

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

TEMA:

"SIMULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS CON VARIAS MALLAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE LIVEWIRE"

INFORME TÉCNICO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL.

AUTORA: Tamia Sisa Medina Gualán

DIRECTOR: Ing. Luis Alberto Yunga Herrera, Mg. Sc.

Loja-Ecuador
2012

CERTIFICACIÓN

Ing. Luis Alberto Yunga Herrera, Mg. Sc

DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación titulado “SIMULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS CON VARIAS MALLAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE LIVEWIRE”, desarrollado por la señorita Tamia Sisa Medina Gualán, previo a optar el grado de Tecnóloga en Electricidad y Control Industrial ha sido realizado bajo mi dirección, el mismo que cumple con los requisitos de grado exigidos en las Normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal de grado.

Loja, Julio del 2012

Ing. Luis Alberto Yunga Herrera, Mg. Sc
DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO

AUTORÍA

Todos los conceptos, opiniones, ideas, cálculos y resultados vertidos en el siguiente trabajo de investigación son de absoluta responsabilidad de la autora.

Tamia Sisa Medina Gualán
AUTORA

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi mamá Rosita Elena, por su comprensión y ayuda en los momentos difíciles. Me ha enseñado afrontar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con gran amor y sin pedir nunca nada a cambio.

Tamia Sisa Medina Gualán

AGRADECIMIENTO

Primero y como más importante, extiendo mi agradecimiento sincero a mi director de Tesis, Ing. Luis Alberto Yunga, por su incondicional apoyo; su persistencia y su paciencia han sido fundamentales para el desarrollo del presente trabajo investigativo.

También quiero agradecer los consejos recibidos a lo largo de los últimos años por otros profesores de la carrera Tecnología en Electricidad y Control Industrial, que de una manera u otra manera han aportado su granito de arena a mi formación.

Y por último, pero no menos importante, estaré eternamente agradecida de mis compañeros de clase, a quienes me ayudaron a no desfallecer en momentos en que me daba por vencida a lo largo de la carrera, por su motivación, ayuda y su amistad.

Para ellos, muchas gracias por todo.

AUTORA

RESUMEN

El actual trabajo denominado: “SIMULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS CON VARIAS MALLAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE LIVEWIRE”, sirve para simular circuitos con mallas y satisfacer las inquietudes de los estudiante sobre el comportamiento de la electricidad y el manejo del software, el cual es muy relevante para el aprendizaje a lo largo de su formación académica, contiene una guía de prácticas elaboradas de acuerdo con la normativa institucional, guía que servirá como herramienta básica para el desarrollo de las prácticas de alumnos que vayan a cursar la materia de circuitos eléctricos, los ejercicios que constan en la guía se encuentran resueltos con métodos de resolución específicos como: Leyes de Kirchhoff, corrientes de mallas y teoremas de circuitos.

Es importante señalar que se experimentó cada una de las prácticas, las mismas que sirvieron para mostrar el comportamiento de cada una de las leyes y teoremas en los circuitos a través de la simulación con el software Livewire, es decir que se buscó que la parte teórica no pierda su sentido, por ello la teoría se relaciona posteriormente con la realidad, también es importante recalcar que este simulador nos muestra el flujo de corriente y su magnitud de una manera animada y fácil de comprender dentro de un circuito eléctrico.

Con la culminación del trabajo investigativo se ha dado cumplimiento a los objetivos propuestos en el proyecto y cuya denominación es la siguiente:

- ✓ Emplear el software Livewire para simulación de circuitos con mallas, los mismos que serán resueltos con métodos de resolución específicos.
- ✓ Además, elaborar una guía de prácticas, la misma que servirá como herramienta básica de trabajo para alumnos que vayan a cursar la materia de circuitos eléctricos.

SUMMARY

The current work entitled: "SIMULATION OF ELECTRICAL CIRCUITS WITH MULTIPLE MESHES APPLICATION SOFTWARE BY LIVEWIRE" serves to simulate circuits with tights and meet the concerns of the student about the behavior of electricity and management software, which is very relevant to learning throughout their education, contains a practical guide prepared in accordance with institutional policies, that will guide as a basic tool for the development of practices of students who will pursue the matter of electrical circuits, the exercises contained in the guide are resolved with specific resolution methods such as Kirchoff's laws, mesh currents and circuit theorems.

Importantly, they experienced each of the practices, the same that were used to show the behavior of each of the laws and theorems in circuits through simulation with Livewire software, that is the party sought theoretical not lose its meaning, so the theory relates to reality then it is also important to emphasize that this simulator shows current flow and its magnitude in a lively and easy to understand in an electrical circuit.

With the completion of research work has been fulfilled the objectives proposed in the project and whose name is:

- ✓ Using Livewire software for circuit simulation mesh, they will be resolved with specific resolution methods.
- ✓ In addition, developing a practical guide, it will serve as a basic working tool for students who will pursue the matter circuitry.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	vi
SUMARY	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD	11
2.1 Software Livewire.....	11
2.2 Características del Software	11
2.3 Características del computador	12
3. MATERIALES.....	13
3.1 Computadora	13
3.2 Software Livewire.....	13
4. PROCESO METODOLÓGICO UTILIZADO	20
5. RESULTADOS	28
5.1 Guía de prácticas propuestas para la simulación de los circuitos en el software Livewire.	28
Práctica # 1 Ley de Voltajes de Kirchhoff	29
Práctica # 2 Ley de Corrientes de Kirchhoff	32
Práctica # 3 Análisis de circuitos mediante corrientes de malla	35
Práctica # 4 Teorema de Superposición.....	39
Práctica # 5 Teorema de Thevenin.....	43
Práctica # 6 Teorema de Norton.....	46
Práctica # 7 Teorema de Millman	50
5.2 Guía con resultados de las prácticas propuestas para la simulación mediante el software Livewire.....	53
Práctica # 1Ley de Voltajes de Kirchhoff	54
Práctica # 2Ley de Corrientes de Kirchhoff	63

Práctica # 3Análisis de circuitos mediante corrientes de malla	72
Práctica # 4Teorema de Superposición.....	88
Práctica # 5Teorema de Thevenin.....	101
Práctica # 6Teorema de Norton.....	115
Práctica # 7Teorema de Millman.....	130
6. CONCLUSIONES:.....	140
7. RECOMENDACIONES:.....	141
8. ANEXOS.....	142
Anexo 1: Simbología.....	142
Anexo 2: Proyecto de la tesis	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen una gran cantidad de simuladores de circuitos eléctricos y electrónicos, los cuales pretenden facilitar el diseño y prueba de circuitos para el desarrollo de las materias relacionadas con el estudio del comportamiento de circuitos. Por lo que ha hecho necesario la utilización de una herramienta de software de simulación de circuitos eléctricos para fomentar el aprendizaje autónomo de los circuitos eléctricos. La propuesta contempla el uso del simulador Livewire, que posibilita un mayor grado de aprendizaje en relación al diseño de circuitos y experimentación en el laboratorio, debido a la naturalidad con la que se establece el vínculo entre ambas partes, a través de instrumentos virtuales, para analizar circuitos eléctricos de corriente directa utilizando las diversas leyes básicas tales como la Ley de Ohm, la Ley de Kirchhoff, y teoremas de circuitos.

Además este software cuenta con una opción llamada Current Flow (flujo de corriente), esta opción de simulación muestra el flujo de corriente y su magnitud de una manera animada y fácil de comprender dentro de un circuito eléctrico, lo que permite entender las diferentes propiedades como la tensión, la corriente y sus diferentes configuraciones.

De ahí, que se hizo este trabajo, pensando principalmente en el estudiante, en profundizar sus conocimientos en una forma dinámica y fácil, y que ésta guía de prácticas y su respectiva simulación sea utilizada como la primera y la más importante herramienta al momento de estudiar todo lo que se refiere a leyes y teoremas de circuitos. Y cómo no, también que al docente le sirva como guía suplementaria al momento de impartir sus conocimientos.

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

2.1 Software Livewire

Realmente Livewire es un “Laboratorio Virtual” que permite hacer simulaciones virtuales empleando animación y sonido que demuestran los principios de funcionamiento de los circuitos electrónicos, teniendo la oportunidad de visualizar qué ocurre con el desempeño del circuito cuando se realiza alguna modificación. Dicho de otra forma, si se quiere montar un circuito y no está seguro de que va a funcionar, primero dibújelo con el Livewire y averigüe cómo se comporta (sin necesidad de montar el circuito realmente y mucho menos, tener que comprar los componentes).

El software cuenta con interruptores, transistores, diodos, circuitos integrados, bobinas, resistencias, capacitores y cientos de otros componentes que pueden ser conectados para investigar los conceptos de voltaje, corriente y carga. No hay límites para el diseño de los circuitos, ni conexiones o componentes que fallen; puede interconectar cientos de componentes en un solo circuito y tampoco hay límites en la cantidad de prototipos que se pueden simular. Si quiere saber cómo se comporta un circuito, simplemente debe “arrastrar” los componentes sobre un “tablero o documento” y los tiene que conectar siguiendo pasos muy simples hasta formar el circuito que usted quiera. Una vez armado el circuito sobre dicho tablero tiene que seguir pasos muy simples para conectarle instrumentos (osciloscopios, fuentes de alimentación, multímetros, frecuencímetros, etc.) y así ver cómo opera. Si se trata de un amplificador de audio, por ejemplo y le coloca una señal de entrada, podrá experimentar cómo reproduce el parlante. Es decir, trabajará en forma virtual como lo haría en el mundo real.

2.2 Características del Software

- Sistema Operativo: Windows® XP, Windows Vista® (32bit/64bit) y Windows® 7 (32bit/64bit).
- Memoria Principal (RAM).
- Al menos un mínimo de 512 MB RAM.
- Símbolos de circuitos y paquetes de componentes.

- Herramientas para el diseño de circuitos inteligentes, que unen su circuito automáticamente mientras trabaja.
- Produce la simulación de circuitos interactivos, tal como si trabajaran en el mundo real.
- Permite la simulación realista de más de 600 componentes ya almacenados en el programa.
- Posee instrumentos virtuales que incluyen osciloscopios y analizadores lógicos, que ayudan a la investigación y diseño de circuitos. También tiene multímetros, fuentes de alimentación y muchos otros instrumentos.
- Produce la simulación realista de todos los componentes y si hace algo mal, éstos explotarán o se destruirán. Si conecta una lamparita de 12V sobre una fuente de 24V, podrá ver en pantalla cómo se quema dicha lámpara.
- Ofrece publicaciones integradas de textos, gráficos y soporte para ortografía y gramática.
- La simulación en tiempo real permite localizar y solucionar fallas. Los circuitos que haya armado con el Livewire podrá ejecutarlos con el PCB Wizard para hacer el correspondiente circuito impreso.

2.3 Características del computador

- Mother Intel dp67de sock 1155 ddr3-1333 soport I3/I5/I7 (bulk)
- Memoria 4gb Adata 1333 MHz/ddr3
- Disco duro 1tb Samsung/Hitachi 7200rpm
- Tarjeta video 1gb ZogisPciExpGforce ddr3
- Tarjeta de red TrendnetPci 10/100/1000 GhipRealtek/Teg-Pcitxr
- Monitor 19 Hp Compaq LCD W185q
- Case super power ATX 6246
- Procesador Intel core i5-2500 a 3.30Ghz Mb sock 1155
- Unidad DVD Writer Samsung SH-222AB 22X SATA
- Mouse GeniusXscrollPs2 negros
- Teclado Genius Kb06xe negro usb

3. MATERIALES

3.1 Computadora

Cuando se requiere hacer una simulación, no se podría realizar sin este equipo como es la computadora, el mismo que fue de gran utilidad al momento de simular las prácticas.

3.2 Software Livewire

A continuación se describen las pantallas y los componentes de lo que consta el programa para poder realizar simulaciones de circuitos.

Pantalla Inicial: cuando se haya abierto el programa, se presentará la siguiente imagen (pantalla inicial).

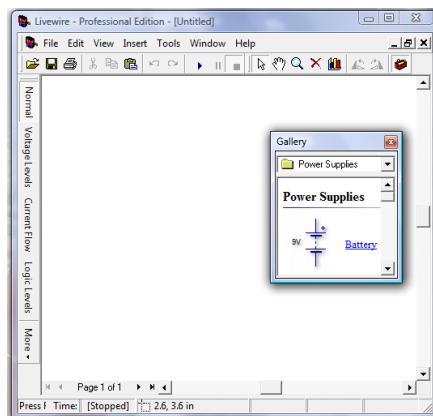


Figura 3.1. Entorno de desarrollo de Livewire

A continuación se explica cada una de las partes y herramientas del mismo, primero tenemos lo que es la barra de menús.

Barra de Menús

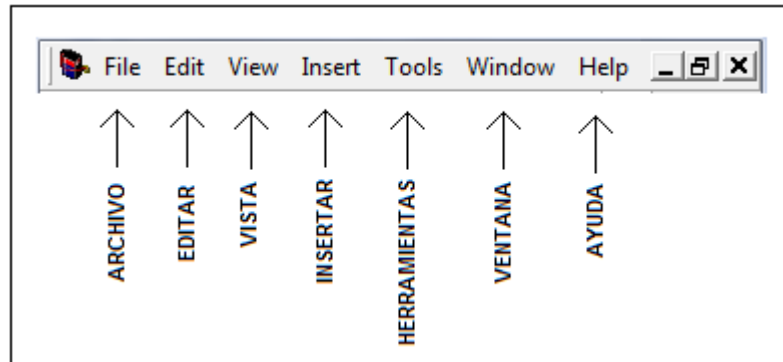


Figura 3.2. Barra de menús

File (archivo): en este menú se encuentran las opciones de Nuevo, Cerrar, Imprimir, Guardar, etc.

Edit (editar): en este menú se encuentran las opciones de Copiar, Pegar, Borrar, Deshacer, etc.

View (vista): en el menú view existen algunas opciones propias del programa como es la de mostrar la reja de puntos, mostrar las barras de herramientas y propiedades de la hoja.

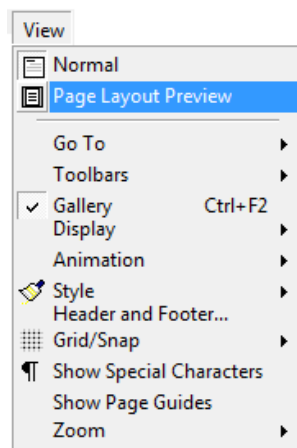


Figura3.3. Menú view

Insert (insertar): en especial este menú es importante porque desde aquí se puede insertar los componente que se quiera en caso de haber cerrado la ventana emergente que se abre automáticamente cuando inicia el programa,

tanto la ventana emergente como este menú sirven para lo mismo, insertar los componentes, la única diferencia es que en la ventana emergente podemos observar la imagen del dispositivo.

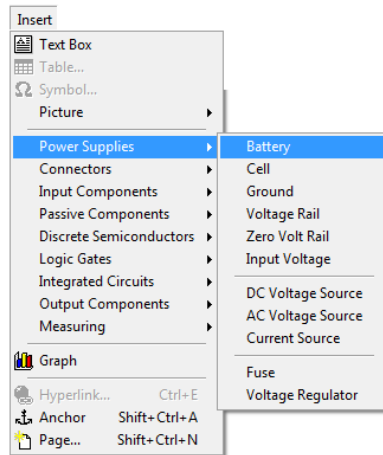


Figura 3.4. Menú Insert

Tools (herramientas): dentro del menú tools se hallan las opciones de funcionalidad del programa, estas herramientas son las de poder simular el circuito, pararlo y ortografía. Estas opciones también pueden ser controladas desde otra barra de herramienta estándar que posteriormente se describirá.

Dentro de este menú también existen modos de simulación en general para todos los tipos de simulaciones existentes, esto se refiere a que se puede encontrar la opción de simulación Mute, Explosions, Faults y Bounce.

Las opciones de simulación que a nosotros nos interesan son Mute y Explosions, Mute permite simular los circuitos sin tomar en cuenta los factores reales de los componentes como la potencia disipada y calentamiento, al contrario, la opción de Explosions permite tener en cuenta estas consideraciones y permite tener una simulación más apegada a la realidad mediante una animación de la sobrecarga del dispositivo debido al flujo de corriente.

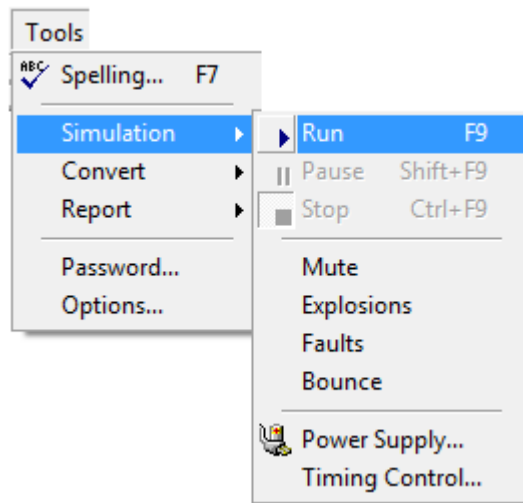


Figura 3.5. Menú tools

Windows y Help (ventanas y ayuda): dentro del menú Windows se encuentran las opciones de visualización de la pantalla, modo horizontal, vertical, cascada, etc. Dentro del menú Help está la ayuda e información del programa, como versión, diseñadores, etc. La opción de ayuda del programa, muchas veces es muy útil ya que presenta un pequeño tutorial de cómo funcionan los diferentes componentes.

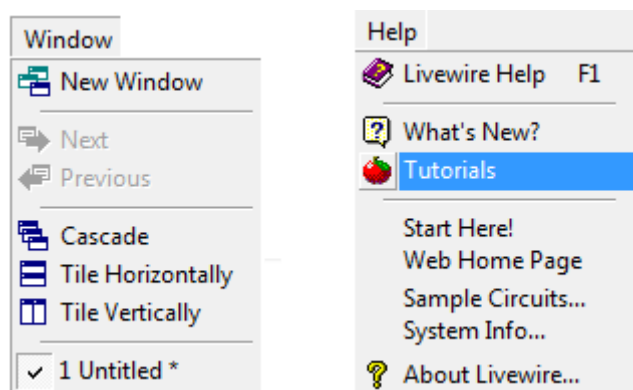


Figura 3.6. Menú Windows y help

Barra de Herramientas

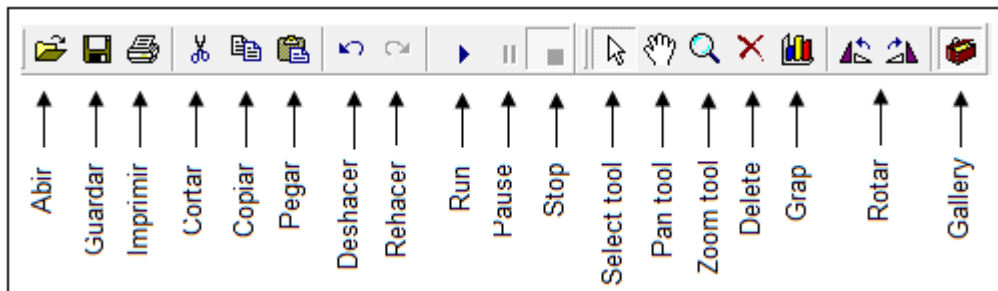


Figura 3.7. Barra de herramientas

Al iniciar el programa muestra dos barras de herramientas principales, la barra de la izquierda es la barra estándar la cual contiene las herramientas básicas como es copiar, guardar, imprimir, abrir, etc., y la barra de la derecha es la barra llamada Toolbox la cual contiene herramientas como:

Select tool (Cursor): sirve para seleccionar objetos.

Pan tool (Manita): se utiliza para mover el circuito completo.

Zoom tool (herramienta de zoom): La función de zoom se puede utilizar para acercar la vista del circuito o para alejarla y ver un porcentaje mayor del entorno de desarrollo a tamaño reducido.

Delete (eliminar): permite borrar los componentes que desee.

Grap (gráfico): muy importante porque permite insertar las gráficas de los componentes como el osciloscopio.

Rotar: permite rotar a la izquierda o derecha algún componente.

Gallery (galería): permite visualizar la galería de componentes (ventana emergente de componentes).

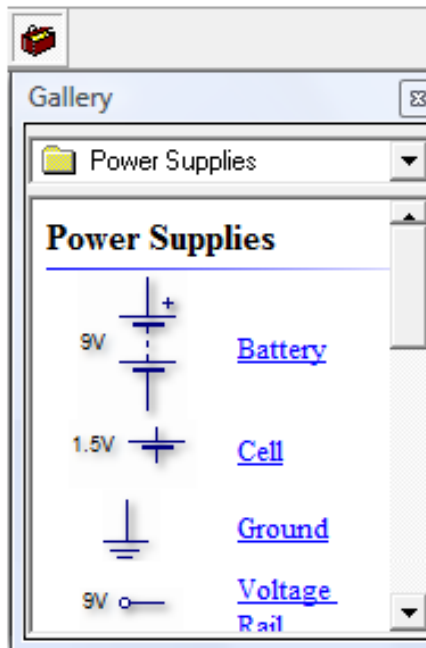


Figura 3.8. Galería de componentes

Barra de herramientas Style

Esta barra en particular es muy importante porque permite visualizar las diferentes opciones de simulación que tiene el programa, esta barra se encuentra del lado izquierdo de la pantalla y de forma vertical.

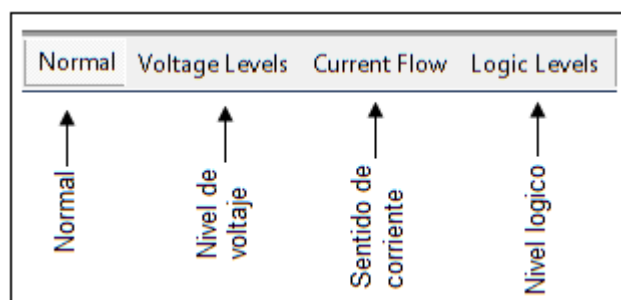


Figura 3.9. Barras de herramientas style

Para observar su funcionamiento se muestra un ejemplo de cada una de las opciones de simulación de esta barra en diferentes imágenes.

Simulación Normal: esta simulación es la más básica, muestra al circuito tal como se lo diseña, sin ningún cambio, pero se observa el funcionamiento del mismo, ver (fig.3.10).

Simulación Voltage Levels (nivel de voltaje): en esta simulación se puede apreciar tanto el sentido de la corriente con unas flechitas azules como el nivel alto de voltaje mediante cuadritos rojos, (fig. 3.11).

Simulación Current Flow (sentido de corriente): esta simulación es la más importante para el propósito planteado en este trabajo, ya que permite ver el sentido de la corriente, como fluye a través del circuito y como cambia su magnitud debido a la oposición de algún dispositivo. Esta simulación no permite ver perfectamente como es la corriente y como pasa por los diferentes componentes, (fig. 3.12).

Simulación Logic Level (nivel lógico): esta simulación es indispensable para los circuitos puramente lógicos donde se requiere ver en donde y en que salidas se tiene un 1 ó un 0 lógico, (fig. 3.13).

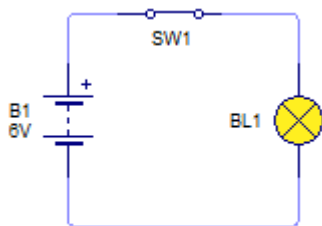


Figura 3.10. Modo normal

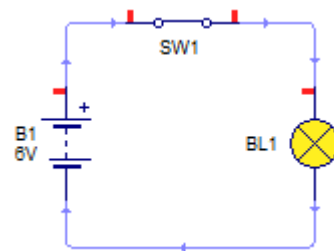


Figura 3.11. Modo Voltage Levels

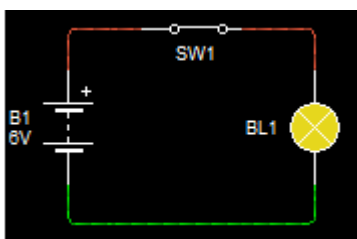


Figura 3.12. Modo Current flow

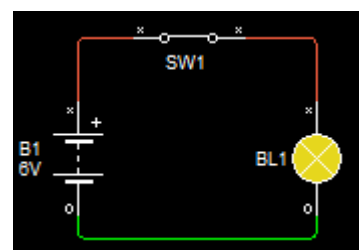


Figura 3.13. Modo Logic Levels

4. PROCESO METODOLÓGICO UTILIZADO

Uno de los métodos importantes que se utilizó es el experimental, el mismo que se utilizó para mostrar el comportamiento de cada ley y teorema en los circuitos a través de la simulación con el software Livewire, es decir que se busca que la parte teórica no pierda su sentido, por ello la teoría se relaciona posteriormente con la realidad.

Para cumplir con los objetivos planteados anteriormente, se siguió el siguiente orden secuencial:

- Elección de prácticas a desarrollarse
- Resolución de las prácticas
- Elaboración de la guía de prácticas
- Simulación de las prácticas

Ya con la guía de prácticas realizadas, se procedió a implementar cada uno de los circuitos y simularlos, a continuación se indica todo el procedimiento para simular un circuito.

Para empezar a trabajar con el Software se debe ir a la aplicación dando doble clic en el acceso directo de Livewire; cuando se ejecute el programa aparecerá la siguiente imagen.

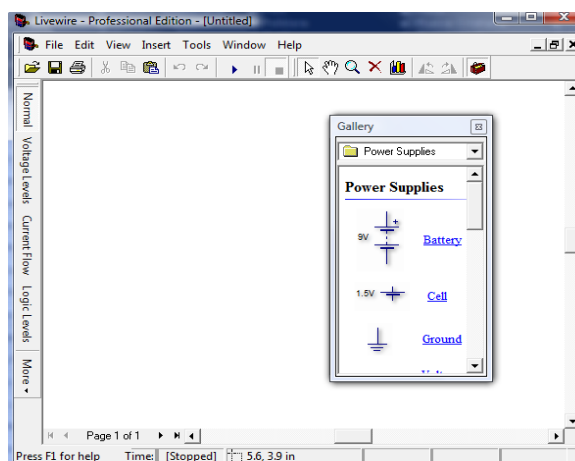


Figura 4.1 Pantalla principal de Livewire

Dentro de la pantalla principal, como en cualquier programa ir al menú File, New ó simplemente al abrir el programa tenemos una hoja en blanco. Para realizar el

circuito se debe buscar los dispositivos necesarios de acuerdo al esquema que se proponga; estos dispositivos se encuentran dentro de la galería de componentes (gallery).

Búsqueda de elementos

Para buscar un dispositivo e insertarlo en la hoja de trabajo se debe ir a la galería de componentes y buscarlo mediante las categorías existentes, en la siguiente imagen se puede ver en el menú desplegable los nombres de todas las categorías existentes.

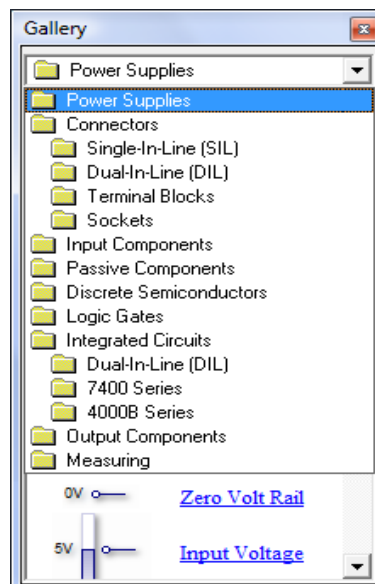


Figura 4.2 Menú desplegable con todos los componentes posibles

Como se puede observar dentro de cada categoría se puede ver los diferentes componentes como fuentes de voltaje, conectores, componentes pasivos, lógicos, discretos, etc. Como ejemplo se da a conocer la categoría de Componentes Pasivos y de Medición.

Componentes Pasivos: dentro de los pasivos se encuentran las resistencias, capacitores e inductores.

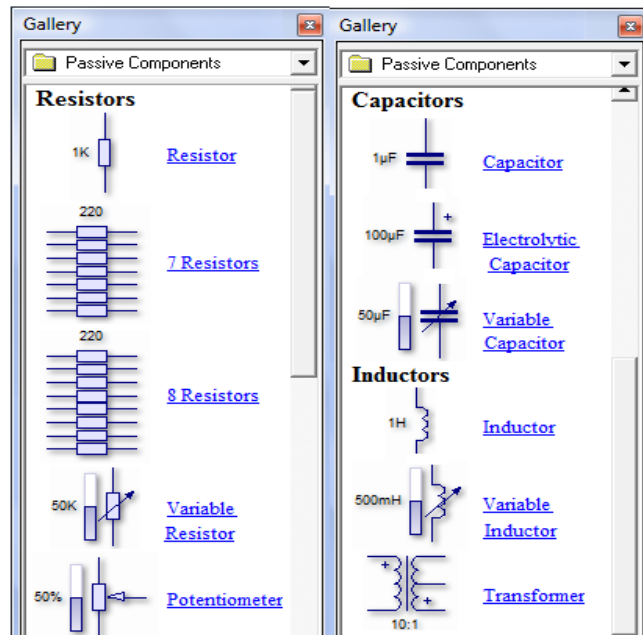


Figura 4.3 Categoría de los componentes pasivos

Instrumentos de Medición: aquí se tiene dos tipos de instrumentos, los de medición (amperímetro, voltímetro, test point) y los virtuales. Dentro de estos existen lo que es el multímetro análogo, digital, el watómetro, osciloscopio y un analizador lógico.

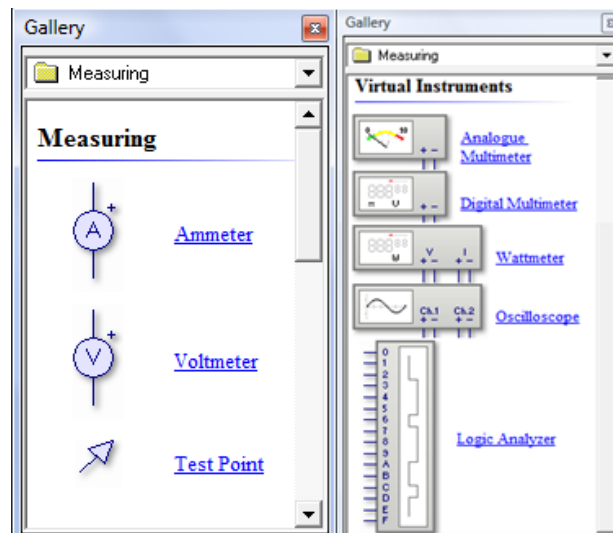


Figura 4.4 Instrumentos de medición

Dentro de las demás categorías se puede encontrar compuertas lógicas, conectores, circuitos integrados, terminales etc., todo lo necesario para simular

circuitos digitales y analógicos, en la siguiente imagen se puede ver la categoría de compuertas lógicas de la familia 74.

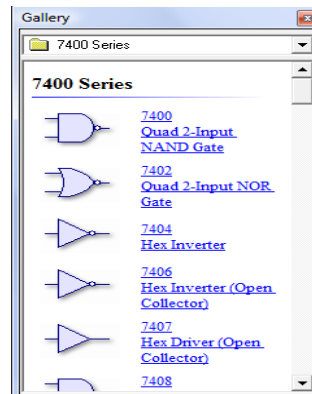


Figura 4.5 Familia lógica 74

Colocación de componentes

Una vez que se encuentran los dispositivos requeridos dar un clic sobre él para seleccionarlo y luego otro clic dentro de la hoja de trabajo para colocarlo. Otro proceso es el de dar clic sobre el objeto, sostener el botón izquierdo y arrastrarlo a la hoja de trabajo, como se muestra en la figura 3.15.

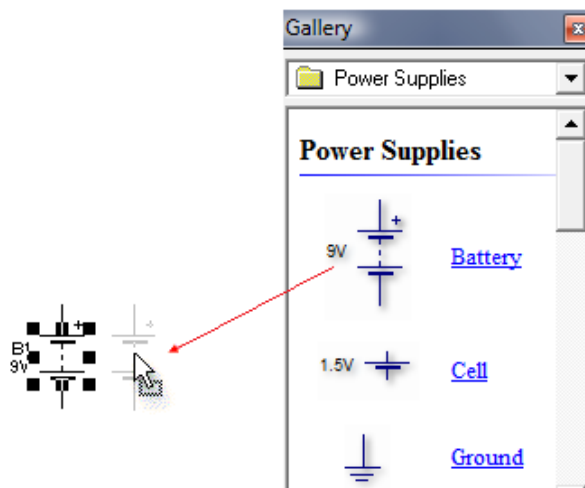


Figura 4.6. Método para colocación de componentes

Continuar con el mismo procedimiento hasta colocar todos los componentes dentro de la hoja, para posteriormente proceder editarlos y conectarlos. Una vez colocados los componentes dentro de la hoja y si se requiere editar algunas de sus propiedades como su valor o nombre se siguen los siguientes pasos:

Edición de componentes: para editar algún componente lo que se hace, es dar doble clic sobre la imagen del mismo y aparece una ventana con sus propiedades, donde se editan sus valores directamente, como ejemplo como dar valor a una resistencia.

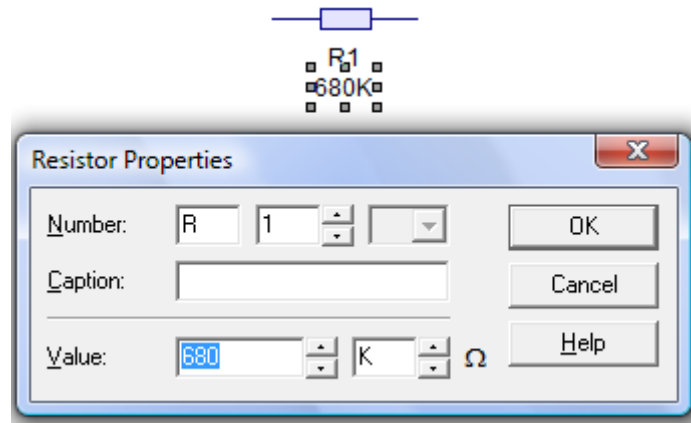


Figura 4.7 Edición de propiedades de una resistencia

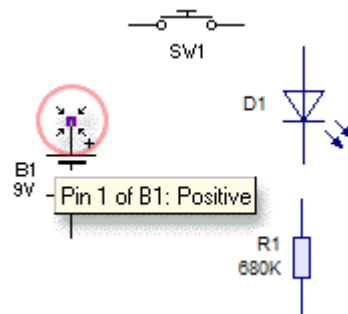
Como se aprecia en la figura dentro de la ventana existen varias opciones a editar como Number, que es el número del componente dentro del circuito, Caption, que es el nombre del componente dentro del circuito y Value, que es el valor a dar al componente, en este caso a la resistencia.

También dentro de la ventana se puede observar el botón de Help, este botón es para mostrarla ayuda del programa para cada componente en especial, explica cómo funciona y para qué son cada uno de los campos de sus propiedades.

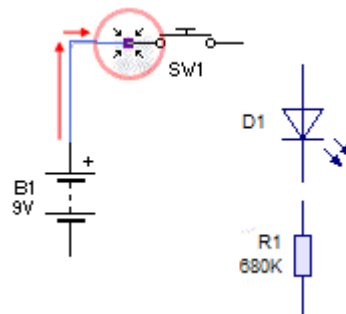
A continuación se explica el procedimiento para realizar la conexión.

