

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética

TRABAJO DE DIPLOMA

Material didáctico sobre el tema "Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales" para los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica

Autor: Alex Hernández González

Tutores: Dr.C. Ileana Moreno Campdesuñer

MSc. Juan Curbelo Cancio

Junio 2018

Santa Clara
Copyright©UCLV

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

PENSAMIENTO

“La confianza en sí mismo es el primer secreto del éxito...”

Ralph Waldo Emerson

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia que es mi fortaleza y mi universo de motivación, en especial a mis padres, Giraldo Hernández y Deysi M. González.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

- A Dios por ayudarme a dar cada paso en la vida.
- A mi familia por apoyarme y brindarme su amor, en especial a mis padres que sin ellos no me hubiese sido posible llegar a ser ingeniero.
- A mi hermano Frank por haberme motivado a seguir sus pasos y graduarme, al igual que él, de ingeniero eléctrico.
- A mi novia Lisandra por brindarme su apoyo, por darme tanto amor y por toda su ayuda en la realización de este trabajo.
- A mis tutores por su dedicación y apoyo en la realización de este trabajo, la doctora Ileana Moreno Campdesuñer y al master, Juan Curbelo Cancio.
- A la profesora Mairelys por su gran ayuda en la elaboración de este trabajo.
- A todos mis compañeros de la carrera, en especial a los que han convivido durante estos 5 años conmigo, Guillermo, Oscar, Jorlis, Migue, Daumar, Avilio, Lisban y Robe.
- A todos los que de una forma u otra han contribuido con la realización de este trabajo.

A todos, Muchas Gracias.

RESUMEN

La Educación Superior tiene entre sus retos crear nuevos entornos de aprendizaje en pos de lograr la formación de un profesional competente que responda a las necesidades del entorno. En este sentido se considera importante el uso de materiales didácticos que ayuden en el proceso de enseñanza de los estudiantes, para guiarlos y motivarlos en la construcción del conocimiento, es decir, que sirvan de apoyo en su proceso de aprendizaje utilizando herramientas tecnológicas.

Los materiales didácticos apoyan la formación integral de ingenieros, debido a que en la aplicación del Plan de estudios E se realiza una reestructuración de carreras, trayendo consigo una reducción del tiempo docente. En este trabajo se presentan las generalidades del nuevo Plan, así como, la necesidad del aumento del tiempo a dedicar al estudio independiente una vez que se lleven a cabo los cambios propuestos.

Para desarrollar esta investigación se hace un amplio resumen de la teoría de los “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales”, que será de gran ayuda para entender el desarrollo de los ejercicios analizados; los cuales serán resueltos detalladamente de forma analítica y simulada. Para ello se utiliza el programa informático MATLAB y su simulador, vinculando los conocimientos para el empleo de esta herramienta en la vida del ingeniero eléctrico.

Como resultado del trabajo, los estudiantes poseerán un material didáctico que los guíe en el desarrollo del estudio independiente, apoyando el fortalecimiento de los conocimientos sobre este tema esencial en la solución de futuras problemáticas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA ACERCA DE LA NECESIDAD DE LOS MATERIALES DIDÁCTICOS PARA ORIENTAR EL ESTUDIO INDEPENDIENTE EN LA DISCIPLINA “CIRCUITOS ELÉCTRICOS” DEL PLAN E, CON APOYO DE LAS TIC	5
1.1 Bases conceptuales del Plan de estudios E	5
1.1.1 Contenidos para la disciplina CE según Plan de estudios E	7
1.1.2 Importancia del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” para los estudiantes de perfil eléctrico.....	11
1.1.3 Desarrollo del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” según la evolución de los planes de estudio.....	13
1.2 Las TIC en la Educación Superior	14
1.2.1 Generalidades del MATLAB.....	16
1.2.2 Posibilidades que brinda el Simulink para la simulación de circuitos eléctricos	17
1.3 Necesidad e importancia de los materiales didácticos como guía del estudio independiente	18
1.4 Consideraciones finales del capítulo.....	18
CAPÍTULO 2. TEORÍA BÁSICA FUNDAMENTAL SOBRE EL TEMA “MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS LINEALES”	20
2.1 Análisis nodal o método de los voltajes de nodo (MVN).....	20
2.2 Análisis nodal con fuentes de voltaje.....	23
2.3 Análisis de lazo o método de las corrientes de mallas (MCM)	24
2.4 Método de las corrientes de mallas en circuitos que contienen fuentes de corriente	27
2.5 Análisis nodal y de malla por inspección.....	28
2.6 Comparación del método de los voltajes de nodos (MVN) con el método de las corrientes de mallas (MCM).....	31
2.7 Consideraciones finales del capítulo.....	31
CAPÍTULO 3. EJERCICIOS RESUELTOS	33

3.1. Circuito con fuentes de corriente independientes	33
3.2. Circuito con fuente de corriente dependiente de corriente	36
3.3. Circuito con fuente de corriente dependiente de voltaje	39
3.4. Circuito con un supernodo	41
3.5. Circuito con fuentes de voltaje independientes	44
3.6. Circuito con fuente de voltaje dependiente de corriente	47
3.7. Circuito con fuente de voltaje dependiente de voltaje	50
3.8. Circuito con una supermalla	51
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXO 1: Ejercicios propuestos	58

INTRODUCCIÓN

La formación de profesionales competentes para el mundo laboral tiene un valor ineludible en los procesos educativos que se desarrollan en cada territorio y una demanda actual como resultado del crecimiento ascendente y constante de los conocimientos en las diferentes ramas del saber, como un objetivo clave del desarrollo social de cada país. Ello exige contar con los recursos científico-técnicos, pedagógicos, educativos y humanos, para alcanzar niveles de calidad en el proceso formativo.

En Cuba, este reto se devela en prioridad del Estado, lo cual se expone desde la Constitución de la República, que en su artículo 39 expresa que el Estado promueve la educación y que la misma es gratuita; reconoce que la enseñanza se nutre de los aportes de la ciencia, la técnica y la tecnología y en la relación más estrecha del estudio con la vida, la escuela, el trabajo y la producción; donde se lleva a los programas de estudio los problemas profesionales a los que se debe enfrentar el futuro profesional [1].

En correspondencia con ello, la Educación Superior Cubana tiene entre sus retos la formación de profesionales con un nivel superior en conocimientos, habilidades y modos de actuación acordes a los principios socialistas que rigen el proceso social y a los cambios que se generan en los procesos productivos de las empresas. Debe constituir fuente promotora del desarrollo científico para formar a los profesionales, tanto en las aplicaciones técnicas que la producción demanda, como en una efectiva gestión del conocimiento, nuevos conocimientos y aplicaciones.

Es importante señalar que desde la creación del Ministerio de Educación Superior en el año 1976, se ha mantenido como una de sus funciones principales, el perfeccionamiento continuo de los planes de estudio, que en determinados momentos históricos adquirió tal significación que condujo a transformaciones curriculares [2]. Estas modificaciones se llevan a cabo con el propósito de fortalecer cada vez más la preparación de la docencia y la investigación para la formación de profesionales con un perfil cada vez más amplio, que sean capaces de resolver con independencia y creatividad los problemas generales y frecuentes que se presenten en las diferentes esferas de la actividad profesional [3].

Desde el año 1977 hasta la fecha, se han aplicado cuatro generaciones de planes de estudio (A, B, C y D), como resultado de los cambios económicos y sociales que ha experimentado el país en respuesta a las condiciones del contexto internacional en que está inmerso [2]. Los mismos han dado respuesta a las exigencias que la sociedad ha impuesto a la formación universitaria. Tal y como se plantea en los Lineamientos de la Política Económica y Social aprobados en el VII Congreso del Partido Comunista de Cuba, constituye una prioridad máxima “Consolidar el cumplimiento de la responsabilidad de los organismos, entidades, consejos de la administración y otros actores económicos, en la formación y desarrollo de la fuerza de trabajo calificada. Actualizar los programas de formación e investigación de las

universidades en función de las necesidades del desarrollo, de las nuevas tecnologías y de la actualización del Modelo Económico y Social” [4].

En el próximo curso escolar comienza a aplicarse en la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE) el Plan de estudios E, cuya política principal es la reducción de la duración de las carreras a cuatro años en el curso diurno. Esta reducción de la duración de las carreras necesita un análisis de contenidos y número de horas para adecuar el currículo de cada carrera sin afectar los rasgos fundamentales de la Educación Superior Cubana. A su vez, el estudiante necesitará mayor dedicación al estudio independiente y será el profesor el encargado de orientar, de forma sencilla y acertada, todo el proceso para poder lograr la formación integral del futuro profesional.

Específicamente, la formación de nuevos profesionales de la carrera Ingeniería Eléctrica (IE), exige de procesos educativos que conviertan a los estudiantes en protagonistas de su aprendizaje con capacidad para tomar decisiones tecnológicas eficientes, económicamente viables y medioambientalmente preservadoras, siendo la tarea del profesor la de ofrecer los materiales y medios de enseñanza que propicien el desarrollo de un profesional más sólido, preparado y eficiente.

En el Plan de estudios E se impartirán, en el segundo año de la carrera de Ingeniería Eléctrica, las asignaturas “Circuitos Eléctricos I y II” de la disciplina “Circuitos Eléctricos” (CE), la cual es la base de esta carrera y de otras, tales como: Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e Ingeniería en Automática, ya que la mayoría de las materias posteriores dependen de los conocimientos adquiridos en la misma. Esta disciplina permite el análisis del comportamiento del flujo total de cargas y de las transformaciones energéticas globales que se producen, hace posible determinar la transformación y la distribución de la energía en distintas partes de un dispositivo, en las cuales las variaciones de las magnitudes respecto al tiempo son relativamente lentas.

Sin dudas, esta disciplina es medular para la formación integral de los graduados de Ingeniería Eléctrica. Constituye una exigencia la preparación de los egresados en estos contenidos básicos para su futuro desempeño profesional, en aras de garantizar la generación, el transporte, la distribución y el consumo de la energía eléctrica de manera eficiente, fiable y con calidad, en correspondencia con las demandas de la sociedad y protegiendo el medio ambiente.

El tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” está muy vinculado con la práctica de la profesión y debido a la disminución de su tiempo docente en el Plan de estudios E, se hace necesario el aumento de las horas de estudio independiente de los estudiantes.

Para realizar el estudio independiente, el estudiante necesita varios apoyos que lo guíen en su aprendizaje como son los materiales didácticos elaborados por el profesor y los simuladores electrónicos que dan la posibilidad de simular el comportamiento de circuitos eléctricos, lo que les permite interpretar los resultados obtenidos.

El plan de estudios actual incluye el estudio del Simulink del MATLAB. Sin embargo, en el currículo base del Plan E no existe ninguna asignatura que enseñe al estudiante a trabajar con este simulador.

Los elementos hasta aquí expuestos justifican la presente investigación, revelándose como situación problemática: El advenimiento del Plan de estudios E exige la elaboración de materiales de apoyo que faciliten el estudio independiente de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Con el propósito de buscar una solución a la situación problemática declarada se determina como problema científico de la investigación: ¿Cómo facilitar el estudio independiente sobre el tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” según Plan E, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica utilizando las TIC?

Para solucionar el problema científico se plantea el siguiente objetivo general:

- Elaborar un material didáctico sobre el tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” para orientar el estudio independiente de los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica, según Plan E, con apoyo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

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

1. Establecer la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de los materiales didácticos para orientar el estudio independiente en la disciplina “Circuitos Eléctricos” del Plan E, con apoyo de las TIC.
2. Describir la teoría básica fundamental sobre el tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales”.
3. Solucionar los ejercicios seleccionados de forma teórica y mediante simulación en MATLAB.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se definen las siguientes **tareas científicas**:

- Búsqueda y estudio de la bibliografía relacionada con el tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales”.
- Estudio de los contenidos fundamentales acerca del empleo del programa MATLAB y su simulador Simulink, que permitan elevar los conocimientos en el área de la programación y simulación.
- Selección de manera adecuada y coherente, de los ejercicios que respondan a los objetivos del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” de la asignatura CE I en el Plan de estudios E.
- Solución de los ejercicios seleccionados, verificando la solución de manera parcial o total con el MATLAB y llevar a cabo la simulación de los circuitos, empleando el simulador Simulink.
- Elaboración, como resultado final del trabajo, de un material didáctico que contenga la solución analítica de los ejercicios seleccionados, la solución parcial o total con ayuda del MATLAB y los resultados de la simulación junto a los archivos .mdl correspondientes.

- Organización adecuada del informe de tesis, basándose en un diseño metodológico estratégico según la didáctica de la asignatura CE I Plan E y las orientaciones y normas aprobadas por el MES.

La tesis se organizó con un orden lógico a partir de una introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, una amplia bibliografía y los anexos necesarios. En el Capítulo I se aborda la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de los materiales didácticos para orientar el estudio independiente en la disciplina “Circuitos Eléctricos” del Plan E, con apoyo de las TIC. En el Capítulo II se realiza una breve descripción de la teoría básica del tema en cuestión, desarrollando por epígrafes cada uno de sus contenidos principales, de acuerdo al Plan de estudios E. En el Capítulo III se muestran las soluciones tanto analíticas como simuladas de los diferentes ejercicios y se propone un conjunto de problemas para ejercitar los conocimientos adquiridos.

Con la realización de esta investigación se obtendrán diferentes aportes como los que se muestran a continuación:

Conveniencia: Mediante este trabajo de diploma queda conformado un material didáctico para que los estudiantes se apoyen para realizar el estudio independiente del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales”, con todas las exigencias debidas para el uso académico y docente.

Relevancia Social: Con la utilización de este material, los estudiantes estarán mejor preparados en el tema, lo que redundará en un profesional más capaz.

Implicaciones Prácticas: Se dispone de un material didáctico que servirá de guía y de base para el estudio independiente, así como para futuras investigaciones del tema en cuestión además de fuente bibliográfica para enriquecer el desarrollo de otros materiales.

Valor Teórico: En el trabajo se hace una sistematización de la teoría acerca de los métodos de solución de circuitos eléctricos lineales.

Utilidad Metodológica: Esta investigación servirá de guía metodológica para el desarrollo de otros materiales didácticos en la carrera.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA ACERCA DE LA NECESIDAD DE LOS MATERIALES DIDÁCTICOS PARA ORIENTAR EL ESTUDIO INDEPENDIENTE EN LA DISCIPLINA “CIRCUITOS ELÉCTRICOS” DEL PLAN E, CON APOYO DE LAS TIC

En este capítulo se presenta la fundamentación teórico-metodológica acerca de la necesidad de utilizar materiales didácticos para apoyar el estudio independiente de los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica, la cual viene dada por las generalidades del Plan de estudios E y la reestructuración que va a llevarse a cabo en la disciplina “Circuitos Eléctricos” (CE) en cuanto a cantidad de horas y temas a impartir debido a la implementación del nuevo plan de estudios. Se hace un análisis de cómo se ha ido impartiendo el tema en los planes de estudios anteriores, en el actual y las perspectivas en el Plan E, los principales cambios, la valoración de cómo mantener la calidad del egresado con un menor número de horas clases en las asignaturas, la influencia de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), la importancia de preparar materiales de estudio en los temas y la forma en que se utilizarán para garantizar la preparación de los estudiantes.

1.1 Bases conceptuales del Plan de estudios E

La experiencia de más de 7 años de aplicación de los planes de estudio “D” vigentes, con un modelo de formación de perfil amplio en el pregrado, permitió elevar la calidad del proceso de formación de los profesionales y trabajar en el logro de una colaboración más estrecha con el sector de la producción y los servicios, en aras de conseguir una mayor pertinencia de las carreras. En este nuevo nivel de desarrollo alcanzado, se han detectado una serie de limitaciones que no están en correspondencia con la realidad actual del país y del entorno mundial, entre las que se destacan: la duración de las carreras que retrasa el ciclo de formación y las encarece, disminuyendo además la posibilidad de ofrecer una respuesta más rápida a la demanda laboral, y el poco aprovechamiento de la flexibilidad de los actuales planes de estudio, debido fundamentalmente a la escasa cultura institucional que se posee en este sentido; entre otras [2].

Por tanto, el Plan de estudios E, teniendo en cuenta el sistema de formación continua de los profesionales cubanos y el concepto de formación integral como premisas fundamentales para su diseño, se plantea como bases conceptuales las siguientes [2]:

1. El perfeccionamiento del modelo de formación de perfil amplio: Se trata de preparar con solidez al profesional en los aspectos que están en la base de toda su actuación profesional, lo que asegura el dominio de los modos de actuación con la amplitud requerida. Hace realidad el sistema de formación continua, de acuerdo con una armónica conjugación de las necesidades sociales y personales. Reducir el tiempo de duración de

las carreras y como resultado formar en menos tiempo los profesionales que la sociedad necesita y demanda.

2. Mayor articulación del pregrado y el posgrado: Se deben adecuar sistemáticamente los programas de formación de posgrado teniendo en cuenta las necesidades socioeconómicas locales, territoriales y nacionales.
3. Lograr una efectiva flexibilidad curricular: La flexibilidad curricular se debe manifestar fundamentalmente por la existencia de tres tipos de contenidos curriculares (base, propio y optativo/electivo). Se trata de la actualización permanente del plan de estudio de la carrera y su adaptación a las necesidades del país, del territorio, al desarrollo del claustro y a los intereses de los estudiantes.
4. Mayor grado de racionalidad en el diseño de los planes de estudio: Mediante la elaboración de programas de disciplinas y de asignaturas comunes para diferentes carreras, siempre que sea posible.
5. Mayor nivel de esencialidad en los contenidos de las disciplinas: Este aspecto se logra mediante la selección de aquellos contenidos que son fundamentales para el logro de los objetivos previstos en la carrera. El proceso de integración de los contenidos científicos de diferentes disciplinas crea la necesidad de incluir enfoques intra, inter y transdisciplinarios, lo que evitaría la reiteración innecesaria de conocimientos.
6. Lograr un equilibrio adecuado entre las actividades académicas, laborales e investigativas: El componente investigativo estará presente en las actividades curriculares y extracurriculares, fomentando en los estudiantes la independencia, la creatividad y la búsqueda permanente del conocimiento. Es importante que en la actividad académica esté presente el vínculo teoría-práctica, es decir, que los estudiantes aprendan a aplicar los conocimientos en situaciones prácticas, a manejar instrumentos y equipo, así como a realizar prácticas de laboratorio sobre bases teóricas para el desarrollo de habilidades profesionales necesarias en su desempeño futuro. Se han de crear espacios propicios que favorezcan la motivación por la actividad profesional.
7. El fortalecimiento de la formación humanista en todas las carreras: Se aboga por la formación integral del futuro profesional, por instruir su pensamiento y educar sus sentimientos, de manera que pueda participar activa y responsablemente en el desarrollo social sostenible de su país. Es esta la concepción martiana de preparar al hombre para la vida y la fidelista de desarrollar desde muy temprano la personalidad humana.
8. Potenciar el protagonismo del estudiante en su proceso de formación: Orientar el proceso de formación más al aprendizaje que a la enseñanza, a priorizar el cómo y no el qué, de manera que se eleve el protagonismo del estudiante y se favorezca su independencia cognoscitiva y creatividad.
9. Potenciar el tiempo de autopreparación del estudiante: Se debe tener en cuenta que el proceso de aprendizaje no se restringe a los tiempos de actividades académicas presenciales. Se torna necesaria la creación de espacios de tiempo en el currículo para

la búsqueda, reflexión, interiorización y consolidación de los conocimientos por parte de los estudiantes, como vía para fomentar su autoaprendizaje.

