

Corra la simulación, observe las gráficas de las tensiones en el primario y secundario del transformador, determine sus amplitudes y a partir de las mismas obtenga la relación de transformación  $N1/N2$ .

V1	V2	$N1/N2$

**Clasifique el tipo de transformador ideal atendiendo a la relación de transformación. Observe los resultados obtenidos en la tabla de datos de la simulación y compárelos con los cálculos realizados por usted en el ejercicio 4 de la preparación previa. Llegue a conclusiones al respecto.**

2- Cargue el archivo transformador ideal carga variable.sch. Corra la simulación y en la gráfica que se obtiene en la vista de datos determine el valor de resistencia de carga a la cual el transformador le entregará la potencia máxima. **Si para la condición de máxima potencia a la carga el amperímetro 1 mide 0.25 A (amplitud), determine qué tipo de transformador ideal se ha utilizado y su relación de transformación.**

Presente informe con las tablas de resultados obtenidos en las diferentes actividades, dando respuesta a las interrogantes que se formulan y explicando las conclusiones a las que llegó en cada caso.

## PRÁCTICA VIRTUAL 4: Respuesta de frecuencia.

**Objetivos:** Determinar y analizar de forma aproximada las características de amplitud y fase contra frecuencia de funciones de redes.

**Duración:** 2 horas.

### Bibliografía:

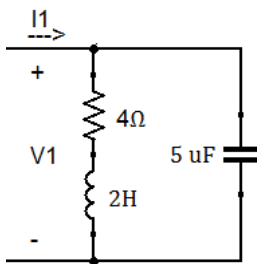
Hayt W. Kemmerly J., Engineering Circuit Analysis, Séptima Edición, 2007. Parte II, capítulo 13.

### Preparación Previa:

Estudie la conferencia 4 “Frecuencia compleja. Respuesta de frecuencia” y resuelva los ejercicios siguientes:

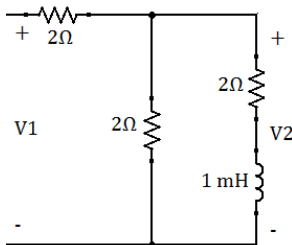
1- Dibuje el diagrama de polos y ceros y las características de amplitud y fase contra frecuencia de la función de red  $Y_{ent}(s) = I(s)/V(s)$  para la red formada por la combinación serie de un inductor de 0.2 H y un resistor de 3  $\Omega$ .

2- Determine la función de transferencia impedancia de entrada para el circuito mostrado a continuación:

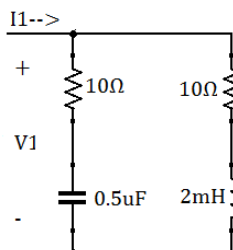


Dibuje el diagrama de polos y ceros, así como las características de amplitud y fase contra frecuencia.

3- Determine la función de transferencia  $H_v = V_2/V_1$ , dibuje el diagrama de polos y ceros y de forma aproximada las características de amplitud y fase contra frecuencia.



4- La combinación serie de 0.5  $\mu\text{F}$  y 10  $\Omega$  está en paralelo con la combinación serie de 2 mH y 10  $\Omega$ . Encuentre la impedancia de entrada de la combinación paralelo  $Z_{ent}(s)$ . Identifique todas sus frecuencias críticas y dibuje el diagrama de polos y ceros. Dibuje además de forma aproximada las características de fase contra frecuencia.



**Técnica Operatoria:**

**Primera parte:** Admitancia de entrada.

Utilice el simulador para obtener las características de amplitud y fase contra frecuencia de la función de red  $Y_{ent}(s) = I(s) / V(s)$  para la red formada por la combinación serie de un inductor de 0.2 H y un resistor de 3 Ω analizada en el ejercicio 1 de la preparación previa.

Dibuje en simulador el circuito mostrado en la figura 1:

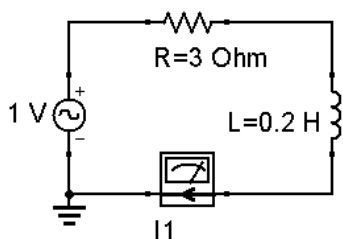


Figura 1

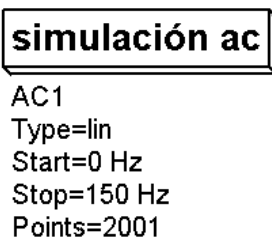


Figura 2

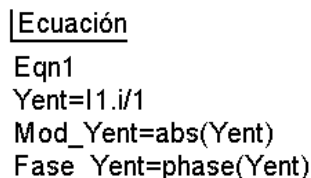


Figura 3

Configure una simulación AC como se muestra en la figura 2 e inserte las ecuaciones como las mostradas en la figura 3 para determinar  $|Y(s)|$  y  $\angle(s)$ .