Proceso de conexión:

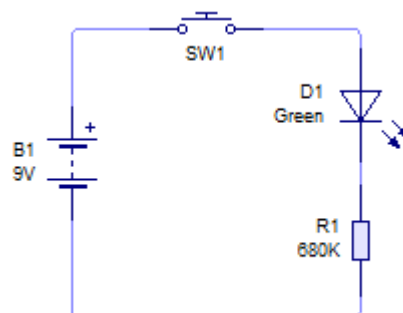
Paso 1: se pone el cursor sobre una de las terminales del componente hasta que aparezca una cruz que indica la conexión.



Paso 2: se sostiene el clic y se arrastra hasta la otra terminal del componente que se quiere unir; se sigue el mismo procedimiento para terminar toda la conexión.



Paso 3: una vez que se tiene todo unido ya está listo el circuito para simularlo.



Proceso de simulación:

Terminado el circuito se procede a la simulación del mismo, esto se hace mediante el botón Run que se encuentra dentro de la barra estándar o dentro del menú Tools/Simulation/Run, aun lado también se puede encontrar los botones de Pausa y Stop de la simulación, como se observa en las siguientes imágenes.

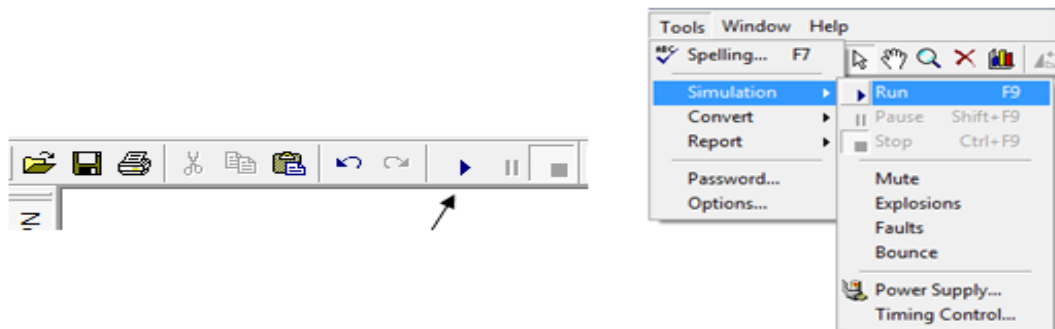


Figura 4.8 Botones para iniciar la simulación

Teniendo lista la simulación del circuito se puede pasar a las diferentes opciones de simulación que anteriormente mencionamos, Voltage Level, Current Flow, Logic Level, etc. Una vez dentro de la simulación existen dos formas para analizar el circuito con respecto a los diferentes parámetros que se desee, estos parámetros pueden ser corriente y voltaje, para esto existen dos formas, poniendo el cursor sobre el punto que se quiere medir o insertando un componente de medición. Una cosa importante que se tiene que mencionar es la de que una vez iniciada la simulación no se puede modificar el circuito, así para hacer cualquier cambio primero se tiene que parar la simulación.

Medición de parámetros

Como ya se mencionó existen dos formas para medir los valores de corriente y voltaje, la primera es, posicionando el cursor sobre el punto a medir como se indica en la figura.

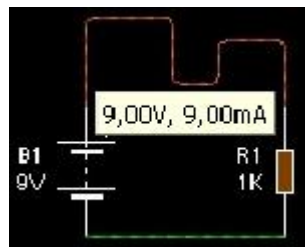


Figura 4.9 Medición de corriente y voltaje en un punto

Como se puede observar sale un recuadro con la medición de voltaje y corriente en ese punto, en este caso 9 Volts y 9 miliampers.

La segunda forma es la de colocar instrumentos de medición dentro del circuito, como se puede observar en la figura, esto es muy útil porque también permite ver y entender cómo se conectan los diferentes dispositivos para medir voltaje y corriente, y como fluye la corriente por los mismos.

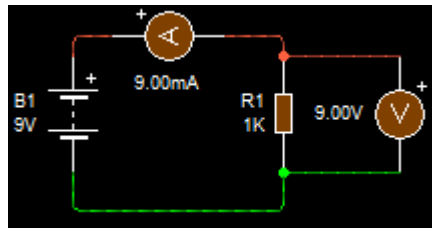


Figura 4.10 Medición de parámetros mediante instrumentos de medición

Para armar circuitos más complejos se sigue el mismo procedimiento, teniendo muy en cuenta los componentes a utilizarse del esquema propuesto.

5. RESULTADOS

5.1 Guía de prácticas propuestas para la simulación de los circuitos en el software Livewire.

Práctica # 1

1. Tema:

Ley de Voltajes de Kirchhoff.

2. Objetivos:

- ☞ Simular los circuitos indicados en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.
- ☞ Hallar una relación entre la suma de las caídas de voltaje en resistores conectados en serie y el voltaje aplicado.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	470 Ω
1	Resistor	820 Ω
1	Resistor	1k Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	2.2 k Ω
1	Resistor	3.3 k Ω
1	Resistor	4.7 k Ω
1	Interruptor	un polo un tiro
11	Voltímetro	DC

4. Esquemas:

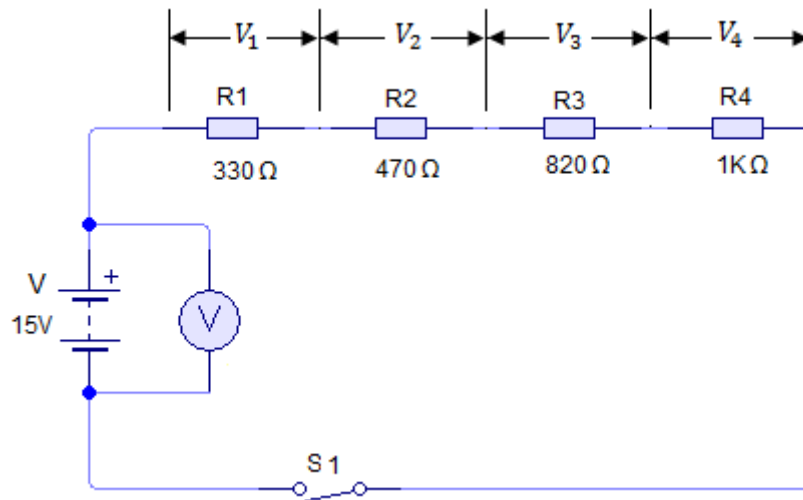


Figura 5.1. Circuito serie

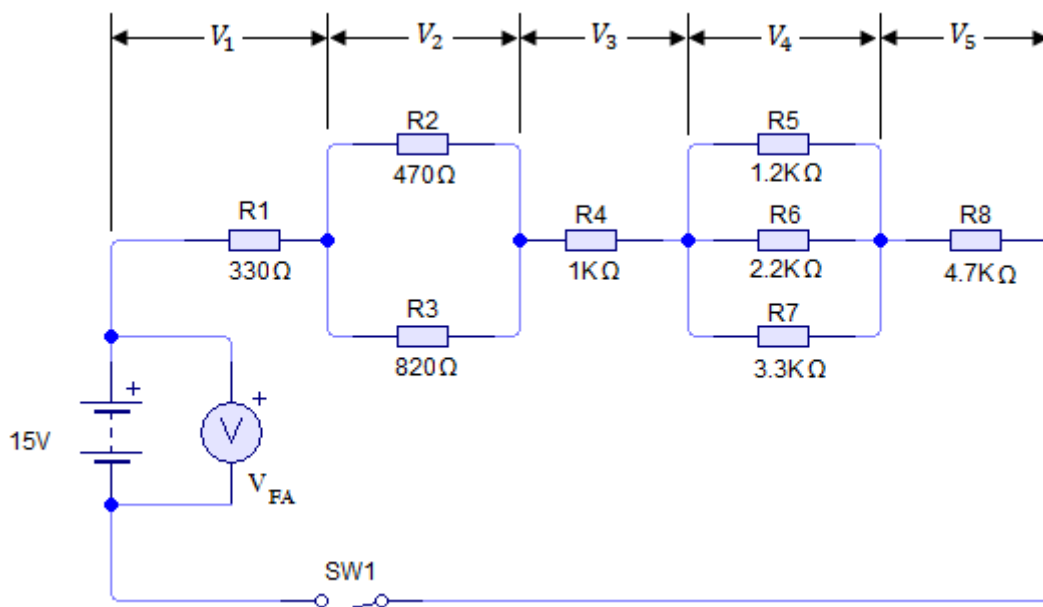


Figura 5-2. Circuito serie-paralelo

5. Sistema categorial

Investigar la Ley de Voltajes de Kirchhoff

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-1, arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S1 y mida la caída de voltaje en R_1 (V_1), R_2 (V_2), R_3 (V_3) y R_4 (V_4), registre los valores en la tabla 5-1.

- Con $V = 15\text{ V}$ y los valores nominales de cada resistor, calcule la caída de voltaje en $R_1 (V_1), R_2 (V_2), R_3 (V_3), R_4 (V_4)$ de la figura 5-1. Registre los valores calculados en la tabla 5.1, así como V y la suma de los voltajes calculados.
- Con los valores especificados en la figura 5-2 arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S1 y mida la caída de voltaje V_1, V_2, V_3, V_4 y V_5 , registre los valores en la tabla 5.2.
- Con $V = 15\text{ V}$ y a partir de la figura 5-2, calcule las caídas de voltaje V_1, V_2, V_3, V_4 y V_5 . Registre los valores calculados en la tabla 5.2, así como V y la suma de los voltajes calculados.

Tabla 5.1 Verificación de la ley de Voltajes de Kirchhoff

Figura.6-1	$V (V)$	$V_1 (V)$	$V_2 (V)$	$V_3 (V)$	$V_4 (V)$	$V_T (V)$
V.Calculado						
V.Simulado						

Tabla 5.2 Verificación de la ley de Voltajes de Kirchhoff

Figura.6-2	$V_{FA} (V)$	$V_1 (V)$	$V_2 (V)$	$V_3 (V)$	$V_4 (V)$	$V_5 (V)$	$V_T (V)$
V. Calculado							
V. Simulado							

7. Preguntas de Control

- Enuncie la ley de Kirchhoff para voltajes de dos maneras.
- Exprese su respuesta a la pregunta 1 como fórmula matemática.
- En la figura 5-3, $V_1 = 3V, V_2 = 5.5V, V_3 = 6V$ y $V_4 = 12V$. El voltaje aplicado, V , deberá ser igual a.....V.
- En _____ la _____ figura _____ 5-4, $V_1 = 1.5V, V_2 = 2V, V_4 = 2.7V, V_5 = 6V$ y $V = 15V$. el voltaje $V_3 = \dots\dots V$

8. Bibliografía

Práctica # 2

1. Tema

Ley de Corrientes de Kirchhoff

2. Objetivos

- ☞ Simular el circuito dado en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.
- ☞ Confirmar que en un circuito eléctrico la suma de corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las corrientes que salen del mismo.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	470 Ω
1	Resistor	820 Ω
1	Resistor	1k Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	2.2 k Ω
1	Resistor	3.3 k Ω
1	Resistor	4.7 k Ω
1	Interruptor	un polo un tiro
10	Amperímetro	DC

4. Esquema:

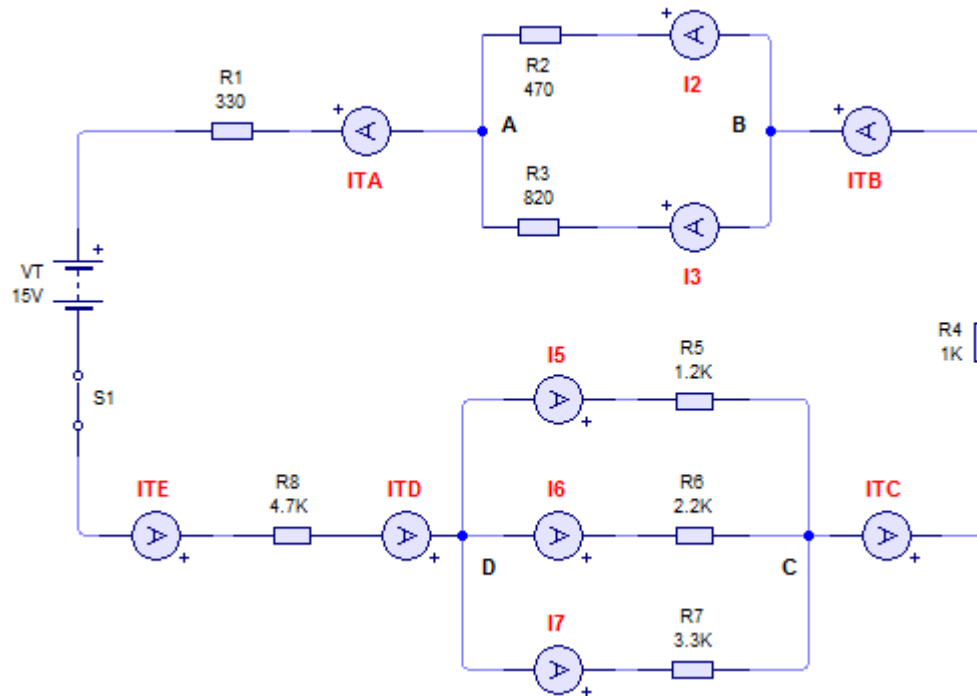


Figura 5-6 Circuito serie-paralelo para la aplicación de la ley de Kirchhoff

5. Sistema categorial

Investigar la Ley de Corrientes de Kirchhoff

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-6 arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S_1 y mida las corrientes $I_{TA}, I_2, I_3, I_{TB}, I_{TC}, I_5, I_6, I_7, I_{TD}$ e I_{TE} ; registre los valores en la tabla 5.3.
- Con los procesos teóricos calcule la suma de I_2 e I_3 y la suma de I_5, I_6 e I_7 y escriba sus respuestas en la tabla 5.3, Abra S_1 .
- Realice la comparación entre los resultados prácticos y simulados.
- Abra S_1 y pare la simulación.

Tabla 5.3. Verificación de la ley de las corrientes de kirchhoff Figura 5-6

Elemento	I_{TA}	I_2	I_3	I_{TB}	I_{TC}	I_5	I_6	I_7	I_{TD}	I_{TE}	$I_2 + I_3$	$I_5 + I_6 + I_7$
Corriente simulada, mA												
Corriente calculada, mA												

7. Preguntas de control

- Explique la relación entre las corrientes que entran y salen de un nodo en un circuito.
- En la figura 5-7 la corriente que entra al nodo A es de 0.5 A. $I_1 = 0.25 A, I_2 = 0.1 A$. Por tanto, la corriente I_3 debe ser igual a.....A
- En la figura 5-7 la corriente que sale del nodo B es de 1.5 A. La suma de las corrientes $I_1, I_2 e I_3$ debe ser deA
- Al aplicar la ley de corrientes de Kirchhoff al nodo B de la figura 5-7, la polaridad asignada por convenio a cada corriente es la siguiente:
 - a) I_1
 - b) I_2
 - c) I_3
 - d) I_T
- La ecuación que describe la relación entre las corrientes en el nodo A de la figura 5-9, $I_2 = 4A, I_3 = 4A, I_4 = 3A, I_5 = 1A. I_1 = \dots\dots\dots A$
- A partir de la figura 5-6, ¿Qué información necesitaría para hallar $I_2 e I_3$ en este circuito?

8. Bibliografía

Práctica # 3

1. Tema

Análisis de circuitos mediante corrientes de malla

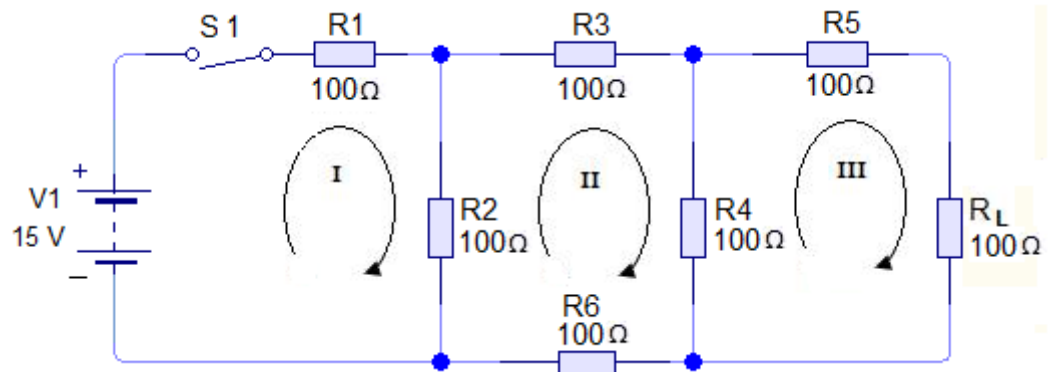
2. Objetivos

- ☞ Verificar el comportamiento de un circuito lineal.
- ☞ Verificar a través del simulador como actúan las corrientes en las diferentes mallas dentro de un circuito lineal.
- ☞ Ver la relación que existe entre los datos calculados con los datos medidos por el simulador.

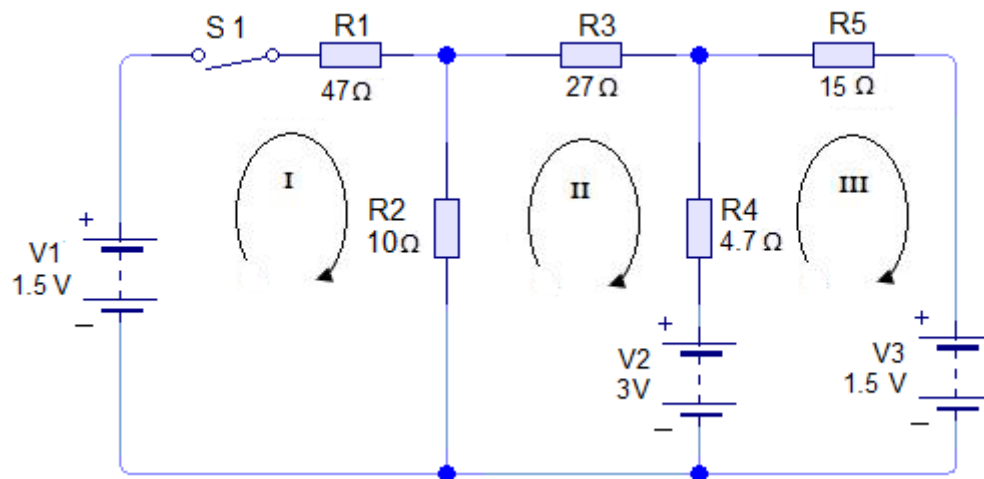
3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 1.5 V
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 3 V
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 15 V
1	Resistor	4.7 Ω
1	Resistor	10 Ω
1	Resistor	15 Ω
1	Resistor	27 Ω
1	Resistor	47 Ω
7	Resistor	100 Ω
2	Interruptor	Un polo un tiro
11	Amperímetro	DC
12	Voltímetro	DC

4. Esquemas:



a). Con una fuente de voltaje



b). Con tres fuentes de voltaje

Figura 5-10 Circuitos con tres mallas

5. Sistema Categorical

Investigar, elementos lineales de circuito, método de corrientes de malla, ecuaciones de corrientes de malla.

6. Desarrollo

- Con los valores nominales de cada resistor y su respectiva fuente de voltaje arme el circuito de la figura 5-10 a) en el programa de simulación Livewire.
- Haga correr el programa. cierre S1, con la fuente en 15V. Mantenga este voltaje durante el procedimiento.
- Mida el voltaje en cada resistor de R_1 a R_6 y de R_L ; anote los valores en la tabla 5.5.

- Asimismo mida las corrientes en cada resistor de R_1 a R_6 y de R_L ; anote los valores en la tabla 5.5.
- A partir del valor nominal de los resistores y las tres mallas de la figura 5-10 a), calcule las corrientes de malla I_1, I_2 e I_3 y registre las respuestas en la tabla 5.5.
- A partir de los valores calculados de corrientes en cada resistor, calcule la caída de voltaje para las resistencias $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ y R_L , registre las respuestas en la tabla 5.5.
- Con los valores especificados en el esquema y sus respectivas fuentes de voltaje arme el circuito de la figura 5.10 b), en el programa de simulación Livewire. Mida el voltaje en cada resistor de R_1 a R_5 ; anote estas medidas en la tabla 5.5.
- De igual manera medir las corrientes en cada resistor de R_1 a R_5 ; anote los valores en la tabla 5.5.
- A partir del valor nominal de los resistores del esquema figura 5-10 b), calcule las corrientes de malla I_1, I_2 e I_3 y registre las respuestas en la tabla 5.5.
- Con las respuestas de I_1, I_2 e I_3 , calcule las corrientes en los resistores R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 , registre sus respuestas en la tabla 5.5.
- A partir de los valores calculados de corrientes en cada resistor, calcule la caída de voltaje para las resistencias R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 , registre las respuestas en la tabla 5.5.
-

Tabla 5.5. Verificación de los cálculos de corriente de malla

Figura 5-10 a)								
Resistencia (Ω)		Caída de voltaje (V)		Corriente (mA)		Corriente de malla (mA)		
		Medida	Calculada	Medida	Calculada	Malla	Medida	Calculada
R_1	100					I		
R_2	100							
R_3	100					II		
R_4	100							
R_5	100							
R_6	100					III		
R_L	100							

Figura 5.10 b)								
Resistencia (Ω)		Caída de voltaje (V)		Corriente (mA)		Corriente de malla (mA)		
		Medida	Calculada	Medida	Calculada	Malla	Medida	Calculada
R_1	47					I		
R_2	10							
R_3	27					II		
R_4	4.7							
R_5	15					III		

7. Preguntas de control

- Un circuito que solo contiene resistores se denomina circuito.....
- La grafica voltaje-corriente de un resistor es una.....
- Si el voltaje de la figura 5.11 fuera de 10 V y el resistor original se reemplazará por otro con el doble de resistencia, la corriente (disminuiría/aumentaría).....
- (falso/verdadero) Para analizar el circuito de la figura 5.11 se debe emplear el método de corrientes de malla.....
- (falso/ verdadero) La ley de corrientes de Kirchhoff es la base para establecer las ecuaciones de corriente de lazo.....
- Si el sentido de la corriente de malla I_2 se tomará contrario a la dirección de las manecillas del reloj, el sentido real de la corriente en R_L (cambiaría/ no cambiaría).....
- El menor número de corrientes de malla que se pueden usar para analizar el circuito de la figura 5-15 es.....

8. Bibliografía

Práctica # 4

1. Tema

Teorema de Superposición

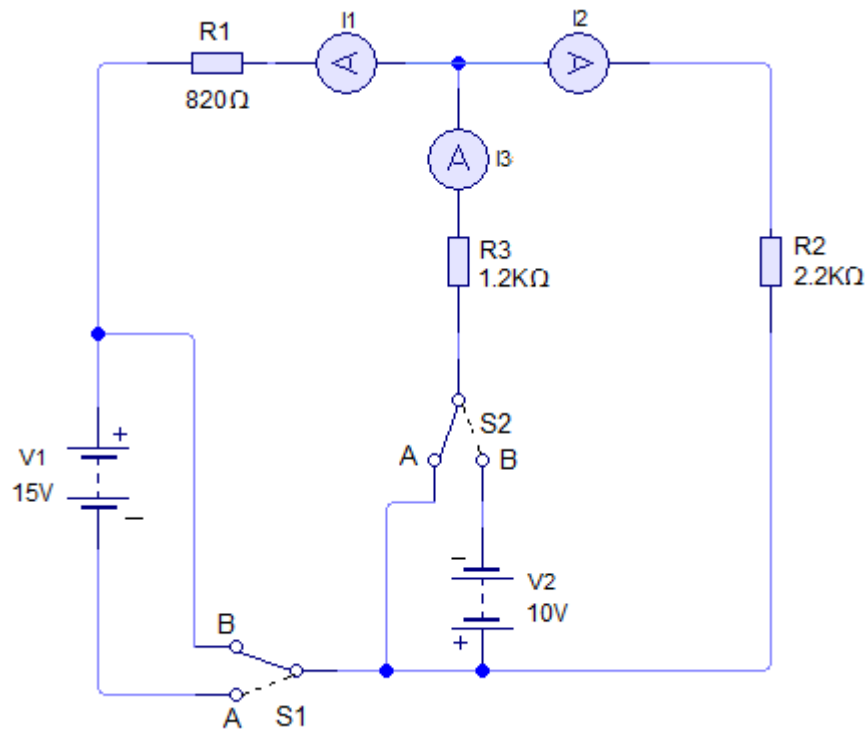
2. Objetivos:

- ☞ Simular el circuito dado en el esquema mediante el simulador Livewire.
- ☞ Mediante el simulador observar cómo funciona el circuito.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo con los valores medidos y simulados.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
1	Resistor	820 Ω
1	Resistor	1.2k Ω
1	Resistor	2.2k Ω
2	Interruptor	un polo un tiro
3	Amperímetro	DC
3	Voltímetro	DC

4. Esquema:



5-16 Circuito para el procedimiento

5. Sistema categorial

Investigar el Teorema de Superposición

6. Desarrollo

- Con los interruptores en la posición B. arme el circuito de la figura 5-16, observe con cuidado las polaridades de las fuentes de alimentación.
- Haga correr el programa, ponga el interruptor S1 en la posición A y S2 en la posición B con lo que V1 alimentará a R_1, R_2 y R_3 . Mida I_1, I_2 e I_3 , los voltajes V_1 en R_1, V_2 en R_2 y V_3 en R_3 ; registre los valores en la tabla 5.6.
- Ponga S1 en la posición B y S2 en la posición A, con lo que V2 alimentará a R_1, R_2 y R_3 con V_2 . Mida I_1, I_2, I_3 , los voltajes V_1 en R_1, V_2 en R_2 , y V_3 en R_3 ; registre los valores en la tabla 5.7.
- Con S1 en la posición A (S2 ya debe estar en la posición A), Ahora ambas fuentes alimentan a R_1, R_2 y R_3 . Mida $I_1, I_2, I_3, V_{R1}, V_{R2}$ y V_{R3} como en los dos pasos anteriores, y registre los valores en la tabla 5.8.
- A partir de la figura 5-16 y con los valores indicados de R_1, R_2, R_3 y con los valores de V_1 y V_2 , calcule I_1, I_2 e I_3 que suministren las dos fuentes mediante el teorema de superposición. Muestre todos los cálculos y diagramas, y registre los valores calculados en la tabla 5-8.

Tabla 5.6 Efecto de fuente de alimentación (V_1) solamente, en la figura 5.16

Corriente Medida (mA)		Voltaje Medido (V)	
I_1		V_1	
I_2		V_2	
I_3		V_3	

Tabla 5.7 Efecto de fuente de alimentación (V_2) solamente, en el esquema 5.16

Corriente, mA		Voltaje, V	
I_1		V_1	
I_2		V_2	
I_3		V_3	

Tabla 5.8 Efecto de fuente V_1 y V_2 actuando juntas en el esquema 5.16

Valores medidos V_1 y V_2 juntas				Valores calculados											
Corriente, (mA)		Voltaje, (V)		V1 sólo				V2 sólo				V1 y V2 juntas			
				Corriente, (mA)		Voltaje, (V)		Corriente, (mA)		Voltaje, (V)		Corriente, (mA)		Voltaje, (V)	
I_1		V_1		I_1		V_1		I_1		V_1		I_1		V_1	
I_2		V_2		I_2		V_2		I_2		V_2		I_1		V_2	
I_3		V_3		I_3		V_3		I_3		V_3		I_1		V_3	

7. Preguntas de control

- Explique cómo se utiliza el teorema de superposición para hallar las corrientes en un circuito alimentado por más de una fuente de voltaje.
- (falso/verdadero) El teorema de superposición puede aplicarse al circuito de la figura 5.21.
- En la figura 5-18 la gráfica del voltaje en R_4 contra la corriente por R_4 es una.....
- La fuente de 10V de la figura 5-17 hace que fluya.....(más/menos) corriente en R_3 de la que suministraría V_1 si fuera la única fuente de voltaje y V_2 se reemplazara por un cortocircuito.

- Al aplicar el teorema de superposición al análisis del circuito de la figura 5-17, V_2 se reemplazará por un.....
- En el circuito de la figura 5-17 el voltaje en R_5 es de.....

8. Bibliografía

Práctica # 5

1. Tema

Teorema de Thevenin

2. Objetivos

- ☞ Simular el circuito indicado en esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Determinar el voltaje (V_{TH}) y la resistencia (R_{TH}) equivalente de Thevenin en un circuito de cd con una sola fuente de voltaje.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
1	Fuente de corriente continua	Corriente continua 15V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	390 Ω
1	Resistor	470 Ω
1	Resistor	1k Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
2	Resistor	3.3 k Ω
2	Interruptor	un polo un tiro
1	Voltímetro	DC
1	Amperímetro	DC
1	Multímetro digital	DC

4. Esquema:

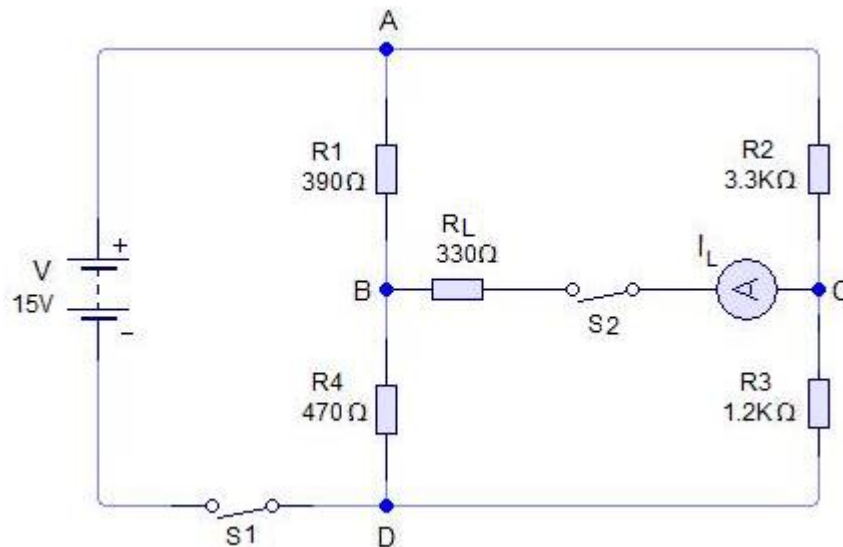


Figura 5-22. Circuito para el desarrollo de la práctica

5. Sistema categorial

Investigar el Teorema de Thevenin

6. Desarrollo

- Con la fuente en 15V y los valores nominales de los resistores arme el circuito de la figura 5-22, haga correr el programa, cierre S1, S2 y mida I_L para cada valor del resistor de carga $R_L = 330\Omega, 1k\Omega$ y $3.3k\Omega$. Registre este valor en la tabla 5.9, circuito original. Abra S2, S1 debe permanecer cerrado.
- Con S1 cerrado y S2 abierto mida el voltaje entre B y C (figura 5-22). Este es el voltaje V_{TH} ; anote el valor en la tabla 5-9. Abra S1.
- Retire la fuente de alimentación, ponga en cortocircuito AD conectando los dos puntos. Con S2 abierto conecte un óhmetro entre B y C para medir la resistencia entre estos puntos, R_{TH} . Registre el valor en la tabla 5.9.
- Arme el circuito equivalente de Thevenin con los valores medidos de V_{TH} y R_{TH} , mida I_L para los valores de $330\Omega, 1k\Omega$ y $3.3k\Omega$ de la resistencia R_L . Registre estos valores en la tabla 5.9 en la columna circuito equivalente.
- Con los valores indicados en la figura 5-22, calcule V_{TH} y R_{TH} ; registre las respuestas en la tabla 5.9.
- Con los valores de V_{TH} y R_{TH} calcule el valor de I_L para los valores de $330\Omega, 1k\Omega$ y $3.3k\Omega$ de la resistencia R_L , registre los valores en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Mediciones para verificar el teorema de Thevenin figura 5-22

Carga R_L	$V_{TH}(V)$		$R_{TH}(\Omega)$		$I_L(mA)$		
					Medido		Calculado
	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Circuito original	Circuito equivalente Thevenin	
330 Ω							
1k Ω							
3.3k Ω							

7. Autoevaluación

- ¿Cuál es la forma para reconocer un circuito equivalente de Thevenin?
- Explique cómo se usa el teorema de Thevenin para convertir cualquier red lineal de dos terminales en un circuito simple equivalente que conste de una resistencia en serie con una fuente de voltaje.
- A partir de los datos de la tabla 5-9 ¿Las mediciones correspondientes de I_L circuito original y circuito equivalente deben ser iguales? Explique por qué.
- Explique una ventaja del teorema de Thevenin cuando se buscan las corrientes de carga en un circuito de cd.
- Considere el circuito de la figura 5-25 donde $V = 24V$, $R_1 = 30\Omega$, $R_2 = 270\Omega$, $R_3 = 500\Omega$, $R_L = 560\Omega$, y suponga que la resistencia interna de la fuente es cero. Halle los valores siguientes: V_{TH} , R_{TH} , I_L .

8. Bibliografía

Práctica # 6

1. Tema:

Teorema de Norton

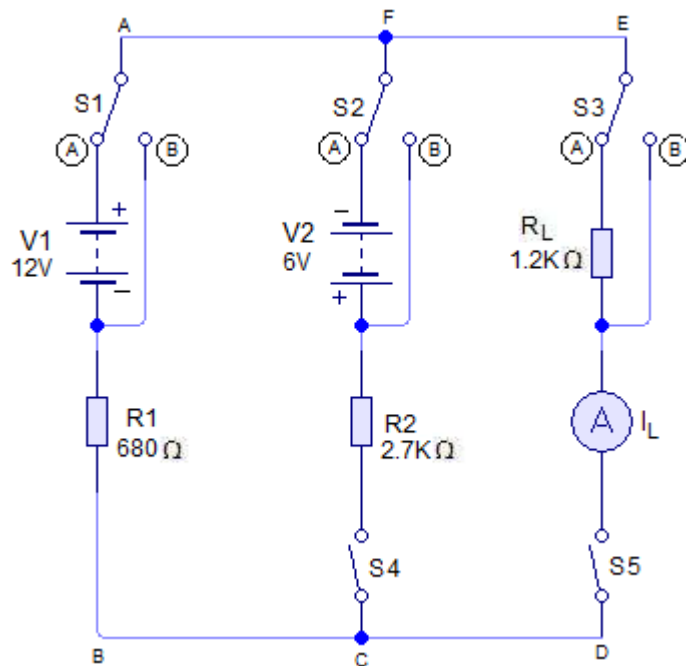
2. Objetivos

- ☞ Simular el circuito indicado en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Determinar los valores de la fuente de corriente constante de Norton, I_N , y la resistencia de la fuente de corriente de Norton, R_N , en un circuito de cd con una o dos fuentes de voltaje.
- ☞ Comparar los resultados obtenidos en la simulación con los conseguidos matemáticamente.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	560 Ω
1	Resistor	680 Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	1.8 k Ω
1	Resistor	2.7 k Ω
2	Interruptor	un polo un tiro
3	Interruptor	un polo dos tiros
2	Amperímetro	DC

4. Esquema



5-26 Circuito para el desarrollo de la práctica

5. Sistema categorial

Investigar el Teorema de Norton, Análisis de una red de cd con dos fuentes de voltaje.