10. Lograr transformaciones cualitativas en el proceso de formación como consecuencia de un amplio y generalizado empleo de las TIC: El uso de las TIC rompe con el concepto del profesor como fuente principal del conocimiento, pues deja de ser la única referencia que tiene el estudiante para el acceso al saber. Se debe lograr el empleo generalizado de software profesionales, plataformas interactivas y un acceso eficiente a fuentes confiables de información en la red de redes, entre otras.
11. El fortalecimiento de los vínculos de las universidades con los organismos empleadores y todas las instancias que sean fuentes de empleo: La universidad debe tener pertinencia social, por eso es primordial que en el proyecto curricular se refuerce el vínculo universidad-sociedad. Debe lograrse una mayor pertinencia del currículo y contribuir mediante un desarrollo eficaz de la práctica laboral, a la preparación de un egresado capaz de resolver los problemas más generales de la profesión en el eslabón de base. Por ello, resulta vital fortalecer la integración de los organismos empleadores a los niveles organizativos de la carrera y a su concepción curricular, para favorecer la elevación de la calidad y eficiencia de la etapa de preparación para el empleo.
12. Lograr transformaciones en la evaluación del aprendizaje: La tarea de evaluar debe considerarse en su carácter cualitativo y formativo. Esto supone integrarla al proceso pedagógico, es decir, realizarla de modo permanente durante las actividades de aprendizaje utilizando formas no tradicionales de evaluación y, además, dando a conocer a los estudiantes cuáles son los criterios que se utilizan para valorar su desempeño desde los objetivos de la clase, de modo que esto los ayude a revisar lo que hace y a desarrollar su capacidad de autoevaluación, su espíritu crítico y autocrítico.
13. Evaluar y certificar conocimientos y habilidades profesionales no contempladas en los planes de estudio y que se consideren requisitos indispensables para obtener la titulación, ofreciendo los niveles de ayuda necesarios.

Como se aprecia, las bases conceptuales del Plan E son precisas y apuntan hacia la necesidad de fortalecer el proceso de formación del profesional universitario, en correspondencia con las exigencias actuales, mediante un proceso docente educativo más flexible, donde los estudiantes en menor tiempo de formación, puedan tener un amplio acceso al saber mediante la búsqueda, reflexión, interiorización y consolidación de los conocimientos, como vía para fomentar su autoaprendizaje, así como la creación de espacios propicios que favorezcan la motivación por la actividad profesional.

1.1.1 Contenidos para la disciplina CE según Plan de estudios E

Para ser consecuente con el Modelo del Profesional y con las bases conceptuales del Plan de estudios E ya abordadas anteriormente, se hace necesario precisar los contenidos de la disciplina CE, con sus correspondientes conocimientos esenciales y habilidades a adquirir. A continuación se ilustran dichos contenidos, los cuales deben ser de pleno dominio por parte de los profesores y estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica.

Conocimientos esenciales a adquirir [5]:

- Conceptos básicos de circuito eléctrico, clasificación, componentes, elementos reales y modelos, corriente, tensión y potencia, resistencia y conductancia.
- Fuentes de tensión y de corriente, ideales y reales, dependientes e independientes. Leyes de Ohm y Kirchhoff. Propiedades de los circuitos eléctricos lineales.
- Transformaciones equivalentes en circuitos resistivos conectados en serie, paralelo. Divisores de tensión y de corriente. Transformaciones de fuentes reales.
- Métodos generales para el análisis de circuitos eléctricos. Teoremas de los circuitos lineales: Superposición, Thevenin, Norton. Condición de máxima transferencia de potencia.
- Capacitores e inductores. Propiedades de los elementos almacenadores ideales. Método clásico para el cálculo de circuitos de primer y segundo orden simples con estímulos de corriente directa (CD), frecuencias naturales, propiedades de la respuesta transitoria.
- Análisis de circuitos eléctricos con estímulos periódicos sinusoidales. Definiciones básicas del método fasorial, diagramas fasoriales. Leyes de Ohm y Kirchhoff en forma compleja para elementos R, L y C, impedancia, admitancia, reactancia, susceptancia, carácter de los circuitos, dependencia de la frecuencia. Transformaciones, reducción a circuitos equivalentes, teoremas y métodos generales en régimen de corriente alterna (CA).
- Potencia activa, reactiva, aparente y aparente compleja. Factor de potencia. Mejoramiento del factor de potencia en la industria. Máxima transferencia de potencia.
- Definiciones básicas sobre los circuitos trifásicos. Circuitos trifásicos conectados en delta y en estrella, balanceados y desbalanceados. Cargas trifásicas en paralelo, balanceadas y desbalanceadas. Transformaciones recíprocas delta-estrella. Método de las componentes simétricas y sus propiedades para los circuitos trifásicos. Potencias en circuitos trifásicos.
- Análisis de circuitos sencillos con inductancia mutua. Circuitos acoplados magnéticamente.
- 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.
- Método operacional. Leyes de Ohm y Kirchhoff en forma operacional, circuito operacional equivalente. Teoremas y métodos de análisis de los circuitos lineales operacionalmente en estado estable y transitorio.
- Análisis de circuitos monofásicos y trifásicos estimulados por ondas no sinusoidales periódicas y estímulos aperiódicos (Análisis de Fourier). Espectros de las ondas periódicas no sinusoidales. Valor eficaz. Potencia en régimen periódico no sinusoidal. Factor de potencia. Propiedades de los armónicos en circuitos trifásicos. El THD (Distorsión Armónica Total)

- Estudio de circuitos eléctricos no lineales.
- Funciones básicas de los elementos que componen el sistema de medición. Esquemas funcionales y ecuaciones de transferencia.
- Características estáticas y dinámicas de los elementos y del sistema de medición. Determinación de las variables y modelación del sistema.
- Nociones básicas sobre metrología. Conservación y transmisión de las unidades patrones de magnitudes físicas.
- Incertidumbre de las mediciones y medios de medición. Formas de expresar y normalizar los errores. Evaluación del error. Errores sistemáticos y aleatorios. Verificación de instrumentos.
- Convertidores de medición resistivos, inductivos y capacitivos. Principio físico de funcionamiento. Características metroológicas.
- Instrumentos de medición electrónicos, analógicos, digitales y ópticos. Procesamiento digital de señales. Puentes. Potenciómetros Principio de operación y características metroológicas.
- Medición de tensión e intensidad de corriente en corriente directa (CD) y corriente alterna (CA).
- Ampliación del campo de medición de los instrumentos. Conectar, escoger el campo de medición y realizar la lectura con instrumentos analógicos y digitales.
- Medición de resistencia eléctrica. Resistencias altas, medias y bajas. Medición de inductancia. Factor de calidad. Medición de capacitancia. Factor de pérdida.
- Medición de potencia en circuitos de CD. Medición de potencias activa y reactiva en circuitos monofásicos y trifásicos.
- Medición de energía en circuitos monofásicos y trifásicos. Contadores de energía de inducción y electrónicos. Determinación de la demanda máxima. Analizadores de carga. Medición de ángulo de fase y factor de potencia. Medición de frecuencia.
- Transformadores de medición, principio de operación, conexiones, medidas de seguridad, clase de precisión. Conexiones de instrumentos a través de transformadores en circuitos trifásicos.
- Sistemas de adquisición de datos. Medición de magnitudes no eléctricas. Termógrafos. Analizadores de redes. Fundamentos de operación.
- Sistemas automáticos de medición. Instrumentos analizadores y programables.
- Introducción en la medición digital y el procesamiento digital de las señales en las mediciones de parámetros eléctricos periódicos y no periódicos.

Habilidades principales a dominar [5]:

1. Aplicar las leyes de Ohm y Kirchhoff, los divisores de tensión y de corriente, las simplificaciones y transformaciones de las conexiones: serie, paralelo, serie-paralelo,

- delta y estrella; incluido el retorno al circuito original cuando sea necesario; así como las transformaciones de fuentes al cálculo de tensión, corrientes y potencias en circuitos lineales.
2. Aplicar los métodos generales, así como los teoremas de Thevenin, Norton y de Superposición, al análisis de circuitos lineales.
 3. Calcular en el dominio del tiempo, mediante el método clásico, e interpretar físicamente, procesos transitorios en circuitos lineales simples de primer orden y segundo orden con elementos en serie o paralelo, a estímulos de corriente directa y ondas rectangulares.
 4. 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.
 5. Analizar circuitos trifásicos desbalanceados, en estado estable, en régimen de corriente alterna.
 6. Determinar las componentes simétricas de un sistema de voltajes trifásicos desbalanceados y resolver circuitos con carga trifásica balanceada, conectada en estrella o en delta, alimentada por el sistema de voltajes desbalanceados, aplicando el método de las componentes simétricas.
 7. 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.
 8. Utilizar los métodos básicos de análisis de los circuitos magnéticos.
 9. 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.
 10. Describir el comportamiento de filtros sencillos (activos y pasivos). Aplicaciones prácticas.
 11. Aplicar el concepto y las propiedades de los circuitos resonantes al análisis de redes RLC serie, paralelo y serie-paralelo.
 12. Aplicar la transformada de Laplace al cálculo de la respuesta en el tiempo y, fundamentalmente, al cálculo de funciones de redes en circuitos lineales.
 13. Aplicar el desarrollo en series de Fourier y el teorema de la Superposición al cálculo de circuitos monofásicos en régimen periódico no sinusoidal.
 14. Aplicar programas de computación al análisis de circuitos eléctricos de baja y mediana complejidad, incluyendo la interpretación de los resultados.
 15. Seleccionar, conectar y realizar mediciones con instrumentos analógicos y digitales para medir variables en circuitos eléctricos teniendo en cuenta las medidas de seguridad y protección.

16. Evaluar los principales errores que aparecen en las mediciones digitales y el procesamiento digital de las señales.
17. Utilizar, analizar e interpretar la información científico-técnica relacionada con dispositivos eléctricos y circuitos eléctricos. (manuales, especificaciones, artículos, libros y otros), en lengua materna y en inglés.
18. Expresar con un lenguaje técnico riguroso, concreto, preciso, de forma oral y escrita, los conocimientos de circuitos eléctricos.
19. Elaborar informes técnicos utilizando las normas técnicas orientadas para este fin, así como observar las reglas establecidas para la protección e higiene del trabajo.
20. Adquirir de forma independiente conocimientos relacionados con la disciplina.
21. Interpretar, analizar y resolver adecuadamente problemas generales y frecuentes de la profesión, fundamentando coherentemente sus razonamientos, basados en principios físicos y matemáticos.
22. Montar y medir circuitos electrónicos teniendo en cuenta las medidas de seguridad y protección.
23. Adquirir autodisciplina, caracterizada por la puntualidad, normas de comportamiento adecuadas, cumplimiento y sentido de la responsabilidad individual y colectiva.

Como se aprecia, estos contenidos están ordenados de manera gradual y ascendente, con una adecuada secuencia lógica y pedagógica en aras de lograr un conocimiento asequible por los estudiantes. Para lograr un mayor nivel de esencialidad en los contenidos de las disciplinas se seleccionaron estos contenidos que son fundamentales para el logro de los objetivos previstos en la carrera. Esto debe contribuir a la disminución de asignaturas y al adecuado balance entre las horas presenciales y el tiempo de autopreparación de los estudiantes, ya que el proceso de aprendizaje no se restringe a los tiempos de las actividades académicas presenciales.

Para esta investigación se profundiza en los métodos generales para el análisis de circuitos eléctricos: análisis nodal o método de los voltajes de nodos (MVN) y análisis de lazo o método de las corrientes de mallas (MCM).

1.1.2 Importancia del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” para los estudiantes de perfil eléctrico

Hoy en día los circuitos eléctricos forman una parte indispensable de la vida cotidiana, se encuentran en la televisión, los autos, la radio, los DVD, entre muchos otros equipos de uso diario.

Precisamente, el análisis de los circuitos eléctricos constituye un contenido vital para la formación de los ingenieros eléctricos. Entre las dos teorías fundamentales en las que se apoyan todas las ramas de la ingeniería eléctrica (potencia, máquinas eléctricas, control, electrónica, comunicaciones e instrumentación), está la de circuitos eléctricos. Ellos constituyen un buen modelo para el estudio de sistemas de energía en general [6].

Los circuitos eléctricos se usan en numerosos sistemas eléctricos para realizar diferentes tareas. El análisis de circuitos es el proceso de determinar los voltajes (o las corrientes) a través de los elementos del circuito. Puede significar un contacto más directo y profundo del estudiante con la ingeniería eléctrica. Un ingeniero debe adquirir muchas capacidades, una de las cuales es el conocimiento del análisis de los circuitos eléctricos ya que proporciona los fundamentos para trabajar en la instrumentación electrónica, en máquinas alimentadas por electricidad y sistemas de gran escala.

El análisis de un circuito permite obtener información útil acerca de la corriente, el voltaje o la potencia, mediante dos técnicas básicas como: el análisis nodal o método de los voltajes de nodos y el análisis de lazo o método de las corrientes de mallas, las cuales permiten analizar una gran cantidad de circuitos de manera metódica y coherente. Ofrecen la oportunidad de desarrollar una técnica metodológica para resolver problemas, la capacidad para determinar el objetivo u objetivos de un problema en particular, la habilidad para recabar la información necesaria para llegar a una solución y, quizás igualmente importante, las oportunidades para obtener experiencia práctica en la verificación de la exactitud de la solución [7].

El análisis de circuito permite aplicar conocimientos antecedentes de la asignatura, relacionados con las leyes fundamentales de la teoría de circuitos (la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff) al desarrollo de dos eficaces técnicas de análisis de circuitos: el análisis nodal, el cual se basa en una aplicación sistemática de la ley de Kirchhoff de las corrientes (LKC), y el análisis de lazo, el cual se basa en una aplicación sistemática de la ley de Kirchhoff de los voltajes (LKV).

Con estas dos técnicas es posible analizar cualquier circuito lineal mediante la obtención de un conjunto de ecuaciones simultáneas que después sean resueltas para obtener los valores requeridos de corriente o voltaje. Un método para la resolución de ecuaciones simultáneas implica la regla de Cramer, la cual permite calcular las variables de circuito como un cociente de determinantes.

El análisis nodal brinda un procedimiento general para el análisis de circuitos con el uso de voltajes de nodo como variables de circuito. La elección de los voltajes de nodo en vez de voltajes de elemento como las variables de circuito es conveniente y reduce el número de ecuaciones que deben resolverse en forma simultánea.

El análisis de lazo brinda otro procedimiento general para el análisis de circuitos, con el uso de corrientes de lazo como las variables de circuito. Emplear corrientes de lazo en vez de corrientes de elemento como variables de circuito es conveniente y reduce el número de ecuaciones que deben resolverse en forma simultánea.

En el análisis nodal se aplica la LKC para hallar los voltajes desconocidos en un circuito dado, mientras que en el análisis de lazo se aplica la LKV para hallar las corrientes desconocidas. El análisis de lazo no es tan general como el nodal, porque solo es aplicable a un circuito con disposición plana. Un circuito de este tipo es aquel que puede dibujarse en un plano sin ramas cruzadas; de lo contrario, no es de disposición plana [6].

Es importante destacar que los ingenieros eléctricos ya graduados, mediante el conocimiento adquirido durante la carrera acerca del tema "Métodos de solución de circuitos eléctricos

lineales”, les permitirá utilizar en su desempeño profesional, el análisis de circuitos de manera correcta, despojado de la rutina, poniendo en práctica las habilidades analíticas y de resolución de problemas que aprendieron durante sus estudios de licenciatura.

1.1.3 Desarrollo del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” según la evolución de los planes de estudio

El tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” ha estado incluido en todos los planes de estudio que se han elaborado, por la importancia que tiene en la formación de ingenieros de perfil eléctrico. La diferencia fundamental en su tratamiento ha estado en la cantidad de horas presenciales que se le han destinado, las cuales han ido disminuyendo a medida que han ido perfeccionándose dichos planes, en busca de un mayor protagonismo del estudiante como sujeto activo de su propio aprendizaje.

Con respecto al Plan de estudios D hay una reducción del número de horas en la disciplina, tal como se muestra en la tabla 1.1, donde se aprecia una disminución del 35,4 % del tiempo asignado.

Tabla 1.1 Distribución de horas para los planes de estudios D y E de la carrera IE.

Carrera \ Asignatura	Ingeniería Eléctrica (IE)	
	D	E
CE I	64	60
CE II	64	64
CE III	64	
Total	192	124
Diferencia (h)/%	68/35,4	

En el Plan D, la asignatura CE I abarca 64 horas clase y solamente se tratan los circuitos alimentados con corriente directa (CD), mientras que en el Plan E serán 60 horas clase y en su contenido estará todo lo que en el plan anterior se trataba en CE I, excepto el estudio del amplificador operacional, más el análisis de circuitos alimentados con corriente alterna (CA) que pertenecía en el Plan D a CE II.

En el Plan de estudios D vigente, el tema en cuestión comienza a estudiarse en CE I donde se tratan los circuitos eléctricos alimentados con corriente directa (CD) y luego, se aplican en circuitos alimentados con corriente alterna (CA) en CE II.

Actualmente se destinan 12 horas para ese tema en CE I y 2 horas en CE II para un total de 14 horas. Sin embargo, para el Plan de estudios E, la propuesta es de 10 horas para el tema en CE I, que incluye el análisis tanto en corriente directa como en alterna.

Otra diferencia que se debe señalar es que inicialmente se estudiaban estos métodos en circuitos alimentados con fuentes independientes tanto de corriente directa (CD) en CE I como de corriente alterna (CA) en CE II. Las fuentes dependientes se introducían en CE III y se trataba el tema nuevamente. En resumen, el tema era tratado en las tres asignaturas de CE.