Corra la simulación y en la vista de datos utilice el diagrama cartesiano para mostrar las características de amplitud y fase contra frecuencia para la función de transferencia  $Y(s)$ .

**Explique cómo varía la amplitud y la fase de  $Y(s)$  con la frecuencia. Fundamente su respuesta.**

**Compare los resultados obtenidos en la simulación con los resultados teóricos del primer ejercicio de la preparación previa y llegue a conclusiones.**

**Segunda parte:** Impedancia de entrada.

Para el circuito mostrado en la figura 4 obtenga con el simulador las características de amplitud y fase contra frecuencia para la función de transferencia Impedancia de entrada de manera similar a como trabajamos en la primera parte.

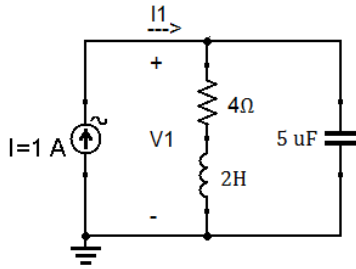


Figura 4

Para la simulación AC realice un barrido lineal con inicio en 10 Hz, parada en 100 Hz y paso de 1 Hz.

Utilice las ecuaciones siguientes para obtener la amplitud y la fase de la función  $Z_{ent}=V1/I1$ , como  $I1= 1 A$  (Fuente de prueba)

$$Z_{ent}=V1.v/1$$

$$\text{Mod\_Zent}=\text{abs}(Z_{ent})$$

$$\text{Fase\_Zent}=\text{phase}(Z_{ent})$$

**Explique cómo varía la Impedancia de entrada con la frecuencia tanto en amplitud como en fase y fundamente su respuesta. Compare los resultados obtenidos en la simulación con los obtenidos teóricamente en el segundo ejercicio de la preparación previa. Llegue a conclusiones.**

**Tercera parte:** Ganancia de tensión.

Simule el circuito de la figura 5 para obtener las características de amplitud y fase contra frecuencia de la función de transferencia  $H_v=V2/V1$ , los parámetros a especificar en la simulación, así como las ecuaciones a implementar se dan en las figuras 6 y 7 respectivamente.

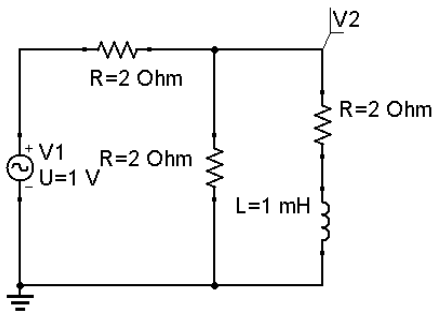


Figura 5

**simulación ac**

AC1  
Type=lin  
Start=0 Hz  
Stop=10 kHz  
Points=1001

**Ecuación**

Eqn1  
 $H_v=V2.v/1$   
 $\text{Mod\_Hv}=\text{abs}(H_v)$   
 $\text{Fase\_Hv}=\text{phase}(H_v)$

Figura 7

Figura 6

**Explique el comportamiento de  $|H_v|$  con el aumento de la frecuencia. Compare los resultados obtenidos en la simulación con los obtenidos teóricamente en el tercer ejercicio de la preparación previa. Llegue a conclusiones.**

**Cuarta parte:** Impedancia de entrada.

Simule el circuito de la figura 8 para obtener las características de amplitud y fase contra frecuencia de la función de transferencia  $Z_{ent}=V1/I1$ , los parámetros a especificar en la simulación, así como las ecuaciones a implementar se dan en las figuras 9 y 10 respectivamente.

