

Fundamentos para el análisis de CIRCUITOS ELÉCTRICOS en corriente continua

Eduardo Francisco García Cabezas

Jhonny Marcelo Orozco Ramos

Juan Carlos Cayán Martínez



CIDE
EDITORIAL

Fundamentos para el análisis de circuitos eléctricos en corriente continua

Fundamentos para el análisis de circuitos eléctricos en corriente continua

AUTORES

Eduardo Francisco García Cabezas

Jhonny Marcelo Orozco Ramos

Juan Carlos Cayán Martínez



**DIRECCIÓN DE
PUBLICACIONES**

Fundamentos para el análisis de circuitos eléctricos en corriente continua.

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

DERECHOS RESERVADOS

Copyright © 2022
Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
Guayaquil, Ecuador
Tel.: + (593) 04 2037524
<http://www.cidecuador.com>

ISBN DIGITAL: 978-9942-844-96-5
ISBN IMPRESO: 978-9942-844-95-8

Impreso y hecho en Ecuador

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.
Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado
Diseño gráfico: Lic. Danissa Colmenares
Diagramación: Lic. Alba Gil
Fecha de publicación: agosto, 2022



**La presente obra fue evaluada por pares académicos
experimentados en el área**

Catalogacion en la fuente

Fundamentos para el análisis de circuitos eléctricos en corriente continua / Eduardo Francisco García Cabezas, Jhonny Marcelo Orozco Ramos, Juan Carlos Cayán Martínez. -- Ecuador: Editorial CIDE, 2022

102 p.: incluye tablas, gráficos; 21 x 29, 7 cm.

ISBN DIGITAL: 978-9942-844-96-5

ISBN IMPRESO: 978-9942-844-95-8

1. Circuitos eléctricos

SEMLANZA DE LOS AUTORES

ING. EDUARDO FRANCISCO GARCÍA CABEZAS. MG.



Nació en Riobamba, Ecuador. Recibió los títulos de Ingeniero Electrónica en Sistemas de Control y Redes Industriales (2012) y Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial (2016) en la Escuela Superior de Chimborazo. Docente-Investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Industrial. Pertenece al grupo de investigación de Tecnologías de la Información, Comunicación y Procesos Industriales “AUTOPRO”. Investigador Séñior. Ha participado en calidad de ponente en diferentes conferencias nacionales e internacionales y cuenta con publicaciones indexadas. Director y Asesor de tesis de pregrado y posgrado. Miembro en Comités Científicos.

ING. JHONNY MARCELO OROZCO RAMOS. MG.



Nació en Riobamba, Ecuador. Recibió los títulos de Ingeniero Mecánico (2009) en la Escuela Superior politécnica de Chimborazo “ESPOCH” y Magister en Diseño, Producción y Automatización Industrial (2017) en la Escuela Politécnica Nacional “EPN”. Docente - Investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Industrial. Pertenece al Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información, Comunicación y Procesos Industriales "AUTOPRO". Investigador Sénior. Autor y Coautor de Artículos Científicos. Ha participado en diferentes conferencias Nacionales e Internacionales. Director y Asesor de Tesis y Proyectos de titulación. Miembro de comités Científicos.

ING. JUAN CARLOS CAYÁN MARTÍNEZ MG.



Nació en Pungalá / Riobamba - Ecuador. Recibió los títulos de Ingeniero Industrial – UNACH (2006), Diploma Superior en Formulación y Evaluación de Proyectos de Investigación – UNIVERSIDAD DE CUENCA (2009) y Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional – UNACH (2016). Docente - Investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica - Carrera de Ingeniería Industrial. Pertenece al Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información, Comunicación y Procesos Industriales "AUTOPRO". Investigador Sénior. Autor y Coautor de Artículos Científicos. Ponencias Magistrales. Director y Asesor de Tesis y Proyectos de titulación. Miembro de comités Científicos.

DEDICATORIA

A los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

AGRADECIMIENTO

A Dios sobre todas las cosas.

A nuestros familiares por motivarnos al logro y cumplimiento de nuestras metas.

A todos los que hicieron posible esta publicación.

CONTENIDO

Semblanza de los autores	5
Dedicatoria	8
Agradecimiento	9
Introducción	12

Capítulo 1 Acercamiento teórico

Introducción	14
Sistema de unidades	14
Sistema internacional de unidades.....	14
Carga eléctrica	17
Tensión eléctrica	18
Corriente eléctrica	19
Potencia eléctrica	20
Elementos de un circuito eléctrico	22
Fuentes de alimentación	22
Fuentes independientes	23
Fuentes dependientes	23
Resistencia eléctrica	25
Conexiones y reducción de redes resistivas	27
Resistores en serie	27
Resistores en paralelo	29

Capítulo 2.

Leyes básicas

Introducción	36
Ley de Ohm	36
Circuitos eléctricos y redes eléctricas	40
Rama	41
Nodo	41
Lazo	42
Leyes de Kirchhoff	42
Ley de Voltajes de Kirchhoff (LVK)	42
Caídas de tensión	51
Redes eléctricas resistivas en paralelo	52
Montaje en Protoboard	53
Mallas	56
Supermallas	63
Mallas con voltajes dependientes	70
Nodos	78
Super Nodos	86
Nodos con fuentes dependientes	95
Referencias	102

INTRODUCCIÓN

El estudio sobre el comportamiento y análisis de circuitos eléctricos se liga directamente con la ingeniería eléctrica y sus afines, por ejemplo: la electrónica, comunicaciones, automatización, robótica y sistemas de control, entre otros; e indirectamente, con todas las áreas de desarrollo de la ciencia y la ingeniería donde los circuitos eléctricos están presentes. Es decir, en la constitución de dispositivos y equipos electrónicos empleados en actividades como la medición de variables, simulación de fenómenos y procesos, crear entornos virtuales, adquirir y procesar información, necesarias dentro de las áreas mencionadas.

En *Fundamentos para el análisis de circuitos eléctricos en corriente continua* se desarrollaron dos (2) capítulos donde se ha incluido, entre otros aspectos, ejercicios que facilitarán al lector la posibilidad de fortalecer y aplicar la teoría desarrollada.

Se conseguirá en el Capítulo 1 la definición de conceptos básicos dentro del análisis de circuitos eléctricos al resultar evidente su importancia dentro de la ingeniería. En cuanto al Capítulo 2 se asignan valores a las magnitudes eléctricas definidas en el Capítulo 1, basados en los criterios de las leyes fundamentales que rigen a los circuitos eléctricos. Se exponen además, los tipos de conexiones que pueden darse entre los elementos que conforman un circuito eléctrico y se caracterizan cada una de ellas. Así mismo se plantean técnicas de reducción y simplificación de elementos dentro de un circuito eléctrico.

Sirva este texto para todos aquellos interesados en el tema y pueda ser utilizado como material de consulta en sus investigaciones.

CAPÍTULO 1

Acercamiento teórico



Capítulo 1 Acercamiento teórico

Introducción

En este capítulo se definen los conceptos básicos dentro del análisis de circuitos eléctricos al resultar evidente su importancia dentro de la ingeniería. En este sentido, la corriente continua proporciona las baterías de acumuladores, pilas, dinamos y células fotovoltaicas caracterizándose porque los electrones libres siempre se mueven en el mismo sentido por el conductor con un aconstante; ejemplo de ellos encontramos aparatos de traccion electrica como autos, trnes, aparatos electronicos entre otros (Alcalde San Miguel, p.13, 2010)

Sistema de unidades

En este texto, las magnitudes que intervienen en el análisis de circuitos eléctricos se expresan en las unidades del Sistema Internacional de Unidades, por lo que resulta conveniente hacer una revisión del mismo.

Sistema Internacional de Unidades

En 1983 la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), BIPM por sus siglas en francés (Bureau International des Poids et Mesures) define las unidades básicas del SI, tal como se indica en la Tabla 1.1

Tabla 1.1
Unidades Básicas SI

Magnitud básica	Nombre	Unidades básicas	Símbolo
Longitud	Metro		M
Masa	gramo		kg
Tiempo, duración	Segundo		S

Intensidad de corriente eléctrica	Amper	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	Mol
Intensidad luminosa	Candela	Cd

Nota. Adaptado de (BIPM, 2006)

La combinación de las unidades básicas relacionadas mediante ecuaciones de la física dan como resultado unidades derivadas la Tabla 1.2, la cual muestra algunos de sus ejemplos, a medida que se desarrolla la ciencia y la tecnología se va incrementando su número.

Tabla 1.2
Unidades Derivadas SI

Unidades derivadas del SI				
Magnitud física	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Expresada en unidades derivadas	Expresada en unidades básicas
Frecuencia	Hertz	Hz		s^{-1}
Fuerza	Newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Presión	Pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energía, trabajo, calor	Joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potencia	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Carga eléctrica	Coulomb	C		$A \cdot s$
Potencial eléctrico, fuerza electromotriz	Volt	V	$J \cdot C^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ $\cdot A^{-1}$
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ $\cdot A^{-2}$
Conductancia eléctrica	Siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	m^{-2} $\cdot [kg]^{-1} \cdot s^3$ $\cdot A^2$
Capacitancia eléctrica	Farad	F	$C \cdot V^{-1}$	m^{-2} $\cdot [kg]^{-1} \cdot s^4$ $\cdot A^2$
Densidad de flujo magnético, inductividad magnética	Tesla	T	$V \cdot s \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Flujo magnético	Weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ $\cdot A^{-1}$
Inductancia	Henry	H	$V \cdot A^{-1} \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ $\cdot A^{-2}$
Ángulo plano	Radián	Rad		$m \cdot m^{-1}$
Ángulo sólido	Estereoradián	Sr		$m^2 \cdot m^{-2}$
Flujo luminoso	Lumen	Lm	$cd \cdot sr$	
Iluminancia	Lux	Lx	$cd \cdot sr \cdot m^{-2}$	
Actividad radiactiva	Becquerel	Bq		s^{-1}

Unidades derivadas del SI					
Magnitud física	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad		Expresada en unidades derivadas	Expresada en unidades básicas
Dosis de radiación absorbida	Gray	Gy	J · [kg]^{-1}	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	
Dosis equivalente	Sievert	Sv	J · [kg]^{-1}	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	
Actividad catalítica	Katal	Kat			$\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$

Nota. Adaptado de (BIPM, 2006)

El uso de prefijos establecidos por la CGPM (1960) para la denominación de múltiplos y submúltiplos de las unidades se da porque varias magnitudes pequeñas para expresarlas en la unidad y otras, grandes, tal como se indica en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3.