Desde el Plan D se tratan todos los circuitos alimentados tanto con fuentes independientes como con fuentes dependientes, lo cual se mantiene en el Plan E.

Por otra parte, durante todos los planes de estudios, el colectivo de CE de la FIE de la Universidad Central de Las Villas (UCLV) ha elaborado varios materiales en formato digital que permiten profundizar en el tema y que enriquecen la teoría sobre la que se sustenta.

1.2 Las TIC en la Educación Superior

Las tecnologías de información y comunicación, mayormente conocidas como “TIC”, son aquellas cuya base se centra en los campos de la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones, para dar paso a la creación de nuevas formas de comunicación. Constituyen un conjunto de herramientas o recursos de tipo tecnológico y comunicacional, que sirven para facilitar la emisión, acceso y tratamiento de la información mediante códigos variados que pueden corresponder a textos, imágenes, sonidos, entre otros. Se consideran como una nueva forma de procesamiento de la información, que involucra el desarrollo de las redes y que permite un mayor y más fácil acceso a la misma, y en el que las tradicionales tecnologías de la comunicación (TC), esencialmente compuestas por la radio, la telefonía convencional y la televisión, se combinan con las tecnologías de la información (TI), las cuales se especializan en la digitalización de las tecnologías de registro de contenidos.

En la actualidad, con el auge de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), y especialmente los servicios y posibilidades que ofrece Internet, la formación en red proporciona una enseñanza personalizada y un seguimiento continuo de los progresos del alumnado, optimizando el proceso de aprendizaje y eliminando barreras espacio-temporales. Este entorno facilita la comunicación e interacción entre profesorado-alumnado-personal, configurando así diferentes espacios comunicativos: para la tutoría, para la comunicación social y de soporte en las diferentes situaciones didácticas, entre otras [8].

En la Ley Especial Contra Delitos Informáticos (2001) en el Título I de las disposiciones generales, definen las TIC como la: Rama de la tecnología que se dedica al estudio, aplicación y procesamiento de datos, lo cual involucra la obtención, creación, almacenamiento, administración, modificación, manejo, movimiento, control, visualización, distribución, intercambio, transmisión o recepción de información de forma automática, así como el desarrollo y uso de hardware, firmware, software, cualquiera de sus componentes y todos los procedimientos asociados con el procesamiento de datos [9].

Las TIC son una especie de unión entre tres tecnologías que han sido inventadas en el siglo XX: la Informática, las Telecomunicaciones y los Medios Audiovisuales. Los alumnos necesitan utilizar los diversos medios tecnológicos para formar su futuro profesional. Esta situación provoca impulsar nuevas y variadas maneras de ejercer la docencia, saber aprovechar las nuevas tecnologías de información y comunicación, que la mayoría de los estudiantes ya mantiene un dominio sobre ellas [10].

En el mundo educativo se pueden encontrar infinidad de aplicaciones de las TIC, desde la creación de portales o webs educativas, la creación de aulas virtuales de enseñanza-aprendizaje, la videoconferencia, software para la educación y lógicamente todo el conjunto de material didáctico que tiene un soporte de disco o de multimedia educativo que actualmente se distribuye a través de Internet.

El uso de las diversas herramientas TIC en el entorno educativo otorga no solo múltiples ventajas, sino que ofrece una alta flexibilidad de tiempo y espacio, permite crear materiales didácticos que apoyen el aprendizaje de los estudiantes, mejora la calidad de la educación y amplía las oportunidades de acceso al conocimiento.

En la Conferencia Mundial sobre la Educación Superior, se expone que los estudiantes deben asumir la responsabilidad de ser un participante activo en el apoderamiento del conocimiento, valores y habilidades necesarios para aprender a conocer, hacer, trabajar en equipo, a ser solidario, tomar decisiones, resolver problemas, etcétera [11].

Específicamente en la Universidad, las TIC han revolucionado el método de aprendizaje, complementando la educación impartida a través de libros y revistas escolares, facilitando el acceso de los estudiantes a una mayor cantidad de información y fomentando la creatividad y la iniciativa de los mismos.

Una posibilidad que ofrece la tecnología es experimentar con procesos que en condiciones normales sería difícil o incluso imposible hacerlo. La simulación es un uso de las TIC que están aprovechando los profesores para enriquecer el aprendizaje de sus estudiantes. En varias asignaturas de los programas se encuentran propuestas pedagógicas muy interesantes que se apoyan en los simuladores para que los estudiantes, a través de la simulación, conozcan un escenario empresarial y aprendan a tomar decisiones en él. Además, se encuentran que estas propuestas no se basan sólo en el uso de simuladores, sino que integran el uso de otras herramientas TIC que les permiten a los estudiantes hacer procesos de análisis, organización y presentación de información [12].

La asignatura Simulación en la carrera de Ingeniería Eléctrica se imparte en el segundo año, con el propósito de contribuir a la enseñanza de lenguajes y programas de simulación relacionados con la modelación matemática de los circuitos eléctricos y profundizar a su vez en la obtención de modelos a partir de procesos físicos para su posterior simulación en microcomputadoras. Esta asignatura no está incluida en el currículo base del Plan E.

La incorporación de las TIC requiere no solo el conocimiento y dominio de las herramientas, sino también, y sobre todo, de un enfoque pedagógico orientado a la facilitación de los aprendizajes.

Por último, es importante destacar que para que pueda haber un verdadero impacto de las TIC en la configuración de nuevos modos de enseñanza y aprendizaje en la Educación Superior, se requiere de una visión integradora de las políticas educativas, la organización de la institución, recursos materiales y actores involucrados que se inscriban en el desarrollo de un proyecto educativo claramente definido y compartido. Por tanto, es importante la incorporación de las TIC al currículo de la carrera docente, como contenido, eje transversal y uso de las TIC [9].

1.2.1 Generalidades del MATLAB

MATLAB es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización. Integra análisis numérico, cálculo matricial, procesamiento de señales, gráficos, en un entorno fácil de usar, donde los problemas y las soluciones son expresados como se escriben matemáticamente, sin la programación tradicional.

El nombre MATLAB proviene de “MATrixLABoratory” (Laboratorio de Matrices). MATLAB fue escrito originalmente para proporcionar un acceso sencillo al software matricial desarrollado por los proyectos LINPACK y EISPACK, que juntos representan lo más avanzado en programas de cálculo matricial. MATLAB es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es una matriz que no requiere dimensionamiento. Esto permite resolver muchos problemas numéricos en una fracción del tiempo que llevaría hacerlo en lenguajes como C, BASIC o FORTRAN [13].

Como caso particular, este programa puede también trabajar con números escalares tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones.

MATLAB tiene también un lenguaje de programación propio. MATLAB es un gran programa de cálculo técnico y científico. Para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. En cualquier caso, el lenguaje de programación de MATLAB siempre es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que aumenta significativamente la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo [14].

MATLAB ha evolucionado desde 1970 a través de la atención de las necesidades de sus principales usuarios, tanto en ámbitos académicos como empresarial. En entornos universitarios se ha convertido en la herramienta de enseñanza estándar para cursos de introducción en álgebra lineal aplicada, sistemas e ingeniería de control, procesamiento digital de imágenes, así como cursos avanzados en otras áreas. En la industria, MATLAB se utiliza para la investigación y para resolver problemas prácticos de ingeniería y matemáticas, con un gran énfasis en aplicaciones de control y procesamiento de señales [15].

MATLAB también proporciona una serie de soluciones específicas denominadas toolboxes. Estas son muy importantes para la mayoría de los usuarios y son conjuntos de funciones que

extienden el entorno MATLAB para resolver clases particulares de problemas como: procesamiento de señales, diseño de sistemas de control, simulación de sistemas dinámicos, identificación de sistemas, redes neuronales, entre otros [13].

En resumen, las prestaciones más importantes de MATLAB son:

- Escritura del programa en lenguaje matemático.
- Implementación de las matrices como elemento básico del lenguaje, lo que permite una gran reducción del código, al no necesitar implementar el cálculo matricial.
- Implementación de aritmética compleja.
- Un gran contenido de órdenes específicas, agrupadas en toolboxes.
- Posibilidad de ampliar y adaptar el lenguaje, mediante ficheros de *script* y funciones *.m*.

1.2.2 Posibilidades que brinda el Simulink para la simulación de circuitos eléctricos

Una de las herramientas incluidas en MATLAB es Simulink. Simulink es un entorno para la simulación y diseño de dominios, basados en un modelo para los sistemas dinámicos. Proporciona un entorno gráfico interactivo y un conjunto personalizable de bibliotecas de bloque que permiten diseñar, simular, implementar y probar una variedad de sistemas, incluyendo las comunicaciones, controles, procesamiento de señales, procesamiento de vídeos y procesamiento de imágenes [16].

La capacidad de integración de Simulink con MATLAB, le permite incorporar algoritmos de este lenguaje dentro de los modelos Simulink, exportar los resultados de la simulación a MATLAB para así poder llevar a cabo más análisis. [15].

Mediante los diagramas de bloques de Simulink se puede entender el comportamiento de diferentes sistemas por medio de su representación gráfica, que esencialmente consiste en representaciones de los componentes individuales del sistema, a través de los diferentes bloques que se encuentran en la biblioteca, junto con un flujo de señales entre estos componentes.

Para modelar sistemas físicos en Simulink, se pueden utilizar las bibliotecas Simscape, SimDriveline, SimHydraulics, SimMechanics y SimPowerSystems, las cuales proporcionan capacidades para el modelado de sistemas físicos, tales como las que tienen componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos. La biblioteca SimPowerSystems es una biblioteca que utiliza elementos de tipo circuito, con conexiones en lugar de entradas y salidas predefinidas [16].

Para la simulación de circuitos eléctricos Simulink es un entorno de programación visual que facilita el diseño de diferentes circuitos. Consta de una amplia biblioteca donde se pueden encontrar todo tipo de bloques que representan los diferentes elementos de circuitos como: resistor, fuente de voltaje, fuente de corriente, capacitor, inductor, etc. Además, se pueden obtener fácilmente los parámetros del circuito mediante los bloques de medición como por ejemplo: amperímetro, voltímetro, multímetro, entre otros.

1.3 Necesidad e importancia de los materiales didácticos como guía del estudio independiente

Para alcanzar un mejor nivel educativo se requiere del apoyo de recursos que ayuden en el proceso de enseñanza de los estudiantes, como lo son los materiales didácticos. Su uso tiende a guiar y motivar al estudiante en la construcción del conocimiento, es decir, sirven de apoyo en el proceso de aprendizaje de los estudiantes mediante publicaciones de sistemas pedagógicos innovadores utilizando herramientas tecnológicas.

Se puede decir entonces que material didáctico es el conjunto de medios materiales que intervienen y facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje, estos materiales pueden ser tanto físicos como virtuales; despiertan el interés y captan la atención de los estudiantes, presentan información adecuada con experiencias simuladas cercanas a la realidad, vivifican la enseñanza influyendo favorablemente en la motivación, retención y comprensión por parte del estudiante, facilitando la labor docente por ser sencillos, consistentes y adecuados a los contenidos [10].

Las guías didácticas constituyen un recurso que tiene el propósito de orientar metodológicamente al estudiante en su actividad independiente. Sirven de apoyo a la dinámica del proceso docente, guiando al alumno en su aprendizaje, favorecen este proceso y promueven la autonomía a través de diferentes recursos didácticos como son: explicaciones, ejemplos, comentarios, esquemas, gráficos, estudio de casos y otras acciones similares a las que el profesor utiliza en sus actividades docentes [17].

Es necesaria la elaboración de materiales didácticos ya que estos contribuyen a reforzar lo que se ha enseñado en clase, de modo que faciliten el proceso de aprendizaje. Estos proporcionan información a través de libros, videos y programas informáticos, guiando al estudiante y ayudándolo a crear y aplicar nuevos conocimientos ejercitando habilidades. Funcionan como mediadores entre la realidad y los estudiantes, y mediante sus sistemas simbólicos desarrollan habilidades cognitivas en sus usuarios. Además son necesarios para motivar, facilitar la adquisición de nuevos conocimientos y apoyar la evaluación y el reforzamiento del aprendizaje.

Los materiales didácticos son de gran importancia, pues tienen una finalidad de enseñanza y expresan una propuesta pedagógica. Enseñan en tanto guían el aprendizaje de los alumnos, presentando y graduando los contenidos y las actividades, transmitiendo información actualizada sobre la temática del curso, planteando problemas, alentando la formulación de preguntas y el debate del grupo. Incrementan la motivación de los alumnos con desarrollos serios, interesantes y atractivos [18].

1.4 Consideraciones finales del capítulo

1. Al disminuir el número de horas en las disciplinas del Plan E, el estudiante necesitará mayor dedicación al estudio independiente y será el profesor el encargado de orientar todo el proceso para poder lograr la formación integral del futuro profesional.

2. Una vez adecuado el currículo de la carrera, a partir de las bases conceptuales del Plan de estudios E, las disciplinas deben orientar de forma eficaz, el estudio independiente de cada tema, a través de materiales didácticos y la utilización eficaz de las TIC.
3. En el caso del tema “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales”, el nuevo programa propone una disminución de 4 horas de clases presenciales respecto al actual, por lo que el estudiante necesitará profundizar en el mismo durante el estudio independiente.
4. El profesor tendrá la responsabilidad de orientar a los estudiantes para que profundicen en el tema a través de materiales didácticos elaborados con ese fin y que incluyan el análisis de los circuitos utilizando, en específico, la herramienta Simulink del MATLAB.

CAPÍTULO 2. TEORÍA BÁSICA FUNDAMENTAL SOBRE EL TEMA “MÉTODOS DE SOLUCIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS LINEALES”

Las leyes fundamentales de la teoría de circuitos (la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff), se aplican al desarrollo de dos técnicas eficaces de análisis de circuitos: el análisis nodal o método de los voltajes de nodos (MVN), el cual se basa en la aplicación sistemática de la ley de Kirchhoff de las corrientes (LKC), y el análisis de mallas o método de las corrientes de mallas (MCM), el cual se basa en la aplicación sistemática de la ley de Kirchhoff de los voltajes (LKV).

Con las dos técnicas señaladas con anterioridad, es posible analizar cualquier circuito lineal, mediante la obtención de un conjunto de ecuaciones simultáneas cuya solución permite obtener los valores requeridos de las corrientes o los voltajes [6].

2.1 Análisis nodal o método de los voltajes de nodo (MVN)

El análisis nodal brinda un procedimiento general para el análisis de circuitos con el uso de voltajes (tensiones) de nodos como variables de circuito. La elección de las tensiones de nodos en vez de tensiones de elementos como las variables de circuito es conveniente y reduce el número de ecuaciones que deben resolverse en forma simultánea [19].

Para simplificar el análisis, se supondrá por el momento, que los circuitos no contienen fuentes de voltaje. Circuitos que contienen fuentes de voltaje serán analizados en el siguiente epígrafe.

En el análisis nodal interesa hallar las tensiones de nodos. Dado un circuito con n nodos sin fuentes de tensión, el análisis nodal del circuito implica los tres pasos siguientes.

Pasos para determinar las tensiones de los nodos [20]:

1. Seleccionar un nodo como nodo de referencia. Asignar las tensiones (voltajes) v_1, v_2, \dots, v_{n-1} , a los $n - 1$ nodos restantes. Las tensiones se asignan con respecto al nodo de referencia.
2. Aplicar la LKC a cada uno de los $n - 1$ nodos que no son de referencia. Usar la ley de Ohm para expresar las corrientes de rama en términos de voltajes de nodos.
3. Resolver las ecuaciones simultáneas resultantes para obtener los voltajes de nodos desconocidos.

Explicación y aplicación de los tres pasos señalados anteriormente:

El primer paso del análisis nodal es seleccionar un nodo como nodo de referencia o de base. El nodo de referencia se llama comúnmente tierra, pues se supone que tiene potencial cero [21].

El nodo de referencia se indica con cualquiera de los tres símbolos de la figura 2.1. El tipo de tierra de la figura 2.1c) se llama tierra de chasis (armazón) y se usa en dispositivos en los que la caja, recipiente o chasis actúa como punto de referencia para todos los circuitos. Cuando el potencial de la tierra se usa como referencia, se emplea la tierra física de la figura 2.1a) o b). En este capítulo se usará siempre el símbolo de la figura 2.1b).

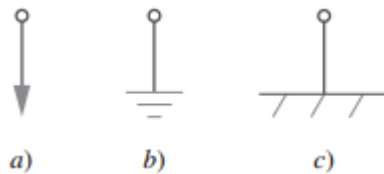


Figura 2.1: Símbolos comunes para indicar el nodo de referencia: a) tierra común, b) tierra, c) tierra de chasis.

Una vez seleccionado el nodo de referencia, se asignan voltajes a los nodos de no referencia. Considérese, por ejemplo, el circuito de la figura 2.2a). El nodo 0 es el nodo de referencia ($v = 0$), mientras que a los nodos 1 y 2 se les asignan los voltajes v_1 y v_2 , respectivamente. Debe tenerse en cuenta que los voltajes de nodos se definen respecto al nodo de referencia.

El número de nodos de no referencia es igual al número de ecuaciones independientes que se derivará [6].

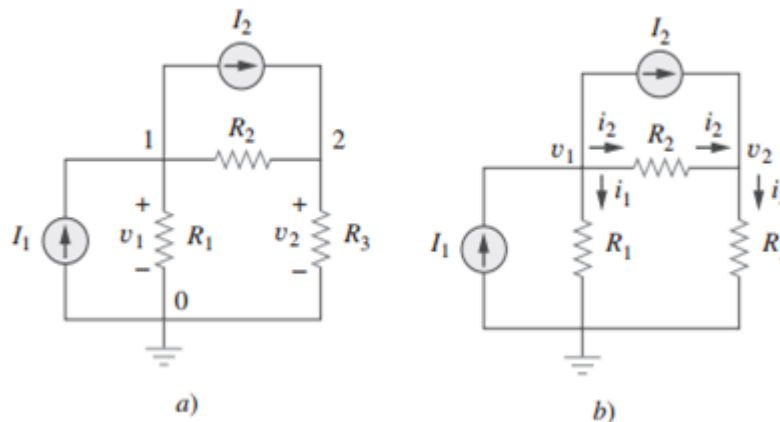


Figura 2.2: Circuito empleado para el análisis nodal.

Como se ilustra en la figura 2.2a), cada voltaje de nodo es simplemente el voltaje de ese nodo con respecto al nodo de referencia.