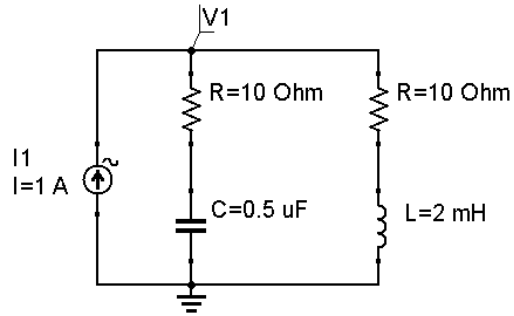


Figura 8

**simulación ac**

AC1  
 Type=lin  
 Start=10 Hz  
 Stop=10 kHz  
 Points=201

Figura 9

Ecuación

Eqn1  
 $Z_{ent} = V1.v/1$   
 $Mod\_Z_{ent} = \text{abs}(Z_{ent})$   
 $Fase\_Z_{ent} = \text{phase}(Z_{ent})$

Figura 10

**Explique el comportamiento de  $|Z_{ent}|$  con el aumento de la frecuencia. Compare los resultados obtenidos en la simulación con los obtenidos teóricamente en el segundo ejercicio de la preparación previa. Llegue a conclusiones.**

**¿Qué sucede con las características de amplitud y fase si aumentamos el valor de C a 10 uF?**

**¿Qué sucede con las características de amplitud y fase si aumentamos el valor de L a 20 mH?**

**Fundamente su respuesta en cada caso.**

Presente informe con las gráficas obtenidas en las diferentes actividades, dando respuesta a las interrogantes que se formulan y explicando las conclusiones a las que llegó en cada caso.

## PRÁCTICA VIRTUAL 5: Circuitos resonantes.

**Objetivos:** Medir los principales parámetros de los circuitos resonantes serie y paralelo. Comprobar las propiedades de los circuitos resonantes.

**Duración:** 2 horas.

### Bibliografía:

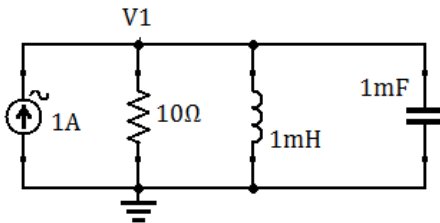
Hayt W. Kemmerly J., Engineering Circuit Analysis, Séptima Edición, 2007. Parte II, capítulo 16.

### Preparación Previa:

Estudie la conferencia 5 “Resonancia en circuitos eléctricos” y resuelva los ejercicios siguientes:

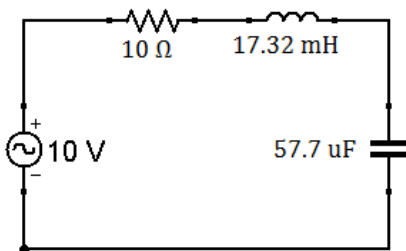
1- En el siguiente circuito para los valores de  $R_1 = 10, 20$  y  $30 \Omega$  determine:

- frecuencia de resonancia.
- Ancho de banda del circuito para cada valor de  $R_1$ .
- Impedancia de entrada ( $Z_{ent}$ ) a la frecuencia de resonancia para cada valor de  $R_1$ .
- $Z_{ent}$  a la  $f_0$  si se elimina  $R_1$ .



2- Para el circuito de la figura 3 determine:

- Frecuencia de resonancia serie.
- Ancho de banda del circuito.
- Dibuje de forma aproximada las características de amplitud de  $I_R$ ,  $V_R$ ,  $V_L$  y  $V_C$  en función de la frecuencia.
- $f_{Lmáx}$ ,  $f_{Cmáx}$ .



### Técnica Operatoria:

**Primera parte:** Circuito resonante paralelo.

Analice con en el simulador Qucs el circuito resuelto en el primer ejercicio de la preparación previa.

Dibuje en simulador el circuito mostrado en la figura 1, utilice una simulación AC con inicio en 1Hz parada en 350 Hz y paso 0.1 Hz como se muestra en la figura 2.

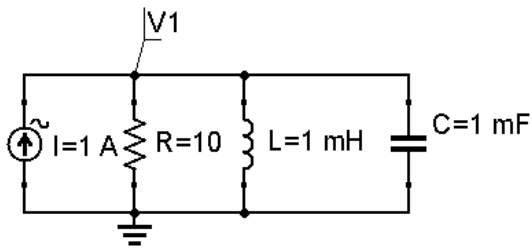


Figura 1

AC1  
 Type=lin  
 Start=1 Hz  
 Stop=350 Hz  
 Points=3491

Figura 2

Corra la simulación y muestre la característica de magnitud contra frecuencia para V1. Utilice la opción de poner marcas en el gráfico “M1” del simulador para encontrar la frecuencia resonante paralelo y el ancho de banda del circuito.