Prefijos SI

Prefijo	Símbolo	Factor
yotta	Y	10^{24} (un cuatrillón)
zetta	Z	10^{21} (mil trillones)
exa	E	10^{18} (un trillón)
peta	P	10^{15} (mil billones)
tera	T	10^{12} (un billón)
giga	G	10^9 (mil millones)
mega	M	10^6 (un millón)
miria	Ma	10^4 (diez mil)
kilo	K	10^3 (mil)
hecto	H	10^2 (cien)
deca	Da	10^1 (diez)
deci	D	10^{-1} (un décimo)
centi	C	10^{-2} (un centésimo)
mili	M	10^{-3} (un milésimo)
micro	M	10^{-6} (un millonésimo)
nano	N	10^{-9} (un milmillonésimo)
pico	P	10^{-12} (un billonésimo)
femto	F	10^{-15} (un milbillonésimo)
atto	A	10^{-18} (un trillonésimo)
zepto	Z	10^{-21} (un miltrillonésimo)
yocto	Y	10^{-24} (un cuatrillonésimo)

Nota. Adaptado de (BIPM, 2006)

Carga eléctrica

Científicamente se establece la existencia de dos (2) tipos de cargas eléctricas: **Positivas** y **Negativas**, definiendo a las cargas positivas como partículas subatómicas denominadas protones y a las negativas electrones. Estas cargas eléctricas ejercen fuerzas entre ellas, donde cargas de igual signo se repelen y de signo contrario se atraen (Figura 1.1).

Figura 1.1

Cargas eléctricas



Según la Ley de Coulomb (1785) la fuerza ejercida entre dos cargas está dada por:

$$F = K \frac{q_1 * q_2}{r^2}$$

Donde, **q_1** y **q_2** son consideradas partículas si su radio **r** es mucho menor que la longitud que las separa.

F es la fuerza resultante entre las dos (2) partículas, igual y de sentido opuesto independiente de la carga que posea cada una de ellas.

Del análisis matemático de la ecuación de la Ley de Coulomb, se establece una relación de proporcionalidad directa entre la fuerza y la carga de las partículas, es decir a mayor carga mayor la fuerza. Mientras que al relacionar la fuerza con el cuadrado de la distancia que separa las cargas, se asigna una relación de proporcionalidad inversa que describe a mayor distancia menor la fuerza.

El SI asigna al coulomb como unidad de carga cuyo símbolo es “**C**”, se plantea una relación de carga combinada de $6.24 * 10^{-18}$ *electrones* equivalente a -1 coulomb, conociendo que la carga de un electrón es de $-1.602 * 10^{-19}$ *C* y la de un protón es de $1.602 * 10^{-19}$ *C*.

A la carga de una partícula se la representa con la **q** en el caso de tratarse de una partícula de carga constante, mientras que se utiliza la **q(t)** para una partícula cuya carga sea variable con el tiempo.

Tensión eléctrica

Se define como una fuerza electromotriz externa o un diferencial de potencial existente entre dos (2) puntos capaz de generar el movimiento de cargas entre esos puntos. Se representa con la letra **v** si es constante o **v(t)** si varía a través del tiempo, su unidad de medida es el **volt [V]**.

Donde:

$$volt = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}}$$

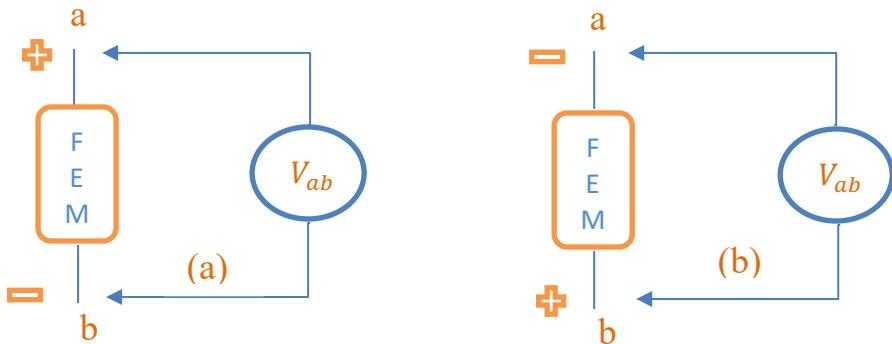
Considerando que el diferencial de potencial entre dos (2) terminales es la cantidad de trabajo en joules necesario para mover la carga unidad de un terminal hacia al otro se tiene:

$$v = \frac{dw \text{ (joules)}}{dq \text{ (coulombs)}}$$

Al hablar de diferencial de potencial, nos referimos a una polaridad donde uno de los dos (2) puntos va a ser mas positivo que el otro; observando la Figura 1.2, en el primer caso (a) se toma la medida del punto **a** hacia **b**, esto es **V_{ab}**, se tendrá una FEM positiva (+FEM) mientras que (b) si se toma la medida de **b** hacia **a**, el **V_{ab}** mostrará una FEM negativa (-FEM).

Figura 1.2

Polarización de tensión



Corriente eléctrica

Al flujo de carga eléctrica a través de un medio conductor se denominada corriente eléctrica. La unidad de medida de la corriente eléctrica es el **amper** [A] y se representa con la letra **i** si es una corriente eléctrica constante y con una **i(t)** si varía respecto al tiempo.

Donde:

$$i = \frac{dq \text{ (coulombs)}}{dt \text{ (segundos)}}$$

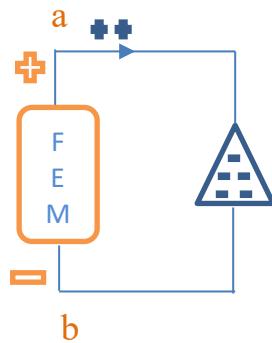
Si un flujo constante de 1 C de carga eléctrica pasa un punto dado en un conductor en 1 s, la corriente resultante es 1 A.

$$1 \text{ amper} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ segundo}}$$

En la actualidad, se ha analizado que en conductores metálicos, la corriente eléctrica está representada por el flujo de electrones cargados negativamente para desarrollo del análisis de circuitos eléctricos. Posteriormente, en este texto, se considerará la teoría planteada por Benjamín Franklin (1706-1790) quien estableció que al conectarse un conductor a un diferencial de potencial, las cargas empiezan a moverse como muestra la Figura 1.3, las positivas en un sentido y las negativas en sentido contrario, obteniendo que la corriente era el flujo de cargas positivas.

Figura 1.3

Flujo de cargas a través de un conductor

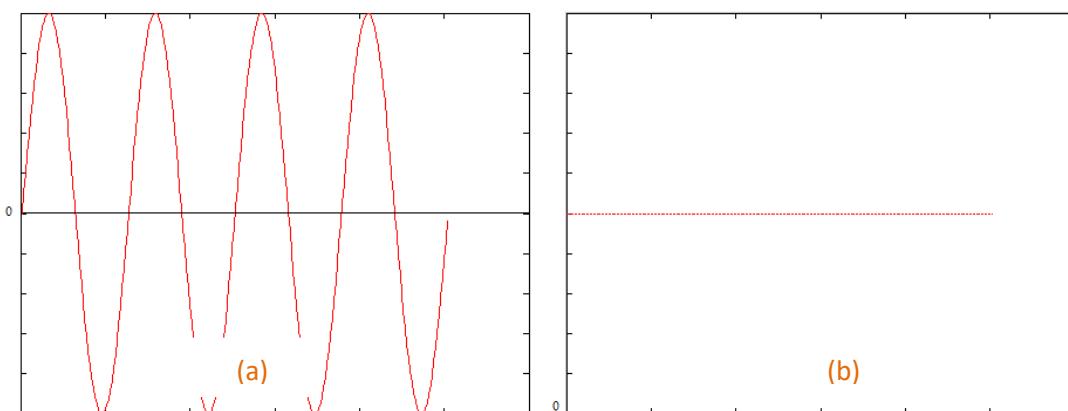


La corriente puede ser tipo alterna o continua; la Figura 1.4 muestra las señales que representan respectivamente los tipos de corriente.

La corriente alterna como se observa en la Figura 1.4 (a) varía en forma de una senoidal perfecta a través del tiempo mientras que, la **corriente continua** Figura 1.4 (b) se mantiene constante en el tiempo.

Figura 1.4

Corriente alterna (a) y corriente continua (b)



Potencia eléctrica

Se representa con la letra **p** para una potencia fija y **p(t)** si varía respecto al tiempo; su unidad de medida es el **watt [W]**.

Donde:

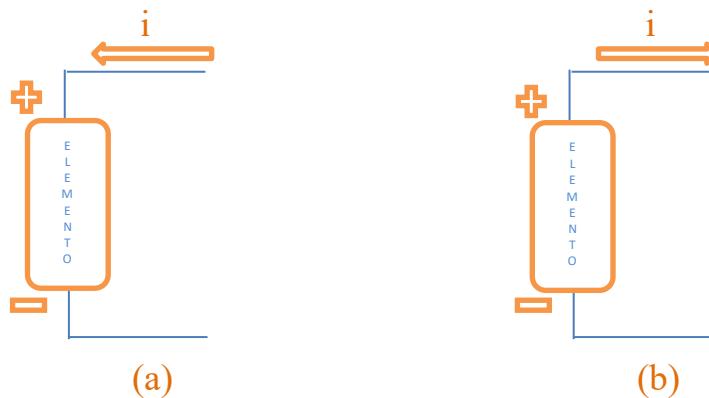
$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ segundo}}$$

El trabajo transmitido o absorvido en un determinado tiempo manteniendo una velocidad constante, se denomina potencia eléctrica.

Figura 1.5

Potencia absorbida (a) y suministrada (b)

$$p = \frac{dq \text{ (coulombs)}}{dt \text{ (segundos)}}$$



Al considerar un elemento polarizado es decir, con terminales positivo y negativo, Figura 1.5, se define que dicho elemento consumirá potencia si una corriente llega a su terminal positivo (a) mientras que si dicho elemento suministra potencia significará que la corriente sale del terminal positivo (b).