Como segundo paso, se aplica la LKC a cada nodo de no referencia en el circuito. El circuito de la figura 2.2a), se ha redibujado en la figura 2.2b), donde ahora se añaden i_1 , i_2 e i_3 , como las corrientes a través de los resistores R_1 , R_2 y R_3 , respectivamente.

En el nodo 1, la aplicación de la LKC produce

$$I_1 = I_2 + i_1 + i_2 \quad (2.1)$$

En el nodo 2:

$$I_2 + i_2 = i_3 \quad (2.2)$$

Ahora se aplica la ley de Ohm para expresar las corrientes desconocidas i_1 , i_2 e i_3 , en términos de voltajes de nodos. La idea clave por tener en cuenta es que, puesto que la resistencia es un elemento pasivo, por la convención pasiva de los signos la corriente siempre debe fluir de un potencial mayor a uno menor.

La corriente fluye de un potencial mayor a un potencial menor en un resistor [6].

Este principio se puede expresar como

$$i = \frac{v_{mayor} - v_{menor}}{R} \quad (2.3)$$

Teniendo en cuenta lo antes señalado, de la figura 2.2b) se obtiene:

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{v_1 - 0}{R_1} & \text{o} & & i_1 &= G_1 v_1 \\ i_2 &= \frac{v_1 - v_2}{R_2} & \text{o} & & i_2 &= G_2 (v_1 - v_2) \\ i_3 &= \frac{v_2 - 0}{R_3} & \text{o} & & i_3 &= G_3 v_2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

La sustitución de la ecuación (2.4) en las ecuaciones (2.1) y (2.2) da como resultado:

$$I_1 = I_2 + \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_1 - v_2}{R_2} \quad (2.5)$$

$$I_2 + \frac{v_1 - v_2}{R_2} = \frac{v_2}{R_3} \quad (2.6)$$

En términos de las conductancias, las ecuaciones (2.5) y (2.6) se convierten en:

$$I_1 = I_2 + G_1 v_1 + G_2 (v_1 - v_2) \quad (2.7)$$

$$I_2 + G_2 (v_1 - v_2) = G_3 v_2 \quad (2.8)$$

El tercer paso del análisis nodal es determinar los voltajes de nodos. Si se aplica la LKC a los $n - 1$ nodos de no referencia, se obtienen $n - 1$ ecuaciones simultáneas como las ecuaciones (2.5) y (2.6) o (2.7) y (2.8). En el caso del circuito de la figura 2.2, se resuelven las ecuaciones (2.5) y (2.6) o (2.7) y (2.8) para obtener los voltajes (tensiones) de nodo v_1 y v_2 , usando cualquier método estándar, como la regla de Cramer o la inversión de matrices [7].

Para emplear alguno de estos métodos, las ecuaciones simultáneas deben enunciarse en forma matricial. Por ejemplo, las ecuaciones (2.7) y (2.8) pueden enunciarse en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 \\ -G_2 & G_2 + G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 - I_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

La cual puede resolverse para obtener v_1 y v_2 . Las ecuaciones simultáneas también pueden resolverse con calculadora o con paquetes de software como MATLAB.

2.2 Análisis nodal con fuentes de voltaje

A continuación se considera cómo las fuentes de voltajes afectan el análisis nodal. Se usa el circuito de la figura 2.3 para efectos ilustrativos. Se tendrán en cuenta las dos posibilidades siguientes:

- **CASO 1:** Si una fuente de voltaje está conectada entre el nodo de referencia y un nodo de no referencia, simplemente el voltaje en el nodo de no referencia se hace igual al voltaje de la fuente de voltaje [6]. En la figura 2.3, por ejemplo:

$$v_1 = 10 \text{ V} \quad (2.10)$$

Así, el análisis se simplifica al conocer el voltaje en este nodo.

- **CASO 2:** Si la fuente de voltaje (dependiente o independiente) está conectada entre dos nodos de no referencia, los dos nodos de no referencia forman un nodo generalizado o supernodo; se aplica tanto la LKC como la LKV para determinar los voltajes de nodos.

Un supernodo incluye a una fuente de voltaje (dependiente o independiente) conectada entre dos nodos de no referencia y a cualesquiera elementos conectados en paralelo con ella. Un supernodo puede considerarse como una superficie cerrada que incluye a la fuente de voltaje y sus dos nodos [19].

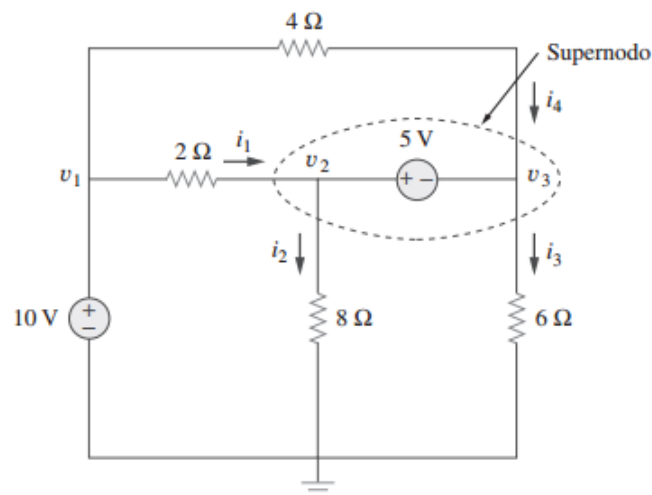


Figura 2.3: Circuito con un supernodo.

En la figura 2.3, los nodos 2 y 3 forman un supernodo (un supernodo puede estar formado por más de dos nodos).

Un circuito con supernodos se analiza siguiendo los mismos tres pasos mencionados en el epígrafe anterior.

Así, en el supernodo de la figura 2.3,

$$i_1 + i_4 = i_2 + i_3 \quad (2.11a)$$

O sea:

$$\frac{v_1 - v_2}{2} + \frac{v_1 - v_3}{4} = \frac{v_2 - 0}{8} + \frac{v_3 - 0}{6} \quad (2.11b)$$

Para aplicar la ley de Kirchhoff de los voltajes al supernodo de la figura 2.3, se redibuja el circuito como se muestra en la figura 2.4. Al recorrer el lazo en el sentido de las manecillas del reloj

$$-v_2 + 5 + v_3 = 0 \Rightarrow v_2 - v_3 = 5 \quad (2.12)$$

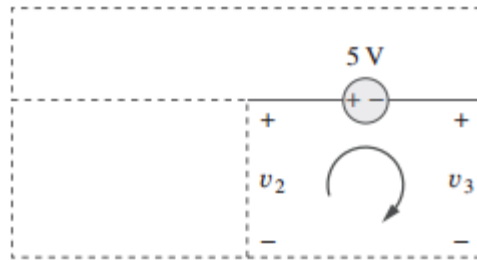


Figura 2.4: Aplicación de la LKV a un supernodo.

De las ecuaciones (2.10), (2.11b) y (2.12) se obtienen los voltajes de nodos.

Se pueden observar las siguientes propiedades en un supernodo:

1. La fuente de voltaje dentro del supernodo aporta una ecuación de restricción necesaria para determinar los voltajes de nodos.
2. Un supernodo no tiene un voltaje propio.
3. Un supernodo requiere la aplicación tanto de la LKC como de la LKV.

2.3 Análisis de lazo o método de las corrientes de mallas (MCM)

El análisis de lazo brinda otro procedimiento general para el análisis de circuitos, con el uso de corrientes de mallas como las variables de circuito. Emplear corrientes de mallas en vez de corrientes de elemento como variables de circuito es conveniente y reduce el número de ecuaciones que deben resolverse en forma simultánea [6].

Un lazo es una trayectoria cerrada que no pasa más de una vez por un nodo. Una malla es un lazo que no contiene ningún otro lazo dentro de él [19].

En el análisis nodal se aplica la LKC para hallar las tensiones desconocidas en un circuito dado, mientras que en el análisis de lazo se aplica la LKV para hallar las corrientes desconocidas. El análisis de lazo no es tan general como el nodal, porque sólo es aplicable a un circuito con disposición plana [7].

Un circuito de este tipo es aquel que puede dibujarse en un plano sin ramas cruzadas; de lo contrario, no es de disposición plana. Un circuito puede tener ramas cruzadas y ser de disposición plana de todos modos, si es posible volver a dibujarlo sin ramas que se cruzan [21]. Por ejemplo, el circuito de la figura 2.5a) tiene dos ramas que se cruzan, pero puede volver a dibujarse como en la figura 2.5b). Así, el circuito de la figura 2.5a) es de disposición plana.

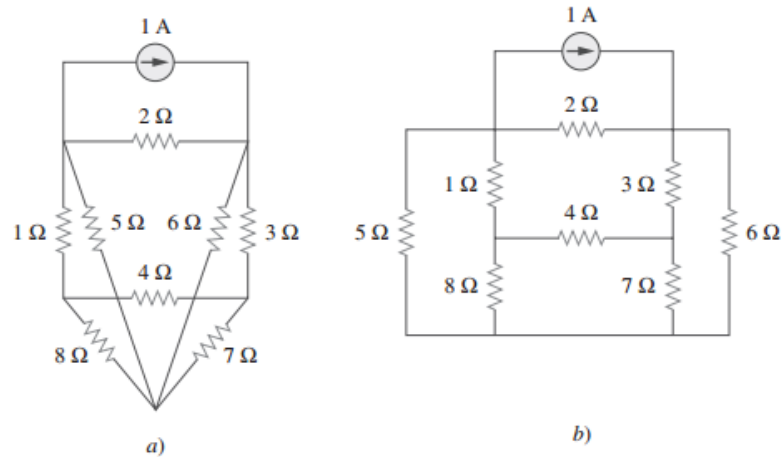


Figura 2.5: a) Circuito con disposición plana con ramas que se cruzan, b) el mismo circuito dibujado de nuevo sin ramas que se cruzan.

En cambio, el circuito de la figura 2.6 no es de disposición plana, porque no hay manera de volver a dibujarlo y de evitar el cruce de ramas. Los circuitos que no son de disposición plana pueden manejarse con el análisis nodal.

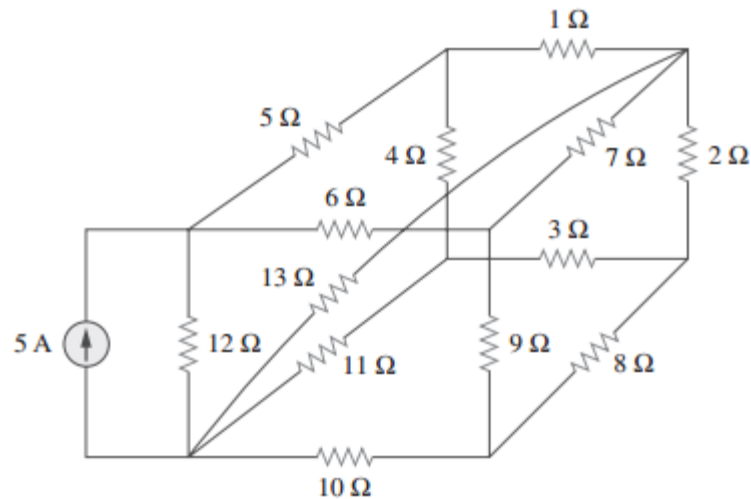


Figura 2.6: Circuito sin disposición plana.

Como fue señalado con anterioridad, una malla es un lazo que no contiene algún otro lazo en su interior.

En la figura 2.7, por ejemplo, las trayectorias *abefa* y *bcdeb* son mallas, pero la trayectoria *abcdefa* no es una malla. La corriente a través de una malla se conoce como corriente de malla. En el análisis de corrientes de mallas es de interés aplicar la LKV para hallar las corrientes de mallas en un circuito dado.

Aunque la trayectoria *abcdefa* es un lazo y no una malla, se sigue cumpliendo la LKV. Esta es la razón del uso indistinto de los términos análisis de lazo y análisis de malla para designar lo mismo.

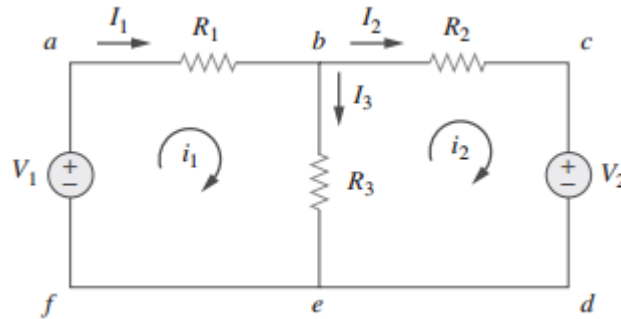


Figura 2.7: Circuito con dos mallas.

En este epígrafe se aplica el método de las corrientes de mallas a circuitos planares que no contienen fuentes de corriente.

En el análisis de mallas de un circuito con n mallas se requieren los siguientes tres pasos:

Pasos para determinar las corrientes de mallas [20]:

1. Asignar las corrientes de malla i_1, i_2, \dots, i_n a las n mallas.
2. Aplicar la LKV a cada uno de las n mallas. Usar la ley de Ohm para expresar los voltajes en términos de las corrientes de mallas.
3. Resolver las n ecuaciones simultáneas resultantes para obtener las corrientes de mallas.

Para ilustrar estos pasos, considérese el circuito de la figura 2.7. El primer paso requiere asignar las corrientes de mallas i_1 e i_2 a los lazos 1 y 2. Aunque una corriente de malla puede asignarse a cada malla en una dirección arbitraria, sin afectar la validez de la solución, por convención se supone que cada corriente de malla fluye en la dirección de las manecillas del reloj.

Como segundo paso, se aplica la LKV a cada malla. De la aplicación de la LKV a la malla 1 se obtiene:

$$-V_1 + R_1 i_1 + R_3(i_1 - i_2) = 0$$

O sea:

$$(R_1 + R_3)i_1 - R_3 i_2 = V_1 \tag{2.13}$$

En el caso de la malla 2, la aplicación de la LKV produce:

$$R_2 i_2 + V_2 + R_3(i_2 - i_1) = 0$$

O

$$-R_3 i_1 + (R_2 + R_3)i_2 = -V_2 \tag{2.14}$$

En la ecuación (2.13) se observa que el coeficiente de i_1 es la suma de las resistencias en la primera malla, mientras que el coeficiente de i_2 es el negativo de la resistencia común a las mallas 1 y 2. Lo mismo puede decirse de la ecuación (2.14). Esto puede servir como atajo para escribir las ecuaciones de mallas.

El tercer paso consiste en resolver las n ecuaciones simultáneas resultantes para obtener las corrientes de mallas.

El arreglo de las ecuaciones (2.13) y (2.14) en forma matricial genera:

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_2 + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ -V_2 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Este arreglo puede resolverse para obtener las corrientes de mallas i_1 e i_2 . Se nota que las corrientes de ramas son diferentes a las corrientes de mallas a menos que la malla esté aislada. Para distinguir entre esos dos tipos de corrientes, se usa i para una corriente de lazo e I para una corriente de rama.

Las corrientes por las ramas son las sumas algebraicas de las corrientes por las mallas [6].

En la figura 2.7 es evidente que

$$I_1 = i_1, \quad I_2 = i_2, \quad I_3 = i_1 - i_2 \quad (2.16)$$

2.4 Método de las corrientes de mallas en circuitos que contienen fuentes de corriente

Aplicar el método de las corrientes de mallas a circuitos que contienen fuentes de corriente (dependientes o independientes) puede parecer complicado. Pero en realidad es mucho más fácil que lo visto en el epígrafe anterior, porque la presencia de las fuentes de corriente reduce el número de ecuaciones. A continuación se consideran los dos casos posibles.

- **CASO 1** Cuando existe una fuente de corriente solo en una malla.

Considérese el circuito de la figura 2.8, por ejemplo. Se establece $i_2 = -5 \text{ A}$ y se escribe una ecuación de malla para la otra malla en la forma acostumbrada; esto es:

$$-10 + 4i_1 + 6(i_1 - i_2) = 0 \Rightarrow i_1 = -2 \text{ A} \quad (2.17)$$

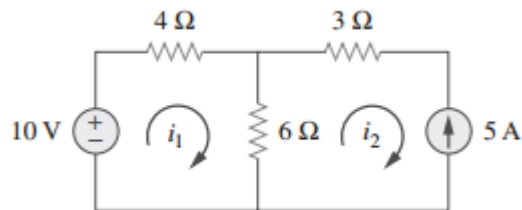


Figura 2.8: Circuito con una fuente de corriente solo en una malla.

- **CASO 2** Cuando existe una fuente de corriente entre dos mallas.

Considérese el circuito de la figura 2.9a), por ejemplo. Se crea una supermalla excluyendo la fuente de corriente y cualesquiera elementos conectados en serie con ésta, como se advierte en la figura 2.9b). Así se obtiene una supermalla cuando dos lazos tienen una fuente de corriente (dependiente o independiente) en común [6].

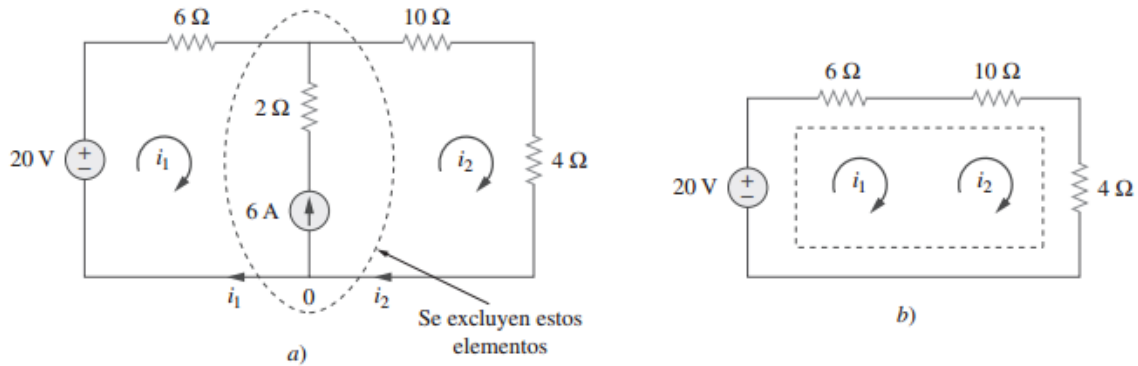


Figura 2.9: a) Dos mallas con una fuente de corriente en común, b) una supermalla, creada al excluir la fuente de corriente.

Como se muestra en la figura 2.9b), se crea una supermalla como resultado de la periferia de las dos mallas y se trata de diferente manera. (Si un circuito tiene dos o más supermallas que se intersectan, deben combinarse para formar una supermalla más grande) [6].