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en el esquema 5-26, arme el circuito en el simulador Livewire, con S_1, S_2 y S_3 en la posición A, y S_4 y S_5 abiertos.
- Ajuste los voltajes de la fuente de modo que $V_1=12V$ y $V_2=6V$. (Observe con cuidado la polaridad correcta de las conexiones) Mantenga estos voltajes durante la simulación. Haga correr e; programa, cierre S_4 y S_5 y mida I_L por R_L y registre los resultados en la tabla 5.10 en el reglón de 1.2 k Ω , columna " I_L , medida, circuito original".
- Reemplace R_L por resistores de 390 Ω , 560 Ω y 1.8 k Ω . En cada caso mida I_L y anote y anote los valores en la columna " I_L , medida, circuito original".
- Mueva S_3 a la posición B, con lo que R_L se reemplaza por un cortocircuito. La corriente medida por el medidor es la de cortocircuito del generador equivalente de Norton, I_N . Escriba el valor en la tabla 5.10 en el reglón de 1.2 k Ω , columna " I_N , medida". Para los otros valores de R_L , I_N es la misma.

- Cambie S_1, S_2 y S_3 a la posición B y abra S_5 , con lo que las fuentes de voltaje se reemplazan por cortocircuitos y abre el circuito de carga entre D y E. S_4 permanece cerrado.
- Mida con el multímetro digital la resistencia entre C y F. Ésta es la resistencia en paralelo con el generador equivalente de Norton, R_N . Registre este valor en la tabla 5.10 en el reglón de 1.2k Ω , “columna R_N , medida”. Para los otros valores de R_L , R_N es el mismo valor.
- A partir del circuito de la figura 5-26 calcule el valor de la corriente de Norton, I_N , y registre en la tabla 5.10 en el reglón de 1.2 k Ω , columna “ I_N calculada”.
- Con base en el circuito de la figura 5-26 calcule el valor de la resistencia de derivación de Norton, R_N y anótelo en la tabla 5.10 en el reglón de “ R_N calculada”.
- Con los valores calculados de I_N y R_N , calcule la corriente de carga, I_L , para los resistores de carga de 1.2k Ω , 390 Ω , 560 Ω y 1.8k Ω de la figura 5-26, registre los resultados en la tabla 5.10, en la columna “ I_L calculada”.

Empleo del circuito equivalente de Norton

- Con S_1 abierto arme el circuito de la figura 5-30, el medidor IN medirá la corriente de Norton, y el medidor IL, la corriente de carga.
- Para cada valor de $R_L = 390 \Omega$, 560 Ω , 1.2 k Ω y 1.8 k Ω mida I_L , y registre los valores en la tabla 5.10, en la columna circuito equivalente de Norton. Abra S_1 y pare la simulación.

Tabla 5.10 Mediciones para verificar el teorema de Norton

$R_L (\Omega)$	$I_N (mA)$		$R_N (\Omega)$		$I_L (mA)$		
	Medida	Calculada	Medida	Calculada	Medida		Calculada
					Circuito original	Circuito Equivalente	
1.2k							
390							
560							
1.8k							

7. Preguntas de control

- ¿Cuál es la forma de un circuito equivalente Norton?
- Explique cómo se utiliza el teorema de Norton para convertir cualquier red lineal de dos terminales en un circuito simple que conste de una fuente de corriente constante en paralelo con una resistencia.
- En el circuito de la figura 5-28 a), $V = 12V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 39\Omega$, $R_3 = 60\Omega$ y $R_L = 27\Omega$. Suponga que la resistencia interna de la fuente de voltaje, V , es cero. Encuentre los valores siguientes en el circuito equivalente de Norton. I_N, R_N, I_L .
- En el circuito de la figura 5-29 a), $V_1 = 30V$, $V_2 = 30V$. Suponga que la resistencia interna de estas fuentes de voltaje es cero. $R_1 = 45\Omega$, $R_2 = 150\Omega$ y R_L (lacruga) = 47Ω . Halle los valores siguientes en el circuito equivalente de Norton.
 - a) $I_N = \dots\dots$
 - b) $R_N = \dots\dots$
 - c) $I_L = \dots\dots$
- Explique una ventaja de utilizar el teorema de Norton para hallar las corrientes de carga en un circuito de cd.

8. Bibliografía

Práctica # 7

1. Tema:

Teorema de Millman

2. Objetivos:

- ☞ Simular el circuito indicado en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
4	Resistor	68 Ω
1	Resistor	100 Ω
4	Interruptor	Un polo un tiro
2	Interruptor	Un polo dos tiros
1	Voltímetro	1k Ω
3	Amperímetro	DC
1	Multímetro digital	DC

4. Esquema

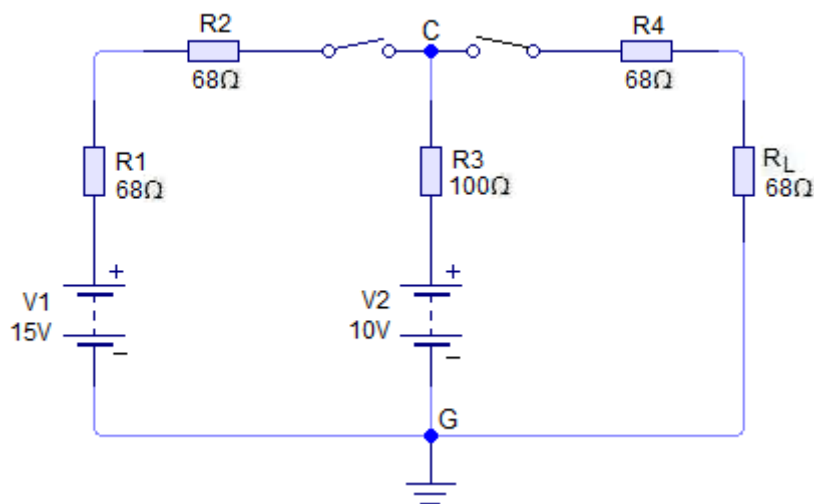


Figura 5-31 Circuito para el desarrollo de la práctica

5. Sistema categorial

Investigar el Teorema de Millman

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-31 arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S1, S2, mida el voltaje entre los nodos C y G, tambien mida la intensidad total del circuito, registre le valor en la tabla 5.11. Una vez realizada la medición abra S1 y S2.
- A partir de la fig. 5-31, mida la resistencia total. En este circuito agregamos dos interruptores para poner en cortocircuito V1 y V2, por la razón de que la resistencia se mide sin las fuentes de alimentación. Con los interruptores S3 y S4 en la posición B, coloque el multímetro en los puntos C y G, mida la resistencia y registre este valor en la tabla 5.11.
- Con los valores especificados en la figura 5.31, calcule el voltaje en los puntos C-G, la corriente total, y la resistencia total, registre los resultados en la tabla 5.11.

Tabla 5.11 Verificación del teorema de Millman

Magnitud	Valor medido	Valor Calculado
V_{C-G}		
I_T		
R_T		

7. Preguntas de control

- ¿Para qué sirve el teorema de Millman?
- ¿Cuáles son las limitaciones y las restricciones de este teorema?
- El teorema de Millman se emplea para resolver problemas de circuitos que también pueden resolverse con las leyes de y el.....
- El teorema de Millman solo puede usarse para resolver circuitos.....puros.
- La respuesta a la fórmula de Millman está dada en unidades de.....

- Respecto a la figura 5-33, si $R_1 = R_2 = R_3 = 10\Omega$; $V_1 = 5V$ y $V_3 = 10V$, encuentre la corriente en R_2 según la fórmula de Millman. $I_2 = \dots\dots\dots$. El sentido de la corriente es.....(hacia debajo de X a G/hacia arriba de G a X).
- Explique una ventaja del teorema de Millman para analizar un circuito de cd.

8. Bibliografía

5.2 Guía con resultados de las prácticas propuestas para la simulación mediante el software Livewire

Práctica # 1

1. Tema:

Ley de Voltajes de Kirchhoff.

2. Objetivos:

- ☞ Simular los circuitos indicados en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.
- ☞ Hallar una relación entre la suma de las caídas de voltaje en resistores conectados en serie y el voltaje aplicado.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	470 Ω
1	Resistor	820 Ω
1	Resistor	1k Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	2.2 k Ω
1	Resistor	3.3 k Ω
1	Resistor	4.7 k Ω
1	Interruptor	un polo un tiro
11	Voltímetro	DC

4. Esquemas

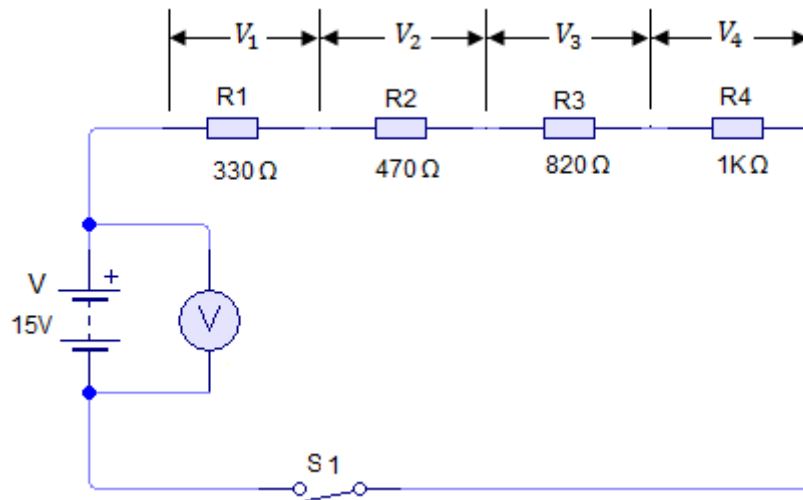


Figura 5-1. Circuito serie

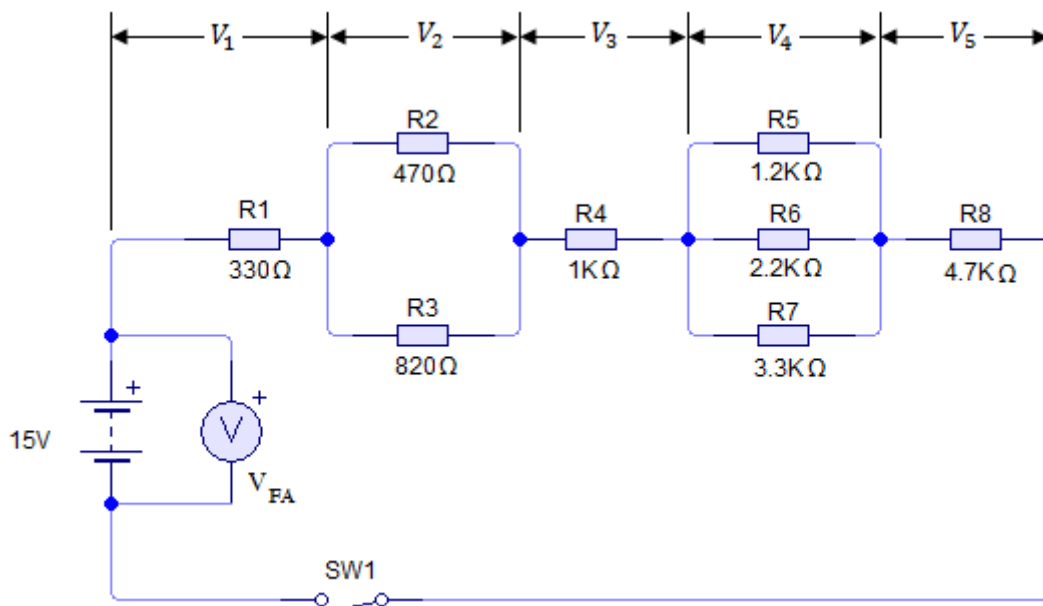


Figura 5-2. Circuito serie-paralelo

5. Sistema categorial

Ley de Voltajes

La ley de voltajes de kirchhoff se utiliza para analizar circuitos eléctricos complejos. Esta ley, así denominada en honor a Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), el físico que la formuló, es la base del análisis moderno de circuitos.

En el circuito de la figura 5-3, los resistores en serie R_1, R_2, R_3 y R_4 se pueden reemplazar por su resistencia total o equivalente, R_T , donde:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \tag{5.1}$$

Emplear R_T no afectará la corriente total, I_T . La relación entre I_T, R_T y la fuente de voltaje, V , está dada por la ley de ohm.

$$V = I_T \times R_T \tag{5.2}$$

Al sustituir la fórmula (5.1) en la (5.2) se tiene:

$V = I_T(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$, que, después de efectuar la multiplicación se convierte en:

$$V = I_T R_1 + I_T R_2 + I_T R_3 + I_T R_4 \tag{5.3}$$

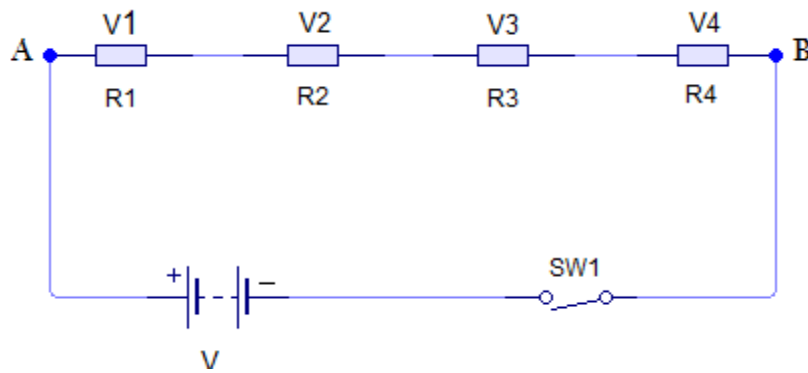


Figura 5-3. Voltajes en los resistores en un circuito en serie.

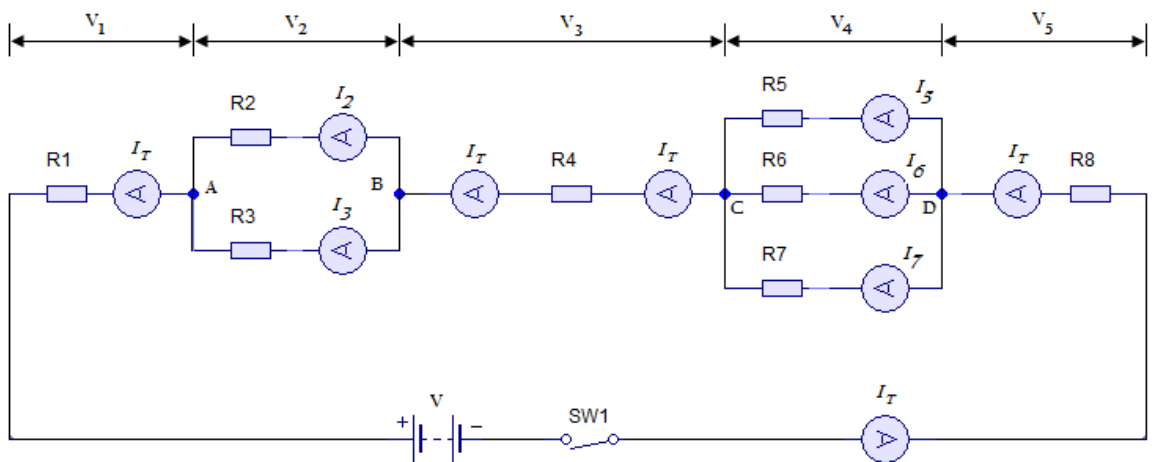


Figura 5-4. Aplicación de la ley de kirchhoff a un circuito en serie-paralelo.

Dado que la ley de ohm se aplica a cualquier parte de un circuito completo, la fórmula (5.3) muestra que:

$$I_T R_1 = \text{Caída de voltaje en } R_1 = V_1$$

$$I_T R_2 = \text{Caída de voltaje en } R_2 = V_2$$

$$I_T R_3 = \text{Caída de voltaje en } R_3 = V_3$$

$$I_T R_4 = \text{Caída de voltaje en } R_4 = V_4$$

Ahora la fórmula (5.3) puede describirse como

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (5.4)$$

La fórmula (5.4) es la expresión matemática de la ley de voltajes de kirchhoff. Esta fórmula se puede generalizar para circuitos cerrados con uno o más resistores conectados en serie, y también se aplica a circuitos serie-paralelo (figura 5-4). Aquí $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$, donde V_1, V_3 y V_5 son en este orden, las caídas de voltaje en R_1, R_4 y R_3 , y V_2 y V_4 las caídas en los circuitos en paralelo entre A y B y entre C y D, respectivamente.

Expresada en palabras, la fórmula (5.4) establece que en un circuito o lazo cerrado, el voltaje aplicado es igual a la suma de las caídas de voltaje en el circuito.

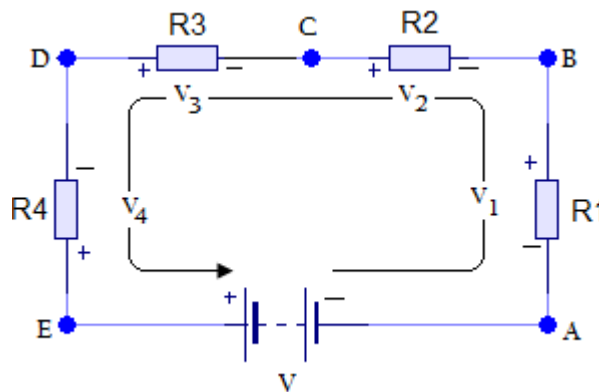


Figura 5-5. Convención para asignar la polaridad a los voltajes en un circuito cerrado

Al resolver problemas de circuitos eléctricos, es útil emplear signos algebraicos que representan la polaridad. El circuito de la figura 6-5 ilustra la convención empleada al asignar un signo + o un signo - al voltaje en un circuito. En el caso de la corriente de flujo de electrones, éstos se mueven del potencial negativo al positivo. La flecha de la figura 5-5 muestra el sentido de la corriente y los signos - y + indican lo siguiente: el punto A es negativo con respecto a B; B es negativo con respecto a C; C es negativo con respecto a D,

y D es negativo con respecto a E. Lo anterior es consistente con la suposición de una corriente de flujo de electrones en el circuito. Con respecto a la fuente de voltaje, el punto E es positivo con respecto a A, lo que indica una elevación de voltaje.

Para establecer el signo algebraico de los voltajes en el circuito cerrado, se sigue el sentido supuesto de la corriente. Se considera positiva cualquier fuente o caída de voltaje a cuya terminal + (positivo) se llega primero y negativa cualquier fuente de voltaje o caída a cuya terminal – (negativo) se llega primero. Si se indica en el punto A de la figura 6-5 y se sigue el sentido de la corriente, se tiene $-V_1, -V_2, -V_3, -V_4$ y $+V$. Con este acuerdo en mente, la ley de Kirchhoff puede generalizarse como sigue. *La suma algebraica de los voltajes en un circuito cerrado es igual a cero.*

Al aplicar la convención de signos y la ley de kirchhoff al circuito cerrado de la figura 6-5, e iniciando en el punto A, se puede escribir lo siguiente:

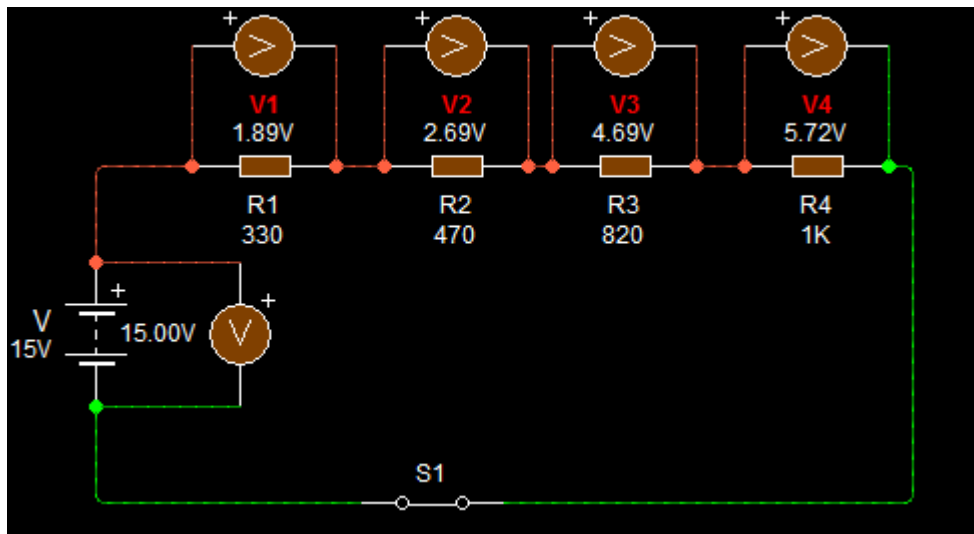
$$-V_1, -V_2, -V_3, -V_4 \text{ y } +V = 0 \quad (5.5)$$

¿Esta fórmula es consistente con la (5.4)? Sí, porque al pasar al lado izquierdo los términos del lado derecho de la ecuación (5.4) se obtiene $V - V_1, -V_2, -V_3, -V_4 = 0$, un resultado idéntico al de la ecuación (5.5).

La ley de voltajes de kirchhoff (LVK) es una poderosa y valiosa herramienta cuando se analizan o resuelven diversos tipos de circuitos, así como la localización de fallas en ellos.

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-1, arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S1 y mida la caída de voltaje en $R_1 (V_1), R_2 (V_2), R_3 (V_3)$ y $R_4 (V_4)$, registre los valores en la tabla 5-1.



- Con $V = 15\text{ V}$ y los valores nominales de cada resistor, calcule la caída de voltaje en R_1 (V_1), R_2 (V_2), R_3 (V_3), R_4 (V_4) de la figura 5-1. Registre los valores calculados en la tabla 5.1, así como V y la suma de los voltajes calculados.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 330\Omega + 470\Omega + 820\Omega + 1k\Omega$$

$$R_T = 2620\Omega$$

$$I_T = \frac{V}{R_T}$$

$$I_T = \frac{15V}{2620\Omega}$$

$$I_T = 0.00573A$$

$$V_{R1} = R_1 \times I_T$$

$$V_{R1} = 330\Omega \times 0.00573A$$

$$V_{R1} = 1.89\text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \times I_T$$

$$V_{R2} = 470\Omega \times 0.00573A$$

$$V_{R2} = 2.69\text{ V}$$

$$V_{R3} = R_3 \times I_T$$

$$V_{R3} = 820\Omega \times 0.00573A$$

$$V_{R3} = 4.69\text{ V}$$

$$V_{R4} = R_4 \times I_T$$

$$V_{R4} = 1k\Omega \times 0.00573A$$

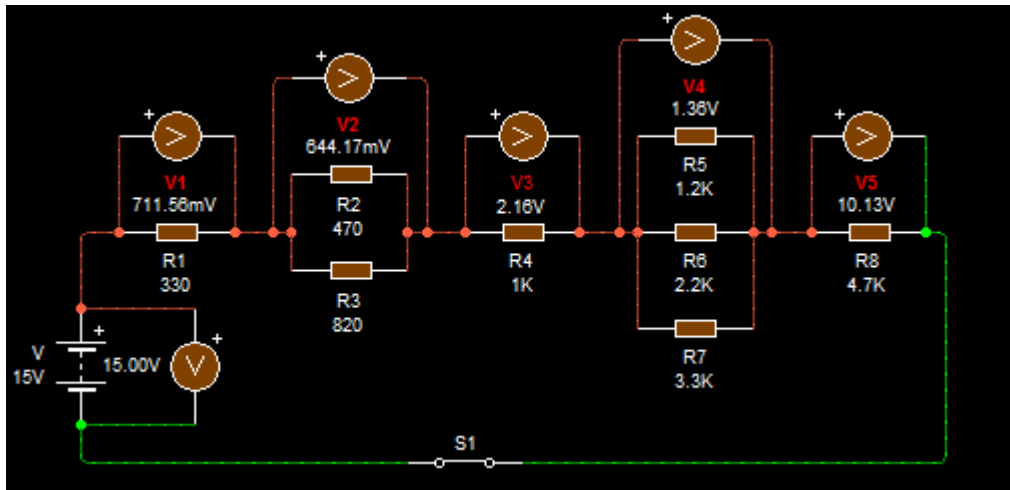
$$V_{R4} = 5.73\text{ V}$$

$$V_T = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R4}$$

$$V_T = 1.89\text{ V} + 2.69\text{ V} + 4.69\text{ V} + 5.73\text{ V}$$

$$V_T = 15\text{ V}$$

- Con los valores especificados en la figura 5-2 arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S1 y mida la caída de voltaje V_1, V_2, V_3, V_4 y V_5 , registre los valores en la tabla 5-2.



- Con $V = 15\text{ V}$ y a partir de la figura 5-2, calcule las caídas de voltaje V_1, V_2, V_3, V_4 y V_5 . Registre los valores calculados en la tabla 5-2, así como V y la suma de los voltajes calculados.

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{2,3} = \frac{470\Omega \times 820\Omega}{470\Omega + 820\Omega}$$

$$R_{2,3} = 298.8\ \Omega$$

$$R_{5,6} = \frac{R_5 \times R_6}{R_5 + R_6}$$

$$R_{5,6} = \frac{1200\Omega \times 2200\Omega}{1200\Omega + 2200\Omega}$$

$$R_{5,6} = 776.5\ \Omega$$

$$R_{5,6-7} = \frac{R_{5,6} \times R_7}{R_{5,6} + R_7}$$

$$R_{5,6-7} = \frac{776.47\Omega \times 3300\Omega}{776.47\Omega + 3300\Omega}$$

$$R_{5,6-7} = 628.6\ \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_{2,3} + R_4 + R_{5,6-7} + R_8$$

$$R_T = 330 + 298.8 + 1000 + 628.6 + 4700$$

$$R_T = 6957.4\ \Omega$$

$$I_T = \frac{V_{FA}}{R_T}$$

$$I_T = \frac{15\text{ V}}{6957.4\ \Omega}$$

$$I_T = 0.00216\text{ A}$$

$$V_1 = R_1 \times I_T$$

$$V_1 = 330\Omega \times 0.00216\text{ A}$$

$$V_1 = 0.71\text{ V}$$

$$V_2 = R_{2,3} \times I_T$$

$$V_2 = 298.76\Omega \times 0.00216\text{ A}$$

$$V_2 = 0.65\text{ V}$$

$$V_3 = R_4 \times I_T$$

$$V_3 = 1000\Omega \times 0.00216\text{ A}$$

$$V_3 = 2.16\text{ V}$$

$$V_4 = R_{5,6-7} \times I_T$$

$$V_4 = 628.57\Omega \times 0.00216\text{ A}$$

$$V_4 = 1.36\text{ V}$$

$$V_5 = R_8 \times I_T$$

$$V_5 = 4700\Omega \times 0.00216\text{ A}$$

$$V_5 = 10.15\text{ V}$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

$$V_T = 0.71\text{ V} + 0.65\text{ V} + 2.16\text{ V} + 1.36\text{ V} + 10.15\text{ V}$$

$$V_T = 15.03\text{ V}$$

Tabla 5.1 Verificación de la ley de Voltajes de Kirchhoff

Figura.6-1	V (V)	V_1 (V)	V_2 (V)	V_3 (V)	V_4 (V)	V_T (V)
V.Calculado	15	1.89	2.69	4.69	5.73	15
V.Simulado	15	1.89	2.69	4.69	5.72	14.99

Tabla 5.2 Verificación de la ley de Voltajes de Kirchhoff

Figura.6-2	V_{FA} (V)	V_1 (V)	V_2 (V)	V_3 (V)	V_4 (V)	V_5 (V)	V_T (V)
V. Calculado	15	0.71	0.65	2.16	1.36	10.15	15.03
V. Simulado	15	0.71	0.64	2.16	1.36	10.13	15.00

7. Preguntas de Control

- Enuncie la ley de Kirchhoff para voltajes de dos maneras.
 - En un circuito o lazo cerrado, la suma de las caídas de voltaje es igual al voltaje aplicado.
 - En un circuito o lazo cerrado, la suma algebraica de los voltajes es igual a cero.

- Exprese su respuesta a la pregunta 1 como fórmula matemática.

$$V_A = V_1 + V_2 + V_3 \dots \dots \dots V_N$$

$$V_A - V_1 - V_2 - V_3 \dots \dots \dots = 0$$

- En la figura 5-3, $V_1 = 3V$, $V_2 = 5.5V$, $V_3 = 6V$ y $V_4 = 12V$. El voltaje aplicado, V , deberá ser igual a **26.5V**

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V = 3 + 5.5 + 6 + 12$$

$$V = 26.5 V$$

- En la figura 5-4, $V_1 = 1.5V$, $V_2 = 2V$, $V_4 = 2.7V$, $V_5 = 6V$ y $V = 15V$. El voltaje $V_3 =$ **2.8V**

$$\begin{aligned}V &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \\15 &= 1.5 + 2 + V_3 + 2.7 + 6 \\-V_3 &= 1.5 + 2 + 2.7 + 6 - 15 \\-V_3 &= -2.8V \\V_3 &= 2.8V\end{aligned}$$

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J,Bates.2002;Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico; Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

Práctica # 2

1. Tema

Ley de Corrientes de Kirchhoff

2. Objetivos

- ☞ Simular el circuito dado en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.
- ☞ Confirmar que en un circuito eléctrico la suma de corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las corrientes que salen del mismo.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	470 Ω
1	Resistor	820 Ω
1	Resistor	1k Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	2.2 k Ω
1	Resistor	3.3 k Ω
1	Resistor	4.7 k Ω
1	Interruptor	un polo un tiro
10	Amperímetro	DC

4. Esquema:

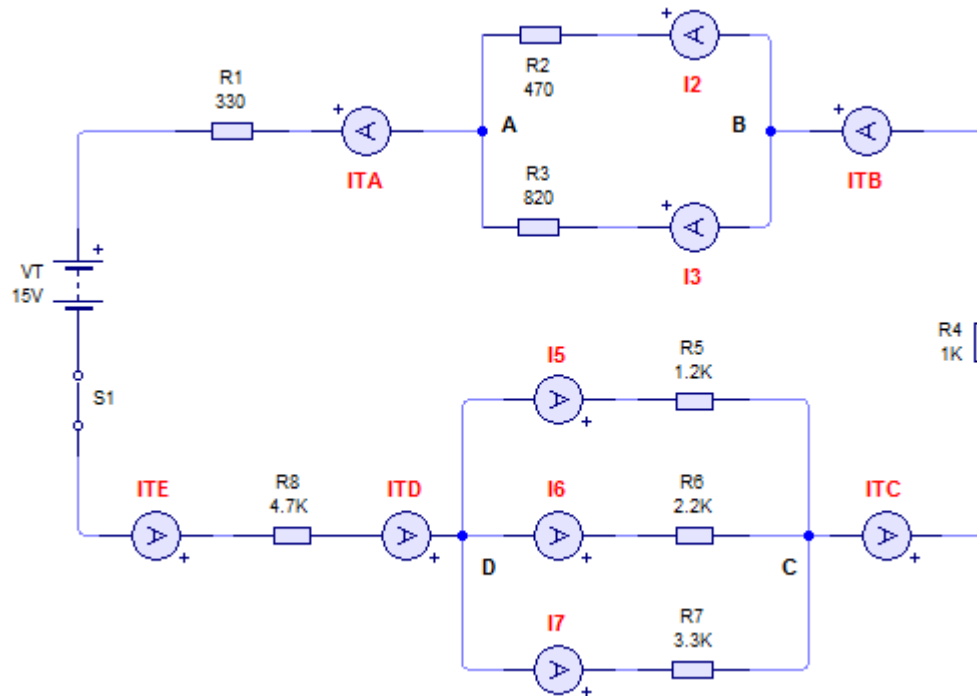


Figura 5-6 Circuito serie-paralelo para la aplicación de la ley de Kirchhoff

5. Sistema categorial

Ley de Corrientes

La ley de corrientes de kirchhoff establece que La corriente que entra en cualquier nodo de un circuito eléctrico es igual a la corriente que sale de ese nodo.

En el circuito serie-paralelo de la figura 5-7, la corriente total I_T , que entra al nodo A en el sentido que indica la flecha. Las corrientes que salen del nodo A son $I_1, I_2, e I_3$, como se muestra. Así, las corrientes $I_1, I_2, e I_3$ entran al nodo B e I_T sale del mismo. ¿Cuál es la relación entre $I_T, I_1, I_2, e I_3$? El voltaje en el circuito en paralelo puede hallarse mediante la ley de ohm:

$$V_{AB} = I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2 = I_3 \times R_3$$

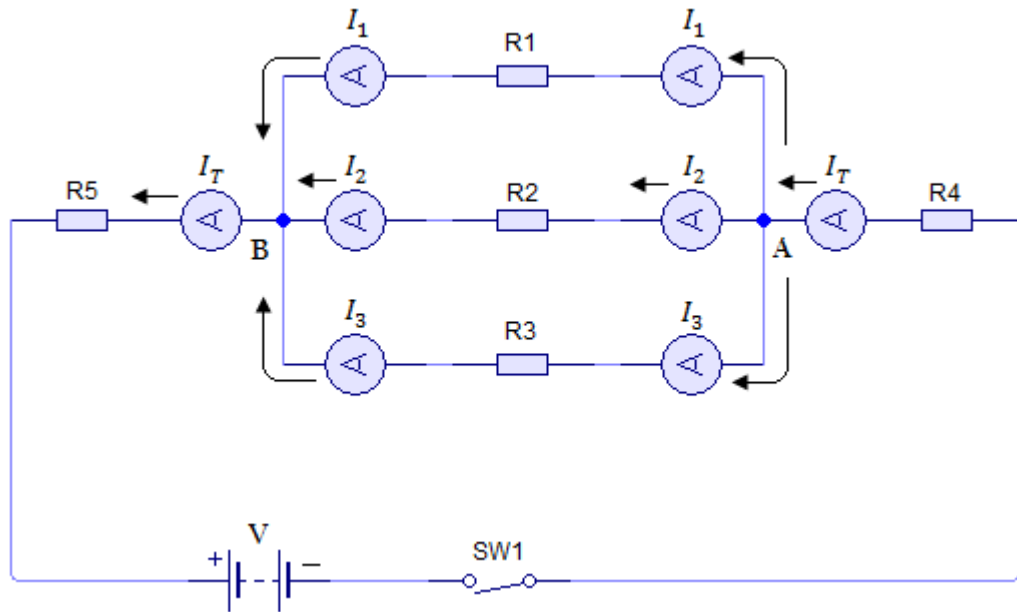


Figura 5-7. La corriente total a través de la fuente es la suma de las corrientes en cada una de las ramas.

La red en paralelo puede sustituirse por su resistencia equivalente, R_T , en cuyo caso la figura 5-7 se transforma en un simple circuito en serie y $V_{AB} = I_T \times R_T$. Por consiguiente, se tiene que:

$$I_T \times R_T = I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2 = I_3 \times R_3 \quad (5.6)$$

La fórmula (5.6) puede describirse como:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_T \times \frac{R_T}{R_1} \\ I_2 &= I_T \times \frac{R_T}{R_2} \\ I_3 &= I_T \times \frac{R_T}{R_3} \end{aligned} \quad (6.7)$$

En ocasiones la fórmula (5.7) se denomina regla del divisor de corriente. Al sumar $I_1, I_2, e I_3$ se obtiene:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 &= I_T \times \frac{R_T}{R_1} + I_T \times \frac{R_T}{R_2} + I_T \times \frac{R_T}{R_3} \\ I_1 + I_2 + I_3 &= I_T \times R_T \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \end{aligned}$$

Pero

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_T}$$

Por lo tanto:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_T \times R_T \times \frac{1}{R_T} = I_T$$

Esto es:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad (5.8)$$

La fórmula (5.8) es una expresión matemática de la ley de kirchhoff, aplicada al circuito de la figura 5.7. En general, si I_T es la corriente que entra a un nodo de un circuito eléctrico, e $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ las que salen del nodo, entonces:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (5.9)$$

Esto es también válido si I_T es la corriente que sale del nodo e $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ son las corrientes que entran al nodo. Con frecuencia, la ley de corrientes de kirchhoff se enuncia de otra forma:

La suma algebraica de las corrientes que entran y salen de un nodo es cero.