Al asociar la potencia con el flujo de carga eléctrica se obtiene equivalencias a las definiciones de voltaje y corriente expresado así:

$$p = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{dq}{dq} = \frac{dq}{dt} \cdot \frac{dw}{dq}$$

Obteniendo:

$$p = v \cdot i$$

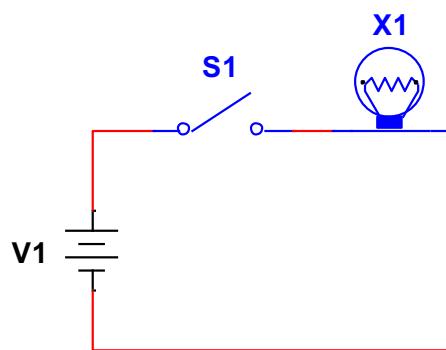
Si un elemento suministra potencia tendrá un valor de $+v \cdot i$ [W] y si el elemento realiza un consumo significará que su valor es de $-v \cdot i$ [W].

Elementos de un circuito eléctrico

En un circuito eléctrico se encuentran relacionados elementos activos y pasivos, donde los activos tales como fuentes de alimentación son los que dotan de energía a los pasivos tales como resistencias, condensadores e inductores que consumirán o almacenarán energía.

Figura 1.6

Circuito eléctrico básico



La Figura 1.6. describe un circuito eléctrico básico que lo encontramos en la vida cotidiana, donde se dispone de un interruptor para el control de encendido y apagado de un foco. V_1 representa una fuente de alimentación - elemento activo, X_1 es un foco, un elemento netamente resistivo – elemento pasivo y por último se encuentra S_1 que actúa simplemente como un seccionador de flujo eléctrico.

Fuentes de alimentación

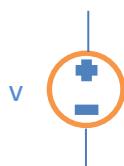
Proporcionan un nivel de voltaje o corriente constantes o variables respecto al tiempo, las fuentes que puede ser independientes y dependientes.

Fuentes independientes

En un circuito eléctrico mantienen el valor de su magnitud eléctrica constante sin importar las condiciones externas que proporcionen los elementos con los que se relaciona dentro del circuito.

Figura 1.7

F.I.V. Fuente independiente de voltaje



Proporciona un valor fijo de voltaje sin importar la corriente eléctrica que fluya a través de ella ni el número de otros elementos activos o pasivos con los que esté relacionada en un circuito eléctrico.

Figura 1.8

F.I.C. Fuente independiente de corriente



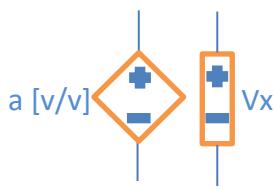
Mantiene un valor constante de corriente sin importar el voltaje que llegue a sus terminales ni tampoco influye en su valor el comportamiento de otros elementos activos o pasivos con los que esté relacionada en un circuito eléctrico.

Fuentes dependientes

Sean estas de voltaje o corriente, su valor depende de una señal externa que puede ser también de voltaje o corriente que provenga de otro elemento del circuito eléctrico al que pertenece.

Figura 1.9

F.V.D.V. Fuente de voltaje dependiente de un voltaje

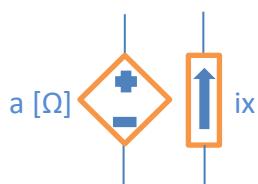


Una señal de voltaje externa V_x proveniente de otro elemento del circuito eléctrico, en producto con una constante adimensional a [v/v] propia de la fuente asignan su valor de voltaje.

Figura 1.10

F.V.D.C.

Fuente de voltaje dependiente de una corriente



i_x es una corriente que actúa como señal de control tomada del circuito eléctrico, que multiplicada por la constante óhmica de la fuente a [Ω] asignan el valor de corriente de la misma.

Figura 1.11

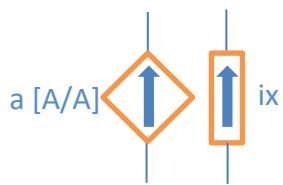
F.C.D.V. Fuente de corriente dependiente de un voltaje



Un valor de conductancia a [S] multiplicado por una señal de voltaje externa V_x que actúa como señal de control proveniente de otro elemento del circuito eléctrico determinan el valor de corriente que proporciona este tipo de fuente.

Figura 1.12

F.C.D.C. Fuente de corriente dependiente de una corriente

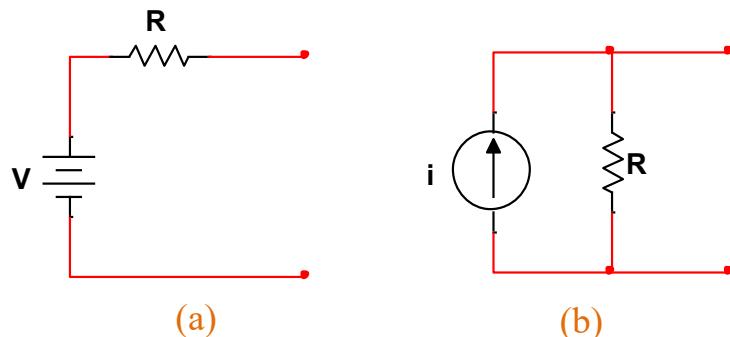


Una señal de corriente externa i_x proveniente de otro elemento del circuito eléctrico, en producto con una constante adimensional a [A/A] propia de la fuente asignan su valor de corriente.

Las fuentes analizadas se las puede definir también como ideales pues no se ha considerado ningún tipo de pérdida. Saliéndose del perfil de fuente ideal, se habla de que toda fuente tendrá su característica propia (impedancia interna de la fuente) para determinar sus pérdidas representando así una fuente del tipo real Figura 1.13.

Figura 1.13

Fuente real de voltaje (a), Fuente real de corriente (b)



Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica representa la oposición al flujo de corriente eléctrica que poseen los materiales al ser sometidos a un voltaje, se representa con la letra R . El nivel de resistencia de los materiales depende de su constitución atómica clasificándolos en:

- *Materiales conductores*, aquellos que permiten con facilidad el flujo de las cargas eléctricas, tienen muy baja resistencia.
- *Materiales aislantes*, aquellos que no permiten el libre flujo de corriente eléctrica poseen una elevada resistencia.
- *Materiales semiconductores*, aquellos que bajo ciertas condiciones actúan como conductores y bajo otras como aislantes, su resistencia se muestra variable.

La Tabla 1.4. muestra un listado de materiales comunes con su grado de resistividad expresado en ohmios por unidad de longitud.

Tabla 1.4*Resistividad de materiales más comunes*

Material	Resistividad [$\Omega - m$]	Tipo de material
Plata	$1.64 * 10^{-8}$	Conductor
Cobre	$1.72 * 10^{-8}$	Conductor
Aluminio	$2.8 * 10^{-8}$	Conductor
Oro	$2.45 * 10^{-8}$	Conductor
Carbón	$4 * 10^{-5}$	Semiconductor
Germanio	$47 * 10^{-2}$	Semiconductor
Silicio	$6.4 * 10^2$	Semiconductor
Papel	$1 * 10^{10}$	Aislante
Mica	$5 * 10^{11}$	Aislante
Vidrio	$1 * 10^{12}$	Aislante
Teflón	$3 * 10^{12}$	Aislante

Nota. Adaptado de Alcalde San Miguel (2010)

La resistencia de un conductor depende de su longitud (l), su sección (s) y la resistividad del material (ρ) que lo constituye, obteniendo:

$$R = \rho \frac{l}{s} [\Omega]$$

En un circuito eléctrico, el elemento pasivo que representa la resistencia eléctrica es el resistor que está construido a partir de aleaciones metálicas y carbono. Su símbolo dentro de un circuito eléctrico es el que se muestra en la Figura 1.14

Figura 1.14*Símbolo de un resistor*

Conexiones y reducción de redes resistivas

Resistores en serie

Se determina que los resistores están conectados en serie cuando se ubican uno a continuación del otro como se muestra en la Figura 1.15.

Figura 1.15

Resistores en serie



Se puede obtener una resistencia equivalente del conjunto de resistores conectados en serie mediante la suma de sus valores resistivos:

$$R_{EQUIVALENTE} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

Reduciendo en un sólo resistor la resistencia que representan los cuatro (4) resistores conectados en serie.

A continuación se plantean ejercicios resueltos.

Ejercicio 1

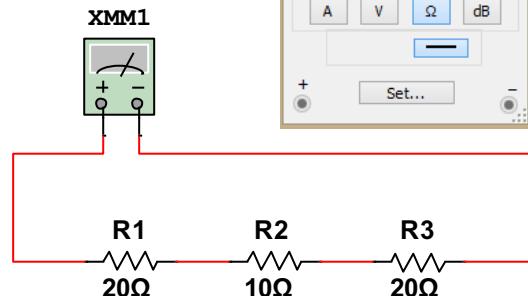
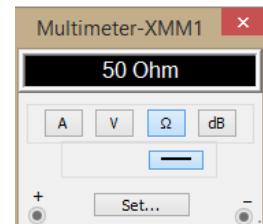
Encontrar la resistencia equivalente del conjunto de resistores planteado.



$$R_{EQUIVALENTE} = R_1 + R_2 + R_3$$

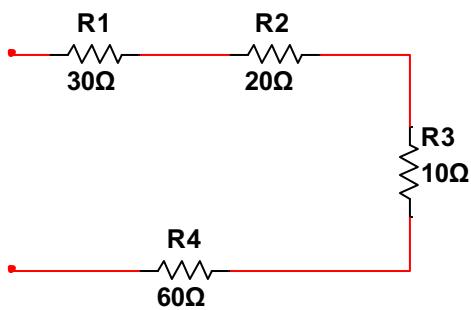
$$R_{EQUIVALENTE} = 20\Omega + 10\Omega + 20\Omega$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 50\Omega$$