La aplicación de la LKV a la supermalla de la figura 2.9b) produce:

$$-20 + 6i_1 + 10i_2 + 4i_2 = 0$$

O sea:

$$6i_1 + 14i_2 = 20 \tag{2.18}$$

Se aplica la LKC a un nodo de la rama donde se intersectan los dos lazos. La aplicación de la LKC al nodo 0 de la figura 2.9a) da como resultado:

$$i_2 = i_1 + 6 \tag{2.19}$$

Al resolver las ecuaciones (2.18) y (2.19) se obtiene:

$$i_1 = -3.2 A, \quad i_2 = 2.8 A \tag{2.20}$$

Se pueden observar las siguientes propiedades en una supermalla:

1. La fuente de corriente en la supermalla aporta la ecuación de restricción necesaria para determinar las corrientes de mallas.
2. Una supermalla no tiene una corriente propia.
3. Una supermalla requiere la aplicación tanto de la LKV como de la LKC.

2.5 Análisis nodal y de malla por inspección

En este epígrafe se presenta un procedimiento generalizado para el análisis nodal o de malla. Es un atajo que se basa en la mera inspección de un circuito.

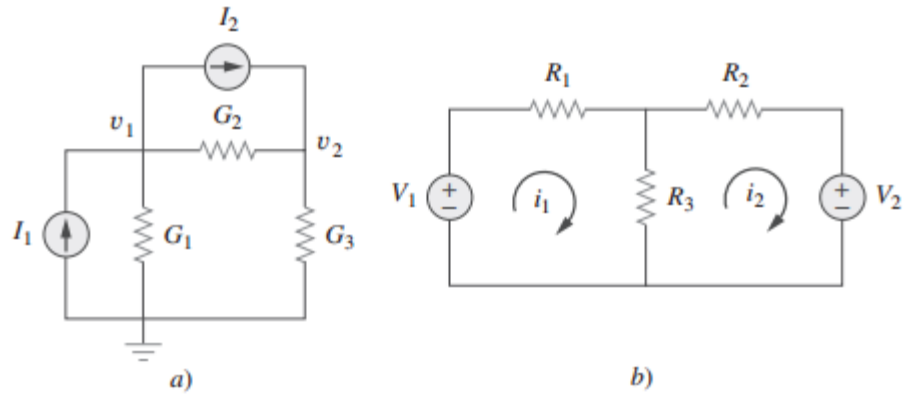


Figura 2.10: a) Circuito de la figura 2.2, b) circuito de la figura 2.7.

Cuando todas las fuentes en un circuito son fuentes de corriente independientes, no es necesario aplicar la LKC a cada nodo para obtener las ecuaciones de voltajes de nodos. Se pueden obtener las ecuaciones por mera inspección del circuito.

Como ejemplo, se reexamina el circuito de la figura 2.2, el cual se reproduce en la figura 2.10a). Este circuito tiene dos nodos de no referencia y las ecuaciones de nodo se derivaron en el epígrafe 2.1 como

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 \\ -G_2 & G_2 + G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 - I_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Se observa que cada uno de los términos diagonales es la suma de las conductancias conectadas directamente al nodo 1 o 2, mientras que los términos no diagonales son los negativos de las conductancias conectadas entre los nodos. Asimismo, cada término del miembro derecho de la ecuación (2.21) es la suma algebraica de las corrientes que entran al nodo [22].

En general, si un circuito con fuentes de corriente independientes tiene N nodos distintos del de referencia, las ecuaciones de voltajes de nodos pueden escribirse en términos de las conductancias como:

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \cdots & G_{1N} \\ G_{21} & G_{22} & \cdots & G_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{N1} & G_{N2} & \cdots & G_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_N \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

O simplemente:

$$\mathbf{Gv} = \mathbf{i} \quad (2.23)$$

Donde:

G_{kk} = Suma de las conductancias conectadas al nodo k .

$G_{kj} = G_{jk}$ = Negativo de la suma de las conductancias que conectan directamente a los nodos k y j , $k \neq j$.

v_k = Voltaje desconocido en el nodo k .

i_k = Suma de todas las fuentes de corriente independientes directamente conectadas al nodo k , con las corrientes que entran al nodo consideradas positivas.

\mathbf{G} es la matriz de las conductancias, \mathbf{v} es el vector de salida e \mathbf{i} es el vector de entrada. La ecuación (2.22) puede resolverse para obtener los voltajes de nodos desconocidos. Debe tenerse en cuenta que esto es válido solamente para circuitos con fuentes de corriente independientes y resistores lineales [6].

De igual forma, se pueden obtener ecuaciones de corrientes de mallas por inspección cuando un circuito resistivo lineal tiene sólo fuentes de voltajes independientes.

Considérese el circuito de la figura 2.7, el cual se ha reproducido en la figura 2.10b). Este circuito tiene dos mallas y las ecuaciones de mallas se obtuvieron en el epígrafe 2.3 como:

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_2 + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ -v_2 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Se puede observar que cada uno de los términos diagonales es la suma de las resistencias en la malla correspondiente, mientras que cada uno de los términos no diagonales es el negativo de la resistencia común a las mallas 1 y 2. Cada uno de los términos del miembro derecho de la ecuación (2.24) es la suma algebraica en el sentido de las manecillas del reloj de todas las fuentes de voltaje independientes en la malla correspondiente.

En general, si el circuito tiene N mallas, las ecuaciones de corrientes de mallas pueden expresarse en términos de la resistencia como:

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1N} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{N1} & R_{N2} & \cdots & R_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_N \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

O simplemente:

$$\mathbf{Ri} = \mathbf{v} \quad (2.26)$$

Donde:

R_{kk} = Suma de las resistencias en la malla k .

$R_{kj} = R_{jk}$ = Negativo de la suma de las resistencias en común de las mallas k y j , $k \neq j$.

i_k = Corriente de malla desconocida para la malla k en el sentido de las manecillas del reloj.

v_k = Suma en el sentido de las manecillas del reloj de todas las fuentes de voltaje independientes en la malla k , tratando como positivo el aumento de voltaje.

\mathbf{R} es la matriz de las resistencias; \mathbf{i} es el vector de salida, y \mathbf{v} es el vector de entrada. Se puede resolver la ecuación (2.25) para obtener las corrientes de mallas desconocidas [22].

2.6 Comparación del método de los voltajes de nodos (MVN) con el método de las corrientes de mallas (MCM)

Los análisis tanto nodal como de malla brindan un medio sistemático para analizar una red compleja. Pero cabría preguntarse: dada una red por analizar, ¿cómo saber qué método es mejor o más eficiente? La selección del mejor método la determinan dos factores.

El primer factor es la naturaleza de la red particular. Las redes que contienen muchos elementos conectados en serie, fuentes de voltaje o supermallas son más adecuadas para el análisis de malla, mientras que las redes con elementos conectados en paralelo, fuentes de corriente o supernodos son más adecuadas para el análisis nodal [6].

Asimismo, un circuito con menos nodos que mallas se analiza mejor con el análisis nodal, mientras que un circuito con menos mallas que nodos se analiza mejor con el análisis de malla. La clave es seleccionar el método que produce un número menor de ecuaciones [19].

El segundo factor es la información requerida. Si se requieren voltajes de nodos, puede ser ventajoso aplicar el análisis nodal. Si se requieren corrientes de rama o malla, puede ser mejor aplicar el análisis de malla.

Es útil familiarizarse con ambos métodos de análisis, por al menos dos razones. Primero, un método, de ser posible, puede emplearse para comprobar los resultados del otro. Segundo, dado que cada método tiene sus limitaciones, únicamente uno de ellos podría ser conveniente para un problema particular. En el caso de redes que no son de disposición plana, el análisis nodal es la única opción, porque el análisis de malla sólo se aplica a redes de disposición plana [7].

Asimismo, el análisis nodal es más compatible con la solución por computadora, ya que es más fácil de programar. Esto permite analizar circuitos complicados que desafían el cálculo manual [6].

2.7 Consideraciones finales del capítulo

1. El análisis nodal es la aplicación de la ley de Kirchhoff de las corrientes a los nodos distintos del de referencia. (Se aplica tanto a circuitos de disposición plana como no plana). Se expresa el resultado en términos de voltajes de nodo. La solución de las ecuaciones simultáneas permite obtener los voltajes de los nodos.
2. Un supernodo consta de dos nodos distintos del de referencia conectados mediante una fuente de voltaje (dependiente o independiente).
3. El análisis de malla es la aplicación de la ley de Kirchhoff de los voltajes alrededor de las mallas en un circuito de disposición plana. El resultado se expresa en términos de corrientes de mallas. La solución de las ecuaciones simultáneas permite obtener las corrientes de mallas.
4. Una supermalla consta de dos mallas que tienen una fuente de corriente (dependiente o independiente) en común.

5. El análisis nodal se aplica normalmente cuando un circuito tiene menos ecuaciones de nodos que de mallas. El análisis de malla se aplica normalmente cuando un circuito tiene menos ecuaciones de mallas que ecuaciones de nodos.

CAPÍTULO 3. EJERCICIOS RESUELTOS

El material didáctico de “Métodos de solución de circuitos eléctricos lineales” constará de 8 ejercicios típicos resueltos tanto de forma analítica como simulada, mediante las instrucciones del MATLAB y a través del Simulink, de ellos 4 son del MVN y 4 del MCM.

Para el caso del MVN los ejercicios típicos serán:

- Circuito con fuentes de corriente independientes.
- Circuito con fuente de corriente dependiente de corriente.
- Circuito con fuente de corriente dependiente de voltaje.
- Circuito con un supernodo.

Para el caso del MCM los ejercicios típicos serán:

- Circuito con fuentes de voltaje independientes.
- Circuito con fuente de voltaje dependiente de corriente.
- Circuito con fuente de voltaje dependiente de voltaje.
- Circuito con una supermalla.

Además, se presentan 17 ejercicios propuestos para el trabajo independiente los cuales se encuentran en el anexo 1.

3.1. Circuito con fuentes de corriente independientes

Calcule los voltajes de nodo en el circuito que se muestra en la figura 3.1a).

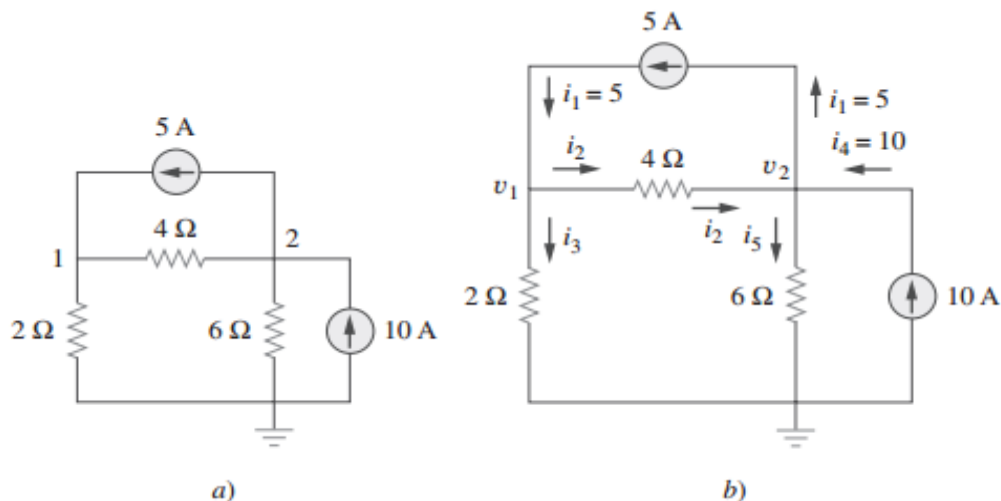


Figura 3.1: a) Circuito de tres nodos que contiene dos fuentes de corriente independientes. b) Circuito marcado para el análisis nodal.

Respuesta (R):

Considérese la figura 3.1b), donde el circuito de la figura 3.1a) se ha preparado para el análisis nodal. Nótese cómo se han seleccionado las corrientes para la aplicación de la LKC. Excepto por las ramas con fuentes de corriente, la rotulación de las corrientes es arbitraria, pero coherente. (Por coherente entendemos que si, por ejemplo, se supone que i_2 entra al resistor de 4Ω por el lado izquierdo, i_2 debe salir de ese resistor por el lado derecho). Se selecciona el nodo de referencia y se determinan los voltajes de nodos v_1 y v_2 .

En el nodo 1, la aplicación de la LKC y de la ley de Ohm produce:

$$i_1 = i_2 + i_3 \Rightarrow 5 = \frac{v_1 - v_2}{4} + \frac{v_1 - 0}{2}$$

Al multiplicar cada término de esta última ecuación por 4 se obtiene:

$$20 = v_1 - v_2 + 2v_1$$

O sea:

$$3v_1 - v_2 = 20 \tag{3.1}$$

En el nodo 2 se hace lo mismo y se obtiene:

$$i_2 + i_4 = i_1 + i_5 \Rightarrow \frac{v_1 - v_2}{4} + 10 = 5 + \frac{v_2 - 0}{6}$$

La multiplicación de cada término por 12 produce:

$$3v_1 - 3v_2 + 120 = 60 + 2v_2$$

O sea:

$$-3v_1 + 5v_2 = 60 \tag{3.2}$$

Se tiene un sistema de dos ecuaciones simultáneas, (3.1) y (3.2), las cuales se pueden resolver con cualquier método de solución, para obtener los valores de v_1 y v_2 .

- **MÉTODO 1** Si se aplica la técnica de eliminación, se suman las ecuaciones (3.1) y (3.2):

$$4v_2 = 80 \Rightarrow v_2 = 20 \text{ V}$$

La sustitución de $v_2 = 20$ en la ecuación (3.1) produce:

$$3v_1 - 20 = 20 \Rightarrow v_1 = \frac{40}{3} = 13.33 \text{ V}$$

- **MÉTODO 2** Si se aplica la regla de Cramer, se deben escribir las ecuaciones (3.1) y (3.2) en forma matricial, de esta manera:

$$\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ -3 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ 60 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

El determinante de la matriz es:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -1 \\ -3 & 5 \end{vmatrix} = 15 - 3 = 12$$

Ahora se obtienen v_1 y v_2 de la siguiente forma:

$$v_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 20 & -1 \\ 60 & 5 \end{vmatrix}}{12} = \frac{100 + 60}{12} = 13.33 \text{ V}$$

$$v_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 3 & 20 \\ -3 & 60 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{180 + 60}{12} = 20 \text{ V}$$

Lo que da el mismo resultado que el obtenido con el método de eliminación.

Si se necesitan las corrientes, se pueden calcular fácilmente a partir de los valores de los voltajes de nodos.

$$i_1 = 5 \text{ A}, i_2 = \frac{v_1 - v_2}{4} = -1.6667 \text{ A}, i_3 = \frac{v_1}{2} = 6.666 \text{ A}, i_4 = 10 \text{ A}, i_5 = \frac{v_2}{6} = 3.333 \text{ A}$$

El hecho de que i_2 sea negativa indica que la corriente fluye en la dirección contraria a la supuesta.

R MATLAB:

```
>> V=solve('3*V1-V2=20','-3*V1+5*V2=60','V1,V2')
```

```
V =
```

```
V1: [1x1 sym]
```

```
V2: [1x1 sym]
```

```
>> V1=V.V1
```

```
V1 =
```

```
40/3
```

```
>> V1=40/3
```

```
V1 =
```

```
13.3333
```

```
>> V2=V.V2
```

```
V2 =
```

```
20
```

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.2 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

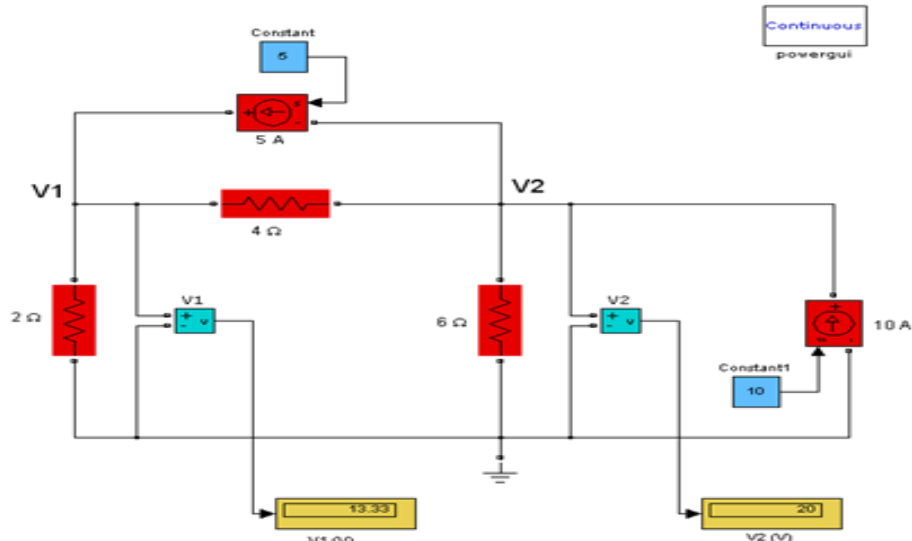


Figura 3.2: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.1.

3.2. Circuito con fuente de corriente dependiente de corriente

Determine los voltajes en los nodos de la figura 3.3a).

El circuito de este ejemplo tiene tres nodos de no referencia. Se asignan voltajes a los tres nodos como se señala en la figura 3.3b) y se rotulan las corrientes.

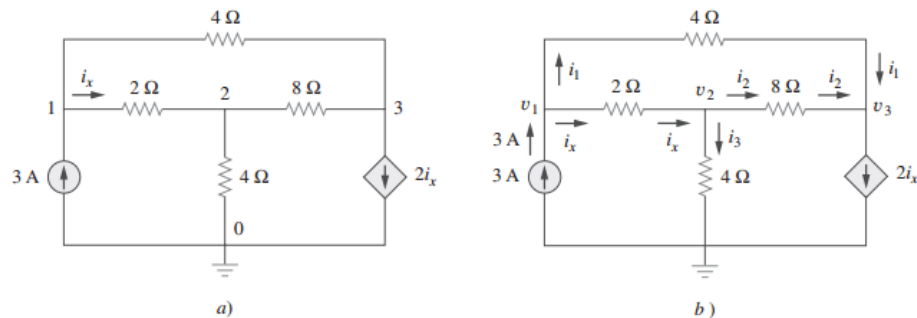


Figura 3.3: a) Circuito de cuatro nodos que contiene una fuente de corriente dependiente. b) Circuito marcado para el análisis nodal.