Repita el procedimiento anterior para valores de resistencia de 20 Ω y 40 Ω.

R (Ω)	fo (Hz)	BW
10		
20		
40		

¿Qué relación existe entre el ancho de banda y la resistencia en el circuito paralelo? Fundamente su respuesta.

Explique la cómo influye la resistencia en el valor de la frecuencia de resonancia (fo).

Obtenga la curva de la Zent respecto a la frecuencia y determine el valor máximo de la magnitud de la Zent para cada valor de R de 10 Ω, 20 Ω y 40 Ω. Llegue a conclusiones. Utilice la ecuación:  $Z_{ent} = V1.v/1$

R (Ω)	10	20	40
Zent máxima			

Determine la característica de fase de la Zent para cada valor de R de 10 Ω, 20 Ω y 40 Ω insertando la ecuación  $Fase\_Zent = phase(Zent)$ .

R (Ω)	10	20		40
Fase_Zent				

¿Cómo varía la fase con la variación de R? Justifique su respuesta.

Elimine a R1 y calcule la magnitud y fase de la  $Z_{ent}$  en el nuevo circuito reactivo puro. ¿Qué características tienen la magnitud y fase de la impedancia en un circuito resonante paralelo reactivo puro? fundamente su respuesta.

**Segunda parte:** Circuito resonante serie.

Simule circuito serie mostrado en la segunda actividad de la preparación previa.

Dibuje en simulador el circuito mostrado en la figura 3, utilice una simulación AC con inicio en 1Hz parada en 350 Hz y paso 1 Hz como se muestra en la figura 4.

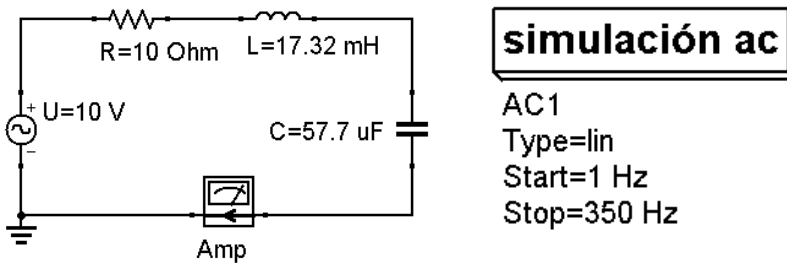


Figura 3

Figura 4

Corra la simulación y muestre la característica de magnitud contra frecuencia para la corriente. Utilice la opción de poner marcas en el gráfico “M1” del simulador para encontrar la frecuencia resonante serie y el ancho de banda del circuito.

fos	BW

Inserte la ecuación  $Z_{ent}=10/Amp.i$ , luego corra la simulación y muestre la característica de amplitud de la impedancia de entrada contra frecuencia. ¿Cuál es el valor mínimo de impedancia que observamos en la gráfica? ¿A qué frecuencia es mínima la impedancia del circuito? Fundamente su respuesta.

Varié el valor de R1 por 20  $\Omega$  y 40  $\Omega$ . Obtenga la curva de corriente contra frecuencia para cada valor de R. Analice como se afecta la frecuencia de resonancia, el ancho de banda y el valor máximo en cada caso.

R ( $\Omega$ )	fo (Hz)	BW	Imax
10			
20			
40			

Utilice sondas de tensión para determinar las curvas de  $V_R$ ,  $V_L$  y  $V_c$  en función de la frecuencia. Auxíliase de la opción de poner marcas en el gráfico “M1” del simulador para encontrar los valores de  $f_{Lmáx}$ ,  $f_{cmáx}$  y el valor de  $f$  para  $V_L=V_c$ . Explique el comportamiento del circuito resonante serie haciendo un análisis de las curvas de corriente y del voltaje obtenidas a través de los elementos.

$f_{Lmáx}$	$f_{cmáx}$	$f$ para $V_L=V_c$

Presente informe con las tablas y gráficas obtenidas en las diferentes actividades, dando respuesta a las interrogantes que se formulan y explicando las conclusiones a las que llegó en cada caso.