Ejercicio 2

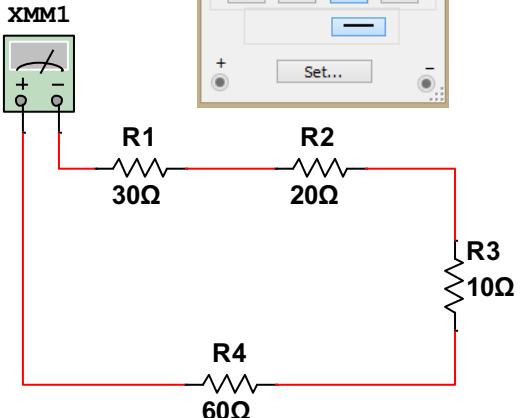
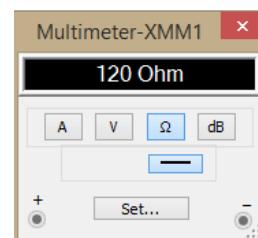
Encontrar la resistencia equivalente del conjunto de resistores planteado.



$$R_{EQUIVALENTE} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 30\Omega + 20\Omega + 10\Omega + 60\Omega$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 120\Omega$$

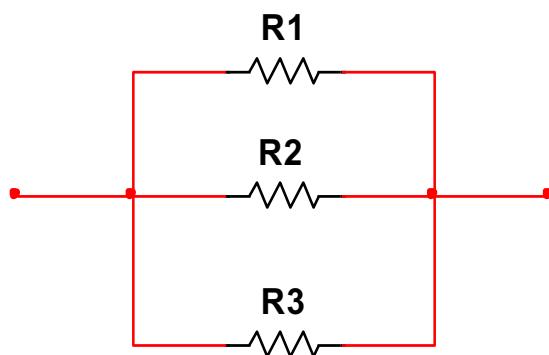


Resistores en paralelo

Se asocian resistores en paralelo cuando conectan sus terminales como se muestra en la Figura 1.15.

Figura 1.15

Resistores en paralelo



El principio de reducción de arreglos resistivos se aplica también para resistores conectados en paralelo, donde para obtener la resistencia equivalente del conjunto de resistores se aplica:

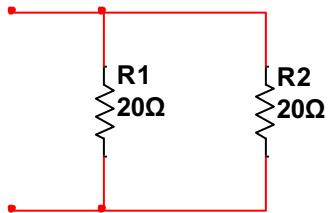
$$R_{EQUIVALENTE} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{Aplica para dos resistencias en paralelo.}$$

$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{Aplica para dos o más resistencias en paralelo.}$$

A continuación se citan ejemplos.

Ejercicio 1

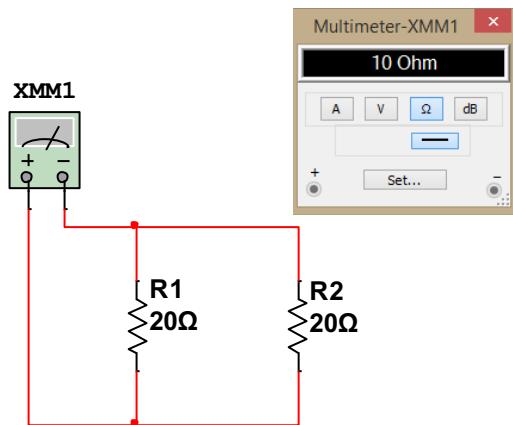
Encontrar la resistencia equivalente del conjunto de resistores planteado.



$$R_{EQUIVALENTE} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

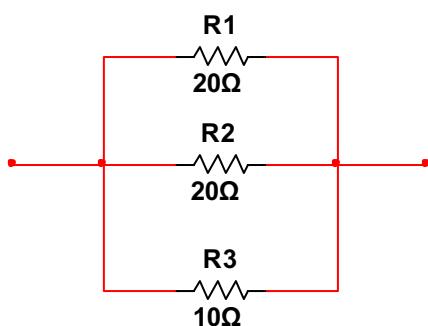
$$R_{EQUIVALENTE} = \frac{20 * 20}{20 + 20}$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 10[\Omega]$$



Ejercicio 2

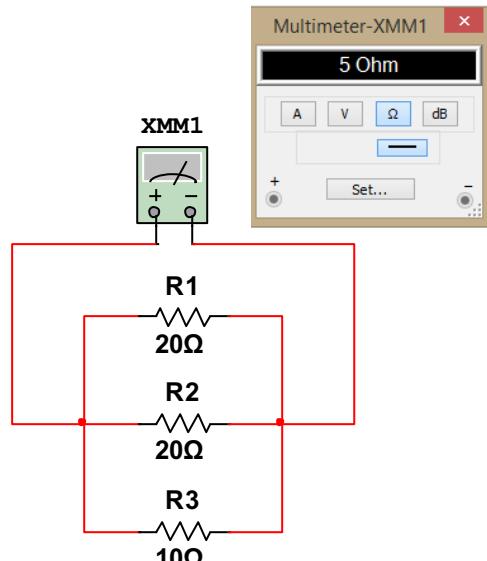
Encontrar la resistencia equivalente del conjunto de resistores planteado.



$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{10}$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 5 [\Omega]$$

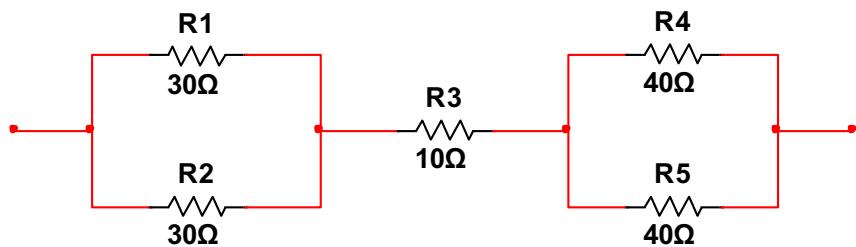


No siempre se van a encontrar resistencias solo conectadas en serie o en paralelo, las muchas aplicaciones de los circuitos eléctricos representa la necesidad de combinar conexiones surgiendo de este modo los denominados **circuitos mixtos**.

A continuación, se plantea la resolución de circuitos mixtos a través de los criterios planteados para la resolución de circuitos serie y paralelo.

Ejercicio 3

Obtener la resistencia equivalente de la red eléctrica.



Se procede a trabajar primero los tramos de las resistencias en paralelo, en este caso existen dos, por lo tanto, para cada tramo se halla una resistencia equivalente.

$$R_{EQUIVALENTE\ 1} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{EQUIVALENTE\ 2} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

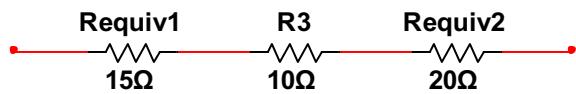
$$R_{EQUIVALENTE\ 1} = \frac{30 * 30}{30 + 30}$$

$$R_{EQUIVALENTE\ 2} = \frac{40 * 40}{40 + 40}$$

$$R_{EQUIVALENTE\ 1} = 15[\Omega]$$

$$R_{EQUIVALENTE\ 2} = 20[\Omega]$$

Con la obtención de las resistencias equivalentes, el circuito se reduce a una red eléctrica en serie de la cual se obtiene una resistencia equivalente que iguala a la resistencia total del circuito.

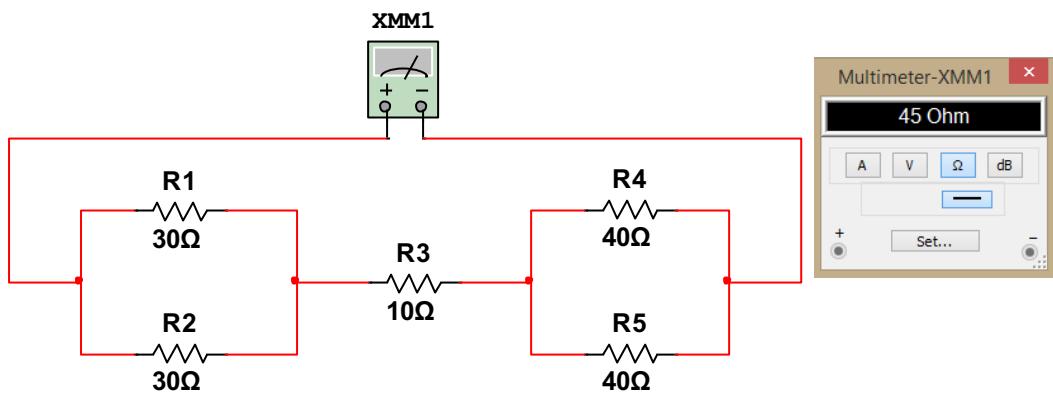


$$R_{EQUIVALENTE} = R_{EQUIVALENTE\ 1} + R_3 + R_{EQUIVALENTE\ 2}$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 15[\Omega] + 10[\Omega] + 20[\Omega]$$

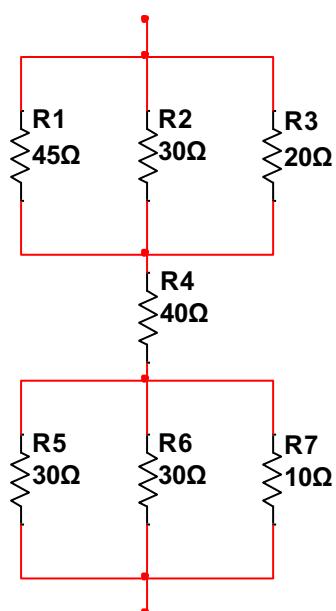
$$R_{EQUIVALENTE} = 45[\Omega]$$

Por medio de la simulación se verifican los resultados obtenidos.



Ejercicio 4

Obtener la resistencia equivalente de la red eléctrica.



En la red eléctrica planteada, se identifican dos tramos de tres resistores en paralelo, se procede a hallar el resistor equivalente de cada uno de ellos.

$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE\ 1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE\ 2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

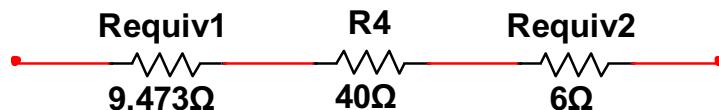
$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE\ 1}} = \frac{1}{45} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{R_{EQUIVALENTE\ 2}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{10}$$

$$R_{EQUIVALENTE\ 1} = 9.473[\Omega]$$

$$R_{EQUIVALENTE\ 2} = 6 [\Omega]$$

Obtenidas las resistencias equivalentes de los tramos en paralelo se describe una red en serie.