R:

En el nodo 1:

$$3 = i_1 + i_x \Rightarrow 3 = \frac{v_1 - v_3}{4} + \frac{v_1 - v_2}{2}$$

Al multiplicar por 4 y reordenar los términos se obtiene:

$$3v_1 - 2v_2 - v_3 = 12 \tag{3.4}$$

En el nodo 2:

$$i_x = i_2 + i_3 \Rightarrow \frac{v_1 - v_2}{2} = \frac{v_2 - v_3}{8} + \frac{v_2 - 0}{4}$$

Al multiplicar por 8 y reordenar los términos se obtiene:

$$-4v_1 + 7v_2 - v_3 = 0 \quad (3.5)$$

En el nodo 3:

$$i_1 + i_2 = 2i_x \Rightarrow \frac{v_1 - v_3}{4} + \frac{v_2 - v_3}{8} = \frac{2(v_1 - v_2)}{2}$$

Al multiplicar por 8, reordenar los términos y dividir entre 3 se obtiene:

$$2v_1 - 3v_2 + v_3 = 0 \quad (3.6)$$

Se tiene tres ecuaciones simultáneas por resolver para obtener los voltajes de nodos v_1 , v_2 y v_3 . Se resolverán las ecuaciones de dos maneras.

- **MÉTODO 1** Aplicando la técnica de eliminación, se suman las ecuaciones (3.4) y (3.6):

$$5v_1 - 5v_2 = 12$$

O sea:

$$v_1 - v_2 = \frac{12}{5} = 2.4 \quad (3.7)$$

La suma de las ecuaciones (3.5) y (3.6) da por resultado:

$$-2v_1 + 4v_2 = 0 \Rightarrow v_1 = 2v_2 \quad (3.8)$$

La sustitución de la ecuación (3.8) en la ecuación (3.7) produce:

$$2v_2 - v_2 = 2.4 \Rightarrow v_2 = 2.4 V, v_1 = 2v_2 = 4.8 V$$

De la ecuación (3.6) se obtiene:

$$v_3 = 3v_2 - 2v_1 = 3v_2 - 4v_2 = -v_2 = -2.4 V$$

Así:

$$v_1 = 4.8 V, v_2 = 2.4 V, v_3 = -2.4 V$$

- **MÉTODO 2** Para aplicar la regla de Cramer, se escriben las ecuaciones (3.4), (3.5) y (3.6) en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} 3 & -2 & -1 \\ -4 & 7 & -1 \\ 2 & -3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

De esto se obtiene:

$$v_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, v_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, v_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}$$

Donde Δ , Δ_1 , Δ_2 y Δ_3 son los determinantes por calcular. Para calcular el determinante de una matriz de 3 por 3, se repiten las dos primeras hileras y se multiplica en forma cruzada.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -2 & -1 \\ -4 & 7 & -1 \\ 2 & -3 & 1 \\ 3 & -2 & -1 \\ -4 & 7 & -1 \end{vmatrix} = 21 - 12 + 4 + 14 - 9 - 8 = 10$$

De igual forma se obtiene:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 12 & -2 & -1 \\ 0 & 7 & -1 \\ 0 & -3 & 1 \\ 12 & -2 & -1 \\ 0 & 7 & -1 \end{vmatrix} = 84 + 0 + 0 - 0 - 36 - 0 = 48$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 12 & -1 \\ -4 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & 1 \\ 3 & 12 & -1 \\ -4 & 0 & -1 \end{vmatrix} = 0 + 0 - 24 - 0 - 0 + 48 = 24$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 3 & -2 & 12 \\ -4 & 7 & 0 \\ 2 & -3 & 0 \\ 3 & -2 & 12 \\ -4 & 7 & 0 \end{vmatrix} = 0 + 144 + 0 - 168 - 0 - 0 = -24$$

Así, se halla:

$$v_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{48}{10} = 4.8 \text{ V}, v_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{24}{10} = 2.4 \text{ V}, v_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-24}{10} = -2.4 \text{ V}$$

Como es de esperar, los resultados coinciden con los obtenidos con el primer método.

R MATLAB:

```
>> A=[3 -2 -1;-4 7 -1;2 -3 1]
```

```
A =
```

```
3 -2 -1
```

```
-4 7 -1
```

```
2 -3 1
```

```
>> b=[12;0;0]
```

```
b =
```

```
12
```

```
0
```

```
0
```

```
>> V=A\b
```

```
V =
```

```
4.8000
```

```
2.4000
```

```
-2.4000
```

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.4 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

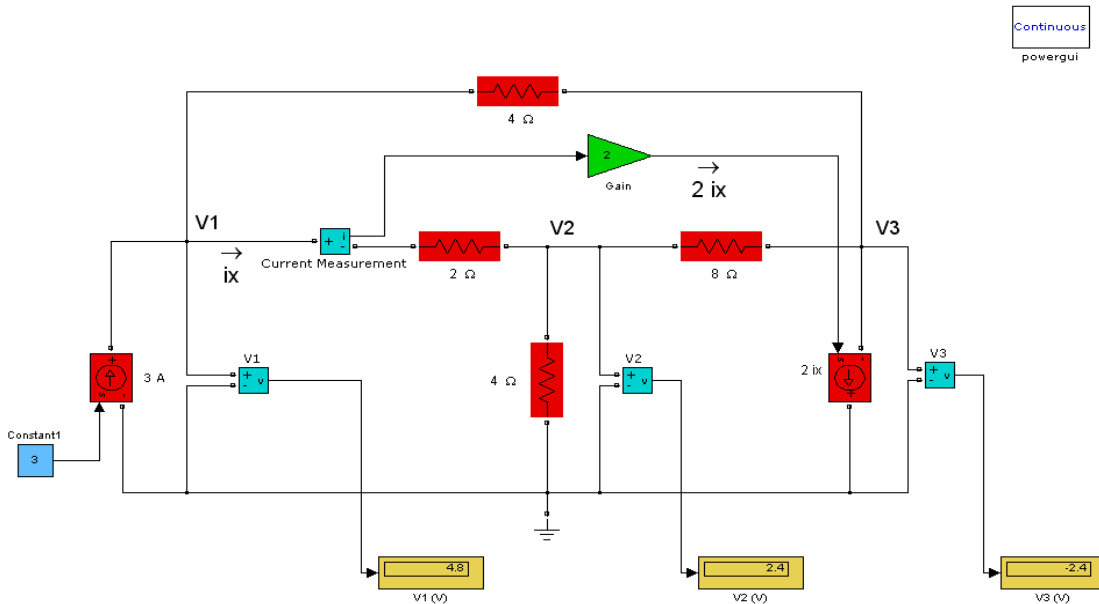


Figura 3.4: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.2.

3.3. Circuito con fuente de corriente dependiente de voltaje

Determinar la potencia suministrada por la fuente dependiente de la figura 3.5a).

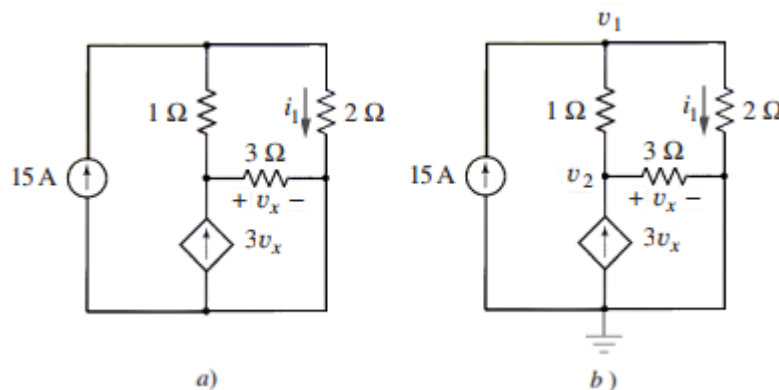


Figura 3.5: a) Circuito de cuatro nodos que contiene una fuente de corriente dependiente. b) Circuito marcado para el análisis nodal.

R:

Se selecciona el nodo inferior como referencia y se marcan los voltajes de nodos como se muestra en la figura 3.5b). Se ha marcado el voltaje de nodo v_x explícitamente para efectos de claridad, pero no es necesaria esta redundancia. Se observa que la selección del nodo de referencia es importante en este caso; esto lleva a la cantidad v_x la cual es un voltaje de nodo.

La ecuación LKC del nodo 1 es:

$$15 = \frac{v_1 - v_x}{1} + \frac{v_1}{2}$$

Y la del nodo x es:

$$3v_x = \frac{v_x - v_1}{1} + \frac{v_x}{3}$$

Si se agrupan términos y se despeja, se encuentra que:

$$v_1 = \frac{50}{7} V \text{ y } v_x = -\frac{30}{7} V$$

Por lo tanto la fuente dependiente de este circuito genera:

$$(3v_x)(v_x) = 55.1 W.$$

R MATLAB:

```
>> V=solve('15=(V1-Vx)/1+V1/2','3*Vx=(Vx-V1)/1+Vx/3','V1,Vx')
```

```
V =
```

```
 V1: [1x1 sym]
```

```
Vx: [1x1 sym]
```

```
>> V1=V.V1
```

```
V1 =
```

```
50/7
```

```
>> V1=50/7
```

```
V1 =
```

```
7.1429
```

```
>>Vx=V.Vx
```

```
Vx =
```

```
-30/7
```

```
>>Vx=-30/7
```

```
Vx =
```

```
-4.2857
```

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.6 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

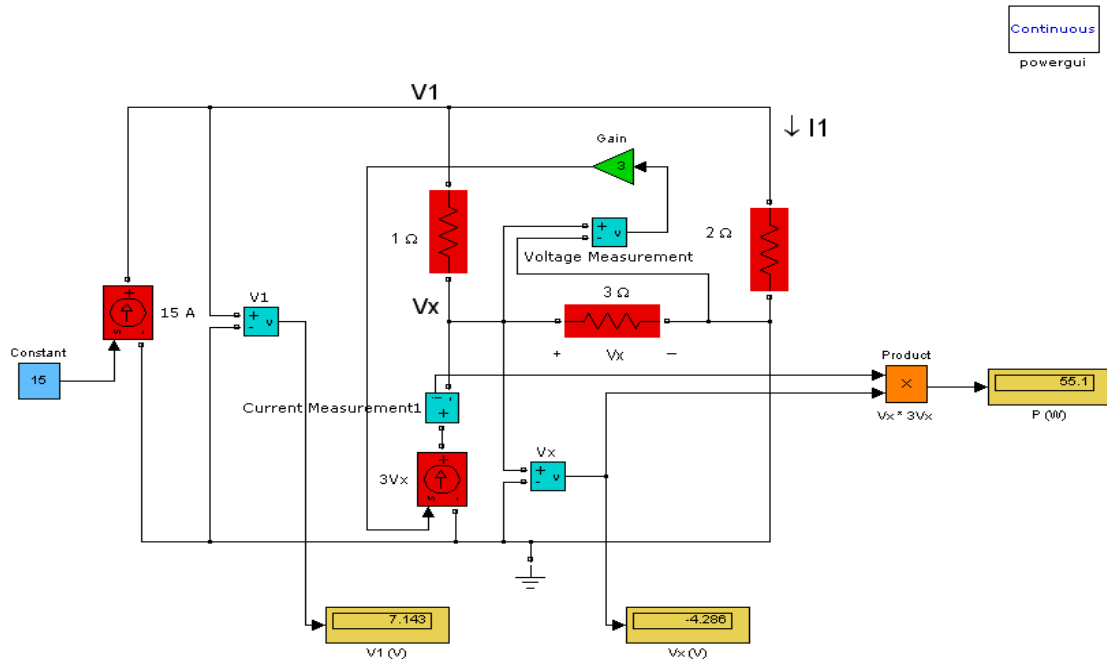


Figura 3.6: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.3.

3.4. Circuito con un supernodo

En relación con el circuito que se muestra en la figura 3.7, halle los voltajes de nodos.

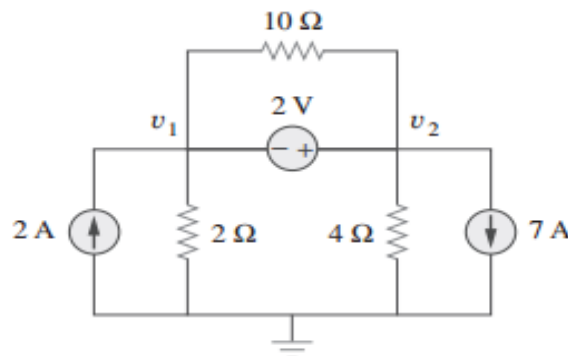


Figura 3.7: Circuito con un supernodo.

R:

El supernodo contiene la fuente de 2 V, los nodos 1 y 2 y el resistor de 10 Ω.

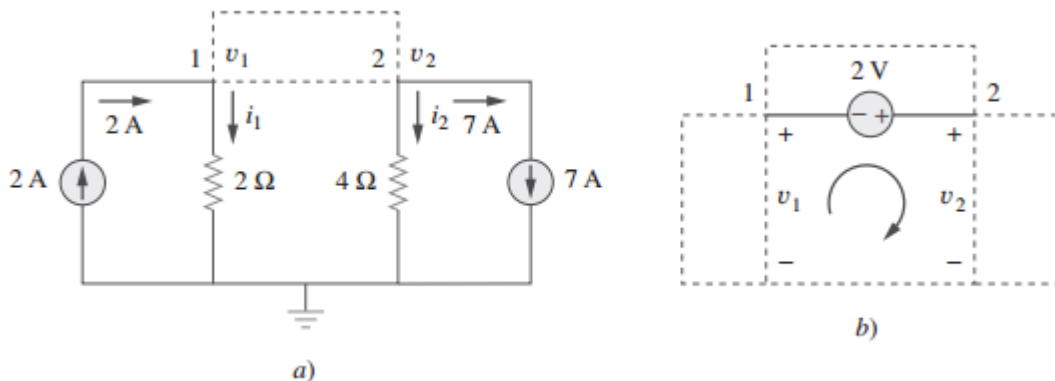


Figura 3.8: Aplicación de: a) la LKC al supernodo, b) la LKV al lazo.

La aplicación de la LKC al supernodo como se indica en la figura 3.8a) da:

$$2 = i_1 + i_2 + 7$$

Al expresar i_1 e i_2 en términos de los voltajes de nodos:

$$2 = \frac{v_1 - 0}{2} + \frac{v_2 - 0}{4} + 7 \Rightarrow 8 = 2v_1 + v_2 + 28$$

O sea:

$$v_2 = -20 - 2v_1 \tag{3.10}$$

Para obtener la relación entre v_1 y v_2 , se aplica la LKV al circuito de la figura 3.8b). Al recorrer el lazo se obtiene:

$$-v_1 - 2 + v_2 = 0 \Rightarrow v_2 = v_1 + 2 \tag{3.11}$$

A partir de las ecuaciones (3.10) y (3.11) se escribe:

$$v_2 = v_1 + 2 = -20 - 2v_1$$

Por tanto:

$$3v_1 = -22 \Rightarrow v_1 = -7.333 \text{ V}$$

Y $v_2 = v_1 + 2 = -5.333 \text{ V}$. Se observa que el resistor de 10 Ω no hace ninguna diferencia, porque está conectado a través del supernodo.

R MATLAB:

```
>> V=solve('V2=-20-2*V1','V2=V1+2','V1,V2')
```

V =

V1: [1x1 sym]

V2: [1x1 sym]

```
>> V1=V.V1
```

```

V1 =
-22/3
>> V1=-22/3
V1 =
-7.3333
>> V2=V.V2
V2 =
-16/3
>> V2=-16/3
V2 =
-5.3333

```

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.9 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

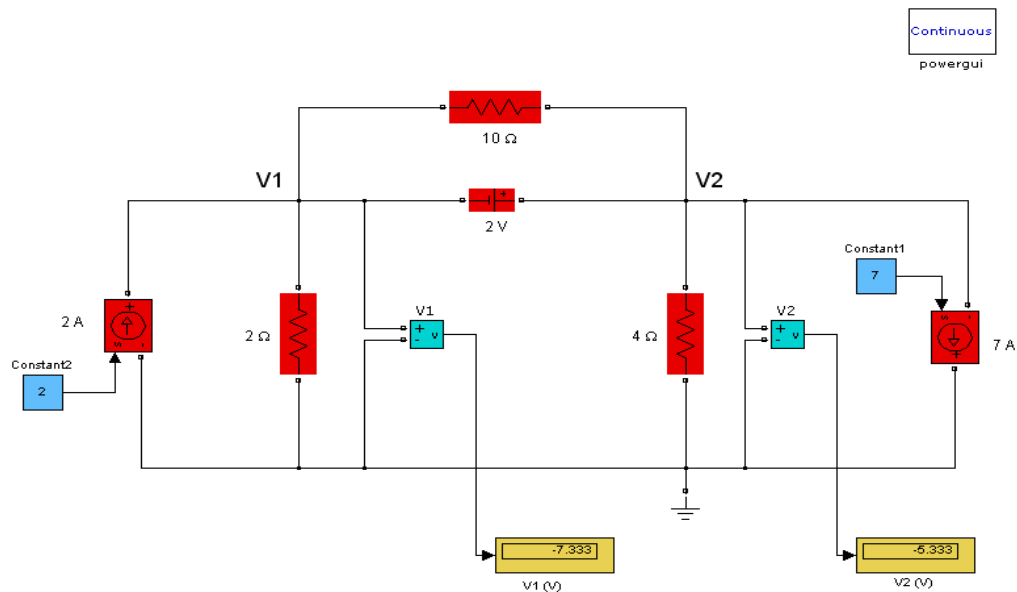


Figura 3.9: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.4.

3.5. Circuito con fuentes de voltaje independientes

En relación con el circuito de la figura 3.10, halle las corrientes de rama I_1 , I_2 e I_3 aplicando el análisis de malla.

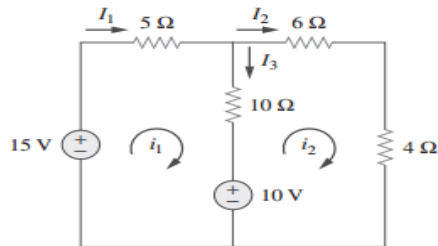


Figura 3.10: Circuito con dos mallas.