Recuerde que lo anterior es similar a la formulación de la ley de voltajes de kirchhoff: *la suma algebraica de los voltajes en un trayecto o lazo cerrado es cero.*

Así como fue necesario adoptar un convenio de polaridad en los voltajes de un lazo, se requiere un convenio de corrientes en los nodos. Si la corriente que entra a un nodo se considera positiva (+) y la que sale como negativa (-), puede mostrarse que el enunciado de que la suma algebraica de las corrientes que entran y salen de un nodo es cero, coincide con la fórmula (5.9) Considere el circuito de la figura 5-8. La corriente total, I_T , entra al nodo A y se considera +; las corrientes I_1 e I_2 salen del nodo A y se consideran -. Así,

$$+ I_T - I_1 - I_2 = 0 \quad (5.10)$$

$$Y, I_T = I_1 + I_2 \quad (5.11)$$

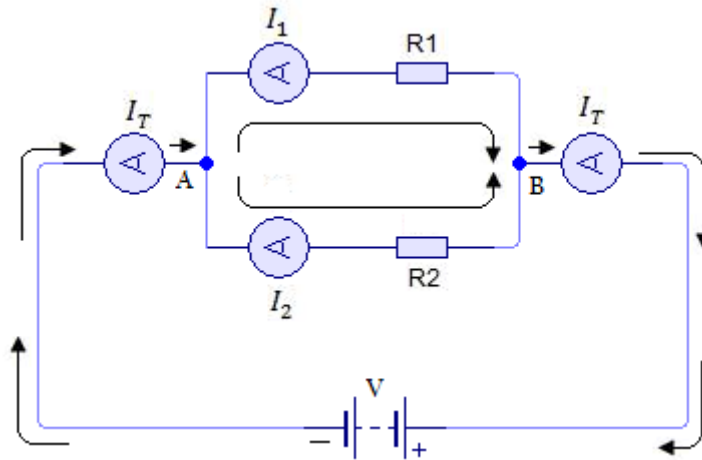


Figura 5-8. La suma algebraica de las corrientes que entran y salen de un nodo es igual a cero.

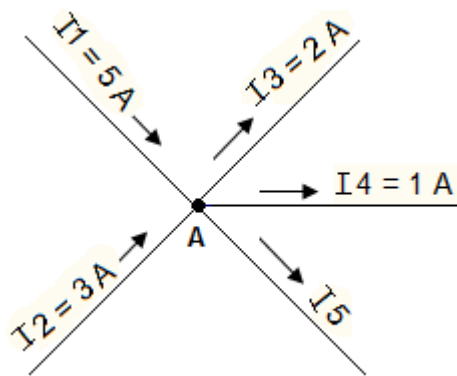


Figura 5-9. Corrientes que entran y salen en el nodo A.

Es obvio que los enunciados de la ley de corrientes de kirchhoff conducen a la misma fórmula. Un ejemplo muestra cómo puede aplicarse la ley de corrientes de kirchhoff a la solución de problemas de circuitos. Suponga, en la figura 5-9, que I_1 e I_2 son las corrientes que entran al nodo A y son, en el mismo orden, de + 5A y + 3 A. Las corrientes I_3 e I_4 son, respectivamente, de 2A y 1A. ¿Cuál es el valor de I_5 ? Al aplicar la ley de corrientes de kirchhoff

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Y sustituyendo los valores conocidos de la corriente se obtiene:

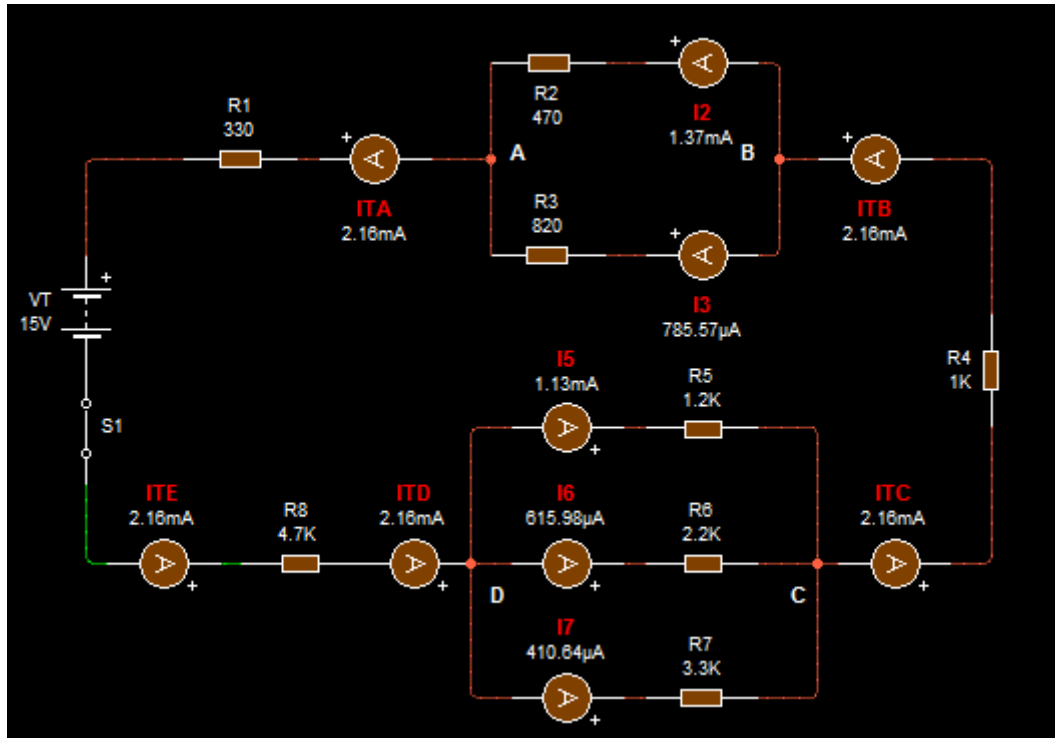
$$5 + 3 - 2 - 1 - I_5 = 0$$

$$5 - I_5 = 0$$

$$I_5 = 5 A$$

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-6 arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S_1 y mida las corrientes $I_{TA}, I_2, I_3, I_{TB}, I_{TC}, I_5, I_6, I_7, I_{TD}$ e I_{TE} ; registre los valores en la tabla 5.3.



- Con los procesos teóricos calcule la suma de I_2 e I_3 y la suma de I_5, I_6 e I_7 y escriba sus respuestas en la tabla 5.3, Abra S_1 .

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{2,3} = \frac{470\Omega \times 820\Omega}{470\Omega + 820\Omega}$$

$$R_{2,3} = 298.76 \Omega$$

$$R_{5,6-7} = \frac{R_{5,6} \times R_7}{R_{5,6} + R_7}$$

$$R_{5,6-7} = \frac{776.47\Omega \times 3300\Omega}{776.47\Omega + 3300\Omega}$$

$$R_{5,6-7} = 628.57\Omega$$

$$R_{5,6} = \frac{R_5 \times R_6}{R_5 + R_6}$$

$$R_{5,6} = \frac{1200\Omega \times 2200\Omega}{1200\Omega + 2200\Omega}$$

$$R_{5,6} = 776.47\Omega$$

$$R_T = R_1 + R_{2,3} + R_4 + R_{5,6-7} + R_8$$

$$R_T = 330 + 298.76 + 1000 + 628.57 + 4700$$

$$R_T = 6957.33\Omega$$

$$I_T = \frac{V_{FA}}{R_T}$$

$$I_T = \frac{15V}{6957.33\ \Omega}$$

$$I_T = 2.16\ mA$$

$$I_2 = I_T \times \frac{R_{2,3}}{R_2}$$

$$I_2 = 2.16 \times \frac{298.76}{470}$$

$$I_2 = 1.37\ mA$$

$$I_3 = I_T \times \frac{R_{2,3}}{R_3}$$

$$I_3 = 2.16 \times \frac{298.76}{820}$$

$$I_3 = 0.79\ mA$$

$$I_{TB}, I_{TC} = I_T$$

$$I_{TB} = 2.16\ mA$$

$$I_{TC} = 2.16\ mA$$

$$I_5 = I_T \times \frac{R_{5,6,7}}{R_5}$$

$$I_5 = 2.16 \times \frac{628.57}{1200}$$

$$I_5 = 1.13\ mA$$

$$I_6 = I_T \times \frac{R_{5,6,7}}{R_6}$$

$$I_6 = 2.16 \times \frac{628.57}{2200}$$

$$I_6 = 0.62\ mA$$

$$I_7 = I_T \times \frac{R_{5,6,7}}{R_7}$$

$$I_7 = 2.16 \times \frac{628.57}{3300}$$

$$I_7 = 0.41\ mA$$

$$I_{TD} = I_5 + I_6 + I_7$$

$$I_{TD} = 1.13 + 0.62 + 0.41$$

$$I_{TD} = 2.16\ mA$$

$$I_{TE} = I_{TD}$$

$$I_{TE} = 2.16\ mA$$

- Realice la comparación entre los resultados prácticos y simulados.
- Abra S1 y pare la simulación.

Tabla 5.3. Verificación de la ley de las corrientes de Kirchhoff Figura 5-6

Elemento	I_{TA}	I_2	I_3	I_{TB}	I_{TC}	I_5	I_6	I_7	I_{TD}	I_{TE}	$I_2 + I_3$	$I_5 + I_6 + I_7$
Corriente simulada, (mA)	2.16	1.37	0.79	2.16	2.16	1.13	0.69	0.41	2.16	2.16	2.16	2.16
Corriente calculada, (mA)	2.16	1.37	0.79	2.16	2.16	1.13	0.69	0.41	2.16	2.16	2.16	2.16

7. Preguntas de control

- Explique la relación entre las corrientes que entran y salen de un nodo en un circuito.

La corriente que entra en cualquier nodo de un circuito eléctrico es igual a la corriente que sale de ese nodo.

- En la figura 5-7 la corriente que entra al nodo A es de 0.5 A. $I_1 = 0.25 A$, $I_2 = 0.1 A$. Por tanto, la corriente I_3 debe ser igual a **0.15 A**.

$$\begin{aligned}
 0.5A &= I_1 + I_2 + I_3 \\
 0.5A &= 0.25 + 0.1 + I_3 \\
 I_3 &= 0.5 - 0.25 - 0.1 \\
 I_3 &= 0.15A
 \end{aligned}$$

- En la figura 5-7 la corriente que sale del nodo B es de 1.5 A. La suma de las corrientes I_1, I_2 e I_3 debe ser de **1.5A**.
- Al aplicar la ley de corrientes de Kirchhoff al nodo B de la figura 5-7, la polaridad asignada por convenio a cada corriente es la siguiente:
 - e) I_1 **positiva**
 - f) I_2 **positiva**
 - g) I_3 **positiva**
 - h) I_T **negativa**

- La ecuación que describe la relación entre las corrientes en el nodo A de la figura 5-9, $I_2 = 4A, I_3 = 4A, I_4 = 3A, I_5 = 1A$. $I_1 = \underline{4A}$

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 &= 0 \\ I_1 &= -I_2 + I_3 + I_4 + I_5 \\ I_1 &= -4 + 4 + 3 + 1 \\ I_1 &= 4A \end{aligned}$$

- A partir de la figura 5-6, ¿Qué información necesitaría para hallar I_2 e I_3 en este circuito?

Los datos que se necesitarían para encontrar el valor de las corrientes I_2 e I_3 , son la intensidad total (I_T), y la resistencia equivalente de R_2, R_3 , para seguidamente aplicar la fórmula para cada una respectivamente.

$$I_2 = I_T \times \frac{R_{2,3}}{R_2}$$

$$I_3 = I_T \times \frac{R_{2,3}}{R_3}$$

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J, Bates.2002; Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico; Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

Práctica # 3

1. Tema

Análisis de circuitos mediante corrientes de malla

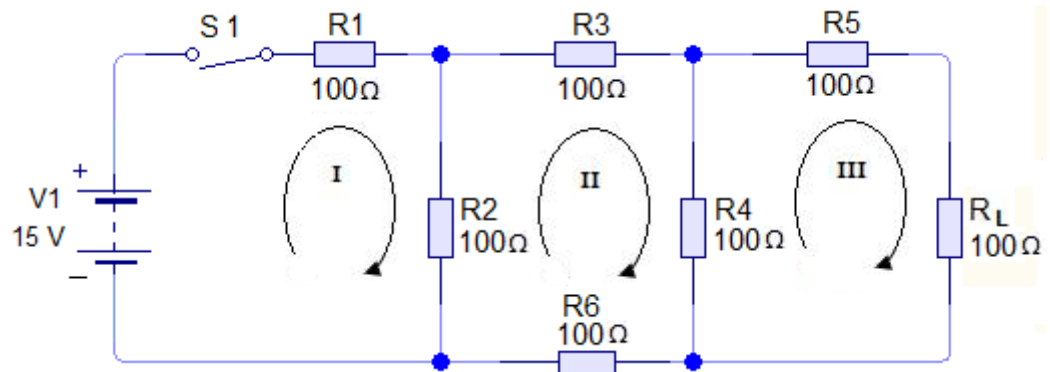
2. Objetivos

- ☞ Verificar el comportamiento de un circuito lineal.
- ☞ Verificar a través del simulador como actúan las corrientes en las diferentes mallas dentro de un circuito lineal.
- ☞ Ver la relación que existe entre los datos calculados con los datos medidos por el simulador.

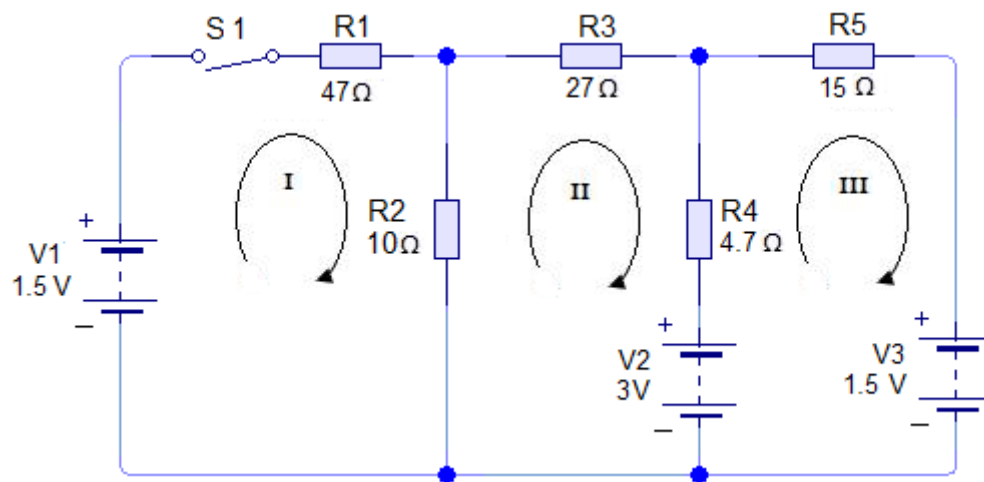
3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 1.5 V
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 3 V
1	Fuente de alimentación	Corriente continua 15 V
1	Resistor	4.7 Ω
1	Resistor	10 Ω
1	Resistor	15 Ω
1	Resistor	27 Ω
1	Resistor	47 Ω
7	Resistor	100 Ω
2	Interruptor	Un polo un tiro
11	Amperímetro	DC
12	Voltímetro	DC

4. Esquemas



a). Con una fuente de voltaje



b). Con tres fuentes de voltaje

Figura 5-10 Circuitos con tres mallas

5. Sistema Categorical

Elementos lineales de circuito

Los resistores se conocen como dispositivos lineales o elementos lineales de circuito. Si un circuito contiene solo resistores u otros tipos de elementos resistivos, entonces se denomina circuito lineal.

En un elemento lineal el voltaje y la corriente se comporta conforme a la ley de ohm; es decir, si el voltaje en un dispositivo se duplica, la corriente en el mismo también se duplica; si el voltaje se reduce en un tercio, la corriente decrece un tercio. Dicho en otra forma, la razón voltaje a corriente es una constante. El resistor es un elemento de circuito que se comporta de esta manera.

El significado de la palabra lineal puede demostrarse con mayor claridad si se traza una gráfica de la relación voltaje-corriente. Con base en el circuito de la figura 5-11 se observó el comportamiento de un resistor de $1\text{k}\Omega$. Un voltaje de cd se hizo variar de 5 a 25 V en incrementos de 5 V. En cada incremento se midió la corriente y se registró en la tabla 5.4. A partir de estos datos se marcaron los puntos V e I y se trazó la gráfica (figura 5-12). La gráfica de una línea recta da origen al término lineal que se aplica a un resistor ordinario. En experimentos posteriores se emplearán elementos del circuito que no son lineales.

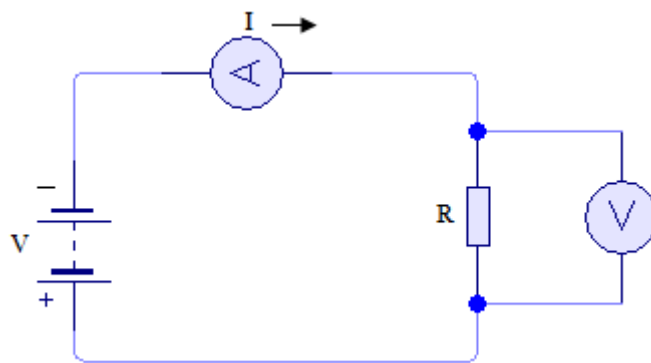


Figura 5-11. Verificación de las características de un circuito lineal.

Tabla 5.4 Relación corriente / voltaje en un resistor de $1\text{k}\Omega$

Voltaje (v)	Corriente (mA)
0	0
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

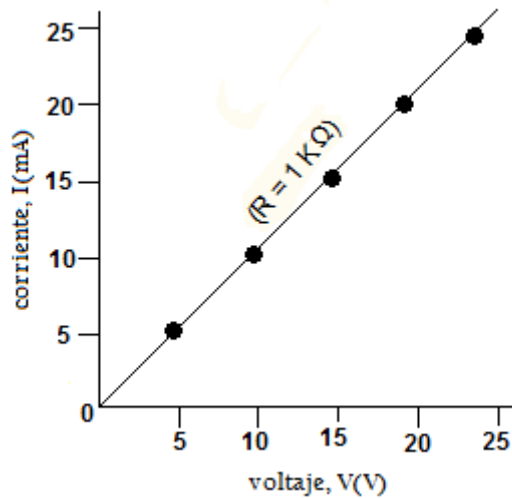


Figura 5-12. Gráfica de las características voltaje-corriente del circuito de la figura 5-11.

Método de corrientes de malla

Los circuitos serie-paralelo pueden analizarse mediante las leyes de voltaje y de corrientes de kirchhoff y la ley de Ohm; sin embargo, estos métodos son laboriosos y requieren mucho tiempo si el circuito tiene más de dos ramas y más de una fuente de voltaje. Para el análisis de circuitos, el método de corrientes de malla utiliza la ley de voltajes de kirchhoff de tal modo que elimina mucho del trabajo matemático. Esto se hace estableciendo ecuaciones de voltaje para lazos cerrados, o mallas, y resolviendo estas ecuaciones en forma simultánea

Ecuaciones de corrientes de malla

El circuito de la figura 5-13 contiene tres ramas y una fuente de voltaje. Suponga que se desea hallar la corriente en R_L . Esto es posible empleando los métodos antes descritos; es decir, combinando resistores en serie y en paralelo hasta obtener la resistencia total y, mediante las leyes de kirchhoff y Ohm, despejar I_L .

El método de corrientes de malla ofrece un procedimiento directo para hallar la corriente en cualquier resistor mediante ecuaciones simultáneas. El primer paso del procedimiento es identificar los trayectos cerrados (también llamados lazos o mallas) en el circuito original. No es necesario que el trayecto contenga fuentes de voltaje, pero al elegir los trayectos cerrados deben incluirse todas las fuentes de voltaje, y se supone que por cada trayecto cerrado circula una corriente. Por costumbre se asume que en cada caso el sentido de la corriente es el de las manecillas del reloj. Con esta corriente supuesta, llamado

corriente de malla, para cada trayecto se escribe la ecuación de la ley de voltajes de kirchhoff.

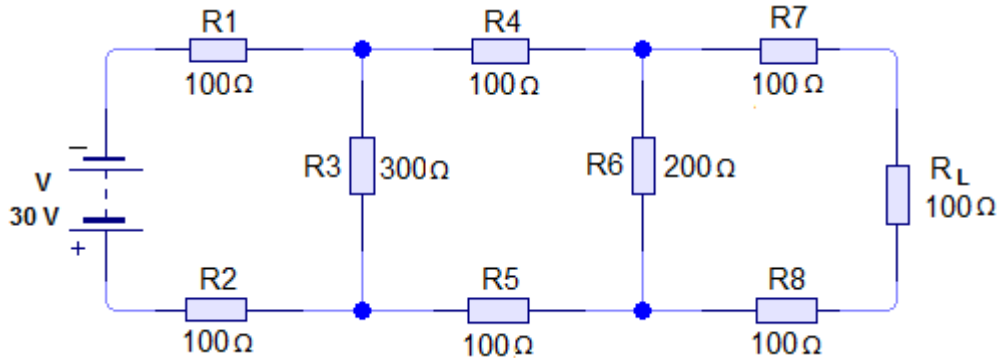


Figura 5-13. Circuito serie-paralelo de tres ramas.

Con frecuencia los lazos incluyen resistores que forman parte de otros lazos. Las caídas de voltaje que causa la corriente en estos otros lazos se deben tener en cuenta al escribir la ecuación de kirchhoff. Para cada lado elegido debe escribirse una ecuación. Esto producirá un sistema de ecuaciones relacionadas que deberán resolverse de manera simultánea. Las corrientes halladas por este procedimiento son las que fluyen por los diversos resistores. Si en un resistor se halla más de una corriente, su suma algebraica será la corriente real en dicho resistor.

Problema. Encontrar la corriente de carga, I_L , en el resistor de carga R_L , del circuito de la figura 6-13.

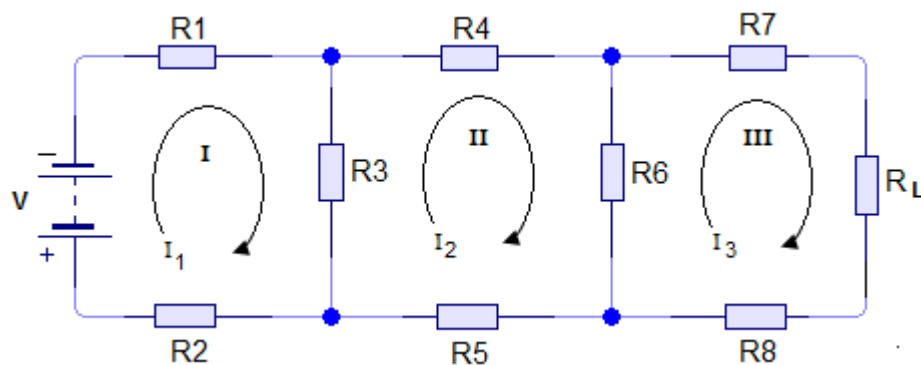


Figura 5-14. Mallas y corrientes de malla establecidas en el circuito de la figura 6-13.

Solución. La figura 5-13 se repite en la figura 5-14 mostrando las corrientes de malla consideradas. En este caso son necesarias tres mallas para incluir todos los resistores y fuentes de voltaje. Los voltajes alrededor de la malla I son:

$$I_1 R_1 + I_1 R_3 + I_1 R_2 - I_2 R_3 = V \quad (5.10)$$

Como la caída de voltaje debida a I_2 en R_3 (en la malla II) se opone a la caída de voltaje $I_1 R_2$, $I_2 R_3$ se resta de las otras caídas de voltaje. Esta ecuación puede simplificarse a

$$I_1(R_1 + R_2 + R_3) - I_2 R_3 = V$$

De igual modo, los voltajes alrededor de las mallas II Y III se pueden escribir en términos de $I_2 e I_3$. Sin embargo, en las mallas II Y III no hay fuentes de voltaje.

$$I_2 R_3 + I_2 R_4 + I_2 R_6 + I_2 R_5 - I_1 R_3 - I_3 R_6 = 0$$

Reordenando los términos y simplificando la ecuación, se tiene:

$$-I_1 R_3 + I_2 (R_3 + R_4 + R_5 + R_6) - I_3 R_6 = 0 \quad (5.11)$$

Para la malla II

$$I_3 R_6 + I_3 R_7 + I_3 R_L + I_3 R_8 - I_2 R_6 = 0$$

Reordenando y simplificando la ecuación, se tiene:

$$-I_2 R_6 + I_3 (R_6 + R_7 + R_8 + R_L) = 0 \quad (5.12)$$

Ahora, las tres ecuaciones de malla pueden describirse como un sistema de ecuaciones simultáneas.

$$I_1(R_1 + R_2 + R_3) - I_2 R_3 = V \quad (5.11)$$

$$-I_1 R_3 + I_2 (R_3 + R_4 + R_5 + R_6) - I_3 R_6 = 0 \quad (5.12)$$

$$-I_2 R_6 + I_3 (R_6 + R_7 + R_8 + R_L) = 0 \quad (5.13)$$

Así, en las ecuaciones se pueden sustituir los valores de la figura 5.13.

$$I_1(100 + 100 + 300) - I_2(300) = 30$$

$$-I_1(300) + I_2(300 + 100 + 100 + 200) - I_3(200) = 0$$

$$-I_2(200) + I_3(200 + 100 + 100 + 100) = 0$$

Las que se convierten en:

$$500I_1 - 300I_2 = 30$$

$$-300I_1 + 700I_2 - 200I_3 = 0$$

$$-200I_2 + 500I_3 = 0$$

La solución del conjunto de ecuaciones simultáneas (5.11), (5.12) y (5.13) son las siguientes corrientes:

$$I_1 = 84.5 \text{ mA}$$

$$I_2 = 40.9 \text{ mA}$$

$$I_3 = 16.4 \text{ mA}$$

Puesto que intensidad I_3 es la única corriente por R_L , también es I_L . Por lo tanto la respuesta al problema es 16.4 mA También observe que $I_1 = 84.5 \text{ mA}$ representa la corriente total que V suministra al circuito.

Aunque en este problema no se solicitaba, en cada resistor es posible hallar la corriente y el voltaje a partir de los valores I_1, I_2 e I_3 .

La corriente que suministra V es $I_1 = 84.5 \text{ mA}$. Puesto que $V=30 \text{ V}$, la resistencia total del circuito es:

$$R_T = \frac{V}{I_1} = \frac{30 \text{ V}}{84.5 \text{ mA}} = 355 \Omega$$

La corriente en R_1 es la misma que en R_2 . Las caídas de voltaje en R_1 y R_2 son:

$$V_{R1} = V_{R2} = IR = 84.5 \text{ mA} \times 100 \Omega = 8.45 \text{ V}$$

La corriente en la malla II, I_2 es de 40.9 mA. Recuerde que para hallar el voltaje en R_3 , se le restó I_2 . Por lo tanto, la corriente real por R_3 es de $84.5 \text{ mA} - 40.9 \text{ mA} = 43.6 \text{ mA}$. El signo positivo de esta corriente significa que la corriente en R_3 tiene el sentido que indica la corriente de malla I_1 .

El voltaje en R_3 es $IR_3 = 43.6 \text{ mA} \times 300 \Omega = 13.1 \text{ V}$. Esto puede verificarse con las caídas de voltaje en R_1 y R_2 .

$$\text{Caída total de voltaje} = 8.45 \text{ V} + 8.45 \text{ V} = 16.9 \text{ V}$$

$$\text{Voltaje en } R_3 = 30.0 \text{ V} - 16.9 \text{ V} = 13.1 \text{ V}$$

La corriente en R_4 y R_5 es igual a la corriente de malla I_2 , o sea, 40.9 mA. La corriente en R_6 es de $I_2 - I_3 = 40.9 \text{ mA} - 16.4 \text{ mA} = 24.5 \text{ mA}$ en el sentido de I_2 . El voltaje en R_4 es igual a la caída de voltaje en R_5 .

$$VR_4 = VR_5 = 40.9 \text{ mA} \times 100 \Omega = 4.09 \text{ V}$$

La caída de voltaje R_6 es de $24.5 \text{ mA} \times 200 \Omega = 4.900 \text{ V}$. De nuevo, esto se puede verificar con las caídas de voltaje anteriores. Al voltaje en R_3 se le restan las caídas de voltaje en R_4 y R_5 .

$$13.1 \text{ V} - 2(4.09) \text{ V} = 13.1 \text{ V} - 8.18 \text{ V} = 4.920 \text{ V}$$

(La diferencia se debe al redondeo del voltaje de 13.08 a 13.1). Por último, la corriente en R_7 , y R_8 y R_L es de 16.4 mA . Las caídas de voltaje en R_7 , y R_8 y R_L son iguales:

$$16.4 \text{ mA} \times 100 \Omega = 1.64 \text{ V}$$

Por lo tanto, la caída de voltaje total es igual a la caída de voltaje en R_6

$$1.66 \text{ V} \times 3 = 4.920 \text{ V}$$

Lo que concuerda con el valor de R_6 antes calculado.

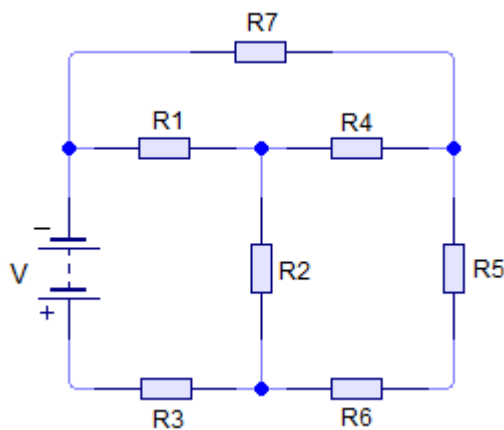
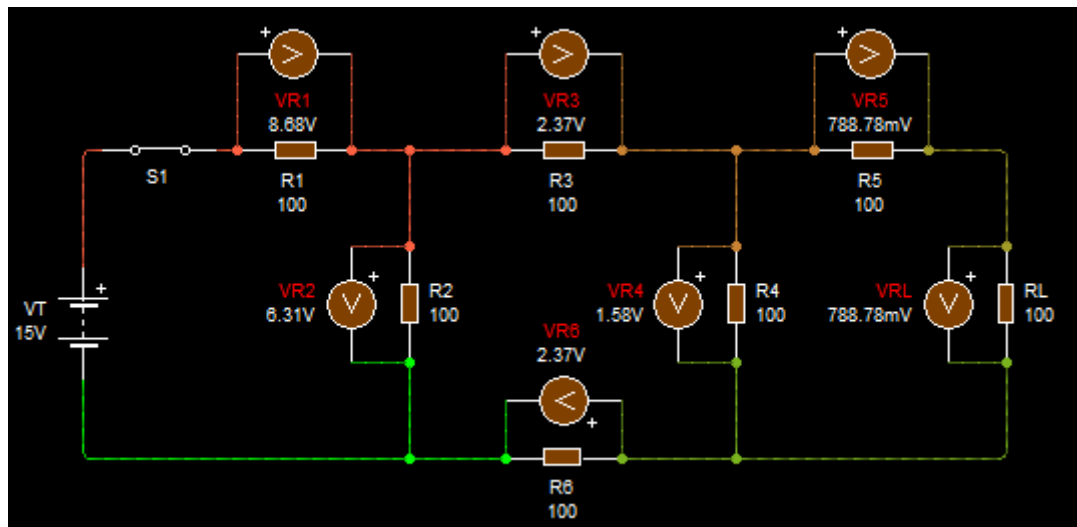


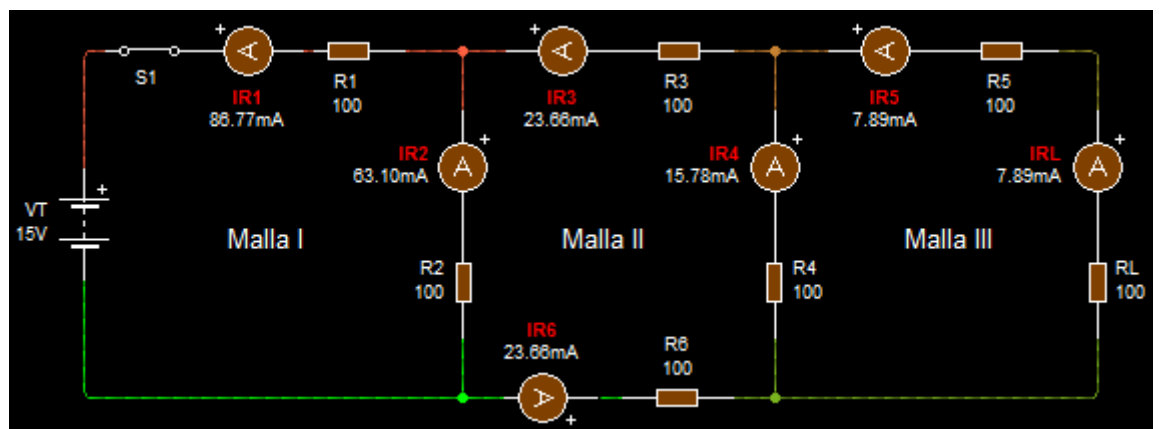
Figura 5-15. Circuito para las preguntas de control

6. Desarrollo

- Con los valores nominales de cada resistor y su respectiva fuente de voltaje arme el circuito de la figura 5-10 a) en el programa de simulación Livewire.
- Haga correr el programa. cierre S1, con la fuente en 15V. Mantenga este voltaje durante el procedimiento.
- Mida el voltaje en cada resistor de R_1 a R_6 y de R_L ; anote los valores en la tabla 5.5.



- Así mismo mida las corrientes en cada resistor de R_1 a R_6 y de R_L ; anote los valores en la tabla 5.5.



- A partir del valor nominal de los resistores y las tres mallas de la figura 5-10, calcule las corrientes de malla I_1 , I_2 e I_3 y registre las respuestas en la tabla 5.5.