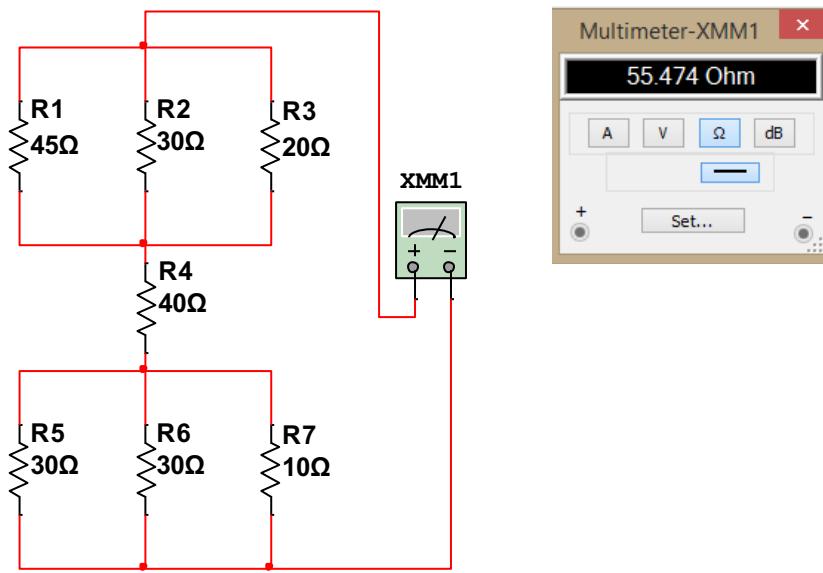


$$R_{EQUIVALENTE} = R_{EQUIVALENTE\ 1} + R_4 + R_{EQUIVALENTE\ 2}$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 9.473[\Omega] + 40[\Omega] + 6[\Omega]$$

$$R_{EQUIVALENTE} = 55.473 [\Omega]$$

Se comprueban los resultados.



CAPÍTULO 2

Leyes básicas



Capítulo 2

Leyes básicas

Introducción

En este capítulo, se pretende asignar valores a las magnitudes definidas en el capítulo 1 basados en los criterios de las leyes fundamentales que rigen a los circuitos eléctricos. Se exponen también, los tipos de conexiones que pueden darse entre los elementos que conforman un circuito eléctrico y se caracterizan cada una de ellas. Finalmente, se plantean técnicas de reducción y simplificación de elementos dentro de un circuito eléctrico.

Ley de Ohm

Georg Simon Ohm (1787-1854) fue quien determinó en un resistor, la relación entre la tensión y la corriente.

La ley de Ohm establece:

“La corriente eléctrica (v) es directamente proporcional a la tensión (v) e inversamente proporcional a la resistencia”

Expresada matemáticamente se tiene:

$$i = \frac{v}{R} [A]$$

La proporcionalidad directa denotada en la ley de Ohm que al incrementar el voltaje también incrementará la corriente. Mientras que la proporcionalidad inversa señala que mientras mas alto el valor de la resistencia, menor será la corriente que fluya por el circuito (Guerrero y Candeló, 2017, p. 34).

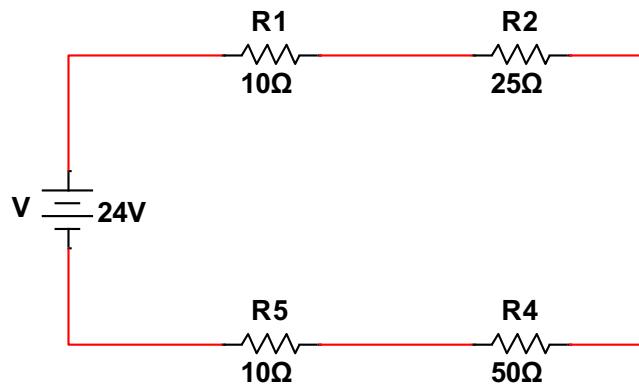
De la ecuación principal se derivan por despeje matemático las siguientes ecuaciones que ayudarán al cálculo directo de las magnitudes eléctricas acorde a los datos que se dispongan del circuito eléctrico.

$$v = i * R[A] \quad R = \frac{v}{i} [\Omega]$$

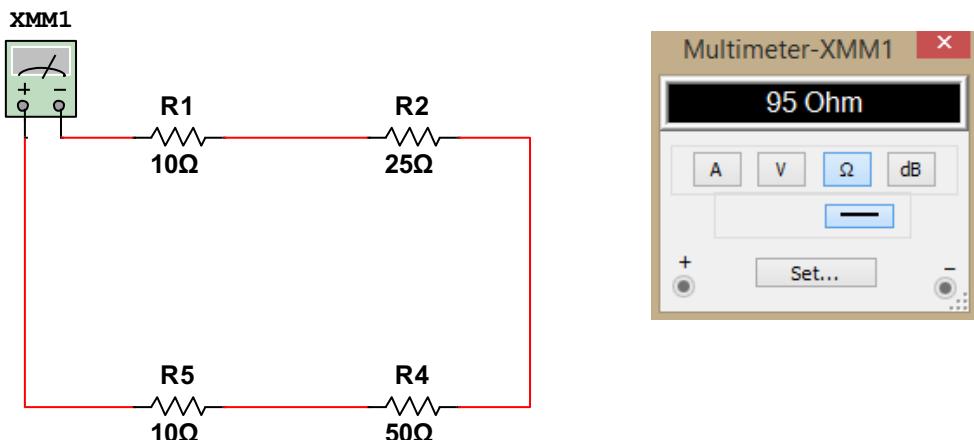
Al aplicar las ecuaciones citadas, se deberá tomar en cuenta la polaridad de la tensión y el sentido de la corriente. Cabe indicar en este punto, que los valores asignados a la resistencia siempre serán positivos, no existen resistencias negativas.

Ejercicio 1

Encontrar la corriente eléctrica que fluye por el siguiente circuito.



Se procede a encontrar la resistencia total del circuito considerando que se tiene el conjunto de cinco resistencias en serie.



$$RT = R1 + R2 + R3 + R4$$

$$RT = 10 + 25 + 50 + 10 [\Omega]$$

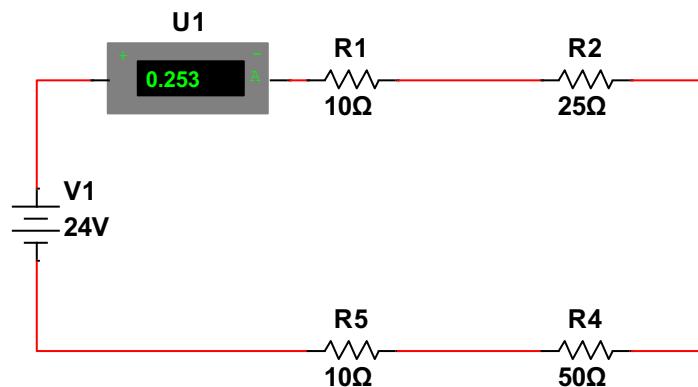
$$RT = 95 [\Omega]$$

Establecida la resistencia total del circuito y siendo conocido el diferencial de potencial que alimenta el circuito, se aplica la Ley de Ohm para determinar la corriente.

$$IT = \frac{Vs}{RT}$$

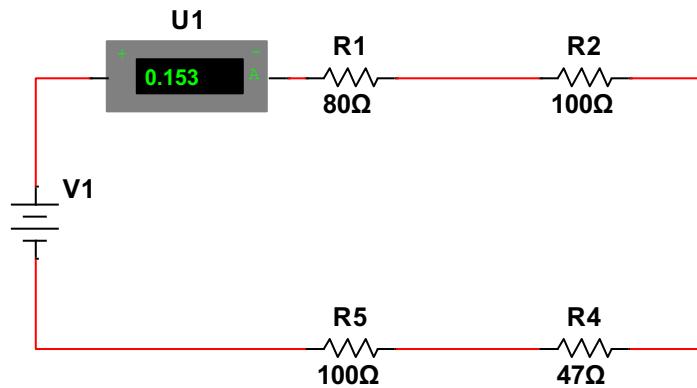
$$IT = \frac{24 [v]}{95 [\Omega]}$$

$$IT = 0.252 [A]$$

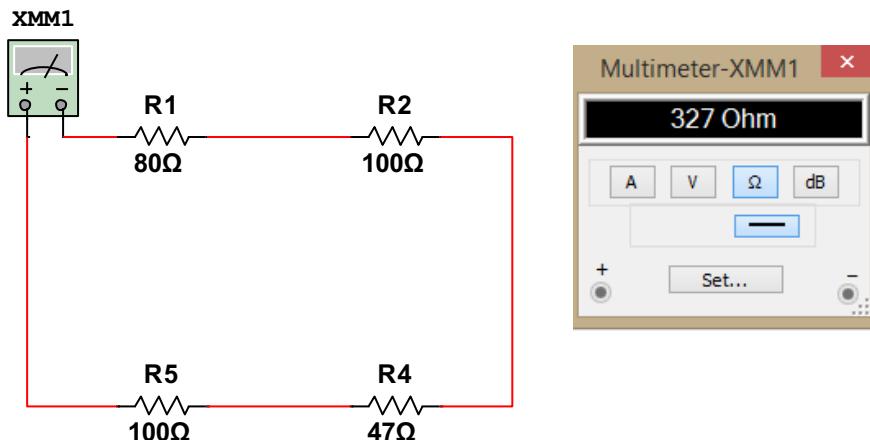


Ejercicio 2

En el siguiente circuito eléctrico se conoce el valor de la corriente y el valor individual de los resistores. Hallar el valor de la fuente de tensión.