R:

Primero se obtienen las corrientes de lazo aplicando la LKV. En cuanto al lazo 1:

$$-15 + 5i_1 + 10(i_1 - i_2) + 10 = 0$$

O sea:

$$3i_1 - 2i_2 = 1 \quad (3.12)$$

En cuanto al lazo 2:

$$6i_2 + 4i_2 + 10(i_2 - i_1) - 10 = 0$$

O sea:

$$i_1 = 2i_2 - 1 \quad (3.13)$$

- **MÉTODO 1** Siguiendo el método de sustitución, se sustituye la ecuación (3.13) en la ecuación (3.12) y se escribe;

$$6i_2 - 3 - 2i_2 = 1 \Rightarrow i_2 = 1 \text{ A}$$

Con base en la ecuación (3.13):

$$i_1 = 2i_2 - 1 = 2 - 1 = 1 \text{ A}$$

Los resultados finales son:

$$I_1 = i_1 = 1 \text{ A}, I_2 = i_2 = 1 \text{ A}, I_3 = i_1 - i_2 = 0$$

- **MÉTODO 2** Para aplicar la regla de Cramer, se enuncian las ecuaciones (3.12) y (3.13) en forma de matriz como:

$$\begin{bmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Se obtienen los determinantes:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} = 6 - 2 = 4$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & -2 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 2 + 2 = 4, \Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = 3 + 1 = 4$$

Así:

$$i_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 1 \text{ A}, i_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 1 \text{ A}$$

Como antes.

R MATLAB:

```
>> I=solve('3*I1-2*I2=1','I1=2*I2-1','I1,I2')
```

```
I =
```

```
 I1: [1x1 sym]
```

```
 I2: [1x1 sym]
```

```
>> I1=I.I1
```

```
I1 =
```

```
1
```

```
>> I2=I.I2
```

```
I2 =
```

```
1
```

```
>> I3=I1-I2
```

```
I3 =
```

```
0
```

Variante de solución (expresiones de I1 e I2 en función de los elementos del circuito):

```
>>syms E1 E2 R1 R2 R3 R4 I1 I2
```

```
>> I=solve('-E1+R1*I1+R2*(I1-I2)+E2=0','-E2+R2*(I2-I1)+R3*I2+R4*I2=0','I1,I2')
```

```
I =
```

```
 I1: [1x1 sym]
```

```
 I2: [1x1 sym]
```

```
>> I1=I.I1
```

```
I1 =
```

```
(E1*R2 + E1*R3 + E1*R4 - E2*R3 - E2*R4)/(R1*R2 + R1*R3 + R1*R4 + R2*R3 + R2*R4)
```

```
>>pretty(I1)
```

```
E1 R2 + E1 R3 + E1 R4 - E2 R3 - E2 R4
```

```
-----
```

```
R1 R2 + R1 R3 + R1 R4 + R2 R3 + R2 R4
```

```
>> I2=I.I2
```

```
I2 =
```

```
(E1*R2 + E2*R1)/(R1*R2 + R1*R3 + R1*R4 + R2*R3 + R2*R4)
```

```
>>pretty(I2)
```

$$E1 R2 + E2 R1$$

$$R1 R2 + R1 R3 + R1 R4 + R2 R3 + R2 R4$$

$$\gg E1=15;E2=10;R1=5;R2=10;R3=6;R4=4;$$

$$\gg I1=(E1*R2 + E1*R3 + E1*R4 - E2*R3 - E2*R4)/(R1*R2 + R1*R3 + R1*R4 + R2*R3 + R2*R4)$$

$$I1 =$$

$$1$$

$$\gg I2=(E1*R2 + E2*R1)/(R1*R2 + R1*R3 + R1*R4 + R2*R3 + R2*R4)$$

$$I2 =$$

$$1$$

$$\gg I3=I1-I2$$

$$I3 =$$

$$0$$

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.11 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

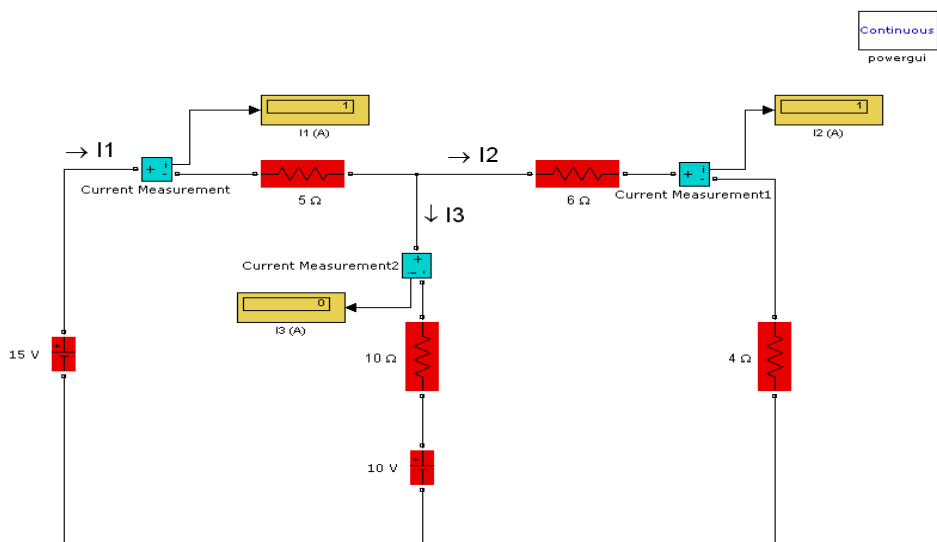


Figura 3.11: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.5.

3.6. Circuito con fuente de voltaje dependiente de corriente

Aplique el análisis de malla para hallar la corriente I_0 en el circuito de la figura 3.12.

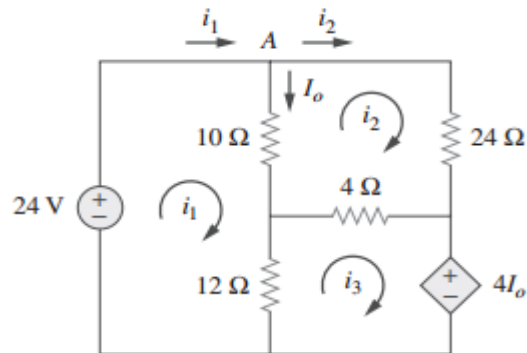


Figura 3.12: Circuito con tres mallas.

R:

Se aplica la LKV a cada una de las tres mallas.

En la malla 1:

$$-24 + 10(i_1 - i_2) + 12(i_1 - i_3) = 0$$

O sea:

$$11i_1 - 5i_2 - 6i_3 = 12 \quad (3.14)$$

Para la malla 2:

$$24i_2 + 4(i_2 - i_3) + 10(i_2 - i_1) = 0$$

O sea:

$$-5i_1 + 19i_2 - 2i_3 = 0 \quad (3.15)$$

Para la malla 3:

$$4I_0 + 12(i_3 - i_1) + 4(i_3 - i_2) = 0$$

En el nodo A:

$$I_0 = i_1 - i_2$$

Por tanto:

$$4(i_1 - i_2) + 12(i_3 - i_1) + 4(i_3 - i_2) = 0$$

O sea:

$$-i_1 - i_2 + 2i_3 = 0 \quad (3.16)$$

En forma de matriz, las ecuaciones (3.14) a (3.16) se convierten en:

$$\begin{bmatrix} 11 & -5 & -6 \\ -5 & 19 & -2 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Se obtienen los determinantes:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 11 & -5 & -6 \\ -5 & 19 & -2 \\ -1 & -1 & 2 \\ 11 & -5 & -6 \\ -5 & 19 & -2 \end{vmatrix} = 418 - 30 - 10 - 114 - 22 - 50 = 192$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 12 & -5 & -6 \\ 0 & 19 & -2 \\ 0 & -1 & 2 \\ 12 & -5 & -6 \\ 0 & 19 & -2 \end{vmatrix} = 456 - 24 = 432$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 11 & 12 & -6 \\ -5 & 0 & -2 \\ -1 & 0 & 2 \\ 11 & 12 & -6 \\ -5 & 0 & -2 \end{vmatrix} = 24 + 120 = 144$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 11 & -5 & 12 \\ -5 & 19 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ 11 & -5 & 12 \\ -5 & 19 & 0 \end{vmatrix} = 60 + 228 = 288$$

Se calculan las corrientes de malla aplicando la regla de Cramer:

$$i_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{432}{192} = 2.25 \text{ A}, \quad i_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{144}{192} = 0.75 \text{ A}, \quad i_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{288}{192} = 1.5 \text{ A}$$

Así:

$$I_0 = i_1 - i_2 = 1.5 \text{ A.}$$

R MATLAB:

```
>>syms I1 I2 I3
```

```
>> [I1,I2,I3]=solve(11*I1-5*I2-6*I3-12,-5*I1+19*I2-2*I3,-I1-I2+2*I3)
```

```
I1 =
```

```
9/4
```

```
I2 =
```

```
3/4
```

```
I3 =
```

```
3/2
```

```
>> I1=9/4
```

```
I1 =
```

```
2.2500
```

>> I2=3/4

I2 =

0.7500

>> I3=3/2

I3 =

1.5000

>> I0=I1-I2

I0 =

1.5000

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.13 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

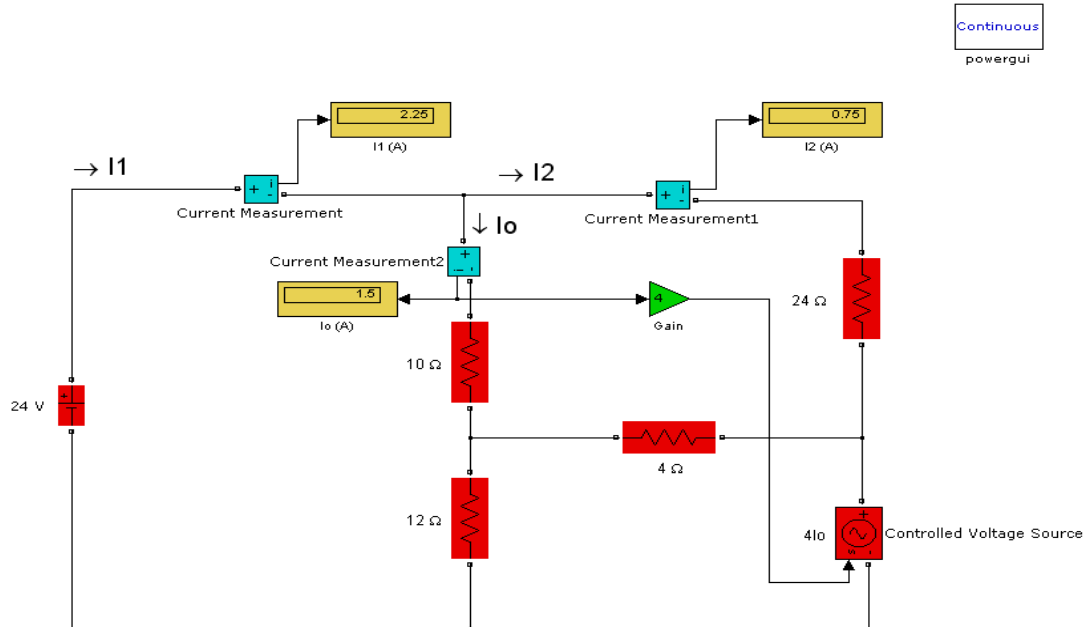


Figura 3.13: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.6.

3.7. Circuito con fuente de voltaje dependiente de voltaje

Determinar la corriente i_1 del circuito de la figura 3.14a).

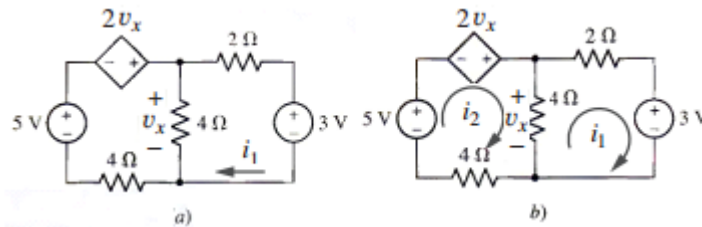


Figura 3.14: a) Circuito con una fuente dependiente controlada por voltaje. b) Circuito marcado para el análisis de malla.

R:

En la malla de la izquierda, al aplicar LKV se obtiene:

$$-5 - 2v_x + 4(i_2 - i_1) + 4i_2 = 0 \quad (3.17)$$

Y en la malla de la derecha:

$$4(i_1 - i_2) + 2i_1 + 3 = 0 \quad (3.18)$$

Puesto que la fuente dependiente está controlada por un voltaje desconocido v_x , se presentan dos ecuaciones con tres incógnitas. La solución a este dilema es simplemente construir una ecuación con v_x en términos de las corrientes de malla:

$$v_x = 4(i_2 - i_1) \quad (3.19)$$

Este sistema de ecuaciones se simplifica si se sustituye la ecuación (3.19) en la ecuación (3.17), lo que da como resultado:

$$4i_1 = 5$$

Simplificando, se encuentra que:

$$i_1 = 1.25 \text{ A.}$$

R MATLAB:

```
>> I=solve('-5-2*Vx+4*(I2-I1)+4*I2=0','4*(I1-I2)+2*I1+3=0','Vx=4*(I2-I1)','I1,I2,Vx')
```

```
I =
```

```
 I1: [1x1 sym]
```

```
 I2: [1x1 sym]
```

```
Vx: [1x1 sym]
```

```
>> I1=I.I1
```

```
I1 =
```

```
5/4
```

```
>> I1=5/4
```

$I_1 =$

1.2500

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.15 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

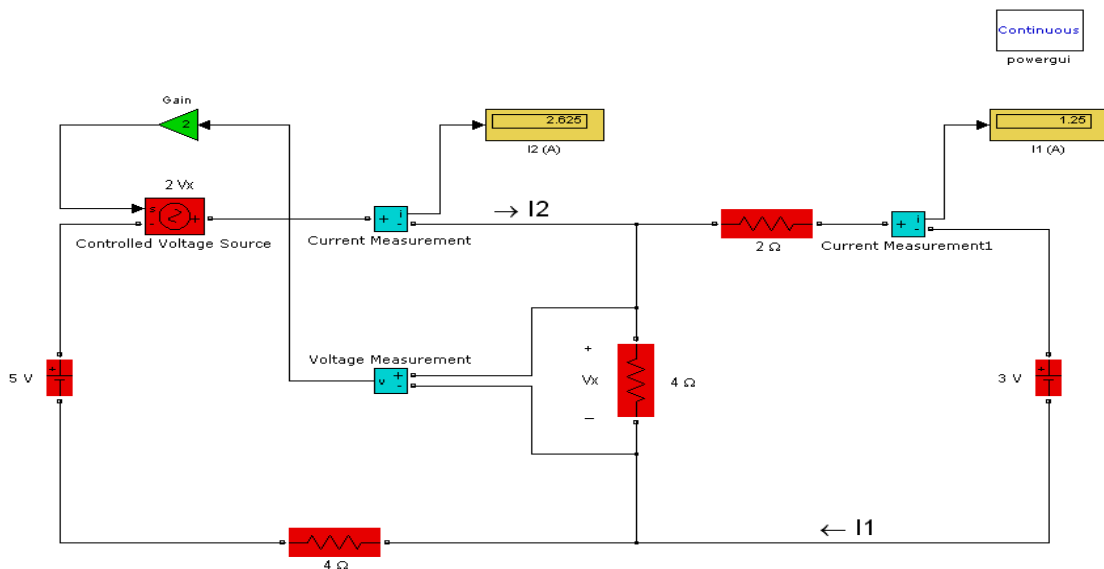


Figura 3.15: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.7.

3.8. Circuito con una supermalla

Utilizar la técnica del análisis de malla para evaluar las tres corrientes de malla de la figura 3.16.

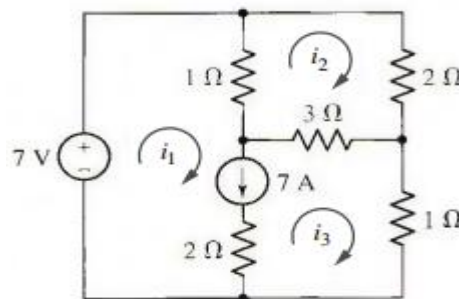


Figura 3.16: Circuito de tres mallas con una fuente de corriente independiente.

R:

Aquí se observa que una fuente de corriente independiente de 7 A está en la frontera común de las dos mallas. Las corrientes de malla i_1 , i_2 e i_3 ya se han asignado; además la fuente de corriente crea una supermalla cuyo interior es el de las mallas 1 y 3.

Aplicando la LKV alrededor la supermalla:

$$-7 + 1(i_1 - i_2) + 3(i_3 - i_2) + 1i_3 = 0$$

O:

$$i_1 - 4i_2 + 4i_3 = 7 \quad (3.20)$$

Y alrededor de la malla 2:

$$1(i_2 - i_1) + 2i_2 + 3(i_2 - i_3) = 0$$

O:

$$-i_1 + 6i_2 - 3i_3 = 0 \quad (3.21)$$

La corriente de la fuente independiente se relaciona con las corrientes de malla:

$$i_1 - i_3 = 7 \quad (3.22)$$

Al resolver las ecuaciones de la (3.20) a la (3.22), se encuentra que:

$$i_1 = 9 \text{ A}, i_2 = 2.5 \text{ A e } i_3 = 2 \text{ A}.$$

R MATLAB:

```
>> A=[1 -4 4;-1 6 -3;1 0 -1]
```

```
A =
```

```
1 -4 4
```

```
-1 6 -3
```

```
1 0 -1
```

```
>> b=[7;0;7]
```

```
b =
```

```
7
```

```
0
```

```
7
```

```
>> I=A\b
```

```
I =
```

```
9.0000
```

```
2.5000
```

```
2.0000
```

Se puede apreciar que los resultados obtenidos a través de las instrucciones del MATLAB son los mismos que los obtenidos mediante la resolución analítica.

R Simulink:

En la figura 3.17 se muestra la solución del ejercicio a través del diagrama de bloques de Simulink, el cual se modela a partir de los elementos del circuito y sus bloques correspondientes en el programa. Utilizando los bloques que corresponden a los instrumentos de medición se obtienen los parámetros del circuito, siendo estos los mismos que los obtenidos a través de la resolución analítica y las instrucciones del MATLAB.