Para la malla I

$$I_1 R_1 + I_1 R_2 - I_2 R_2 = V$$

$$I_1 (R_1 + R_2) - I_2 R_2 = V$$

$$I_1 (100 + 100) - I_2 (100) = 15$$

$$200I_1 - 100I_2 = 15$$

Para la malla II

$$I_2 R_2 + I_2 R_3 + I_2 R_4 + I_2 R_6 - I_1 R_2 - I_3 R_4 = 0$$

$$\begin{aligned}
 -I_1R_2 + I_2(R_2 + R_3 + R_4 + R_6) - I_3R_4 &= 0 \\
 -I_1(100) + I_2(100 + 100 + 100 + 100) - I_3(100) &= 0 \\
 -100I_1 + 400I_2 - 100I_3 &= 0
 \end{aligned}$$

Para la malla III

$$\begin{aligned}
 I_3R_4 + I_3R_5 + I_3R_L - I_2R_4 &= 0 \\
 -I_2R_4 + I_3(R_4 + R_5 + R_L) &= 0 \\
 -I_2(100) + I_3(100 + 100 + 100) &= 0 \\
 -100I_2 + 300I_3 &= 0
 \end{aligned}$$

Resolviendo ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 200I_1 - 100I_2 &= 15 \\
 -100I_1 + 400I_2 - 100I_3 &= 0 \\
 -100I_2 + 300I_3 &= 0 \\
 (\times 3) \quad -100I_1 + 400I_2 - 100I_3 &= 0 \\
 -100I_2 + 300I_3 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -300I_1 + 1200I_2 - 300I_3 &= 0 \\
 \underline{-100I_2 + 300I_3 = 0} & \\
 -300I_1 + 1100I_2 &= 0
 \end{aligned}$$

$$(\times 11) \quad 200I_1 - 100I_2 = 15$$

$$\begin{aligned}
 -300I_1 + 1100I_2 &= 0 \\
 \underline{2200I_1 - 1100I_2 = 165} &
 \end{aligned}$$

$$1900I_1 = 165$$

$$I_1 = \frac{165}{1900}$$

$$I_1 = 0.0868 \text{ A}$$

$$I_1 = \mathbf{86.8 \text{ mA}}$$

Corriente malla I

$$\begin{aligned}
 200I_1 - 100I_2 &= 15 \\
 200(0.0868) - 100I_2 &= 15 \\
 17.36 - 100I_2 &= 15 \\
 -100I_2 &= 15 - 17.36 \\
 &= -2.36 \\
 I_2 &= \frac{-2.36}{-100}
 \end{aligned}$$

$$I_2 = 0.0236 \text{ A}$$

$$I_2 = \mathbf{23.6 \text{ mA}}$$

Corriente malla II

$$\begin{aligned}
 -100I_2 + 300I_3 &= 0 \\
 -100(0.0236) + 300I_3 &= 0 \\
 -2.36 + 300I_3 &= 0
 \end{aligned}$$

$$I_3 = \frac{2.36}{300}$$

$$I_3 = 0.0079A$$

$$I_3 = 7.9A \quad \text{Corriente malla III}$$

- Con las respuestas de I_1, I_2 e I_3 , calcule las corrientes en los resistores $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ y R_L , registre sus respuestas en la tabla 5.5.

La corriente en R_1 es igual a la corriente de la malla I

$$I_{R1} = I_1 = 86.8 \text{ mA}$$

La corriente real en R_2 es:

$$I_{R2} = I_1 - I_2$$

$$I_{R2} = 86.8 - 23.6$$

$$I_{R2} = 63.2 \text{ mA}$$

La corriente en R_3 y R_6 es igual a la corriente de la malla II

$$I_{R3} = I_{R6} = 23.6 \text{ mA}$$

La corriente real en R_4 es:

$$I_{R4} = I_2 - I_3$$

$$I_{R4} = 23.6 - 7.9$$

$$I_{R4} = 15.70 \text{ mA}$$

La corriente en R_5 y R_L es igual a la corriente de la malla III

$$I_{R5} = I_{RL} = 7.9 \text{ mA}$$

- A partir de los valores calculados de corrientes en cada resistor, calcule la caída de voltaje para las resistencias $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ y R_L , registre las respuestas en la tabla 5.5.

$$V_{R1} = I_{R1} \times R_1$$

$$V_{R1} = (86.8) \times 100$$

$$V_{R1} = 8.68 \text{ V}$$

$$V_{R2} = I_{R2} \times R_2$$

$$V_{R2} = (63.2) \times 100$$

$$V_{R2} = 6.32 \text{ V}$$

$$V_{R3} = I_{R3} \times R_3$$

$$V_{R3} = (23.6) \times 100$$

$$V_{R3} = 2.36 \text{ V}$$

$$V_{R4} = I_{R4} \times R_4$$

$$V_{R4} = (15.70) \times 100$$

$$V_{R4} = 1.57 \text{ V}$$

$$V_{R5} = I_{R5} \times R_5$$

$$V_{R5} = (7.9) \times 100$$

$$V_{R5} = 0.79 \text{ V}$$

$$V_{R6} = I_{R6} \times R_6$$

$$V_{R6} = (23.6) \times 100$$

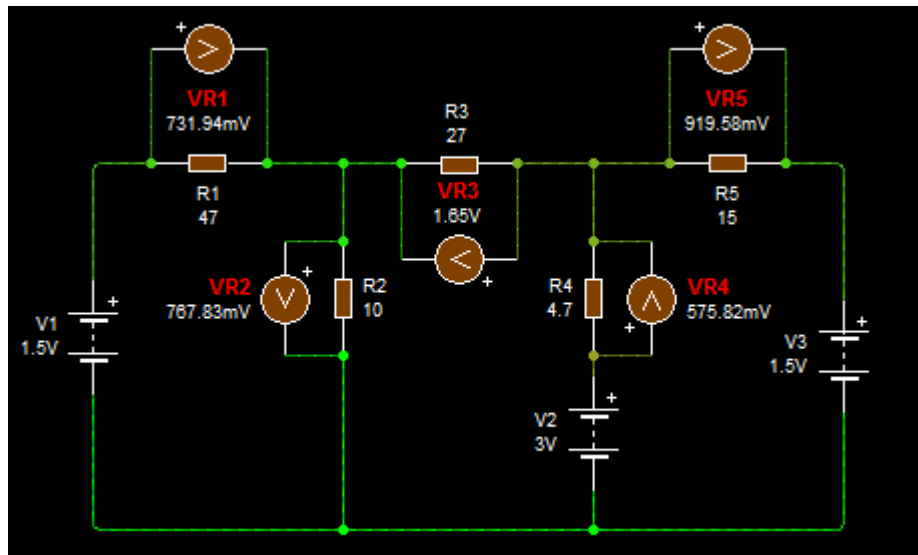
$$V_{R6} = 2.36 \text{ V}$$

$$V_{RL} = I_{RL} \times R_L$$

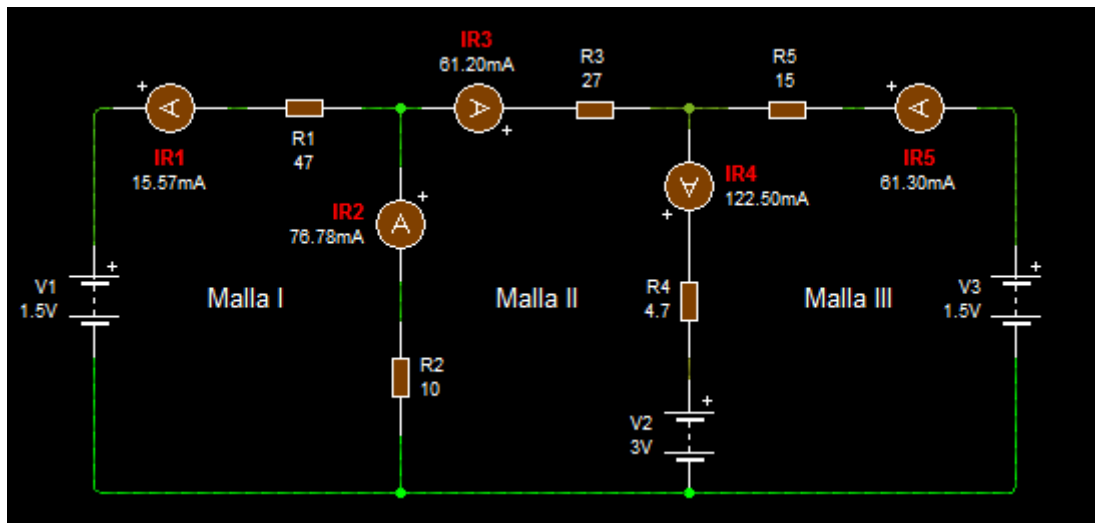
$$V_{RL} = (7.9) \times 100$$

$$V_{RL} = 0.79 \text{ V}$$

- Con los valores especificados en el esquema y sus respectivas fuentes de voltaje arme el circuito de la figura 5-10 b), en el programa de simulación Livewire. Mida el voltaje en cada resistor de R_1 a R_5 ; anote estas medidas en la tabla 5.5.



- De igual manera medir las corrientes en cada resistor de R_1 a R_5 ; anote los valores en la tabla 5.5.



- A partir del valor nominal de los resistores del esquema figura 5-10 b), calcule las corrientes de malla I_1, I_2 e I_3 y registre las respuestas en la tabla 5.5.

Para la malla I

$$R_1 I_1 + R_2 (I_1 - I_2) = V_1$$

$$47 I_1 + 10 I_1 - 10 I_2 = 1.5 \text{ V}$$

$$57 I_1 - 10 I_2 = 1.5 \text{ V}$$

Para la malla II

$$R_2 (I_2 - I_1) + R_3 I_2 + R_4 (I_2 - I_3) = -V_2$$

$$10 I_2 - 10 I_1 + 27 I_2 + 4.7 I_2 - 4.7 I_3 = -3 \text{ V}$$

$$-10 I_1 + 41.7 I_2 - 4.7 I_3 = -3 \text{ V}$$

Para la malla III

$$R_4 (I_3 - I_2) + R_5 I_3 = V_2 - V_3$$

$$4.7 I_3 - 4.7 I_2 + 15 I_3 = 3 - 1.5$$

$$-4.7 I_2 + 19.7 I_3 = 1.5 \text{ V}$$

Resolviendo ecuaciones de las tres mallas ya se tiene los valores de corriente y los valores son:

$I_1 = 15.6 \text{ mA}$	Corriente malla I
$I_2 = -61.3 \text{ mA}$	Corriente malla II
$I_3 = 61.4 \text{ A}$	Corriente malla III

- Con las respuestas de I_1, I_2 e I_3 , calcule las corrientes en los resistores R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 , registre sus respuestas en la tabla 5.5.

La corriente en R_1 es igual a la corriente de la malla I

$$I_{R1} = I_1 = 15.6 \text{ mA}$$

La corriente real en R_2 es:

$$I_{R2} = I_1 - I_2$$

$$I_{R2} = 15.6 - (61.3)$$

$$I_{R2} = 76.9 \text{ mA}$$

La corriente en R_3 es igual a la corriente de la malla II

$$I_{R3} = -61.3 \text{ mA}$$

La corriente real en R_4 es:

$$I_{R4} = I_2 - I_3$$

$$I_{R4} = -61.3 - 61.4$$

$$I_{R4} = -122.7 \text{ mA}$$

La corriente en R_5 es igual a la corriente de la malla III

$$I_{R5} = 61.4 \text{ mA}$$

- A partir de los valores calculados de corrientes en cada resistor, calcule la caída de voltaje para las resistencias R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 , registre las respuestas en la tabla 5.5.

$$V_{R1} = I_{R1} \times R_1$$

$$V_{R1} = (15.6) \times 47$$

$$V_{R1} = 0.73 \text{ V}$$

$$V_{R3} = I_{R3} \times R_3$$

$$V_{R3} = (61.3) \times 27$$

$$V_{R3} = 1.66 \text{ V}$$

$$V_{R2} = I_{R2} \times R_2$$

$$V_{R2} = (76.9) \times 10$$

$$V_{R2} = 0.77 \text{ V}$$

$$V_{R4} = I_{R4} \times R_4$$

$$V_{R4} = (122.7) \times 4.7$$

$$V_{R4} = 0.58 \text{ V}$$

$$V_{R5} = I_{R5} \times R_5$$

$$V_{R5} = (61.4) \times 15$$

$$V_{R5} = 0.92 \text{ V}$$

Tabla 5.5. Verificación de los cálculos de corriente de malla

Figura 5-10 a)								
Resistencia (Ω)		Caída de voltaje (V)		Corriente (mA)		Corriente de malla (mA)		
		Medida	Calculada	Medida	Calculada	Malla	Medida	Calculada
R_1	100	8.68	8.68	86.76	86.8	I	86.76	86.8
R_2	100	6.31	6.32	63.10	63.2			
R_3	100	2.37	2.36	23.66	23.6	II	23.66	23.6
R_4	100	1.58	1.57	15.78	15.7			
R_5	100	0.79	0.79	7.89	7.9			
R_6	100	2.37	2.36	23.66	23.6	III	7.89	7.9
R_L	100	0.79	0.79	7.89	7.9			
Figura 5-10 b)								
Resistencia (Ω)		Caída de voltaje (V)		Corriente (mA)		Corriente de malla (mA)		
		Medida	Calculada	Medida	Calculada	Malla	Medida	Calculada
R_1	47	0.73	0.73	15.57	15.6	I	15.57	15.60
R_2	10	0.77	0.77	76.78	76.90			
R_3	27	1.65	1.66	61.20	61.30	II	61.20	61.30
R_4	4.7	0.58	0.58	122.50	122.70			
R_5	15	0.92	0.92	61.30	61.40	III	61.30	61.40

7. Preguntas de control

- Un circuito que solo contiene resistores se denomina circuito **lineal**.
- La grafica voltaje-corriente de un resistor es una **línea recta**.
- Si el voltaje de la figura 5.11 fuera de 10 V y el resistor original se reemplazará por otro con el doble de resistencia, la corriente (disminuiría/aumentaría) **disminuiría en un 50 por ciento**.
- (falso/verdadero) Para analizar el circuito de la figura 5.11 se debe emplear el método de corrientes de malla. **Falso**.

- (falso/ verdadero) La ley de corrientes de Kirchhoff es la base para establecer las ecuaciones de corriente de lazo. **Falso.**
- Si el sentido de la corriente de malla I_2 se tomara contrario a la dirección de las manecillas del reloj, el sentido real de la corriente en R_L (cambiaría/ no cambiaría) **no cambiaría.**
- El menor número de corrientes de malla que se pueden usar para analizar el circuito de la figura 5-15 es **3.**

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J, Bates.2002; Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico;Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

Práctica # 4

1. Tema

Teorema de Superposición

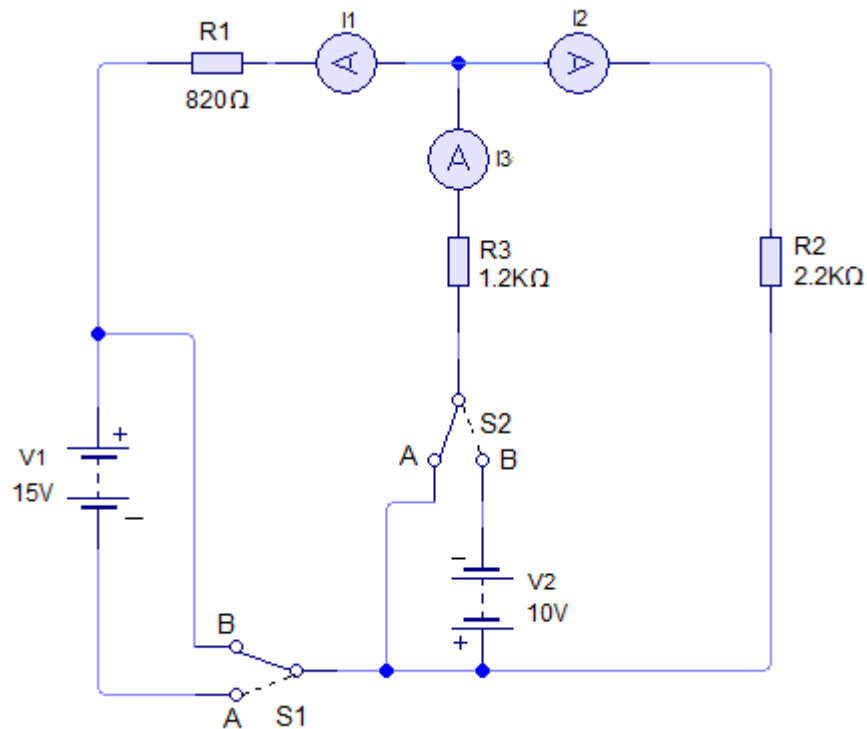
2. Objetivos:

- ☞ Simular el circuito dado en el esquema mediante el simulador Livewire.
- ☞ Mediante el simulador observar cómo funciona el circuito.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo con los valores medidos y simulados.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
1	Resistor	820 Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	2.2 k Ω
2	Interruptor	un polo un tiro
3	Amperímetro	DC
3	Voltímetro	DC

4. Esquema



5-16 Circuito para el desarrollo de la práctica

5. Sistema categorial

Teorema de Superposición

El teorema de superposición establece que:

En un circuito lineal que contenga más de una fuente de voltaje, la corriente en cualquiera de sus elementos es la suma algebraica de las corrientes que produce cada fuente actuando sola. Además, el voltaje en cualquier elemento es la suma algebraica de los voltajes que produce cada fuente actuando sola.

Para aplicar este teorema a la solución de un problema, debe entender que significa “cada fuente actuando sola”. Suponga que una red, como de la figura 5-17 tiene dos fuentes de voltaje V_1 y V_2 , y se desea encontrar el efecto en el circuito de cada fuente, que actúa sola.

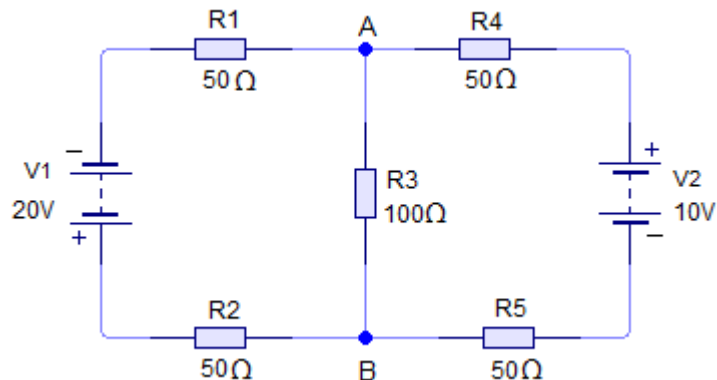


Figura 5-17 Circuito de resistores con dos fuentes de voltaje.

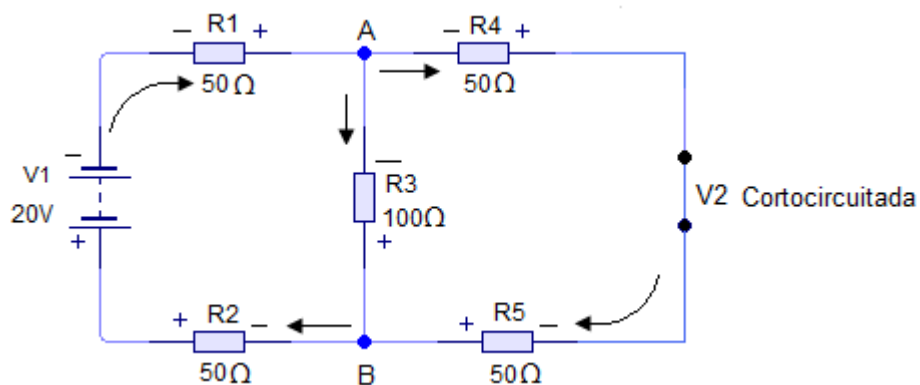


Figura 5-18 Cuando se emplea la superposición el primer paso es reemplazar una de las fuentes de voltaje por su resistencia interna. En este circuito, V_2 es una fuente ideal (sin resistencia interna), por lo que se reemplaza por un circuito.

Para determinar el efecto de V_1 se debe reemplazar V_2 por su resistencia interna y analizar el circuito modificado. Si alguna de las fuentes de voltaje se considera ideal (es decir, sin resistencia interna) o si su resistencia interna es muy baja comparada con otros elementos del circuito, es posible reemplazar la fuente de voltaje por un cortocircuito. En la figura 5-18, V_2 se ha reemplazado por un cortocircuito. La figura 5-18 representa un circuito serie-paralelo con una fuente de voltaje, V_1 . Con los métodos antes aprendidos se pueden calcular las corrientes en cada uno de los resistores, de R_1 a R_5 , así como la corriente que suministra V_1 . También es posible encontrar el voltaje de cada resistor del circuito. De nuevo se hallan las corrientes en R_1 a R_5 y la corriente que suministra V_2 . De igual modo es posible encontrar el voltaje en cada resistor. El paso final es sumar algebraicamente las dos corrientes para hallar la corriente total en cada resistor. El voltaje en cada resistor también será la suma algebraica de dos voltajes. La corriente suministrada por cada fuente de voltaje será la suma algebraica de las corrientes en los cortocircuitos que

reemplazaron las fuentes más la corriente que suministró la propia fuente de voltaje.

Este procedimiento se ilustrará como un problema.

Problema. Con los valores de la figura 5-17 hallar la corriente y el voltaje en cada resistor, así como la corriente que suministra cada fuente de voltaje.

Solución. El primer paso es reemplazar V_2 con un cortocircuito y analizar el nuevo circuito que ilustra la figura 5-18.

Esta figura muestra el efecto de V_1 cuando actúa sola en el circuito, con V_2 en cortocircuito. Para mostrar el efecto de V_1 en el circuito se indican los sentidos de las corrientes y las polaridades de los voltajes.

$$R_T = [(R_4 + R_5) // R_3] + (R_1 + R_2)$$

$$R_T = [(50\Omega + 50\Omega) // 100\Omega] + (50\Omega + 50\Omega)$$

$$R_T = 150\Omega$$

Donde el símbolo // significa “en paralelo”. Ahora se puede calcular la corriente total, I_T , como resultado de V_1 .

$$I_T = \frac{V_1}{R_T}$$

$$I_T = \frac{20\text{ V}}{150\Omega}$$

$$I_T = 133\text{ mA}$$

Por lo tanto:

$$I_{R1} = 133\text{ mA}$$

$$I_{R2} = 133\text{ mA}$$

$$I_{R3} = 66.7\text{ mA}$$

$$I_{R4} = 66.7\text{ mA}$$

$$I_{R5} = 66.7\text{ mA}$$

Las caídas de voltaje en los resistores individuales, como resultado de V_1 Serán:

$$V_{R1} = R_1 \times I_{R1} = 50\Omega \times 133\text{ mA} = 6.67\text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \times I_{R2} = 50\Omega \times 133\text{ mA} = 6.67\text{ V}$$

$$V_{R3} = R_3 \times I_{R3} = 100\Omega \times 66.7\text{ mA} = 6.67\text{ V}$$

$$V_{R4} = R_4 \times I_{R4} = 50\Omega \times 66.7\text{ mA} = 3.33\text{ V}$$

$$V_{R5} = R_5 \times I_{R5} = 50\Omega \times 66.7\text{ mA} = 3.33\text{ V}$$

A continuación V_1 se reemplaza por un cortocircuito y se determinan los valores que sólo corresponden a V_2 , esto aparece en la figura 5-19. Observe que en esta figura los sentidos de las corrientes debido a V_2 son los mismos que antes para R_1, R_2, R_4 y R_5 , pero en R_3 tiene sentido opuesto. Esto es importante cuando las corrientes de ambas fuentes se suman algebraicamente.

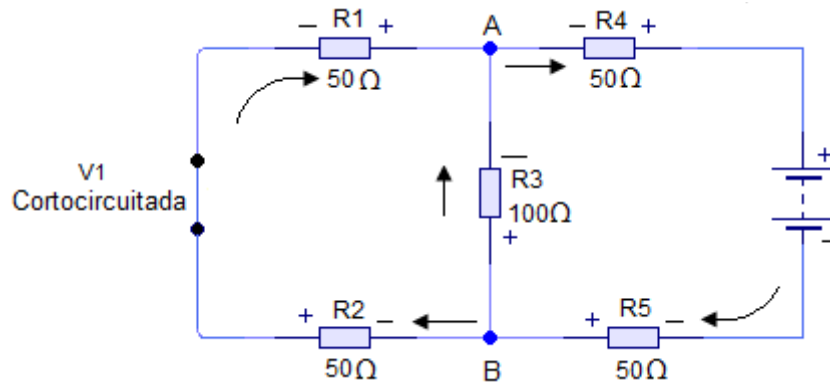


Figura 5-19 Una vez analizado el circuito de la figura 5.18, V_1 se reemplaza por un cortocircuito y se analiza el nuevo circuito.

R_T' es igual a:

$$R_T' = [(R_1 + R_2) // R_3] + (R_4 + R_5)$$

$$R_T' = [(50\Omega + 50\Omega) // 100\Omega] + (50\Omega + 50\Omega)$$

$$R_T' = 150\Omega$$

La corriente total, como resultado de V_2 es:

$$I_T' = \frac{V_2}{R_T'}$$

$$I_T' = \frac{10\text{ V}}{150\Omega}$$

$$I_T' = 66.7\text{ mA}$$

Por lo tanto,

$$I_{R1}' = 33.3\text{ mA}$$

$$I_{R2}' = 133\text{ mA}$$

$I_{R3}' = -33.3\text{ mA}$ (como I_{R3}' tiene un sentido opuesto a I_{R3} que se halló cuando V_1 actuaba sola, se le pone signo menos).

$$I_{R4}' = 66.7\text{ mA}$$

$$I_{R5}' = 66.7\text{ mA}$$

Las caídas de voltaje en los resistores individuales, como resultado de V_2 serán

$$V'_{R1} = R_1 \times I'_{R1} = 50 \, \Omega \times 33.3 \, mA = 1.67 \, V$$

$$V'_{R2} = R_2 \times I'_{R2} = 50 \, \Omega \times 33.3 \, mA = 1.67 \, V$$

$$V'_{R3} = R_3 \times I'_{R3} = 100 \, \Omega \times -33.3 \, mA = -3.33 \, V$$

$$V'_{R4} = R_4 \times I'_{R4} = 50 \, \Omega \times 66.7 \, mA = 3.33 \, V$$

$$V'_{R5} = R_5 \times I'_{R5} = 50 \, \Omega \times 66.7 \, mA = 3.33 \, V$$

Combinando cada una de las corrientes, como lo establece el teorema de superposición, se pueden hallar las corrientes reales debidas a ambas fuentes de voltaje:

$$I_{R1} = 133 \, mA + 33.3 \, mA = 166.3 \, mA$$

$$I_{R2} = 133 \, mA + 33.3 \, mA = 166.3 \, mA$$

$$I_{R3} = 66.7 \, mA + (-33.3 \, mA) = 33.4 \, mA$$

$$I_{R4} = 66.7 \, mA + 66.7 \, mA = 133.4 \, mA$$

$$I_{R5} = 66.7 \, mA + 66.7 \, mA = 133.4 \, mA$$

Ahora es posible hallar los voltajes en cada resistor mediante la ley de Ohm.

$$V_1 = 166.3 \, mA \times 50 \, \Omega = 8.32 \, V$$

$$V_2 = 166.3 \, mA \times 50 \, \Omega = 8.32 \, V$$

$$V_3 = 33.4 \, mA \times 100 \, \Omega = 3.34 \, V$$

$$V_4 = 133.4 \, mA \times 50 \, \Omega = 6.67 \, V$$

$$V_5 = 133.4 \, mA \times 50 \, \Omega = 6.67 \, V$$

Las corrientes y los voltajes se muestran en la figura 5-20; estos valores se deben verificar con las leyes de voltajes y de corrientes de Kirchhoff.

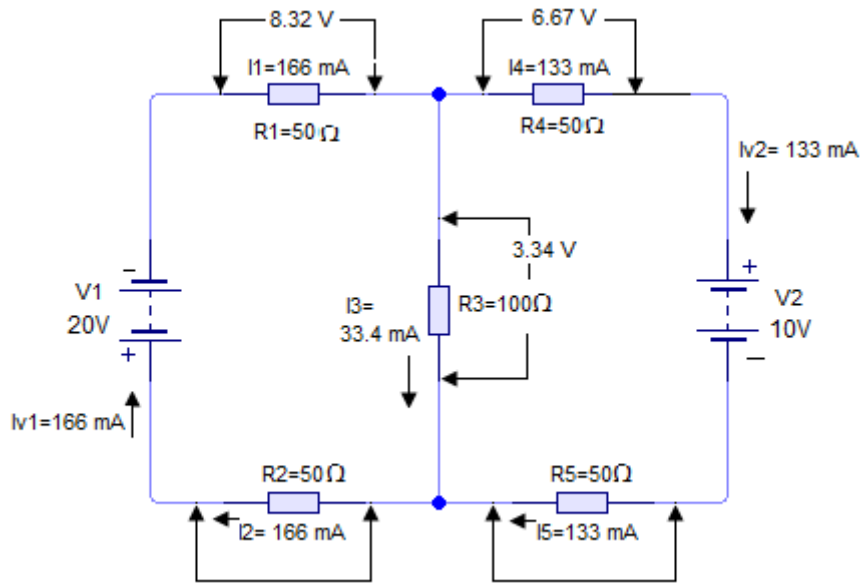


Figura 5-20 Voltajes y corrientes en el circuito del problema

Nota: dado que las respuestas se redondearon a tres cifras significativas, es posible que al verificar los valores de corriente y voltaje no coincidan en la tercera cifra significativa.

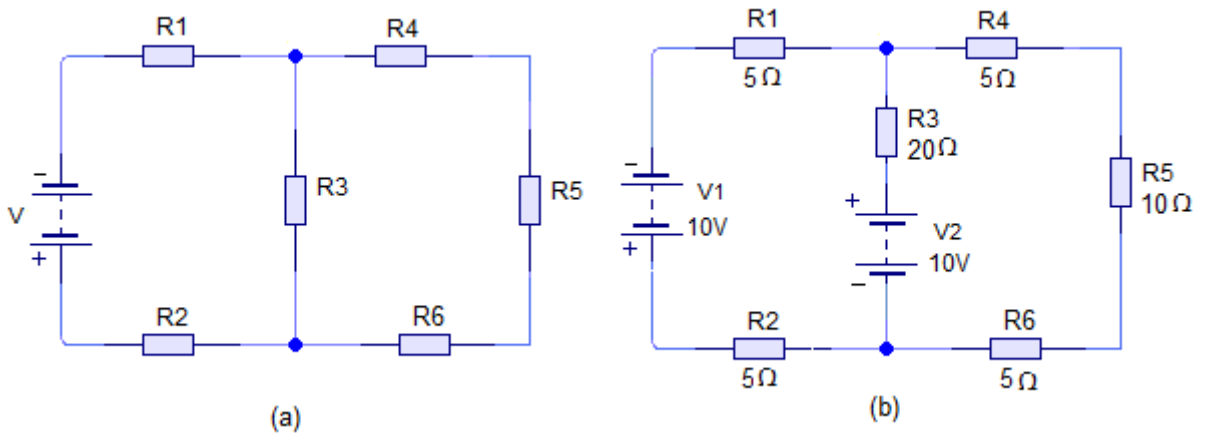
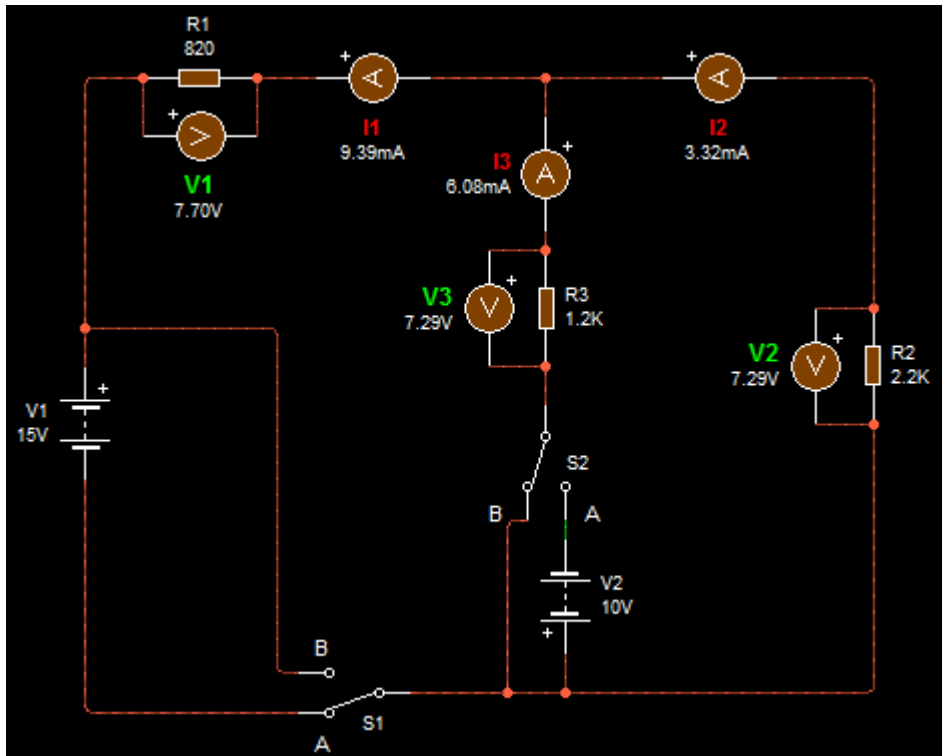


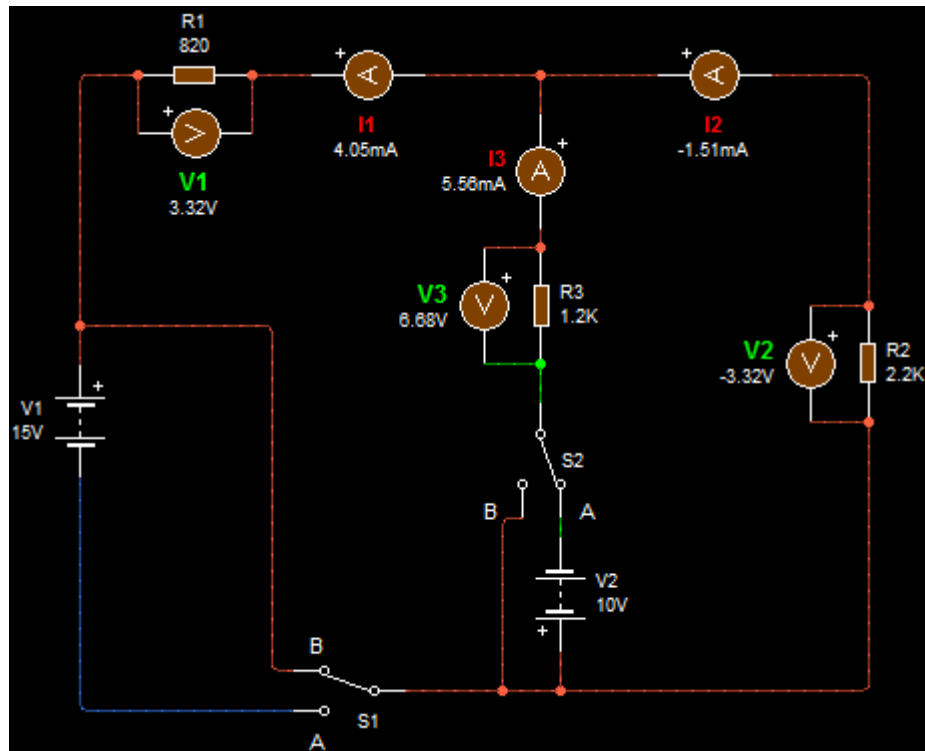
Figura 5-21. Circuito para las preguntas de control

6. Desarrollo

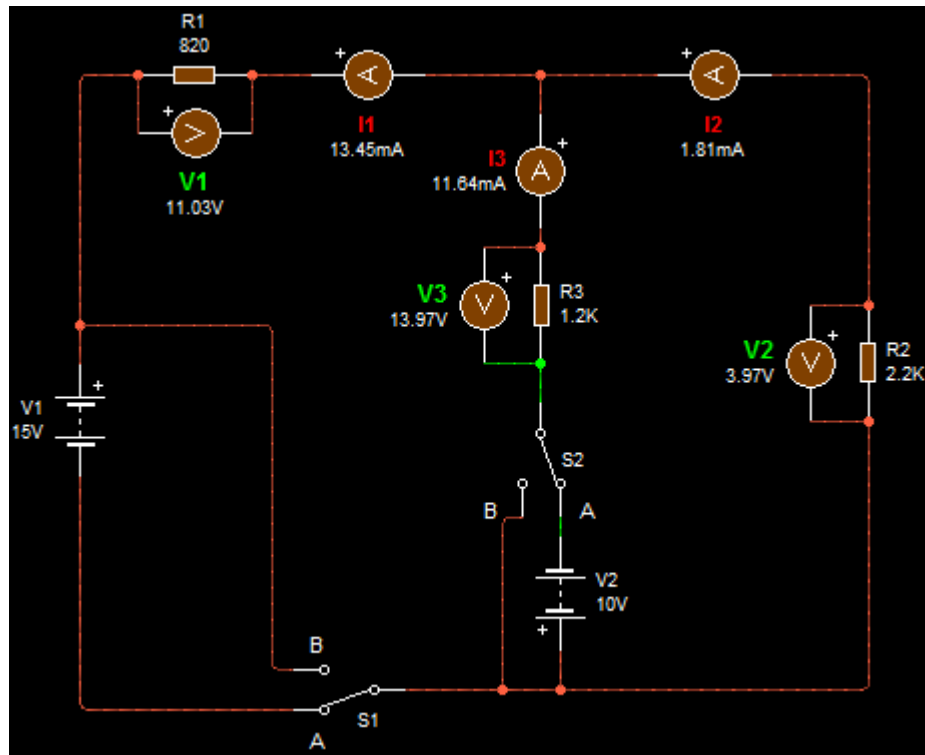
- Con los interruptores en la posición B. arme el circuito de la figura 5-16, observe con cuidado las polaridades de las fuentes de alimentación.
- Haga correr el programa, ponga el interruptor S_1 en la posición A y S_2 en la posición B con lo que V_1 alimentará a R_1, R_2 y R_3 . Mida I_1, I_2 y I_3 , los voltajes V_1 en R_1, V_2 en R_2 y V_3 en R_3 ; registre los valores en la tabla 5.6.