Se procede a encontrar la resistencia total del circuito:



$$RT = R1 + R2 + R3 + R4$$

$$RT = 80 + 100 + 47 + 100 [\Omega]$$

$$RT = 327 [\Omega]$$

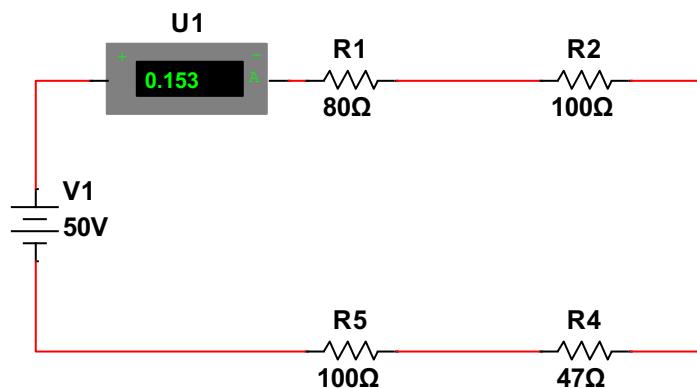
Conocidos resistencia total $RT = 95 \text{ } [\Omega]$ y la corriente eléctrica marcada en el amperímetro de $IT = 0.153 \text{ } [A]$ que fluye a través del circuito, se aplica Ley de Ohm para hallar la tensión.

$$V_1 = IT * RT$$

$$V_1 = 0.153 \text{ } [A] * 327 \text{ } [\Omega]$$

$$V_1 = 50 \text{ } [v]$$

Se verifica el resultado obtenido con la simulación.

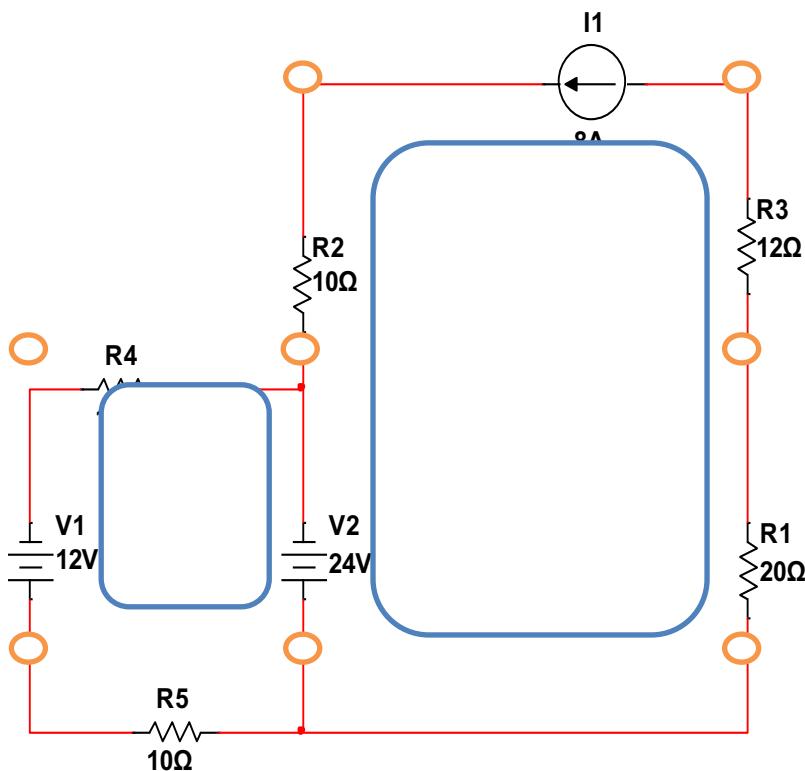


Circuitos eléctricos y redes eléctricas

Si bien es cierto, circuito eléctrico y red eléctrica relacionan la interconexión de elementos eléctricos activos y pasivos para cumplimiento de un fin, se las puede definir

como dos casos diferentes, se plantea que una red es la simple interconexión de varios elementos o dispositivos, mientras que el circuito condiciona a la integración de una red que genere una o más trayectoras cerradas, este análisis conlleva a determinar cierta topología para estas redes apareciendo la terminología sobre rama, nodo y lazo (Fernández de Ávila y Hidalgo García, 2013 p. 5).

Figura 2.1
Circuito eléctrico



Rama

Una **rama** representa un sólo elemento sea este pasivo o activo dentro de un circuito eléctrico, en la Figura 2.1 se determina la existencia de ocho (8) ramas representadas por las fuentes de tensión V_1 y V_2 , las resistencias R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 y la fuente de corriente I_1 .

Nodo

Un **nodo** representa un punto de conexión entre dos (2) o más ramas considerando que cada una dispone de terminales que son los que se conectarán para formar el nodo. En la Figura 2.1 existen ocho (8) nodos representados con .

Lazo

Un **lazo** es una trayectoria cerrada formada de elementos eléctricos, sean estos activos o pasivos, se plantea que tendrá un nodo de partida y siguiendo la trayectoria de la red eléctrica esta deberá conducir de regreso al nodo que se tomó como referencia de partida. En la Figura 2.1 existen dos lazos señalados con .

Leyes de Kirchhoff

Gustav Kirchhoff (1824-1887) fue quien en el año de 1845 determinó las leyes para el cálculo de tensión, corrientes y resistencias en circuitos eléctricos, mismas que hoy se conocen como Leyes de Kirchhoff.

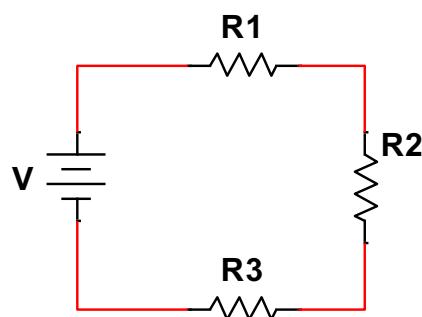
Ley de Voltajes de Kirchhoff (LVK)

Todo elemento pasivo genera una caída de tensión según su grado de resistividad, para el cálculo de estas se utiliza la LVK que menciona:

“La suma algebraica de caídas de tensión generadas en los elementos pasivos de un circuito es igual a la tensión que suministran las fuentes” (Fernández de Ávila y Hidalgo García, 2013 p. 9).

Figura 2.2.

Circuito aplicable LVK



$$V = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

Esta ley se demuestra en circuitos conectados en serie donde se establece que la corriente i que circula através de todos los elementos que conforman el circuito eléctrico es la misma.

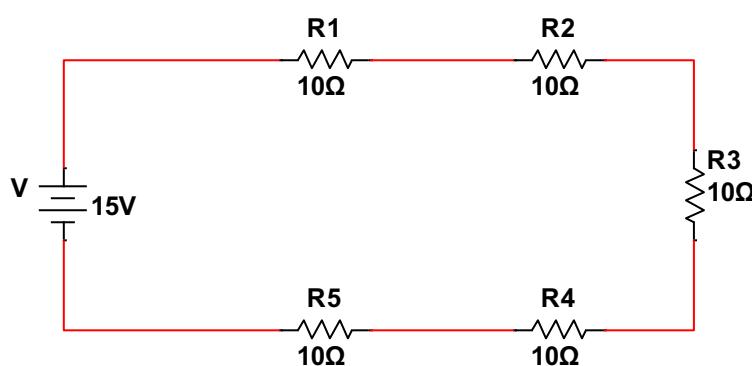
En el caso de las tensiones, se dice que cada elemento del circuito genera una caída de tensión y estas, relacionadas con el voltaje de alimentación del circuito en sumatoria algebraica considerando un sentido único de polarización asignado por la dirección de la corriente dan como resultado cero.

$$-V + V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = 0$$

A continuación, se plantean redes eléctricas en las que se busca determinar las caídas de tensión en cada elemento y comprobar la veracidad del enunciado de la LVK.

Ejercicio 1

Demostrar el enunciado de la LVK en la siguiente red eléctrica

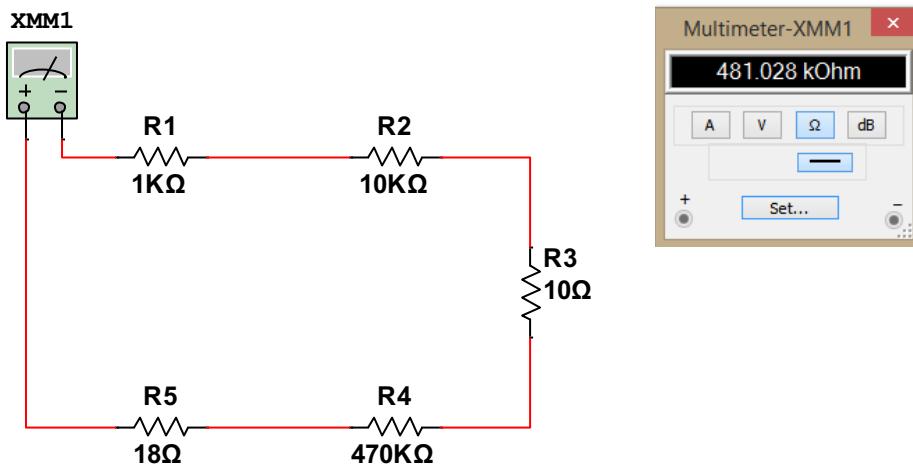


Como datos de la red eléctrica, se observan los valores de la fuente de tensión y cinco resistores, por lo que, para proceder a demostrar la LVK, se calcula inicialmente la resistencia total del conjunto de resistores.

$$RT = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$RT = 1 * 10^3 + 10 * 10^3 + 10 + 470 * 10^3 + 18[\Omega]$$

$$RT = 481028 [\Omega] = 481.028 [K\Omega]$$

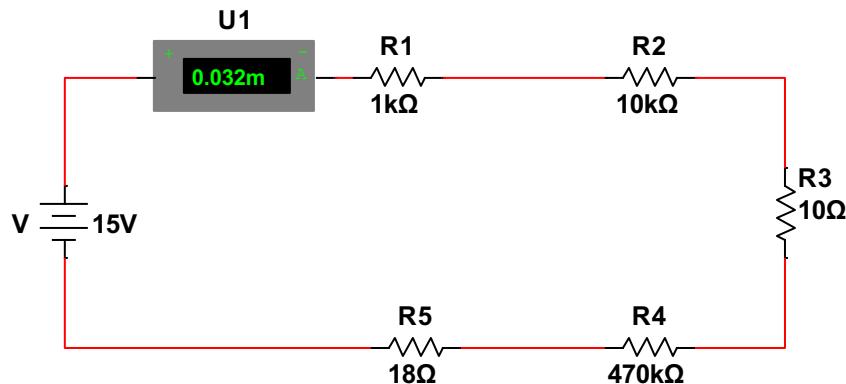


Al conocer la resistencia total en el circuito y el valor de tensión, se calcula por medio de la Ley de Ohm, el valor de la corriente que circula en el circuito.