## PRÁCTICA VIRTUAL 6: Circuitos trifásicos

**Objetivos:** Determinar tensiones y corrientes en circuitos trifásicos balanceados con cargas conectadas en estrella y delta. Determinar la potencia trifásica total consumida por una carga en un sistema trifásico balanceado. Determinar la potencia trifásica total consumida por una carga en un sistema trifásico desbalanceado, aplicando el método de Blondel.

**Duración:** 2 horas.

### Bibliografía:

Hayt W. Kemmerly J., Engineering Circuit Analysis, Séptima Edición, 2007. Parte II, capítulo 12.

### Preparación Previa:

Estudie la conferencia “Circuitos trifásicos”. Y resuelva los ejercicios que a continuación se plantean. 1- El circuito de la figura 1 muestra un generador trifásico en estrella con neutro y con secuencia de fase positiva que alimenta una carga balanceada conectada en estrella:

- Determine las tensiones de línea.
- Auxíliase del circuito monofásico equivalente para calcular las corrientes de fase y de línea.
- Determine la corriente  $I_n$  que circula por neutro.
- Determine la potencia consumida en cada fase y la potencia trifásica consumida por la carga.

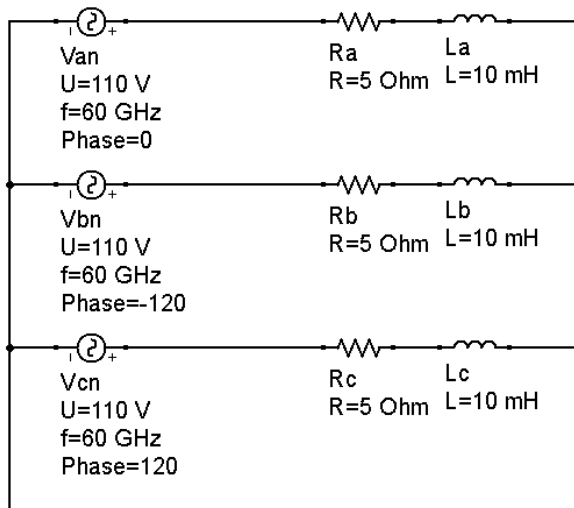


Figura 1

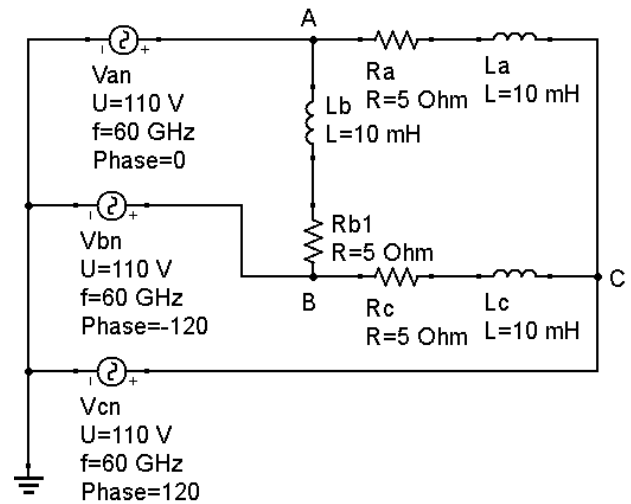


Figura 2

2- El circuito de la figura 2 muestra un generador trifásico en estrella con secuencia de fase positiva que alimenta una carga balanceada conectada en delta:

- Determine las tensiones de línea.
- Calcule las corrientes de fase y de línea.
- Determine la potencia consumida en cada fase y la potencia trifásica consumida por la carga.

3- El circuito de la figura 3 muestra un generador trifásico con secuencia de fase positiva que alimenta una carga desbalanceada conectada en estrella. Determine la potencia trifásica, primeramente, como suma de las potencias de fase y luego aplicando el método de Blondel.