- Ponga S1 en la posición B y S2 en la posición A, con lo que V2 alimentará a R_1, R_2 y R_3 con V_2 . Mida I_1, I_2, I_3 , los voltajes V_1 en R_1, V_2 en R_2 , y V_3 en R_3 ; registre los valores en la tabla 5.7.

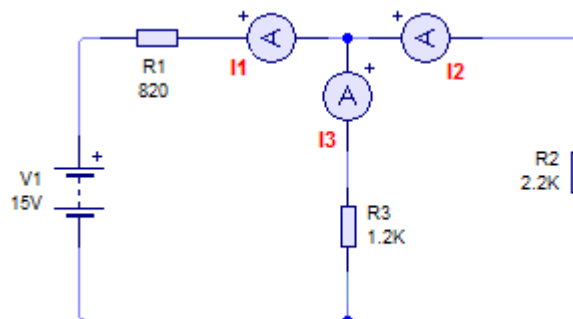


- Con S1 en la posición A (S2 ya debe estar en la posición A), Ahora ambas fuentes alimentan a R_1 , R_2 y R_3 . Mida I_1 , I_2 , I_3 , V_{R1} , V_{R2} y V_{R3} como en los dos pasos anteriores, y registre los valores en la tabla 5.8.



- A partir de la figura 5-16 y con los valores indicados de R_1 , R_2 , R_3 y con los valores de V_1 y V_2 , calcule I_1 , I_2 e I_3 que suministren las dos fuentes mediante el teorema de superposición. Muestre todos los cálculos y diagramas, y registre los valores calculados en la tabla 5.8.

Primera fuente actuando sola



$$R_T = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} + R_1$$

$$R_T = \frac{2200 \times 1200}{2200 + 1200} + 820$$

$$R_T = 1596.47 \Omega$$

$$I_T = \frac{V_1}{R_T}$$

$$I_T = \frac{15}{1596.47}$$

$$I_T = 9.39 \text{ mA}$$

$$I_T = I_1 = 9.39 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \times I_T$$

$$I_2 = \frac{1200}{1200 + 2200} (9.39)$$

$$I_2 = 3.31 \text{ mA}$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \times I_T$$

$$I_3 = \frac{2200}{2200 + 1200} (9.39)$$

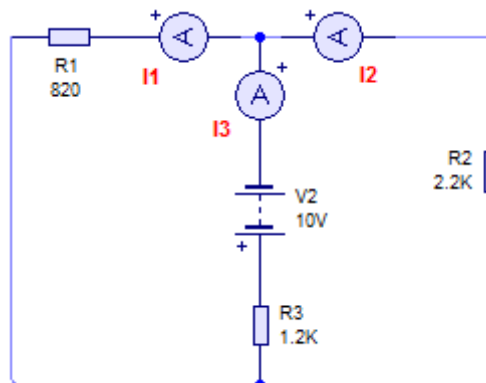
$$I_3 = 6.07 \text{ mA}$$

$$V_{R1} = R_1 \times I_1 = 820 \Omega \times 9.39 \text{ mA} = 7.69 \text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \times I_2 = 2200 \Omega \times 3.31 \text{ mA} = 7.28 \text{ V}$$

$$V_{R3} = R_3 \times I_3 = 1200 \Omega \times 6.07 \text{ mA} = 7.28 \text{ V}$$

Segunda fuente actuando sola



$$R_T' = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

$$R_T' = \frac{820 \times 2200}{820 + 2200} + 1200$$

$$R_T' = 1797.35 \Omega$$

$$I_T' = \frac{V_2}{R_T'}$$

$$I_T' = \frac{10}{1797.35}$$

$$I_T' = 0.0056 \text{ A}$$

$$I_3' = I_T' = 5.56 \text{ mA}$$

$$I_2' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_T'$$

$$I_2' = \frac{820}{820 + 2200} (5.56)$$

$$I_2' = 1.51 \text{ mA}$$

$$I_1' = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times I_T'$$

$$I_1' = \frac{2200}{2200 + 820} (5.56)$$

$$I_1' = 4.05 \text{ mA}$$

$$V'_{R1} = R_1 \times I'_1 = 820 \Omega \times 4.05 \text{ mA} = 3.32 \text{ V}$$

$$V'_{R2} = R_2 \times I'_2 = 2200 \Omega \times 1.51 \text{ mA} = 3.32 \text{ V}$$

$$V'_{R3} = R_3 \times I'_3 = 1200 \Omega \times 5.56 \text{ mA} = 6.67 \text{ V}$$

Corriente actuando las dos fuentes

$$I_{R1} = I_1(E_1) + I'_1(E_2) \qquad I_{R2} = I_2(E_1) - I'_2(E_2)$$

$$I_{R1} = 9.39 + 4.05 \qquad I_{R2} = 3.31 - 1.51$$

$$I_{R1} = 13.44 \text{ mA} \qquad I_{R2} = 1.8 \text{ mA}$$

$$I_{R3} = I_3(E_1) + I'_3(E_2)$$

$$I_{R3} = 6.07 + 5.56$$

$$I_{R3} = 11.63 \text{ mA}$$

Voltaje actuando las dos fuentes

$$V_{R1} = R_1 \times I_{R1} = 820 \Omega \times 13.44 \text{ mA} = 11.02 \text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \times I_{R2} = 2200 \Omega \times 1.8 \text{ mA} = 3.69 \text{ V}$$

$$V_{R3} = R_3 \times I_{R3} = 1200 \Omega \times 11.63 \text{ mA} = 13.69 \text{ V}$$

Tabla 5.6 Efecto de fuente de alimentación (V1) solamente, en la figura 5-16

Corriente Medida (mA)		Voltaje Medido (V)	
I1	9.39	V1	7.70
I2	3.32	V2	7.29
I3	6.08	V3	7.29

Tabla 5.7 Efecto de fuente de alimentación (V2) solamente, en la figura 5-16

Corriente, mA		Voltaje, V	
I1	4.05	V1	3.32
I2	1.51	V2	3.32
I3	5.56	V3	6.68

Tabla 5.8 Efecto de fuente V1 y V2 actuando juntas en la figura 5-16

Valores medidos V1 y V2 juntas				Valores calculados											
Corriente (mA)		Voltaje, (V)		V1 sólo				V2 sólo				V1 y V2 juntas			
				Corriente, (mA)		Voltaje, (V)		Corriente, (mA)		Voltaje, (V)		Corriente, (Ma)		Voltaje, (V)	
<i>I1</i>	13.45	V1	11.03	<i>I1</i>	9.39	V1	7.69	<i>I1</i>	4.05	V1	3.32	<i>I1</i>	13.44	V1	11.02
<i>I2</i>	1.81	V2	3.97	<i>I2</i>	3.31	V2	7.28	<i>I2</i>	1.51	V2	3.32	<i>I1</i>	1.8	V2	3.69
<i>I3</i>	11.64	V3	13.97	<i>I3</i>	6.07	V3	7.28	<i>I3</i>	5.56	V3	6.67	<i>I1</i>	11.63	V3	13.96

7. Preguntas de control

- Explique cómo se utiliza el teorema de superposición para hallar las corrientes en un circuito alimentado por más de una fuente de voltaje.

En un circuito lineal que contenga más de una fuente de voltaje, la corriente en cualquiera de sus elementos es la suma algebraica de las corrientes que produce cada fuente actuando sola. Además, el voltaje en cualquier elemento es la suma algebraica de los voltajes que produce cada fuente actuando sola.

- (falso/verdadero) El teorema de superposición puede aplicarse al circuito de la figura 5-21. **Verdadero.**
- En la figura 5-18 la grafica del voltaje en R_4 contra la corriente por R_4 es una **línea recta.**
- La fuente de 10V de la figura 5-17 hace que fluya **menos** (más/menos) corriente en R_3 de la que suministraría V_1 si fuera la única fuente de voltaje y V_2 se reemplazara por un cortocircuito.
- Al aplicar el teorema de superposición al análisis del circuito de la figura 5-17, V_2 se reemplazará por un **cortocircuito.**
- En el circuito de la figura 5-17 el voltaje en R_5 es de **6.65 V**, esta respuesta se obtiene aplicando en el circuito el teorema de superposición.

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J, Bates.2002; Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico; Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

Práctica # 5

1. Tema

Teorema de Thevenin

2. Objetivos

- ☞ Simular el circuito indicado en esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Determinar el voltaje (V_{TH}) y la resistencia (R_{TH}) equivalente de Thevenin en un circuito de cd con una sola fuente de voltaje.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
1	Fuente de corriente continua	Corriente continua 15V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	390 Ω
1	Resistor	470 Ω
1	Resistor	1k Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
2	Resistor	3.3 k Ω
2	Interruptor	un polo un tiro
1	Voltímetro	DC
1	Amperímetro	DC
1	Multímetro digital	DC

4. Esquema

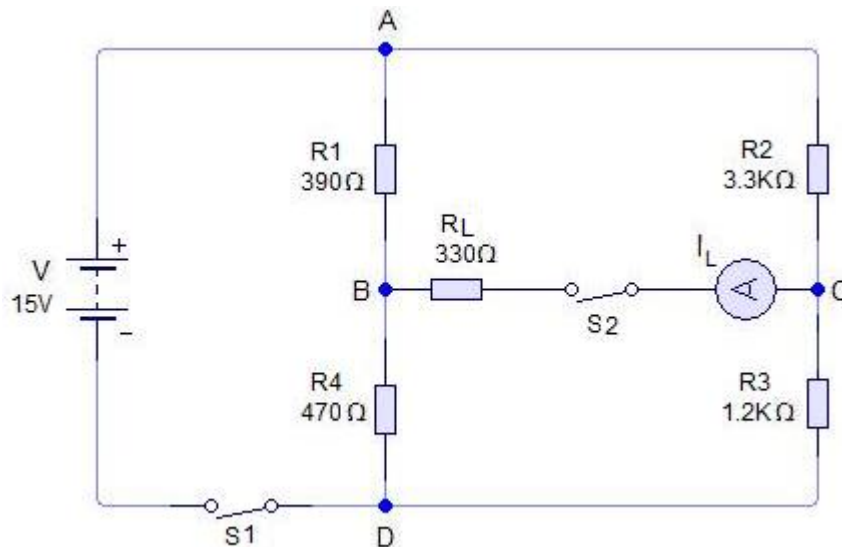


Figura 5-22. Circuito para el desarrollo de la práctica

5. Sistema categorial

Teorema de Thevenin

El teorema de Thevenin es otra herramienta matemática de gran utilidad en la solución de problemas de circuitos lineales complejos. El teorema hace posible determinar el voltaje o la corriente en cualquier parte de un circuito. La técnica empleada implica reducir el circuito complejo a un circuito simple equivalente.

Este teorema establece que cualquier red lineal de dos terminales se puede reemplazar por un circuito simple equivalente que consta de una fuente de voltaje de Thevenin, V_{TH} , en serie con una resistencia interna R_{TH} que hace fluir corriente a través de la carga. Así, el equivalente de Thevenin del circuito de la figura 5-23 a) que alimenta la carga R_L es el circuito de la figura 5-23 d). Si se supiera como calcular los valores de V_{TH} y R_{TH} , el proceso de hallar la corriente I_L por R_L sería la simple aplicación de la ley de Ohm. Las reglas para determinar V_{TH} y R_{TH} son las siguientes:

- El voltaje V_{TH} es el voltaje “que se ve” en las terminales de la carga de la red original con la resistencia de la carga retirada (voltaje de circuito abierto); es decir, es el voltaje que se mediría si en la figura 5-23 a) se colocará un voltímetro entre A y B con la resistencia de la carga suprimida.

- La resistencia R_{TH} es la resistencia que se ve desde las terminales de la carga abierta, mirando hacia la red original cuando las fuentes de voltaje se han cortocircuitado y reemplazado por su resistencia interna.

El desarrollo del circuito equivalente de Thevenin de la figura 5-23 a) es como sigue:

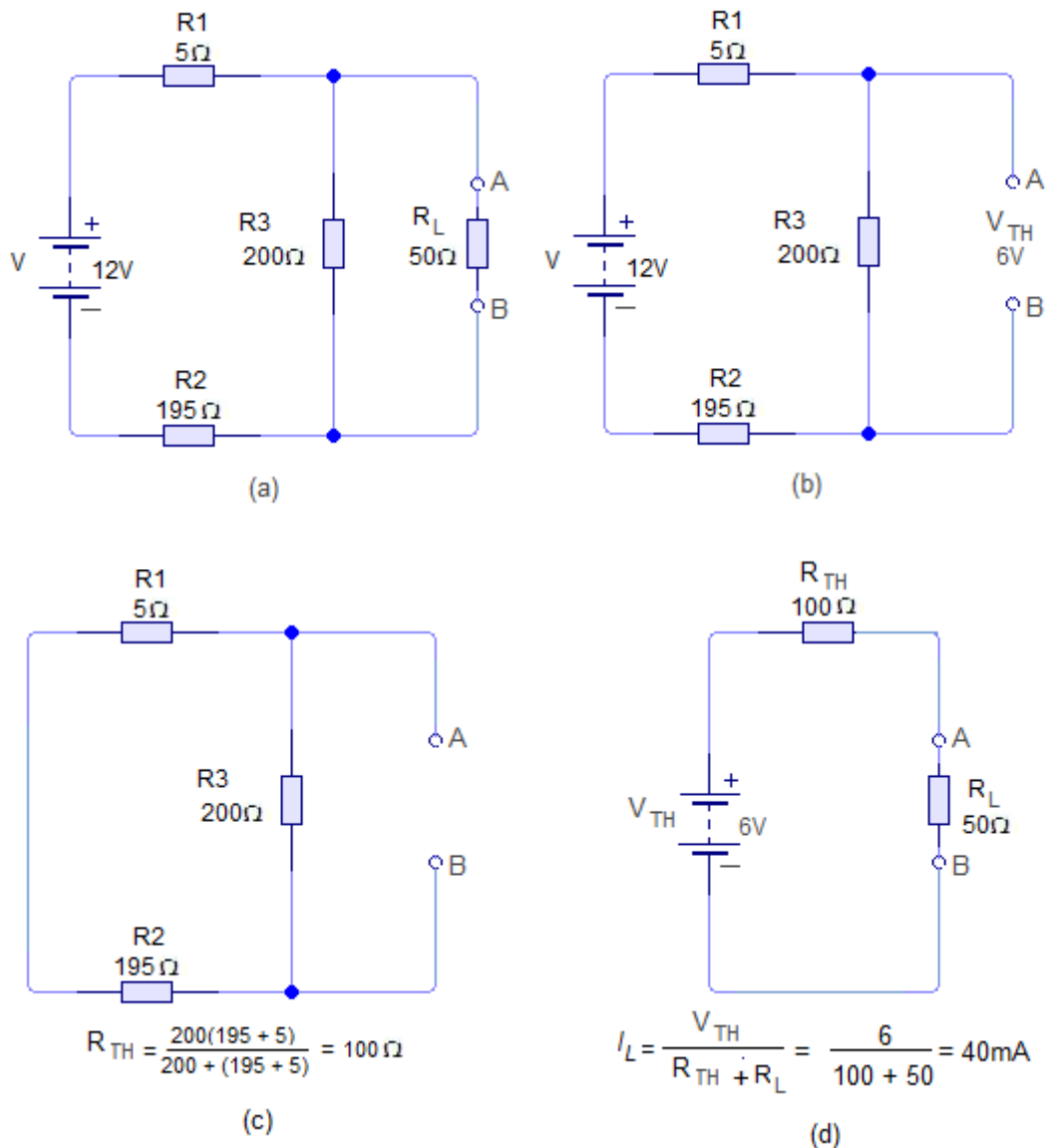


Figura 5-23. Análisis de un circuito serie-paralelo con el teorema de Thevenin

- [(Figura 5-23 b)] Se suprimió la resistencia de carga R_L y se calculó el voltaje entre A y B. En este caso, la caída de voltaje en R_3 es la mitad de voltaje de la fuente, V , dado que R_3 es la mitad de la resistencia total del circuito en serie que consta de V , R_1 (que se supone es la resistencia

interna de la fuente de voltaje (V), R_2 y R_3 . El voltaje de Thevenin equivalente es $V_{TH} = 6 V$.

- [(Figura 5-23 c)] La fuente de voltaje V se cortocircuitó y en el circuito sólo queda su resistencia interna. Ahora se calcula la resistencia equivalente del circuito en paralelo entre A y B.

$$R_{TH} = \frac{(R_1 + R_2) \times R_3}{(R_1 + R_2) + R_3} = \frac{(5 \Omega + 195 \Omega) \times 200 \Omega}{(5 \Omega + 195 \Omega) + 200 \Omega} = \frac{40 k\Omega}{400} = 100 \Omega$$

- [Figura 5-23 d)] El voltaje y la resistencia equivalentes de Thevenin se conectan en serie con la resistencia de carga R_L para formar un circuito en serie simple.

Ahora se puede encontrar la corriente de carga, I_L , mediante la ley de ohm.

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_L + R_{TH}} = \frac{6 V}{50 \Omega + 100 \Omega} = \frac{6 V}{150 \Omega} = 40 mA$$

Podría parecer que el método de Thevenin añade trabajo innecesario al análisis de un circuito y que las leyes de Ohm y Kirchhoff podrían resolver el problema en forma más rápida y fácil. Por supuesto, el problema de muestra se hizo intencionalmente simple para ilustrar el método con mayor claridad, pero aun un circuito sencillo permite probar lo útil que resulta este método. Suponga que fuera necesario hallar I_L para una gama de 10 valores de R_L mientras el resto del circuito permaneciera sin cambios. Sería en exceso laborioso aplicar 10 veces las leyes de kirchhoff para cada valor. Sólo con un cálculo del circuito equivalente de Thevenin se puede hallar con rapidez la corriente I_L para cualquier valor de R_L mediante una sola aplicación de la ley de Ohm.

Análisis de un circuito puente no balanceado según el teorema de Thevenin

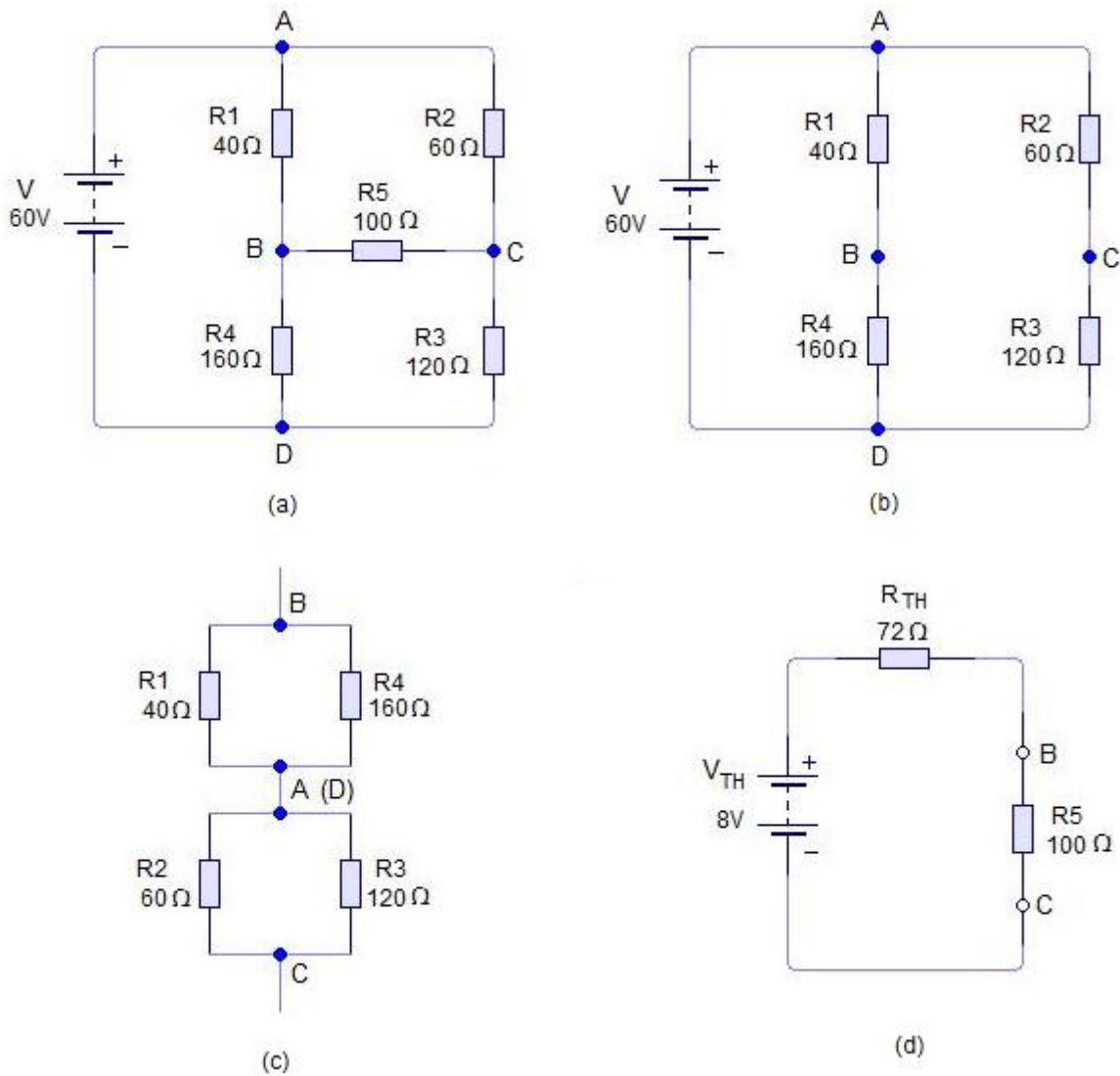


Figura 5-24. Análisis de un circuito puente no balanceado con el teorema de Thevenin

La figura 5-24 a) es un circuito puente no balanceado y se requiere hallar la corriente I por R_5 . El teorema de Thevenin se presta para resolver este problema.

Para este ejercicio, considere R_5 como la carga. El problema, entonces, es transformar el circuito en su equivalente de Thevenin que suministra corriente a R_5 .

El voltaje de Thevenin, V_{TH} , se halla retirando R_5 del circuito y determinando V_{BC} en la figura 5-24 b). La diferencia de voltaje entre BD y CD será V_{BC} . Los voltajes V_{BD} y V_{CD} se pueden encontrar en forma directa con cocientes de resistencias.

$$V_{BD} = \frac{R_4}{(R_1+R_4)} \times V$$

$$V_{CD} = \frac{R_4}{(R_2+R_3)} \times V$$

$$V_{BD} = \frac{160 \Omega}{200 \Omega} \times 60 V = 48 V$$

$$V_{CD} = \frac{120 \Omega}{180 \Omega} \times 60 V = 40 V$$

$$V_{BD} - V_{CD} = V_{BC} = 48 V - 40 V = 8 V = V_{TH}$$

La resistencia de Thevenin, R_{TH} , se halla poniendo en cortocircuito la fuente de voltaje y sustituyéndola por su resistencia interna. En este caso se supone que V es una fuente de voltaje ideal, por lo que su resistencia interna es cero. Así, AD está, en efecto, en cortocircuito. La resistencia entre B y C (la resistencia equivalente de Thevenin) puede verse con mayor facilidad si el circuito de la figura 5-24 b) se vuelve a dibujar con AD en cortocircuito. La figura 5-24 c) muestra BC con más claridad, lo que facilita encontrar R_{BC} .

El resistor R_1 en paralelo con R_4 resulta en:

$$\frac{40 \Omega \times 160 \Omega}{40 \Omega + 160 \Omega} = \frac{6.4 k\Omega}{200} = 32 \Omega$$

El resistor R_2 en paralelo con R_3 resulta en:

$$\frac{40 \Omega \times 120 \Omega}{40 \Omega + 120 \Omega} = \frac{7.2 k\Omega}{180} = 40 \Omega$$

Por lo tanto:

$$R_{BC} = 32 \Omega + 40 \Omega = 72 \Omega = R_{TH}$$

Al sustituir estos valores en el circuito equivalente de Thevenin (figura 5-24 d) y despejar I , se obtiene

$$I = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_5} = \frac{8 V}{172 \Omega} = 46.5 mA$$

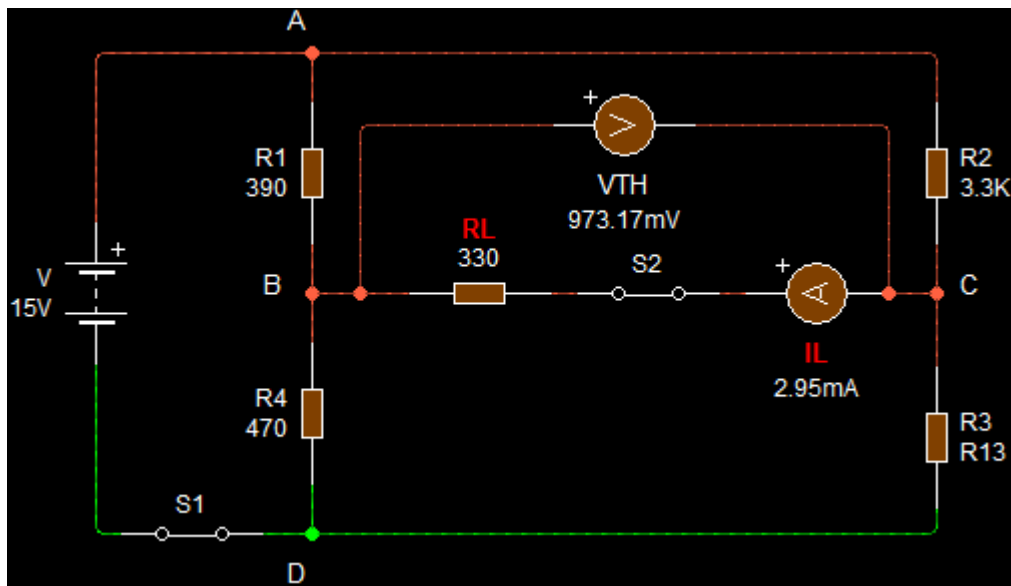
Verificación experimental del teorema de Thevenin

Por medición es posible determinar los valores de V_{TH} y R_{TH} para una carga R_L en una red específica. Luego con experimentos, es posible ajustar la salida de una fuente de alimentación regulada en V_{TH} , y conectar un resistor cuyo valor sea R_{TH} en serie con V_{TH} y R_L . En este circuito equivalente se puede medir I . Si el valor medido de I_L en R_L en la red original es igual que la I medida en el equivalente de Thevenin, se tiene una verificación del teorema de Thevenin. Para una verificación más completa, este proceso tendría que repetirse muchas veces con circuitos aleatorios.

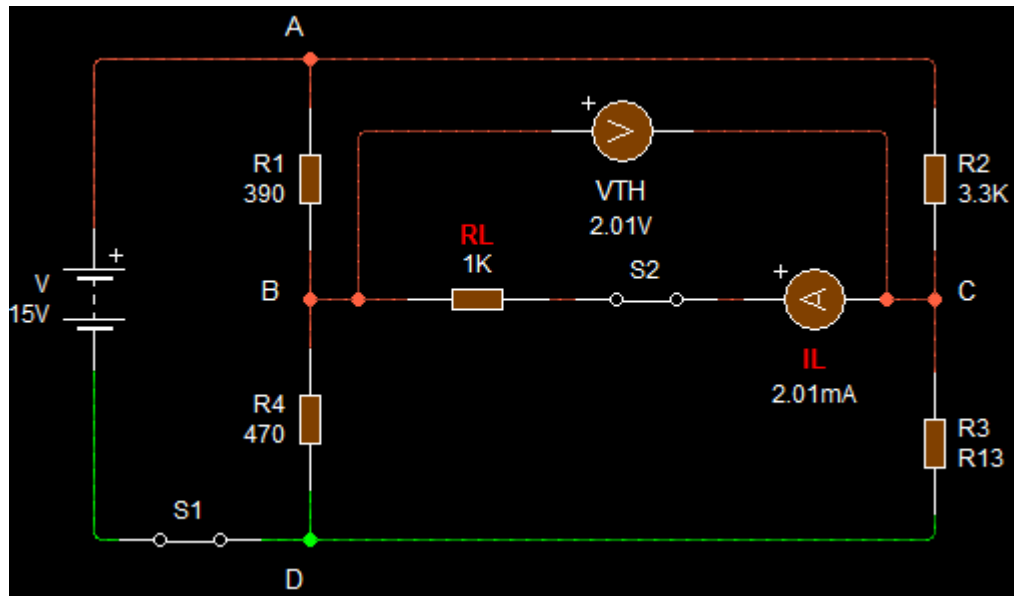
6. Desarrollo

- Con la fuente en 15V y los valores nominales de los resistores arme el circuito de la figura 5-22, haga correr el programa, cierre S1, S2 y mida I_L para cada valor del resistor de carga $R_L = 330\Omega, 1k\Omega$ y $3.3k\Omega$. Registre este valor en la tabla 5.9, circuito original. Abra S2, S1 debe permanecer cerrado.

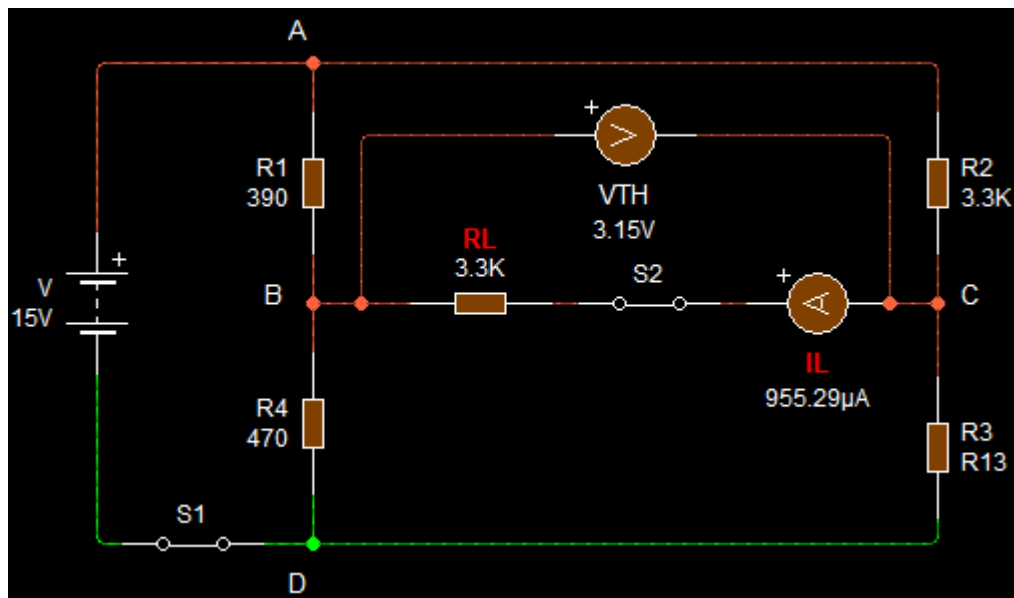
Para $R_L = 330\Omega$



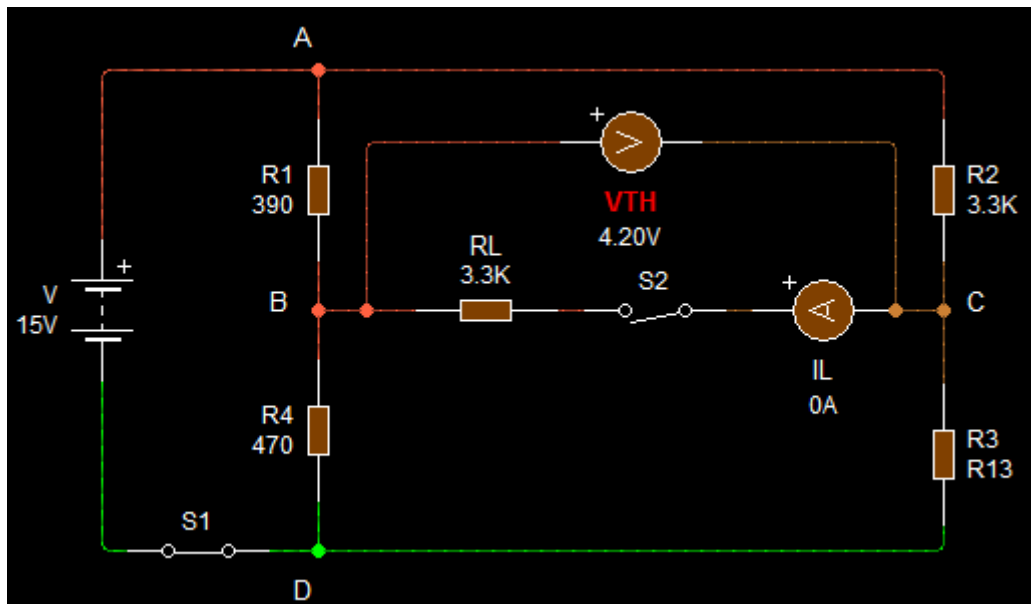
Para $R_L = 1\text{k}\Omega$



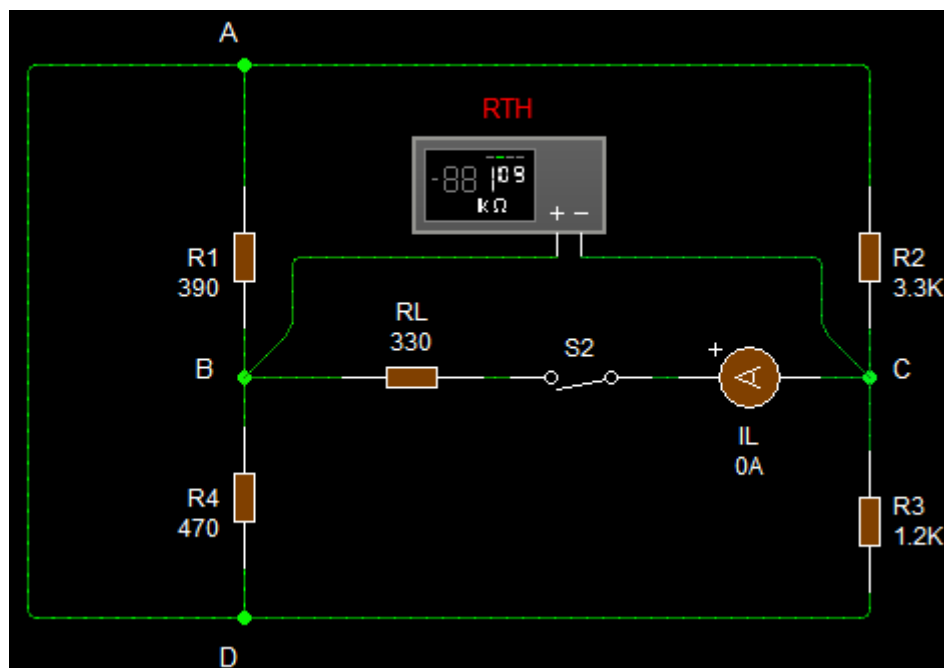
Para $R_L = 3,3\text{k}\Omega$



- Con S_1 cerrado y S_2 abierto mida el voltaje entre B y C (figura 5-22). Este es el voltaje V_{TH} ; anote el valor en la tabla 5.9. Abra S_1 .