$$IT = \frac{Vs}{RT}$$

$$IT = \frac{15 [v]}{481.028 [K\Omega]}$$

$$IT = 0.032 [mA]$$



Basado en el criterio de la existencia de una sola corriente que circula en un circuito en serie, se procede con el cálculo de cada una de las caídas de tensión en los resistores del circuito.

$$Vs = V = 15 [v] \quad IT = 0.032 [mA]$$

$$V_{R1} = IT * R1$$

$$V_{R2} = IT * R2$$

$$V_{R3} = IT * R3$$

$$V_{R1} = 0.032 [mA] * 1[K\Omega] \quad V_{R2} = 0.032 [mA] * 10[K\Omega] \quad V_{R3} = 0.032 [mA] * 10[\Omega]$$

$$V_{R1} = 0.033 [v]$$

$$V_{R2} = 0.326 [v]$$

$$V_{R3} = 0.326 [mv]$$

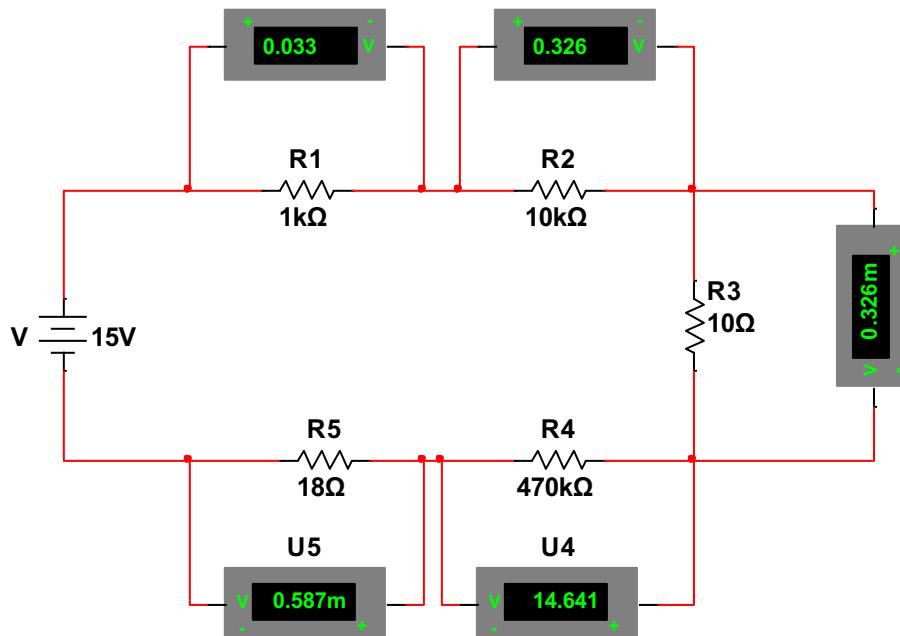
$$V_{R4} = IT * R4$$

$$V_{R5} = IT * R5$$

$$V_{R4} = 0.032 [mA] * 470[K\Omega] \quad V_{R5} = 0.032 [mA] * 18[\Omega]$$

$$V_{R4} = 14.641 [v]$$

$$V_{R5} = 0.587 [mv]$$



$V_{R1}, V_{R2}, V_{R3}, V_{R4}$ y V_{R5} son las caídas de tensión calculadas y comprobadas con la simulación. Se aplica el criterio de la LVK y se obtiene:

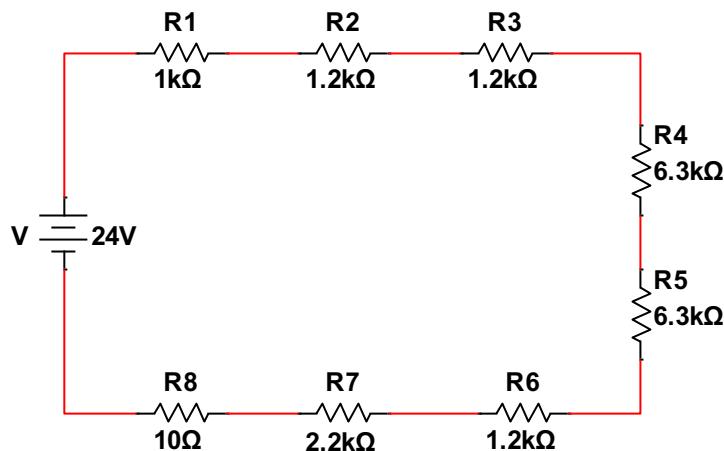
$$Vs = V = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R4} + V_{R5}$$

$$Vs = V = [0.033 + 0.326 + 0.326 * 10^{-3} + 14.641 + 0.587 * 10^{-3}] [v]$$

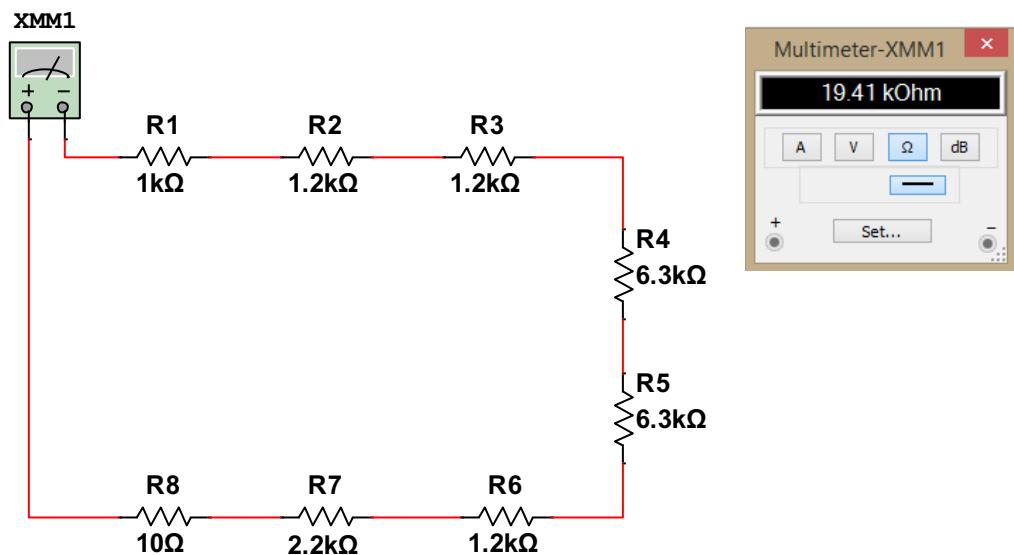
$$Vs = V = 15 [v]$$

Ejercicio 2

Hallar las caídas de tensión en los resistores y demostrar la LVK.



Se procede con el cálculo de la resistencia total en el circuito y al igual que en los dos (2) ejercicios anteriores, se observará que esta resistencia calculada es mayor a la mayor de todos los resistores del circuito, dicha condición se cumplirá siempre para circuitos de conexión serie.



$$RT = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 + R8$$

$$RT = [1 * 10^3 + 1.2 * 10^3 + 1.2 * 10^3 + 6.3 * 10^3 + 6.3 * 10^3 + 1.2 * 10^3 + 2.2 * 10^3 + 10][\Omega]$$

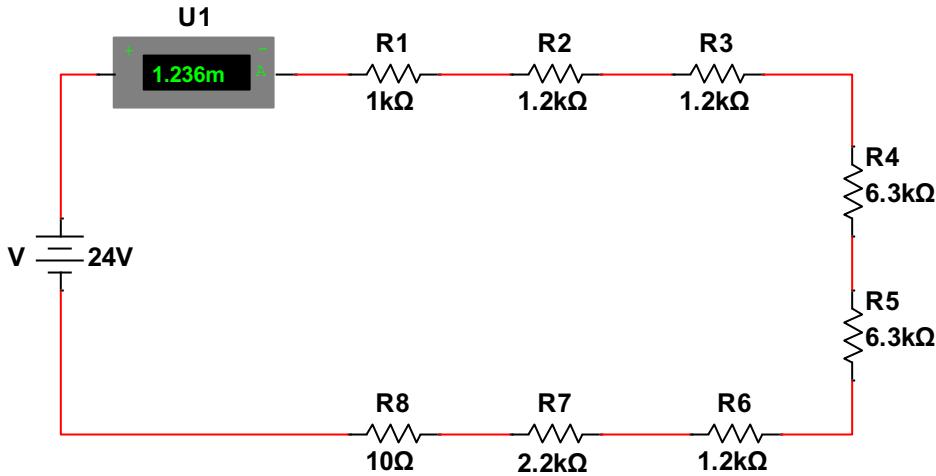
$$RT = 19410[\Omega] = 19.41 [K\Omega]$$

Aplicación de la Ley de Ohm con datos conocidos de tensión y resistencia para hallar la corriente del circuito.