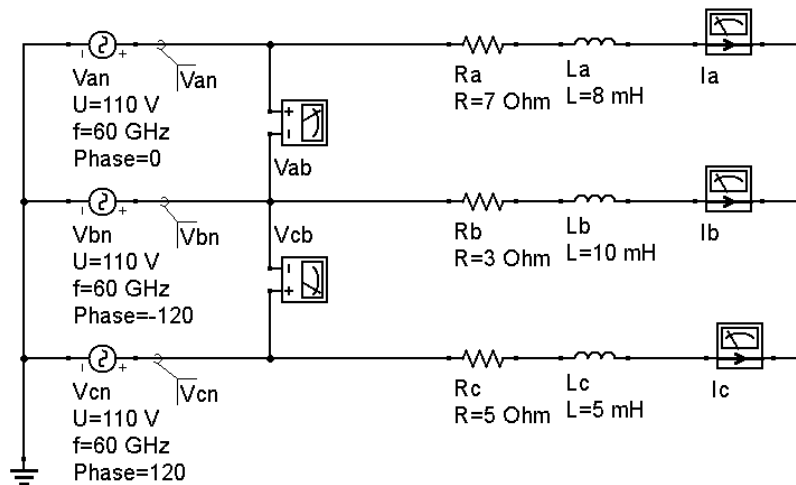


Figura 3

### Técnica Operatoria:

**Primera parte:** Circuito trifásico balanceado conexión estrella-estrella con neutro.

1-Cargue con el simulador Qucs el archivo Estrella-estrella-balanceada.sch. El circuito muestra un generador trifásico conectado en estrella con neutro que alimenta una carga trifásica balanceada conectada en estrella. Los voltímetros miden las tensiones de línea y los amperímetros las corrientes de fase y neutro.

Corra la simulación y observe las tablas de resultados obtenidas.

Basado en los resultados de la simulación explique qué relación existe entre las tensiones de línea y fase.

¿Cuál es la corriente que circula por el neutro? Fundamente su respuesta.

¿Qué relación existe entre la potencia trifásica total y las potencias de fase?

Determine basado en los resultados de la simulación el factor de potencia en cada fase.

Dando doble clic sobre el resistor Ra cambie su valor a 10 Ohm y corra nuevamente la simulación.

¿Qué ocurre con las corrientes de línea y neutro? Explique porqué se obtienen estos resultados.

Compare los resultados obtenidos en la simulación con los cálculos realizados en el primer ejercicio de la preparación previa y llegue a conclusiones.

**Segunda parte:** Circuito trifásico balanceado conexión estrella-delta.

2-Cargue con el simulador Qucs el archivo Estrella-delta-balanceada.sch. El circuito muestra un generador trifásico conectado en estrella con secuencia de fase positiva que alimenta una carga trifásica balanceada conectada en delta. Los voltímetros miden las tensiones de línea y los amperímetros las corrientes de línea y fase.

Corra la simulación y observe las tablas de resultados obtenidas.

Basado en los resultados de la simulación explique qué relación existe entre las corrientes de línea y fase.

¿Qué relación existe entre la potencia trifásica total y las potencias de fase?

Determine basado en los resultados de la simulación el factor de potencia en cada fase.

Dando doble clic sobre el resistor Ra cambie su valor a 10 Ohm y corra nuevamente la simulación. ¿Qué ocurre con las corrientes de línea y Fase? Explique porqué se obtienen estos resultados.

Compare los resultados obtenidos en la simulación con los cálculos realizados en el segundo ejercicio de la preparación previa y llegue a conclusiones.

**Tercera parte:** Medición de potencia trifásica. Método de Blondel.

3-Cargue con el simulador Qucs el archivo Estrella-estrella-desbalanceada.sch. El circuito muestra un generador trifásico conectado en estrella con secuencia de fase positiva que alimenta una carga trifásica desbalanceada conectada en estrella. Los voltímetros miden las tensiones de línea y los amperímetros las corrientes de fase.

Corra la simulación, observe los resultados obtenidos y tome nota.

Potencia Trifásica	Potencia de Blondel

Haciendo doble clic sobre Ra cambie su valor a 3  $\Omega$ , corra la simulación y tome nota de los resultados obtenidos.

Potencia Trifásica	Potencia de Blondel

Cambie el valor de Rb por 10  $\Omega$ , corra la simulación y tome nota de los resultados que se obtienen.

Potencia Trifásica	Potencia de Blondel

Luego cambie el valor de Lc por 10 mH, corra la simulación y tome nota de los resultados obtenidos.

Potencia Trifásica	Potencia de Blondel

--	--

Explique los resultados que obtuvo y llegue a conclusiones al respecto.

¿Qué importancia práctica le confiere usted al método de Blondel?

Presente informe con las tablas de resultados obtenidos en las diferentes actividades, dando respuesta a las interrogantes que se formulan y explicando las conclusiones a las que llegó en cada caso.