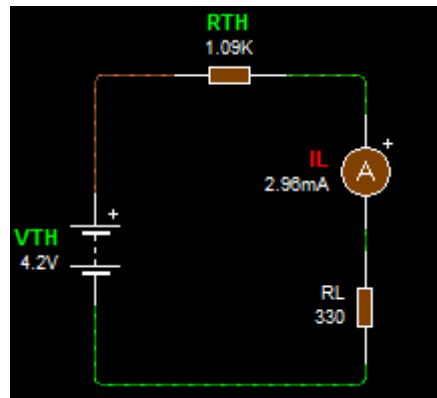


- Retire la fuente de alimentación, ponga en cortocircuito AD conectando los dos puntos. Con S2 abierto conecte un óhmetro entre B y C para medir la resistencia entre estos puntos, R_{TH} . Registre el valor en la tabla 5.9.

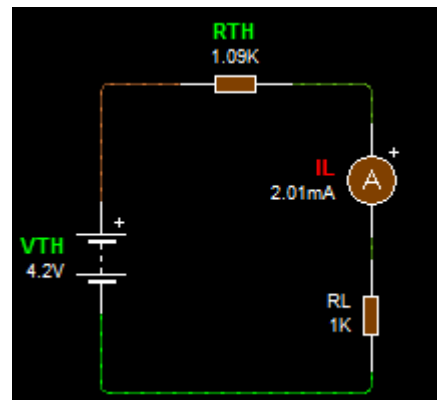


- Arme el circuito equivalente de Thevenin con los valores medidos de V_{TH} y R_{TH} , mida I_L para los valores de 330Ω, 1 kΩ y 3.3 kΩ de la resistencia R_L . Registre estos valores en la tabla 5.9 en la columna circuito equivalente.

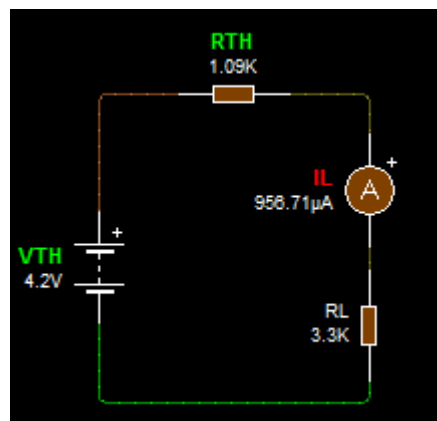
Para $R_L = 330\Omega$



Para $R_L = 1k\Omega$



Para $R_L = 3.3k\Omega$



- Con los valores indicados en la figura 5-22, calcule V_{TH} y R_{TH} ; registre las respuestas en la tabla 5.9.

$$V_{TH} = V_{BD} - V_{CD}$$

$$V_{TH} = \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} \right) V - \left(\frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) V$$

$$V_{TH} = \left(\frac{470}{390 + 470} \right) 15 - \left(\frac{1200}{1200 + 3300} \right) 15$$

$$V_{TH} = 8.19 - 4$$

$$V_{TH} = 4.19 \text{ V}$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \times R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{TH} = \frac{390 \times 470}{390 + 470} + \frac{3300 \times 1200}{3300 + 1200}$$

$$R_{TH} = 213.14 + 880$$

$$R_{TH} = 1093.14 \Omega$$

$$R_{TH} = 1.09 \text{ k}\Omega$$

- Con los valores de V_{TH} y R_{TH} calcule el valor de I_L para los valores de 330Ω , $1 \text{ k}\Omega$ y $3.3 \text{ k}\Omega$ de la resistencia R_L , registre los valores en la tabla 5.9.

Para 330Ω

$$V_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) V_{TH}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

$$V_L = \left(\frac{330}{330 + 1093.14} \right) 4.19$$

$$I_L = \frac{0.97}{330}$$

$$V_L = 0.97 \text{ V}$$

$$I_L = 0.0029 \text{ A}$$

Para $1 \text{ k}\Omega$

$$V_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) V_{TH}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

$$V_L = \left(\frac{1000}{1000 + 1093.14} \right) 4.19$$

$$I_L = \frac{2}{1000}$$

$$V_L = 2 \text{ V}$$

$$I_L = 0.002 \text{ A}$$

Para $3.3 \text{ k}\Omega$

$$V_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) V_{TH}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

$$V_L = \left(\frac{3300}{3300 + 1093.14} \right) 4.19$$

$$I_L = \frac{3.15}{3300}$$

$$V_L = 3.15 V$$

$$I_L = 0.00095 A$$

Tabla 5.9 Mediciones para verificar el teorema de Thevenin figura 5-22

Carga R_L	$V_{TH}(V)$		$R_{TH}(\Omega)$		$I_L(mA)$		
	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido		Calculado
					Circuito original	Circuito equivalente Thevenin	
330 Ω	4.20	4.19	1.09k	1.09k	2.95	2.96	2.9
1k Ω	4.20	4.19	1.09k	1.09k	2.00	2.01	2
3.3k Ω	4.20	4.19	1.09k	1.09k	0.96	0.96	0.95

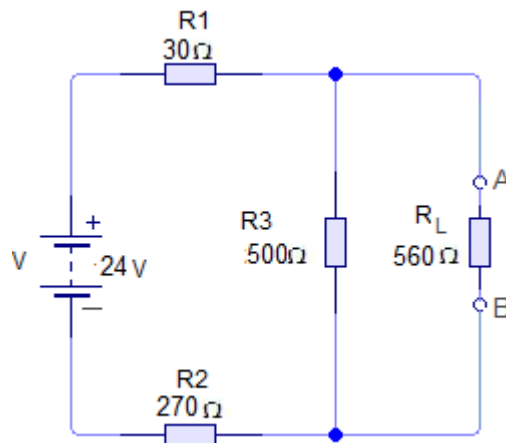


Figura 5-25

7. Autoevaluación

- ¿Cuál es la forma para reconocer un circuito equivalente de Thevenin?

La forma de Thevenin equivalente de cualquier circuito resistivo de dos terminales consta de una fuente de voltaje equivalente (V_{TH}) en serie con una resistencia equivalente (R_{TH}).

- Explique cómo se usa el teorema de Thevenin para convertir cualquier red lineal de dos terminales en un circuito simple equivalente que conste de una resistencia en serie con una fuente de voltaje.
 - Abrir las dos terminales (eliminar cualquier carga) entre las que se desea encontrar el circuito equivalente de Thevenin.
 - Determinar el voltaje V_{TH} , entre las dos terminales abiertas.
 - Determinar la resistencia R_{TH} entre las dos terminales abiertas con todas fuentes reemplazadas por sus resistencias internas (fuente de voltaje ideales en cortocircuito y fuentes de corriente ideales abiertas).
 - Conectar V_{TH} y R_{TH} en serie para producir el equivalente de Thevenin completo del circuito original.
 - Reemplazar la carga eliminada en el paso 1 entre las terminales del circuito equivalente de Thevenin. Ahora se pueden calcular la corriente y el voltaje que haya en la carga utilizando solamente la ley de Ohm. Tienen el mismo valor que la corriente y el voltaje presentes en la carga del circuito original.

- A partir de los datos de la tabla 5-9 ¿Las mediciones correspondientes de I_L circuito original y circuito equivalente deben ser iguales? Explique por qué.

Los datos medidos si deben ser iguales, porque los valores de voltaje y de la resistencia equivalente dependen de los valores del circuito original.

- Explique una ventaja del teorema de Thevenin cuando se buscan las corrientes de carga en un circuito de cd.

La ventaja del teorema de Thevenin cuando se trata de encontrar la corriente para cualquier carga, es que el circuito equivalente puede reemplazar al circuito original en cuanto a cualquier carga externa. Cualquier resistor de carga conectado entre las terminales de un circuito equivalente de Thevenin tendrá la misma corriente a través de él y el mismo voltaje entre sus extremos como si estuviera conectado a las terminales del circuito original.

- Considere el circuito de la figura 5-25 donde $V = 24V$, $R_1 = 30\Omega$, $R_2 = 270\Omega$, $R_3 = 500\Omega$, $R_L = 560\Omega$, y suponga que la resistencia interna de la fuente es cero. Halle los valores siguientes: V_{TH} , R_{TH} , I_L .

$$R_{TH} = \frac{(R_1 + R_2) \times R_3}{(R_1 + R_2) + R_3}$$

$$V_{TH} = \frac{R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)}$$

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L}$$

$$R_{TH} = \frac{(30+270) \times 500}{(30+270)+ 500}$$

$$V_{TH} = \frac{500}{30+270+ 500}$$

$$I_L = \frac{15}{187.5 + 560}$$

$$R_{TH} = \underline{187.5 \Omega}$$

$$V_{TH} = \underline{15 V}$$

$$I_L = \underline{0.02 A}$$

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J, Bates.2002; Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico;Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

Práctica # 6

1. Tema:

Teorema de Norton

2. Objetivos

- ☞ Simular el circuito indicado en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Determinar los valores de la fuente de corriente constante de Norton, I_N , y la resistencia de la fuente de corriente de Norton, R_N , en un circuito de cd con una o dos fuentes de voltaje.
- ☞ Comparar los resultados obtenidos en la simulación con los conseguidos matemáticamente.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V
1	Resistor	330 Ω
1	Resistor	560 Ω
1	Resistor	680 Ω
1	Resistor	1.2 k Ω
1	Resistor	1.8 k Ω
1	Resistor	2.7 k Ω
2	Interruptor	un polo un tiro
3	Interruptor	un polo dos tiros
2	Amperímetro	DC

4. Esquema

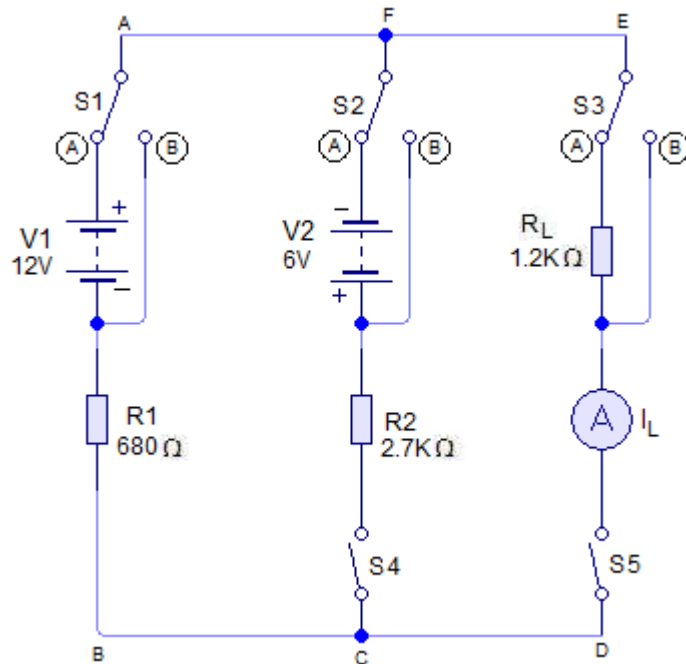


Figura 5-26. Circuito para el desarrollo de la práctica

5. Sistema categorial

Teorema de Norton

El teorema de Norton establece que cualquier red lineal de dos terminales se pueden sustituir por un circuito simple equivalente que conste de una fuente de corriente constante, I_N , en paralelo con una resistencia interna, R_N . La figura 5-27 a) ilustra una red real que termina en una resistencia de carga, R_L , la figura 5-27 b) muestra el circuito equivalente de Norton. La corriente de Norton, I_N , se distribuye entre la resistencia, R_N , y la carga, R_L .

Respecto a la figura 5-27 a), las reglas para determinar las constantes en el circuito equivalente de Norton son las siguientes:

- La corriente constante, I_N , es la que fluiría por AB si la resistencia de carga entre A y B se reemplazara por un circuito.
- La resistencia de Norton, R_N , es la que se ve desde las terminales AB con la carga retirada y las fuentes de voltaje en cortocircuito reemplazadas por su resistencia interna. Así, R_N se define exactamente igual a la resistencia de Thevenin, R_{TH} . Por lo tanto, $R_N = R_{TH}$.

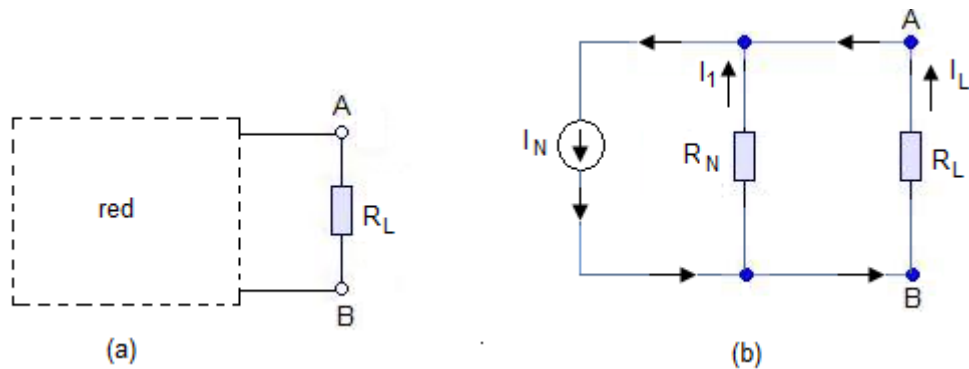


Figura 5-27 El circuito equivalente de Norton consta de una fuente de corriente constante, I_N , y una resistencia de derivación, R_N .

Aplicaciones

Con base en el circuito de la figura 5-28 a) se desea hallar la corriente I_L por R_L mediante el teorema de Norton. (Por supuesto, este circuito también se puede analizar con las leyes de Ohm y de Kirchhoff, así como por los métodos de malla y de Thevenin.

El desarrollo del circuito equivalente de Norton de la figura 5-28 a) puede observarse en las figuras b), c) y d).

- (Figura 5-28 b). El resistor de carga, R_L , se pone en cortocircuito, cortocircuitando así a R_3 . La corriente que V_T produce es I_N .

$$I_N = \frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{20\text{ V}}{5\ \Omega + 195\ \Omega} = \frac{20\text{ V}}{200\ \Omega}$$

$$I_N = 100\text{ mA}$$

- (Figura 5-28 c) La fuente de voltaje, V , se pone en cortocircuito y se reemplaza por su resistencia interna. Con R_L retirada, entre A y B se calcula la resistencia. La resistencia es R_N .

$$R_N = \frac{(R_1 + R_2) \times (R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(5\ \Omega + 195\ \Omega) \times (200\ \Omega)}{5\ \Omega + 195\ \Omega + 200\ \Omega}$$

$$R_N = \frac{40\text{ K}\Omega}{400} = 100\ \Omega$$

- (Figura 5-28 d) El circuito original se sustituye por la fuente de corriente constante de Norton, $I_N = 100\text{ mA}$ en paralelo con la resistencia de Norton, $R_N = 100\ \Omega$. La resistencia de carga, R_L , se conecta al circuito equivalente de Norton. Ahora se puede calcular el valor de I_L , según la regla del divisor de corriente.

$$I_L = \frac{I_N R_N}{R_L + R_N} = \frac{(100 \text{ mA})(100 \Omega)}{(350 \Omega + 100 \Omega)} = \frac{10 \text{ V}}{450 \Omega} = 22 \text{ mA}$$

Como en el caso del teorema de Thevenin, el teorema de Norton es útil en aplicaciones en las que es necesario calcular la corriente de carga conforme la resistencia de carga varía en un amplio intervalo de valores.

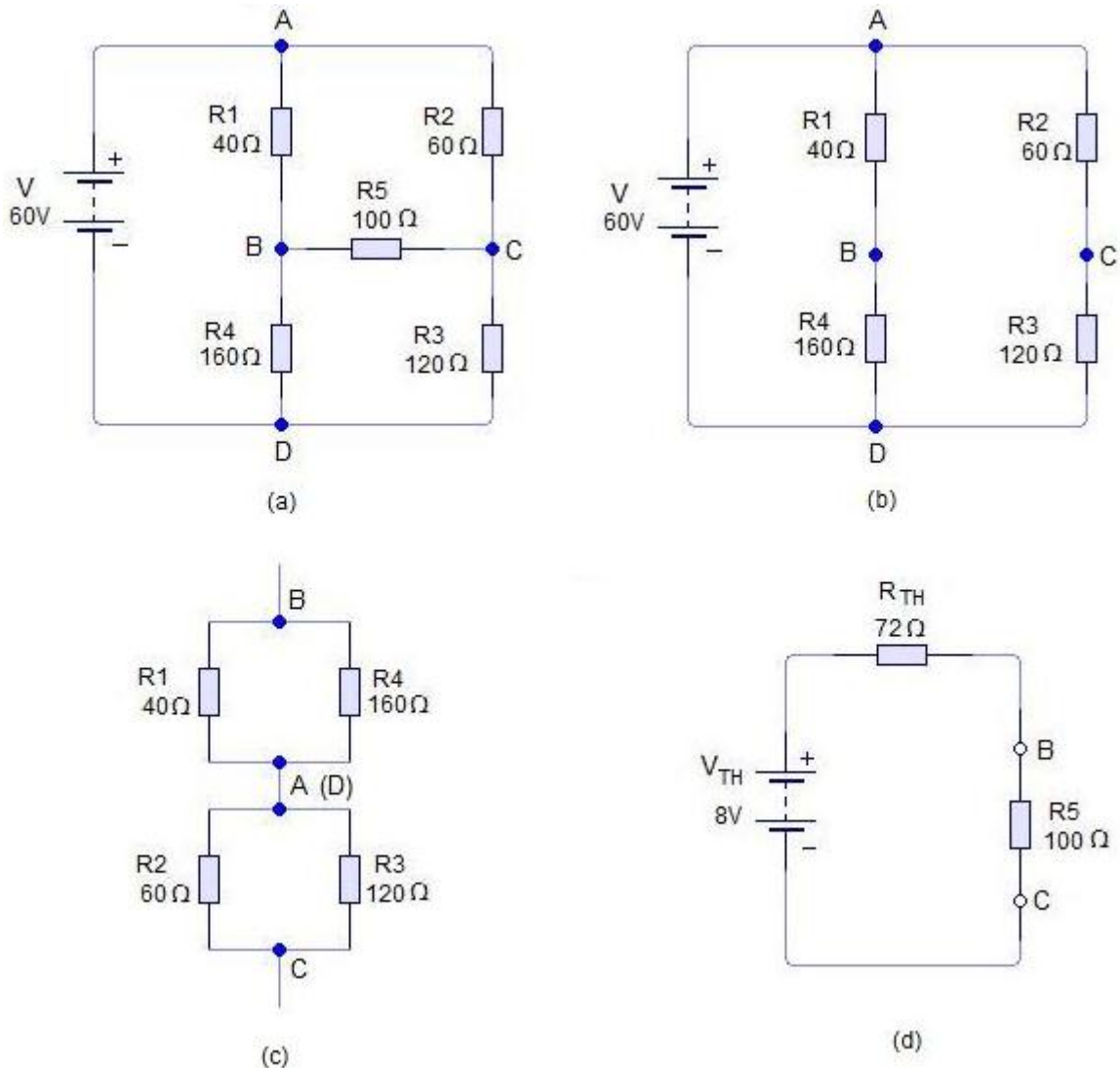


Figura 5-28. Aplicación del teorema de Norton al análisis de una red de cd.

Análisis de una red de cd con dos fuentes de voltaje

Para analizar redes complejas de cd con dos o más fuentes de voltaje se pueden utilizar cualquiera de los métodos examinados en éste y en experimentos anteriores. Para resolver el siguiente problema se emplea el teorema de Norton.

Problema. Desarrollar una fórmula para hallar la corriente de carga en el circuito de la figura 5.29 a) para una gama de diferentes resistores de carga. Con esta fórmula encontrar I_L para $R_L = 100 \Omega$, 500Ω y $1 k\Omega$. Suponer que V_1 y V_2 son fuentes de voltaje constante.

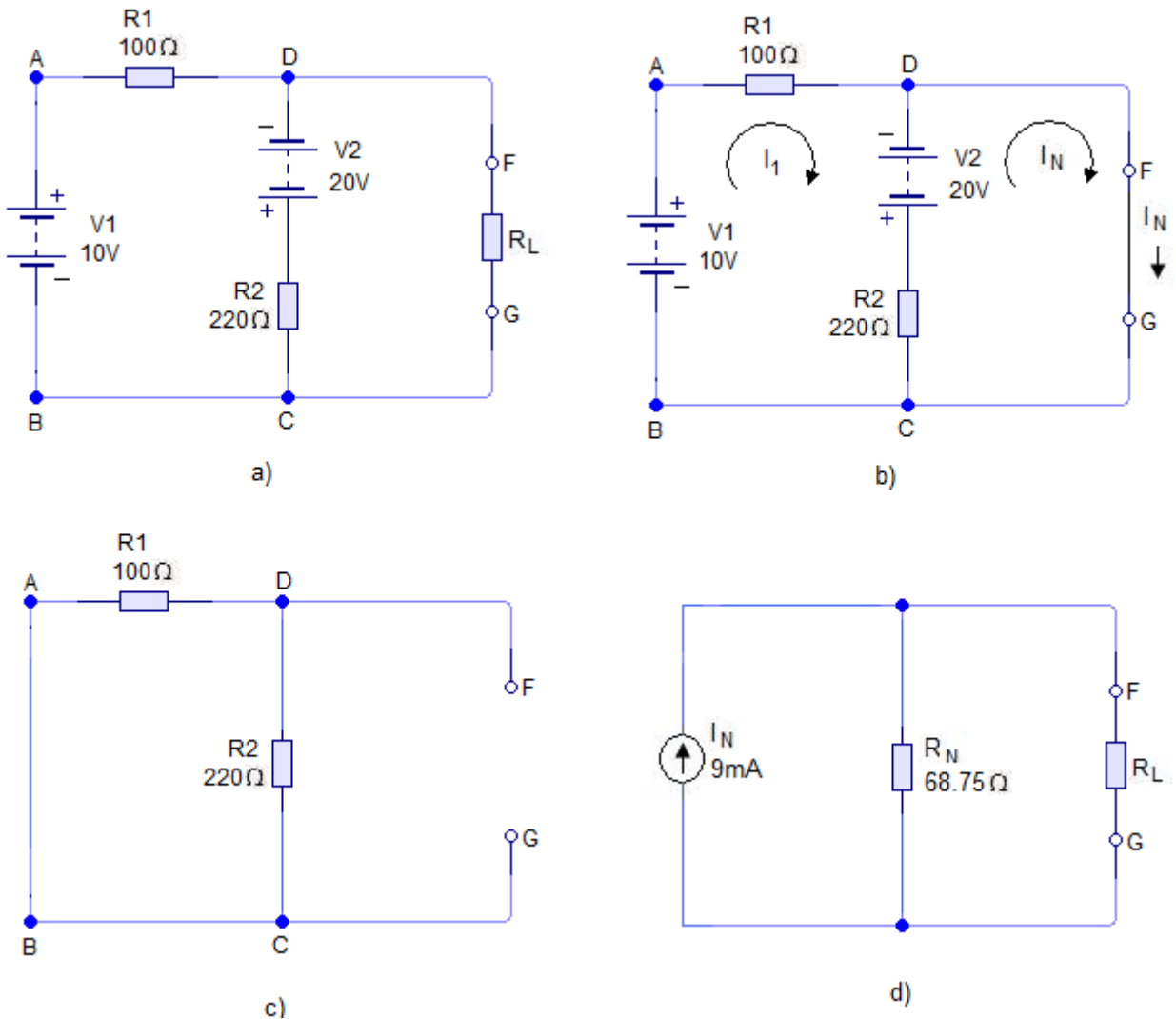


Figura 5-29. Aplicación del teorema de Norton a un circuito con dos fuentes de voltaje

Solución. El primer paso es hallar la fuente de corriente constante de Norton, I_N , reemplazando R_L por un cortocircuito entre F y G y hallando la corriente por FG. Con las corrientes de malla I_1 e I_N (figura 5.29 b), se tiene:

$$I_1(R_1 + R_2) - I_N R_2 = -V_1 - V_2$$

$$-I_1 R_2 + I_N R_2 = V_2$$

$$320I_1 - 220I_N = -30$$

$$-220I_1 + 220I_N = 20$$

Despejando I_N se obtiene:

$$I_N = 0.009 \text{ A} = 9 \text{ mA}$$

Aunque I_N sea negativa, lo que interesa es su valor, no su sentido.

La resistencia de Norton, R_N , es la medida entre F y G en la figura 5.29 c), y es la misma que la resistencia de Thevenin, R_{TH} . Ésta se encuentra poniendo en cortocircuito todas las fuentes de voltaje y sustituyéndolas por su resistencia interna. En este problema se supone que V_1 y V_2 son fuentes de voltaje ideales (es decir, fuentes de voltaje constante), de modo que su resistencia interna es cero. En este caso, la resistencia entre F y G es R_1 en paralelo con R_2 .

$$R_N = \frac{100 \Omega + 220 \Omega}{100 \Omega + 220 \Omega} = \frac{22 \text{ K}\Omega}{320 \Omega}$$

$$R_N = 68.75 \Omega$$

Para hallar I_L se puede usar la fórmula del ejemplo anterior:

$$I_L = \frac{I_N R_N}{R_L + R_N} = \frac{(100 \text{ mA})(100 \Omega)}{(350 \Omega + 100 \Omega)} = \frac{10 \text{ V}}{450 \Omega}$$

$$I_L = \frac{9 \text{ mA} \times 68.75 \Omega}{68.75 \Omega + R_L} = \frac{0.619}{68.75 + R_L}$$

Ahora se pueden calcular los valores de I_L para cada valor de R_L .

Para $R_L = 100 \Omega$

$$I_L = \frac{0.619}{68.75 + 100} = \frac{0.619}{168.75} = 4 \text{ mA}$$

Para $R_L = 500 \Omega$

$$I_L = \frac{0.619}{68.75 + 500} = \frac{0.619}{568.75} = 1 \text{ mA}$$

Para $R_L = 1 \text{ K}\Omega$

$$I_L = \frac{0.619}{68.75 + 1000} = \frac{0.619}{1068.75} = 0.6 \text{ mA}$$

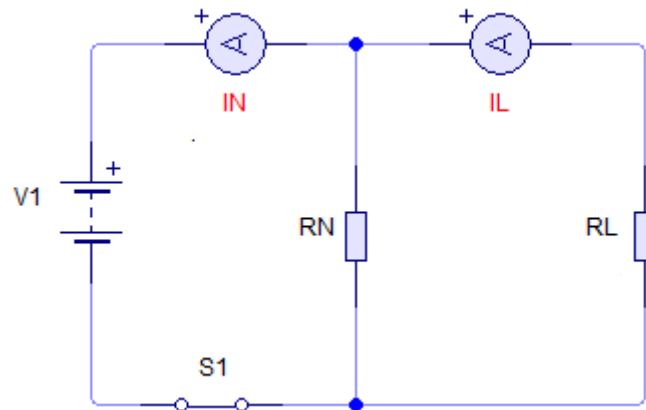
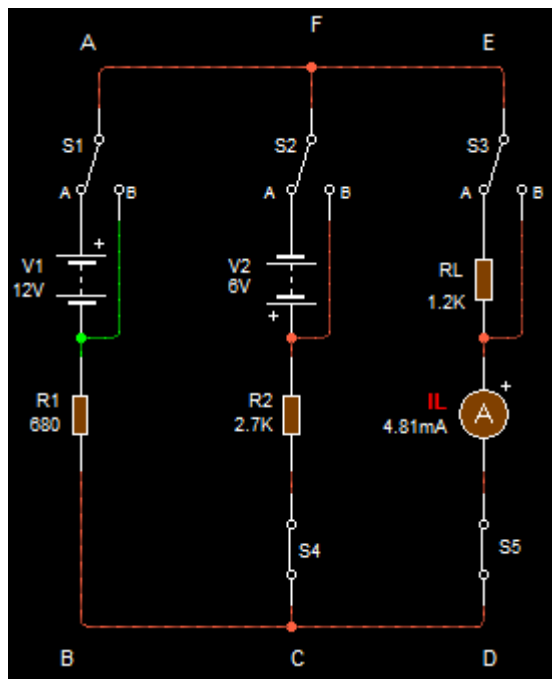


Figura 5-30. Circuito equivalente de Norton

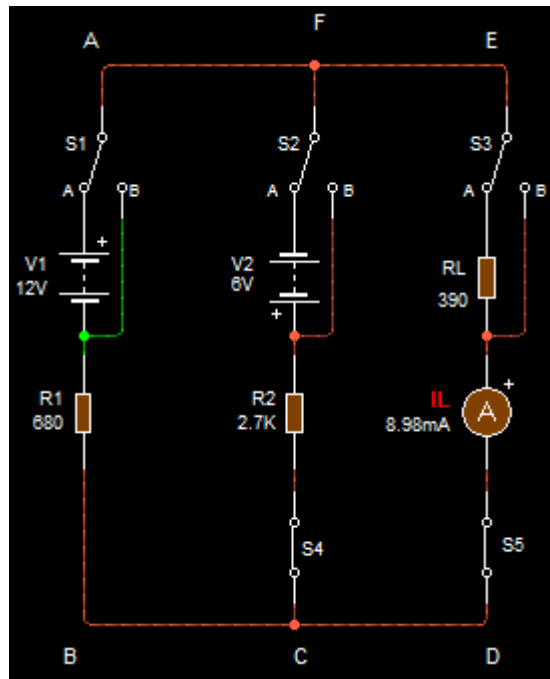
6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-26, arme el circuito en el simulador Livewire, con S_1, S_2 y S_3 en la posición A, y S_4 y S_5 abiertos.
- Ajuste los voltajes de la fuente de modo que $V_1=12V$ y $V_2=6V$. (Observe con cuidado la polaridad correcta de las conexiones) Mantenga estos voltajes durante la simulación. Haga correr e; programa, cierre S_4 y S_5 y mida I_L por R_L y registre los resultados en la tabla 5.10 en el reglón de $1.2\text{ k}\Omega$, columna " I_L , medida, circuito original".

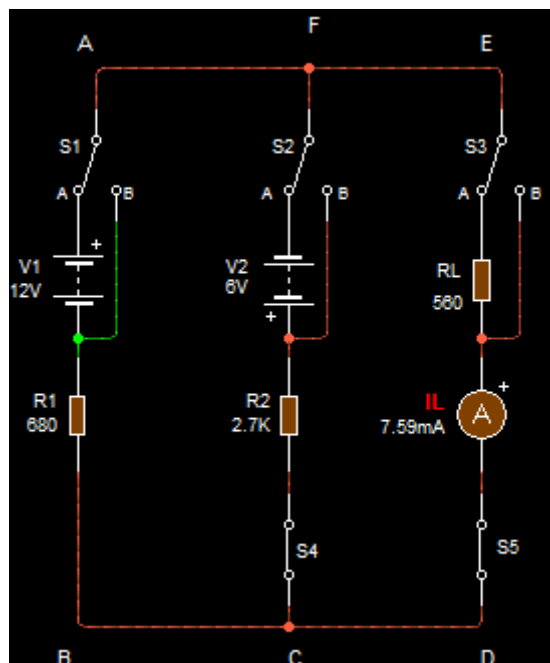


- Reemplace R_L por resistores de $390\ \Omega$, $560\ \Omega$ y $1.8\ \text{k}\Omega$. En cada caso mida I_L y anote los valores en la columna " I_L , medida, circuito original" en la tabla 5.10.