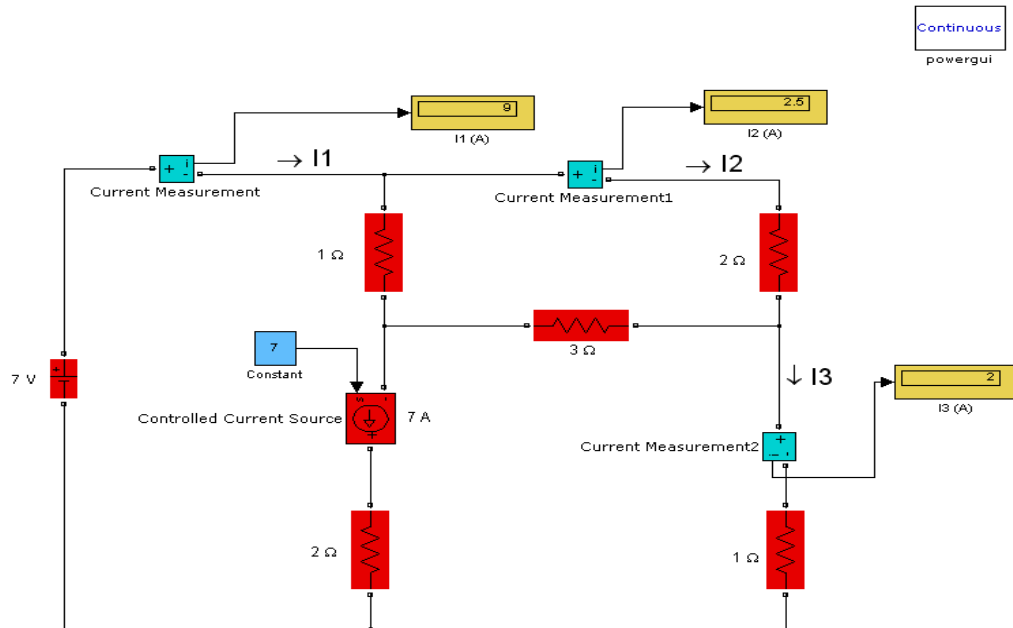


Figura 3.17: Archivo .mdl correspondiente al ejercicio resuelto 3.8.

CONCLUSIONES

Luego de cumplirse con los objetivos propuestos se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Al establecer los fundamentos teóricos de esta investigación se justifica la necesidad de la elaboración de materiales didácticos para apoyar el estudio independiente de los estudiantes a partir de la disminución de horas clases de las asignaturas según la concepción del Plan de estudios E.
2. La teoría básica sobre los métodos de solución de circuitos eléctricos lineales evidencia la importancia de este tema en la formación de los ingenieros eléctricos.
3. El uso del MATLAB, en especial su simulador, facilita en gran medida la resolución de problemas tanto docentes como de la práctica, de ahí que se haya realizado la simulación con este programa de cada uno de los ejercicios resueltos que forman parte del material didáctico, con lo cual los estudiantes podrán comparar los resultados analíticos a que se arribaron.

Con este trabajo queda conformado un material que cumple con las necesidades de los estudiantes, sirviendo de guía para facilitar el estudio independiente con lo que se da respuesta al problema científico planteado.

RECOMENDACIONES

1. Colocar este material en la red para que pueda ser utilizado por todos los que lo necesiten, tanto estudiantes como profesores.
2. Continuar con la elaboración de otros materiales didácticos, que abarquen mayor cantidad de contenidos, en los cuales los ejercicios tengan vinculación con la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. de Estado, «Constitución de la República de Cuba», Habana Ed. Política Cuba, 1976.
- [2] R. de C. M. de E. Superior, Documento Base para el diseño de los planes de estudio" E". MES La Habana, 2016.
- [3] F. M. Rodríguez Valdés, «Aplicación del Simulink a la solución de ejercicios de la asignatura CE II según plan de estudio E», Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electroenergética, 2016.
- [4] P. C. De Cuba, Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021. Partido Comunista de Cuba, 2017.
- [5] R. de C. M. de E. Superior, Plan de estudios E Ingeniería Eléctrica. MES La Habana, 2018.
- [6] C. K. Alexander y M. N. O. Sadiku, Fundamentos de circuitos eléctricos, 3.a ed. McGraw Hill Mexico, 2006.
- [7] W. H. Hayt, J. E. Kemmerly, y S. M. Durbin, Análisis de circuitos en ingeniería. McGraw-Hill, 2007.
- [8] Á. M. Molina Ramírez, «Las TIC en la educación superior como vía de formación y desarrollo competencial en la sociedad del conocimiento.», Rev. Electrónica Investig. Docencia Creat., vol. 1, pp. 106-114, 2012.
- [9] S. Castro, B. Guzmán, y D. Casado, «Las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje», Laurus, vol. 13, n.o 23, 2007.
- [10] M. G. B. Sánchez, A. R. M. Moreno, y R. H. Torres, «El uso de material didáctico y las tecnologías de información y comunicación (TIC's) para mejorar el alcance académico», Cienc. Technol., vol. 1, n.o 14, 2014.
- [11] D. M. sobre la Educación Superior, «en el Siglo XXI: Visión y Acción», en Conferencia Mundial sobre la Educación Superior Educ Med Sup octubre, 1998, vol. 14, p. 3.
- [12] M. del R. G. Sánchez, J. R. Añorve, y G. G. Alarcón, «Las Tic en la educación superior, innovaciones y retos», RICSH Rev. Iberoam. Las Cienc. Soc. Humanísticas, vol. 6, n.o 12, 2017.
- [13] «Descripción de MATLAB». [En línea]. Disponible en: <http://nereida.deioc.ull.es/~pcgull/ihiu01/cdrom/matlab/contenido/node2.html>. [Accedido: 21-may-2018].

- [14] J. García de Jalón, J. I. Rodríguez, y J. Vidal, Aprende Matlab 7.0 como si estuviera en primero. 2005.
- [15] M. Ataurima Arellano, MATLAB y Simulink para Ingeniería, vol. 1. 2013.
- [16] R. Sáez Piris, «Comparativa de simuladores eléctricos aplicados a circuitos de electrónica de potencia», 2010.
- [17] I. García Hernández y G. de de la Cruz Blanco, «Las guías didácticas: recursos necesarios para el aprendizaje autónomo», Edumecentro, vol. 6, n.o 3, pp. 162–175, 2014.
- [18] M. Galdeano, «Los materiales didácticos en Educación a Distancia (I): Funciones y características», 2006. [En línea]. Disponible en: http://virtual.unne.edu.ar/paramail/BoletinN20_Articulo_materiales.html.
- [19] R. C. Dorf y J. A. Svoboda, Introduction to electric circuits, 9.a ed. John Wiley & Sons, 2013.
- [20] R. L. Boylestad, Introductory circuit analysis. Prentice Hall PTR, 1990.
- [21] J. W. Nilsson, Electric Circuits. Prentice Hall, 2010.
- [22] J. A. Edminister, M. Nahvi, R. S. Navarro, E. L. Sánchez, y P. de Miguel Rodríguez, Circuitos eléctricos, 3.a ed., vol. 3. McGraw-Hill, 1997.

ANEXO 1: Ejercicios propuestos

1. Obtenga los voltajes de nodos en el circuito de la figura 1.

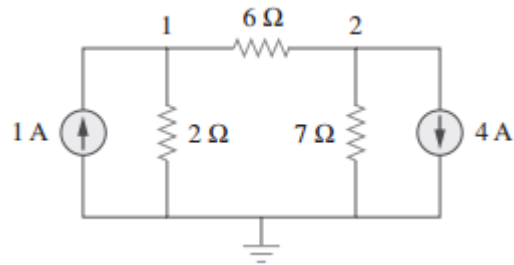


Figura 1: Circuito de tres nodos que contiene dos fuentes de corriente independientes.

R: $v_1 = -2 V$, $v_2 = -14 V$.

2. Determinar los voltajes de nodos v_1 y v_2 del circuito de la figura 2.

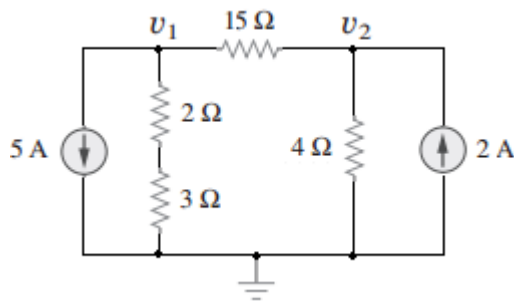


Figura 2: Circuito de cuatro nodos.

R: $v_1 = -18.125 V$, $v_2 = 2.5 V$.

3. Calcular el voltaje en cada fuente de corriente del circuito de la figura 3.

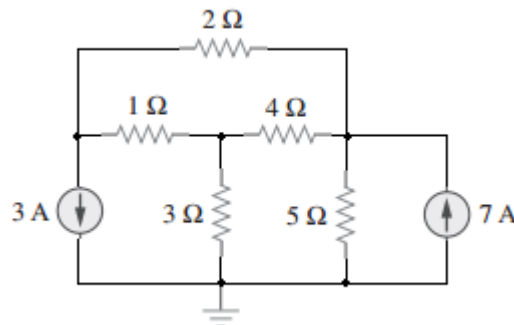


Figura 3: Circuito de cuatro nodos.

R: $v_{3A} = 5.235 V$, $v_{7A} = 11.47 V$.

4. Determinar el voltaje de nodo v_1 en el circuito de la figura 4 si A es:

a) $2i_1$, b) $2v_1$.

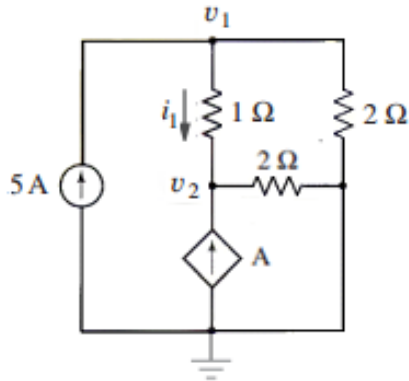


Figura 4: Circuito de cuatro nodos que contiene una fuente de corriente dependiente.

R: a) $v_1 = 7.778 V$, b) $v_1 = -10 V$.

5. Halle los voltajes en los tres nodos de no referencia en el circuito de la figura 5.

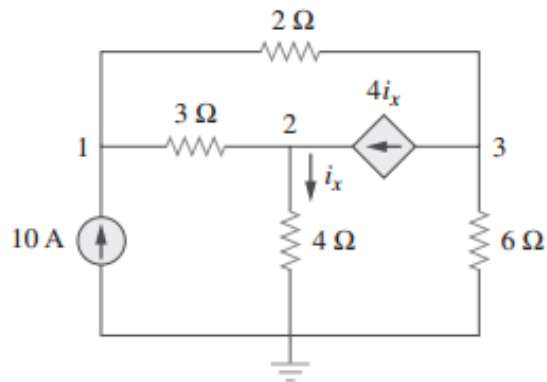


Figura 5: Circuito de cuatro nodos que contiene una fuente de corriente dependiente de corriente.

R: $v_1 = 80 V$, $v_2 = -64 V$, $v_3 = 156 V$.

6. Halle v e i en el circuito de la figura 6.

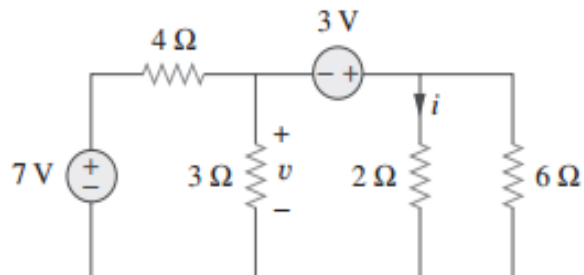


Figura 6: Circuito de tres nodos que contiene dos fuentes de voltaje independientes.

R: $v = -0.2 V$, $i = 1.4 A$.

7. Calcular el voltaje en cada fuente de corriente del circuito de la figura 7.

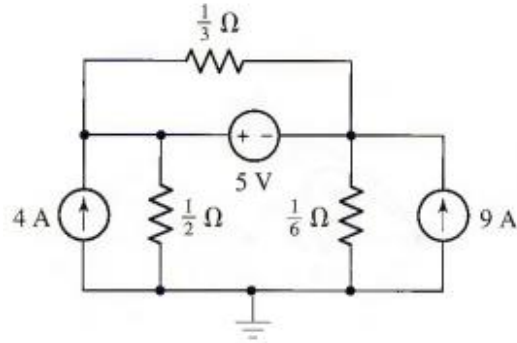


Figura 7: Circuito con un supernodo.

R: $v_{4A} = 5.375 V$, $v_{9A} = 0.375 V$.

8. Halle v_1 , v_2 y v_3 en el circuito de la figura 8 aplicando el análisis nodal.

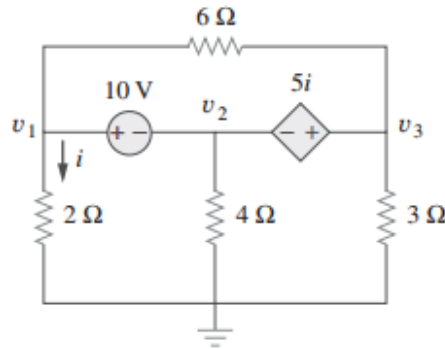


Figura 8: Circuito con dos supernodos.

R: $v_1 = 3.043 V$, $v_2 = -6.956 V$, $v_3 = 0.6522 V$.

9. Determinar los voltajes de nodos del circuito de la figura 9.

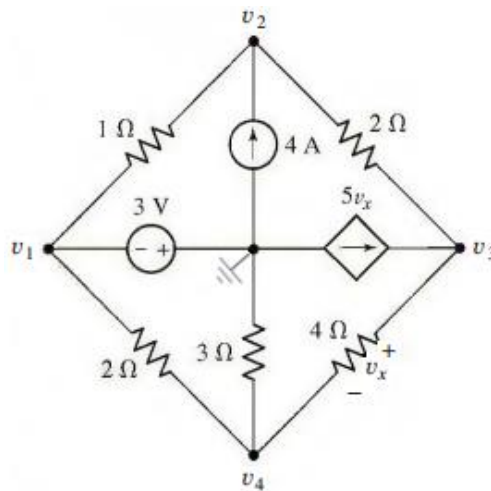


Figura 9: Circuito de cinco nodos que contiene una fuente de corriente dependiente de voltaje.

R: $v_1 = 3 V$, $v_2 = 5.09 V$, $v_3 = 1.28 V$, $v_4 = 1.68 V$.

10. Calcule las corrientes de malla i_1 e i_2 en el circuito de la figura 10.

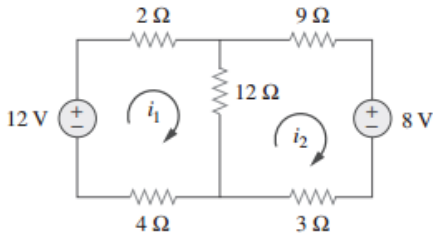


Figura 10: Circuito con dos mallas.

R: $i_1 = 0.667 \text{ A}$, $i_2 = 0 \text{ A}$.

11. Determinar i_1 e i_2 en el circuito de la figura 11.

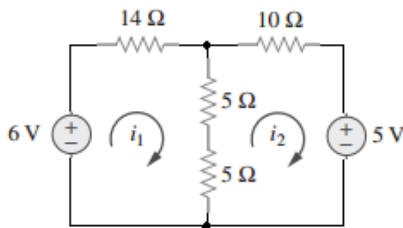


Figura 11: Circuito con dos mallas.

R: $i_1 = 0.1842 \text{ A}$, $i_2 = -0.1579 \text{ A}$.

12. Aplicando el análisis de lazo, halle I_0 en el circuito de la figura 12.

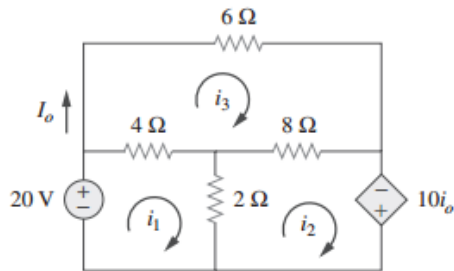


Figura 12: Circuito con tres mallas que contiene una fuente de voltaje dependiente de corriente.

R: $I_0 = -5 \text{ A}$.

13. Aplique el análisis de lazo para determinar i_1 , i_2 e i_3 en la figura 13.

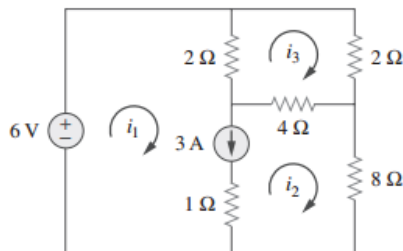


Figura 13: Circuito con tres mallas.

R: $i_1 = 3.474 \text{ A}$, $i_2 = 0.4737 \text{ A}$, $i_3 = 1.1052 \text{ A}$.

14. Determinar i_1 e i_2 en el circuito de la figura 14.

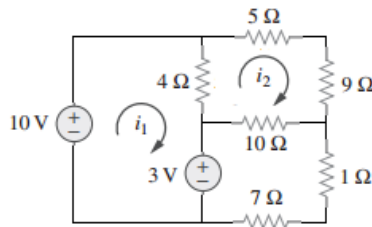


Figura 14: Circuito con tres mallas que contiene dos fuentes de voltaje independientes.

R: $i_1 = 2.22 \text{ A}$, $i_2 = 0.47 \text{ A}$.

15. Determinar la corriente i_1 en el circuito de la figura 15.

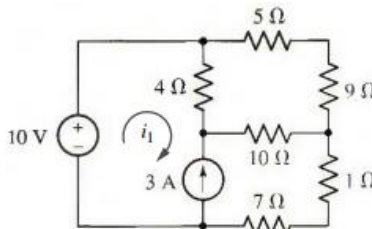


Figura 15: Circuito con tres mallas.

R: $i_1 = -1.93 \text{ A}$.

16. Determinar i_1 en el circuito de la figura 16 si la cantidad controladora A es igual a:

a) $2i_2$, b) $2v_x$.

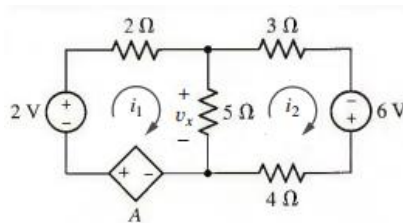


Figura 16: Circuito con dos mallas que contiene una fuente de voltaje dependiente.

R: a) $i_1 = 1.35 \text{ A}$, b) $i_1 = 0.546 \text{ A}$.

17. Utilizar el análisis de malla para determinar v_3 en el circuito de la figura 17.

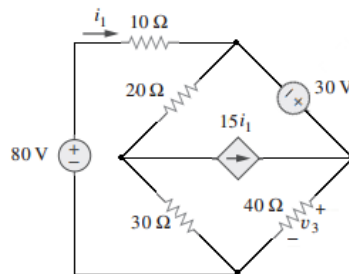


Figura 17: Circuito con tres mallas que contiene una fuente de corriente dependiente de corriente.

R: $v_3 = 104.2 \text{ V}$.