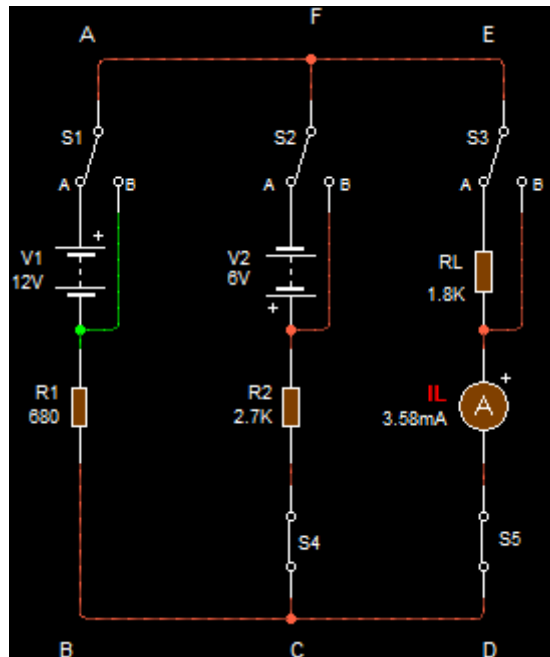
Para $R_L = 390\ \Omega$



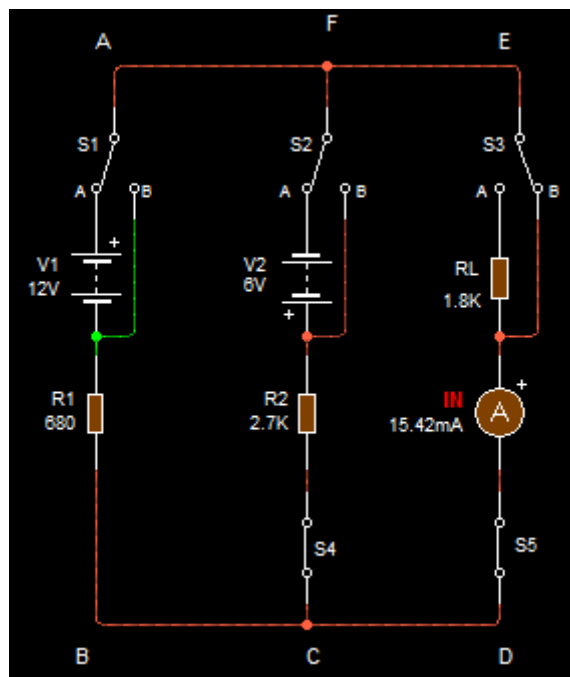
Para $R_L = 560\ \Omega$



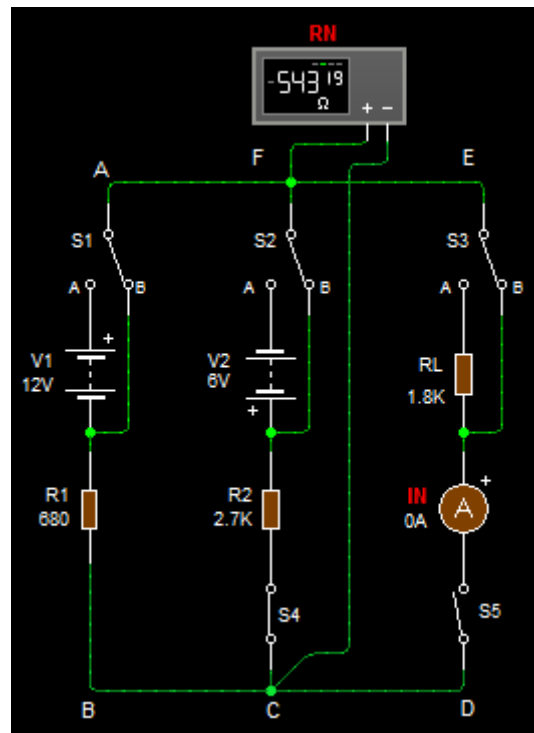
Para $R_L = 1.8 \text{ k}\Omega$



- Mueva S_3 a la posición B, con lo que R_L se reemplaza por un cortocircuito. La corriente medida por el medidor es la de cortocircuito del generador equivalente de Norton, I_N . Escriba el valor en la tabla 5.10 en el reglón de $1.2 \text{ k}\Omega$, columna " I_N , medida". Para los otros valores de R_L , I_N es la misma.



- Cambie S_1, S_2 y S_3 a la posición B y abra S_5 , con lo que las fuentes de voltaje se reemplazan por cortocircuitos y abre el circuito de carga entre D y E. S_4 permanece cerrado.
- Mida con el multímetro digital la resistencia entre C y F. Ésta es la resistencia en paralelo con el generador equivalente de Norton, R_N . Registre este valor en la tabla 5.10 en el reglón de $1.2\text{k}\Omega$, “columna R_N , medida”. Para los otros valores de R_L , R_N es el mismo valor.



- A partir del circuito de la figura 5-26 calcule el valor de la corriente de Norton, I_N , y registre en la tabla 5.10 en el reglón de $1.2\text{ k}\Omega$, columna “ I_N calculada”.

$$I_1(R_1 + R_2) - I_N R_2 = -V_1 - V_2$$

$$I_1(680 + 2700) - I_N(2700) = -12 - 6$$

$$3380I_1 - 2700I_N = -18$$

$$I_N R_2 - I_1 R_2 = V_2$$

$$2700I_N - 2700I_1 = 6$$

Resolviendo ecuaciones:

$$3380I_1 - 2700I_N = -18$$

$$-2700I_1 + 2700I_N = 6$$

$$680I_1 = -12$$

$$I_1 = -0.017A$$

$$3380I_1 - 2700I_N = -18$$

$$3380(-0.017) - 2700I_N = -18$$

$$-57.46 - 2700I_N = -18$$

$$-2700I_N = -18 + 57.46$$

$$-2700I_N = 39.46$$

$$I_N = -\frac{39.46}{2700}$$

$$I_N = -0.015A$$

$$I_N = -15mA$$

- Con base en el circuito de la figura 5-26 calcule el valor de la resistencia de derivación de Norton, R_N y anótelo en la tabla 5-10 en el reglón de " R_N calculada".

$$R_N = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_N = \frac{680(2700)}{680 + 2700}$$

$$R_N = 543.19\Omega$$

- Con los valores calculados de I_N y R_N , calcule la corriente de carga, I_L , para los resistores de carga de 1.2k Ω , 390 Ω , 560 Ω y 1.8k Ω de la figura 5-26, registre los resultados en la tabla 5.10, en la columna " I_L calculada".

Para R_L 1.2k Ω

$$I_L = \frac{I_N \times R_N}{R_N + R_L}$$

$$I_L = \frac{15(543.19)}{543.19 + 1200}$$

$$I_L = 4.67 mA$$

Para R_L 390 Ω

$$I_L = \frac{I_N \times R_N}{R_N + R_L}$$

$$I_L = \frac{15(543.19)}{543.19 + 390}$$

$$I_L = 8.73 mA$$

Para R_L 560 Ω

$$I_L = \frac{I_N \times R_N}{R_N + R_L}$$

$$I_L = \frac{15(543.19)}{543.19 + 560}$$

Para R_L 1.8k Ω

$$I_L = \frac{I_N \times R_N}{R_N + R_L}$$

$$I_L = \frac{15(543.19)}{543.19 + 1800}$$

$$I_L = 7.38 \text{ mA}$$

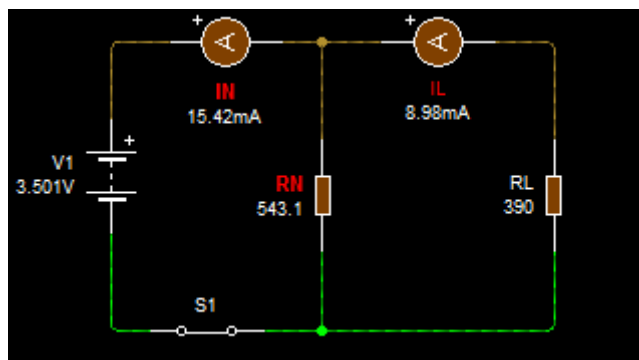
$$I_L = 3.48 \text{ mA}$$

Empleo del circuito equivalente de Norton

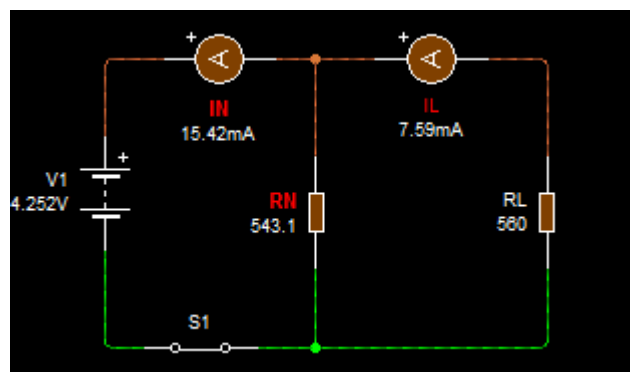
Este procedimiento es necesario para comparar los resultados con el circuito original.

- Con S_1 abierto arme el circuito de la figura 5-30, el medidor IN medirá la corriente de Norton, y el medidor IL, la corriente de carga.
- Para cada valor de $R_L = 390 \Omega$, 560Ω , $1.2 \text{ k}\Omega$ y $1.8 \text{ k}\Omega$ mida I_L , y registre los valores en la tabla 5.10, en la columna circuito equivalente de Norton. Abra S_1 y pare la simulación.

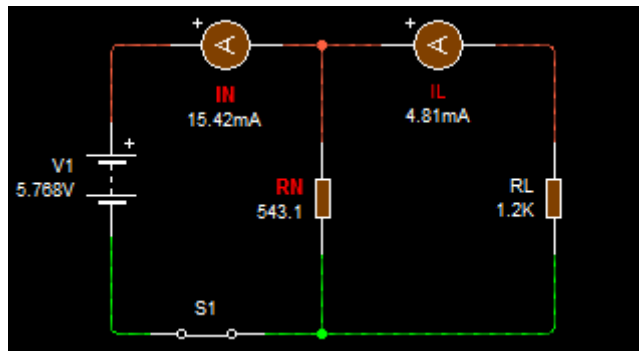
Para $R_L = 390 \Omega$



Para $R_L = 560 \Omega$



Para $R_L = 1.2\text{ K}\Omega$



Para $R_L = 1.8\text{ K}\Omega$

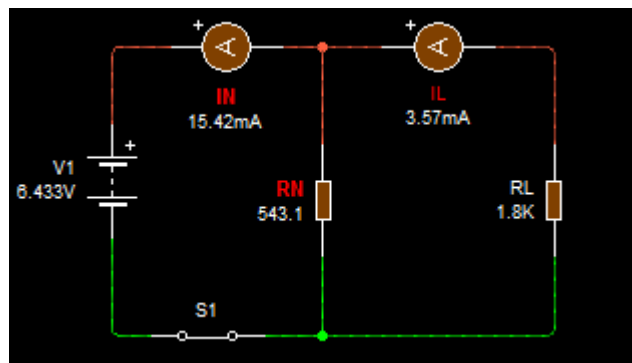


Tabla 5.10 Mediciones para verificar el teorema de Norton

$R_L (\Omega)$	$I_N (mA)$		$R_N (\Omega)$		$I_L (mA)$		
					Medida		Calculada
	Medida	Calculada	Medida	Calculada	Circuito original	Circuito Equivalente	
1.2k	15.42	15	543.19	543.19	4.81	4.81	4.67
390	15.42	15	543.19	543.19	8.98	8.97	8.73
560	15.42	15	543.19	543.19	7.59	7.59	7.38
1.8k	15.42	15	543.19	543.19	3.58	3.57	3.48

7. Preguntas de control

- ¿Cuál es la forma de un circuito equivalente Norton?

A diferencia del la forma de Thevenin, el teorema de Norton equivalente de cualquier circuito resistivo de dos terminales consta de una fuente de corriente (I_N) en paralelo con una resistencia equivalente (R_N).

- Explique cómo se utiliza el teorema de Norton para convertir cualquier red lineal de dos terminales en un circuito simple que conste de una fuente de corriente constante en paralelo con una resistencia.

Los pasos necesarios para la aplicación teórica del teorema de Norton.

- Poner en cortocircuito la dos terminales entre las cuales se desea determinar el circuito equivalente de Norton.
 - Determinar la corriente (I_N) a través de las terminales puestas en cortocircuito.
 - Determinar la resistencia (R_N) entre las dos terminales abiertas con todas las fuentes reemplazadas por sus resistencias internas (fuentes de voltajes ideales en cortocircuito y fuentes de corriente ideales abiertas).
 $R_N = R_{TH}$.
 - Conectar I_N y R_N en paralelo para producir el circuito equivalente de Norton completo para el circuito original.
- En el circuito de la figura 5-28 a), $V = 12V$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 39\Omega$, $R_3 = 60\Omega$ y $R_L = 27\Omega$. Suponga que la resistencia interna de la fuente de voltaje, V , es cero. Encuentre los valores siguientes en el circuito equivalente de Norton. I_N , R_N , I_L .

$$I_N = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

$$I_N = \frac{12}{1+39}$$

$$I_N = \mathbf{0.3 A}$$

$$R_N = \frac{(R_1 + R_2) \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_N = \frac{(1+39) \times 60}{1+39+60}$$

$$R_N = \mathbf{24 \Omega}$$

$$I_L = \frac{I_N R_N}{R_L + R_N}$$

$$I_L = \frac{(0.3)(24)}{27+24}$$

$$I_L = \mathbf{0.14 A}$$

- En el circuito de la figura 5-29 a), $V_1 = 30V$, $V_2 = 30V$. Suponga que la resistencia interna de estas fuentes de voltaje es cero. $R_1 = 45\Omega$, $R_2 = 150\Omega$ y R_L (lacarga) = 47Ω . Halle los valores siguientes en el circuito equivalente de Norton.

Siguiendo el procedimiento aprendido con el teorema de Norton los resultados son los siguientes:

a) $I_N = 0.47A$

b) $R_N = 34.6\Omega$

c) $I_L = 0.199A$

- Explique una ventaja de utilizar el teorema de Norton para hallar las corrientes de carga en un circuito de cd.

Este teorema ayuda a la simplificación de un circuito lineal de dos terminales en un circuito equivalente con sólo una fuente de corriente en paralelo con un resistor.

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J, Bates.2002; Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico;Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

Práctica # 7

1. Tema:

Teorema de Millman

2. Objetivos:

- ☞ Simular el circuito indicado en el esquema mediante el software Livewire.
- ☞ Realizar un cuadro comparativo entre los valores calculados y simulados.

3. Materiales y equipos

Cantidad	Descripción	Característica, valor o serie
1	Computadora	Con el software Livewire
2	Fuente de alimentación	Corriente continua 15V-10V
4	Resistor	68 Ω
1	Resistor	100 Ω
4	Interruptor	Un polo un tiro
2	Interruptor	Un polo dos tiros
1	Voltímetro	1k Ω
3	Amperímetro	DC
1	Multímetro digital	DC

4. Esquema

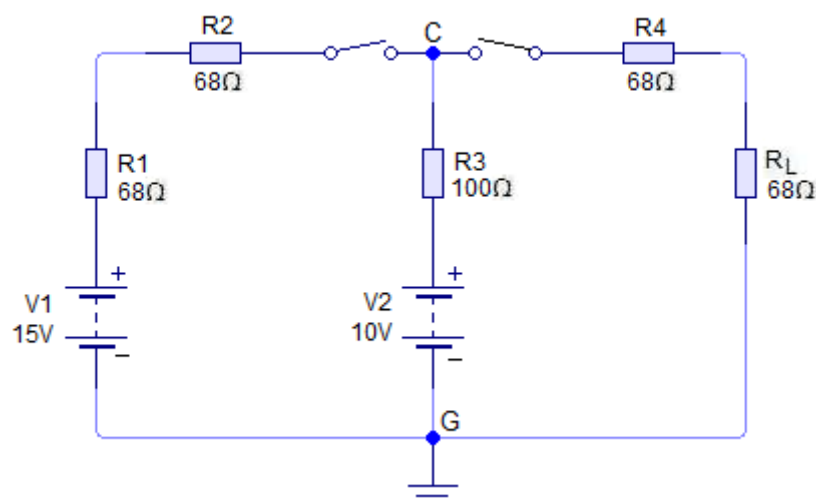


Figura 5-31. Circuito para el desarrollo de la práctica.

5. Sistema categorial

Teorema de Millman

Si un circuito se puede volver a dibujar o ver como si tuviera dos líneas comunes (por ejemplo, una línea “viva” y una tierra), para hallar el voltaje entre ellas puede usarse el teorema de Millman. Si el circuito tiene una sola fuente de voltaje, es mejor usar los métodos usuales para resolver circuitos en paralelo. Sin embargo, si algunas ramas en paralelo tienen fuentes de voltaje, los métodos usuales resultan engorrosos y laboriosos. En estos casos el teorema de Millman provee un método más directo.

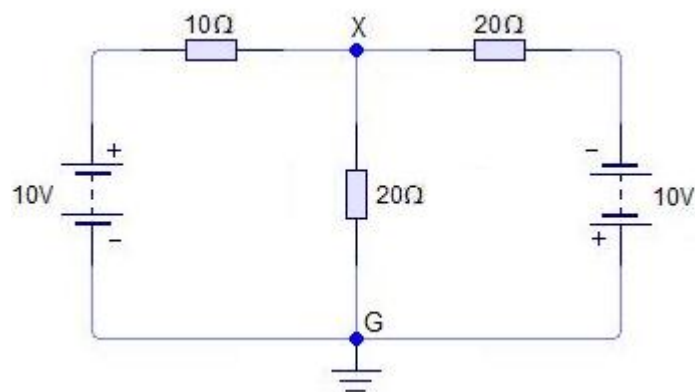


Figura 5-32. El teorema de Millman, se usa para analizar circuitos con más de una fuente de voltaje.

La figura 5-32 es un circuito con dos fuentes. Si se requiere hallar el voltaje de X a tierra puede usarse cualquiera de las técnicas descritas en experimentos anteriores; sin embargo, si el circuito se dibuja como en la figura 5-33, el teorema de Millman se puede aplicar de manera directa.

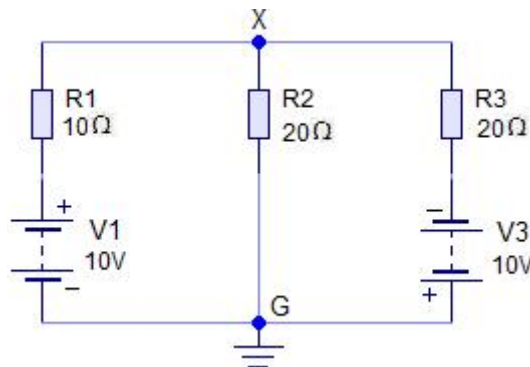


Figura 5-33. Circuito de la fig. 5-32 vuelto a dibujar para la aplicabilidad del teorema de Millman.

El teorema de Millan tiene la forma de una fórmula:

$$V_{XG} = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Donde:

V_{XG} es el voltaje en las líneas comunes

V_1 es el voltaje total de las fuentes en la primera rama

R_1 es la resistencia total en la primera rama

V_2 es el voltaje total de las fuentes en la segunda rama

R_2 es la resistencia total en la segunda rama

V_3 es el voltaje total de las fuentes de la tercera rama

R_3 es la resistencia total en la tercera rama

Si alguna rama no tiene fuente de voltaje, el voltaje es igual a cero. La fórmula puede ampliarse a un número cualquiera de ramas con solo añadir el término V_n/R_n al denominador.

Para ilustrar la aplicación del teorema de Millan, el circuito de la figura 5-33 se analizará mediante la fórmula de Millman.

$$V_{XG} = \frac{\frac{10}{10} + \frac{0}{20} + \frac{10}{20}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20}}$$

La polaridad de V_3 es negativa, puesto que haría negativa al punto X con respecto a tierra. (Por supuesto, si la tierra se considera positiva, V_3 sería positivo y V_1 se tomaría como negativo).

$$V_{XG} = \frac{1 + 0 - 0.5}{0.1 + 0.05 + 0.05} = \frac{0.5}{0.2}$$

$$V_{XG} = 2.5 \text{ V}$$

Para utilizar la fórmula de Millan todas las ramas deben estar en paralelo. Así, un circuito serie-paralelo no puede analizarse en forma directa mediante esta fórmula. En ocasiones un circuito serie-paralelo se presta a la simplificación, de modo que es posible hacer un cálculo en dos pasos. Un segundo ejemplo ilustra este proceso.

La figura 5-34 es un circuito serie-paralelo con dos fuentes de voltaje. La corriente por la carga R_L , se hallará con la fórmula de Millman. Dado que el circuito, tal como aparece, no puede representarse por un circuito en paralelo puro, es necesario combinar algunos componentes. Al combinar R_2 y R_3 en una sola resistencia, al igual que R_5 y R_L , es posible analizar el circuito mediante el teorema de Millan.

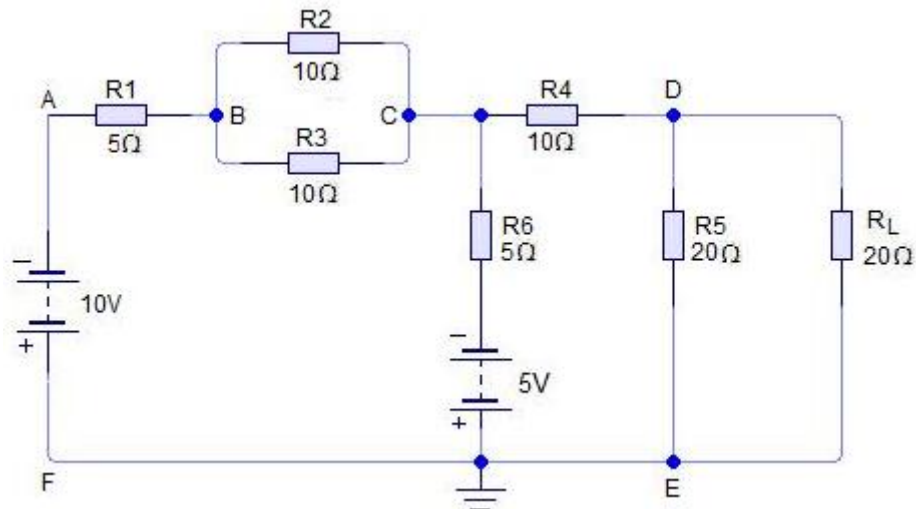


Figura 5-34. Circuito serie-paralelo con dos fuentes de voltaje

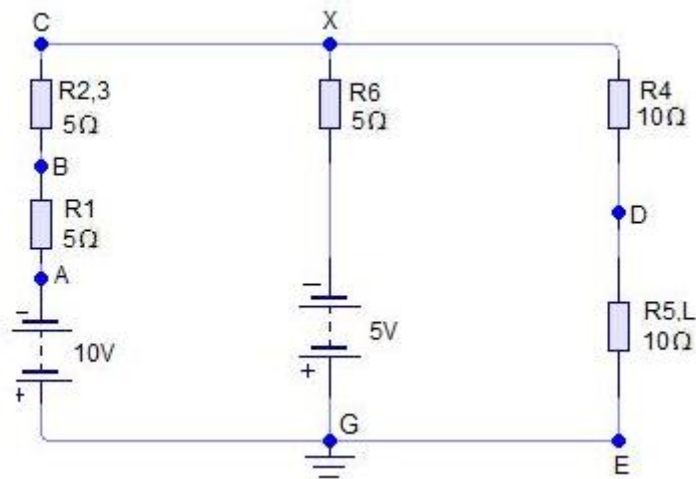


Figura 5-35. Fig. 5-34 dibujada nuevamente para mostrar sus tres ramas en paralelo.

Puesto que R_2 y R_3 son iguales, su resistencia equivalente $R_{2,3}$ es de $10/2$ o 5Ω . De igual modo, al combinar R_5 y R_L se obtiene $20/2$ o 10Ω . Ahora el circuito en paralelo está completo, como ilustra la figura 6.35. Aplicando la fórmula de Millman se obtiene:

$$V_{XG} = \frac{\frac{10}{10} + \frac{5}{5} + \frac{0}{20}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{20}} = \frac{1 + 1 + 0}{0.1 + 0.2 + 0.05} = \frac{2}{0.35}$$

$$V_{XG} = 5.71 V$$

Éste es el voltaje entre X y E en el circuito original de la figura 5-34. La corriente en esta parte del circuito es:

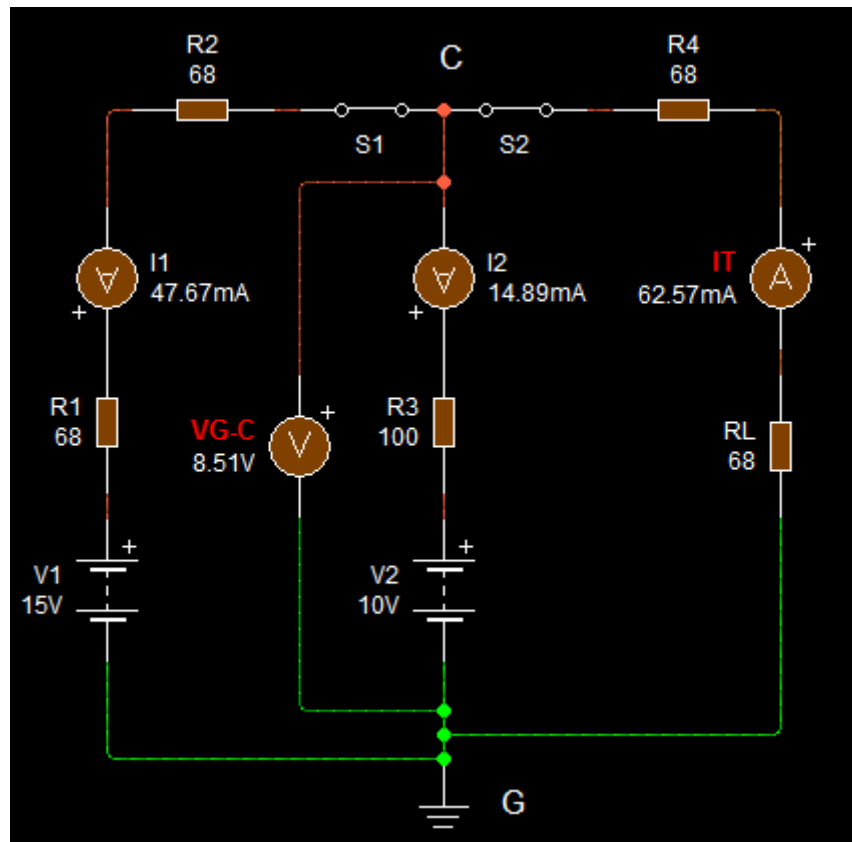
$$I = \frac{5.71}{20} = 286 mA$$

Ésta es la corriente en XD en el resistor R_4 . En el punto D la corriente se divide se divide en dos, una mitad hacia R_5 y la otra por R_L

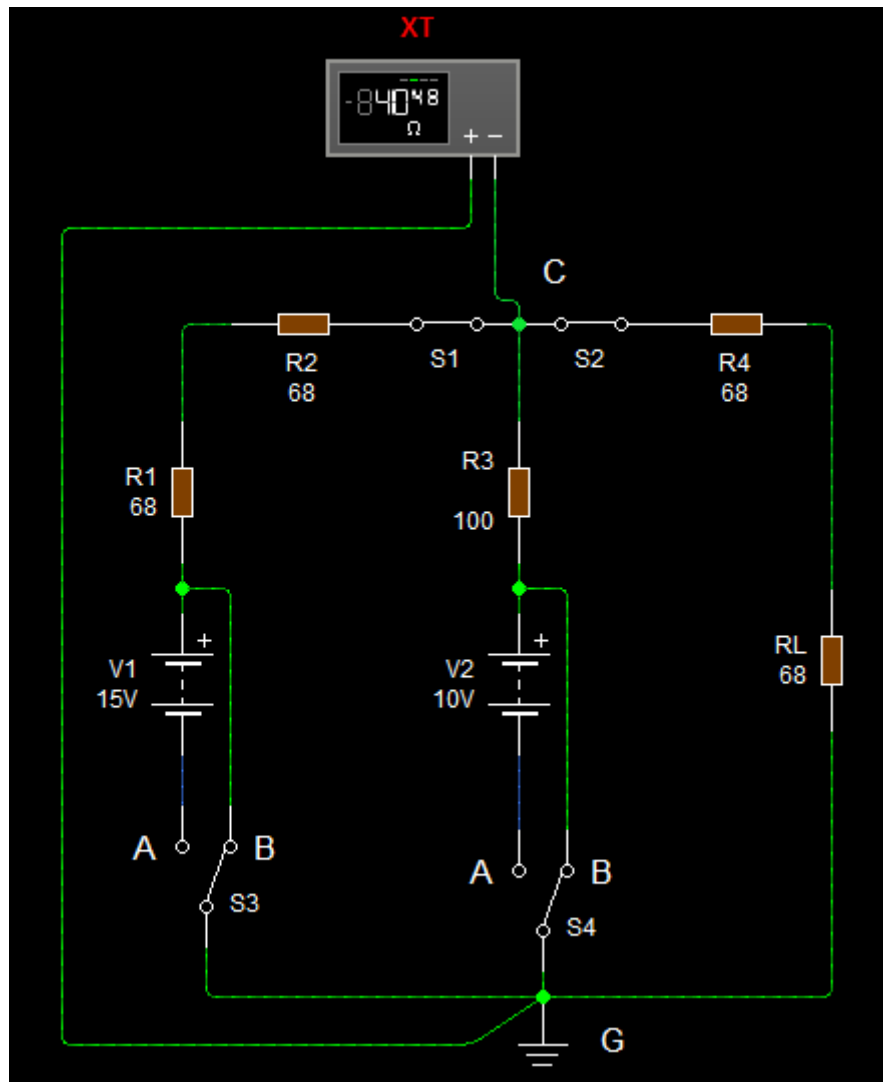
$$I_{RL} = \frac{286 mA}{2} = 143 mA$$

6. Desarrollo

- Con los valores especificados en la figura 5-31 arme el circuito en el simulador Livewire.
- Haga correr el programa, cierre S1, S2, mida el voltaje entre los nodos C y G, también mida la intensidad total del circuito, registre le valor en la tabla 5.11. Una vez realizada la medición abra S1 y S2.



- A partir de la fig. 5-31, mida la resistencia total. En este circuito agregamos dos interruptores para poner en cortocircuito V1 y V2, por la razón de que la resistencia se mide sin las fuentes de alimentación. Con los interruptores S3 y S4 en la posición B, coloque el multímetro en los puntos C y G, mida la resistencia y registre este valor en la tabla 5.11.



- Con los valores especificados en la figura 5-31, calcule el voltaje en los puntos C-G, la corriente total, y la resistencia total, registre los resultados en la tabla 5.11.

$$V_{CG} = \frac{\frac{V_1}{R_1+R_2} + \frac{V_2}{R_3} + \frac{V_3}{R_4+R_L}}{\frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4+R_L}}$$

$$V_{CG} = \frac{\frac{15}{68+68} + \frac{10}{100} + \frac{0}{68+68}}{\frac{1}{68+68} + \frac{1}{100} + \frac{1}{68+68}}$$

$$V_{CG} = \frac{0.11 + 0.1 + 0}{0.0073 + 0.01 + 0.0074}$$

$$V_{CG} = \frac{0.21}{0.0247}$$

$$V_{CG} = 8.50 \text{ V}$$

$$I_T = \frac{V_{CG}}{R_4 + R_L}$$

$$I_T = \frac{8.50}{68 + 68}$$

$$I_T = \frac{8.4}{136}$$

$$I_T = 62.5 \text{ mA}$$

$$R_{4,L} = R_4 + R_L$$

$$R_{4,L} = 68 + 68$$

$$R_{4,L} = 136 \Omega$$

$$R_{3-4,L} = \frac{R_3 \times R_{4,L}}{R_3 + R_{4,L}}$$

$$R_{3-4,L} = \frac{100 \times 136}{100 + 136}$$

$$R_{3-4,L} = 57.63 \Omega$$

$$R_T = \frac{R_{3-4,L} \times (R_1 + R_2)}{R_{3-4,L} + R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{57.63 \times (68 + 68)}{57.63 + 68 + 68}$$

$$R_T = 40.47 \Omega$$

Tabla 5.11 Verificación del teorema de Millman Fig.5-31

Magnitud	Valor medido	Valor Calculado
V_{C-G}	8.51V	8.50 Ω
I_T	62.57 mA	62.50 Ω
R_T	40.47 Ω	40.48 Ω

7. Preguntas de control

- ¿Para qué sirve el teorema de Millman?
Como en los otros métodos, también el teorema de Millman permite encontrar el voltaje entre dos puntos a los que están conectadas varias ramas y fuentes en paralelo.
- ¿Cuáles son las limitaciones y las restricciones de este teorema?
Este teorema solo se utiliza para analizar circuitos con más de una fuente de voltaje y todas las ramas deben estar en paralelo.
- El teorema de Millman se emplea para resolver problemas de circuitos que también pueden resolverse con las leyes de **Kirchhoff** y el **teorema de superposición**.
- El teorema de Millman solo puede usarse para resolver circuitos **en paralelo** puros.
- La respuesta a la fórmula de Millman está dada en unidades de **voltaje**.
- Respecto a la figura 5-33, si $R_1 = R_2 = R_3 = 10\Omega$; $V_1 = 5V$ y $V_3 = 10V$, encuentre la corriente en R_2 según la fórmula de Millman. $I_2 = \mathbf{167\ mA}$. El sentido de la corriente es **hacia debajo de X a G** (hacia debajo de X a G/hacia arriba de G a X).
- Explique una ventaja del teorema de Millman para analizar un circuito de cd.
Una ventaja muy importante es que este teorema utiliza un método más directo y rápido que las leyes de Kirchhoff o la de superposición, para encontrar el voltaje a calcular.

8. Bibliografía

Libros:

Alcalde Pablo; San Miguel.2004; Electrónica Digital; Electrotecnia, Thomson Editores Spain; 1RA Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.; 329 Páginas.

Floyd, Thomas L. 2007.; Principios de Circuitos Eléctricos; Pearson Prentice Hall edition; 8Va Edición; New Jersey 07458; 948 Páginas.

García, José; Trasancos.2004; Electrotecnia-Corriente Continua; Thomson Editores; 8Va Edición; Madrid España; Paraninfo, S.A.379 Páginas.

Zbar, Paul B; Rockmaker, Gordon; Bates, David J, Bates.2002; Prácticas de Electricidad; 7ma Edición, Mexico;Alfaomega Grupo Editor, S.A DE CV.

6. CONCLUSIONES:

- La aplicación del simulador Livewire es fundamental en la enseñanza, análisis y diseño de circuitos eléctricos, principalmente para estudiantes, el cual ayuda a comprender de forma visual el funcionamiento de los mismos; es importante destacar que a pesar de la importancia de un simulador en el análisis de circuitos, éste nunca deberá sustituir el análisis teórico-matemático hecho en papel, sino que debe ser contemplado como una herramienta complementaria y auxiliar de comprobación.

- Para la elaboración de cada una de las prácticas se realizó una guía que puede ayudar a los estudiantes seguir un orden secuencial de acuerdo a cada tema, para de esta forma comprender mejor los conceptos de cada una de las leyes y teoremas, y así poder en el software llevar a cabo la respectiva simulación de acuerdo al procedimiento que se da a conocer en la guía.

- Para concluir y para comprobar la validez del procedimiento matemático empleado se ha realizado la simulación de todos los circuitos propuestos de cada una de las prácticas, con la ayuda del simulador de circuitos Livewire, y gracias a los resultados de la simulación se ha podido comprobar que los datos coinciden en un 99.9% con los resultados obtenidos matemáticamente.

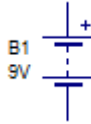
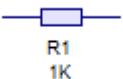

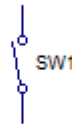
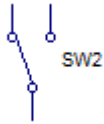


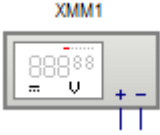
7. RECOMENDACIONES:

- Para manipular con facilidad el software Livewire, es necesario tener conceptos claros de electricidad como electrónica.
- Se recomienda practicar armando circuitos en el simulador, para conocer todos los componentes y las diferentes barras de herramientas.
- Al momento de armar circuitos, se debe verificar que los valores de cada uno de los componentes a utilizarse sean de acuerdo a los esquemas propuestos.
- Si se desea cambiar el valor a cualquier elemento o cambiar de posición, se recomienda parar la simulación y luego hacer las respectivas correcciones.
- Para estar seguros de que los datos medidos en el simulador sean verídicos, es necesario realizar la comparación con los resultados obtenidos matemáticamente.
- Debido a la relevancia de los simuladores incluyendo Livewire, es necesario que la Institución incluya programas de estudio de circuitos eléctricos, tanto para estudiantes de tecnología eléctrica como de otras carreras relacionadas con este tema.

8. ANEXOS

Anexo 1: Simbología

SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LOS CIRCUITOS DE LAS PRÁCTICAS

Símbolo	Descripción
 <p>B1 9V</p>	Fuente de alimentación
 <p>R1 1K</p>	Resistor
	Puesta a tierra
 <p>SW1</p>	Interruptor un polo un tiro
 <p>SW2</p>	Interruptor un polo dos tiros
	Amperímetro
	Voltímetro
 <p>XMM1</p>	Multímetro digital