$$IT = \frac{Vs}{RT}$$

$$IT = \frac{24[v]}{19.41[K\Omega]}$$

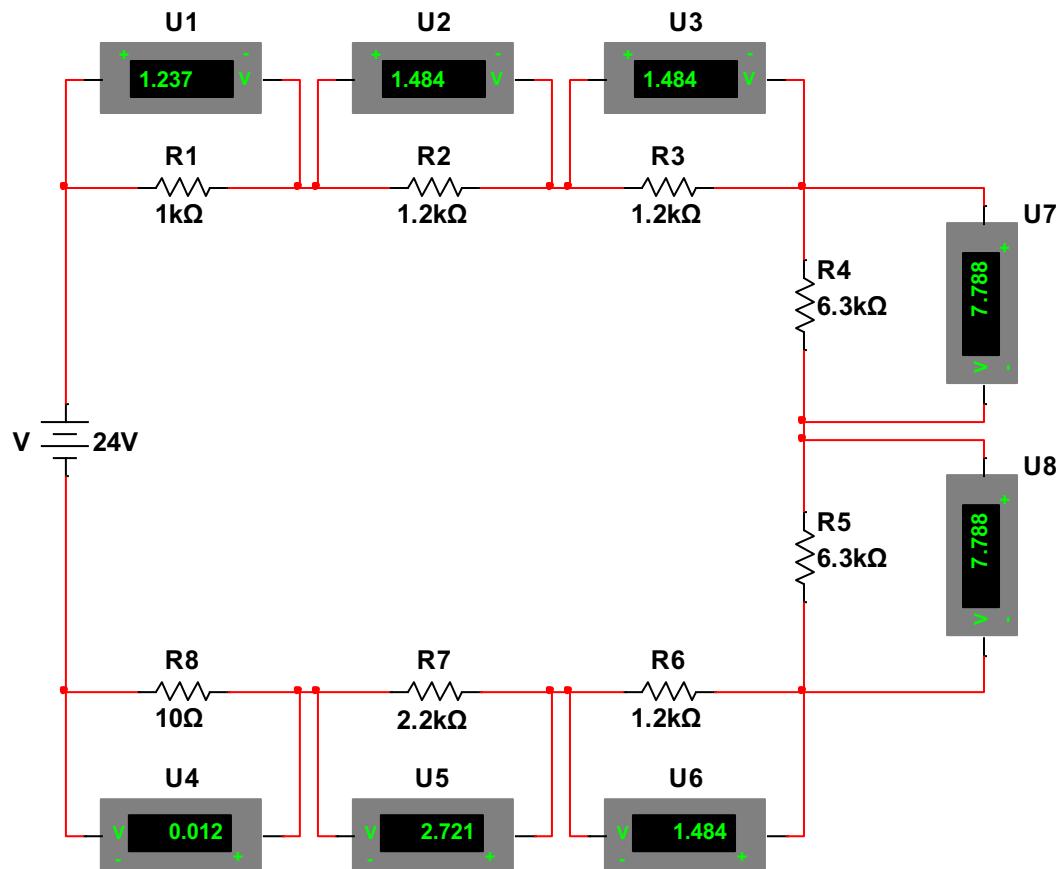
$$IT = 1.236 [mA]$$



Se procede con el cálculo de las caídas de tensión provocadas por cada uno de los resistores.

$$Vs = V = 24 [v]$$

$$IT = 1.236 [mA]$$



$$V_{R1} = IT * R1$$

$$V_{R2} = IT * R2$$

$$V_{R3} = IT * R3$$

$$V_{R1} = 1.236 \text{ [mA]} * 1[\text{K}\Omega] \quad V_{R2} = 1.236 \text{ [mA]} * 1.2[\text{K}\Omega] \quad V_{R3} = 1.236 \text{ [mA]} * 1.2[\text{k}\Omega]$$

$$V_{R1} = 1.237 \text{ [v]}$$

$$V_{R2} = 1.484 \text{ [v]}$$

$$V_{R3} = 1.484 \text{ [v]}$$

$$V_{R4} = IT * R4$$

$$V_{R5} = IT * R5$$

$$V_{R6} = IT * R6$$

$$V_{R4} = 1.236 \text{ [mA]} * 6.3[\text{K}\Omega] \quad V_{R5} = 1.236 \text{ [mA]} * 6.3[\text{K}\Omega] \quad V_{R6} = 1.236 \text{ [mA]} * 1.2[\text{K}\Omega]$$

$$V_{R4} = 7.788 \text{ [v]}$$

$$V_{R5} = 7.788 \text{ [v]}$$

$$V_{R6} = 1.484 \text{ [v]}$$

$$V_{R7} = IT * R7$$

$$V_{R8} = IT * R8$$

$$V_{R7} = 1.236 \text{ [mA]} * 2.2[\text{K}\Omega] \quad V_{R8} = 1.236 \text{ [mA]} * 10[\Omega]$$

$$V_{R7} = 2.721 \text{ [v]}$$

$$V_{R8} = 0.012 \text{ [v]}$$

Suma algebraica: los voltajes obtenidos de cada resistencia para verificar el cumplimiento de las LVK.

$$V_s = V = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R4} + V_{R5} + V_{R6} + V_{R7} + V_{R8}$$

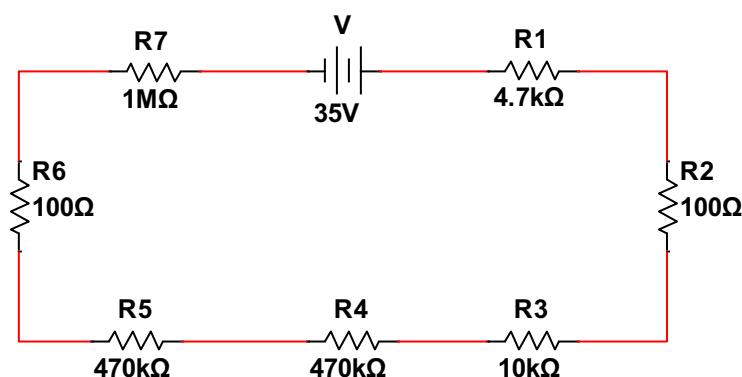
$$V_s = V = [1.237 + 1.484 + 1.484 + 7.788 + 7.788 + 1.484 + 2.721 + 0.012][v]$$

$$V_s = V = 24 [v]$$

Se demuestra que la sumatoria de las caídas de tensión en los resistores $V_{R1}, V_{R2}, V_{R3}, V_{R4}, V_{R5}, V_{R6}, V_{R7}$ y V_{R8} igual al voltaje de fuente.

Ejercicio 3

Hallar las caídas de tensión en los resistores y demostrar la LVK.

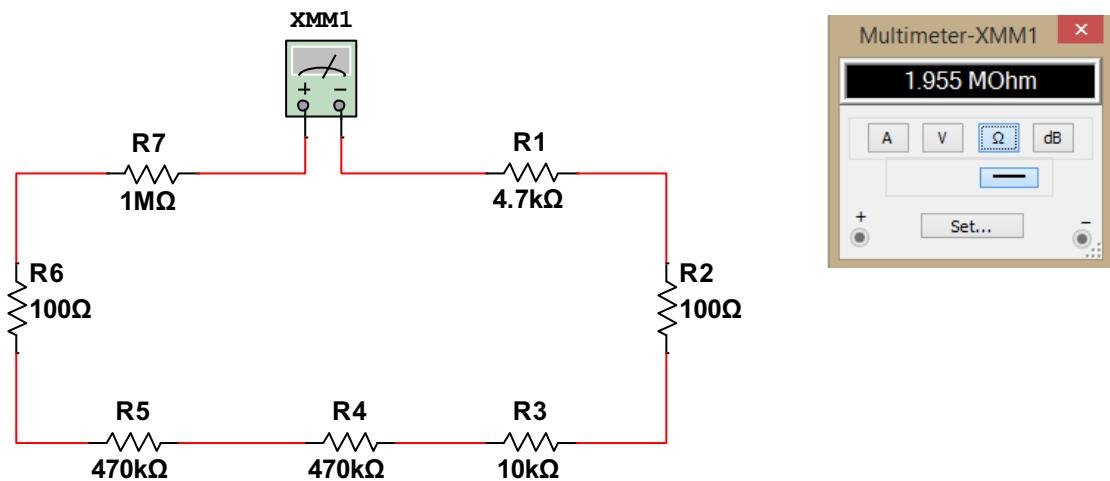


Cálculo de la resistencia total del circuito.

$$RT = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8$$

$$RT = [4.7 * 10^3 + 100 + 10 * 10^3 + 470 * 10^3 + 470 * 10^3 + 100 + 1 * 10^6] [\Omega]$$

$$RT = 1955000 [\Omega] = 1955 [k\Omega] = 1.955 [M\Omega]$$

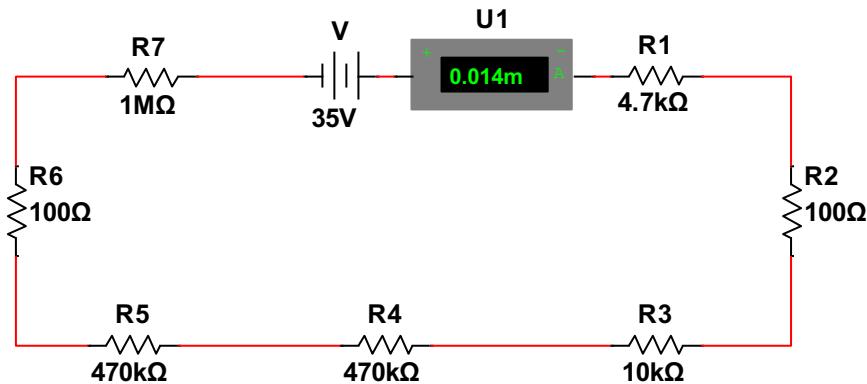


Cálculo de la corriente que impulsa el diferencial de potencial de 35[V] a través de la resistencia calculada de 1955[kΩ]

$$IT = \frac{Vs}{RT}$$

$$IT = \frac{35[v]}{1955[K\Omega]}$$

$$IT = 0.014 [mA]$$



Caídas de tensión

$$Vs = V = 24 [V]$$

$$IT = 1.236 [mA]$$

$$V_{R1} = IT * R1$$

$$V_{R2} = IT * R2$$

$$V_{R3} = IT * R3$$

$$V_{R1} = 0.014 [mA] * 4.7[k\Omega] \quad V_{R2} = 0.014 [mA] * 100[\Omega] \quad V_{R3} = 0.014 [mA] * 10[k\Omega]$$

$$V_{R1} = 0.09 [v]$$

$$V_{R2} = 1.921 [v]$$

$$V_{R3} = 0.192 [v]$$

$$V_{R4} = IT * R4$$

$$V_{R5} = IT * R5$$

$$V_{R6} = IT * R6$$

$$V_{R4} = 0.014 [mA] * 470[K\Omega] \quad V_{R5} = 0.014 [mA] * 470[K\Omega] \quad V_{R6} = 0.014 [mA] * 100[K\Omega]$$

$$V_{R4} = 8.624 [v]$$

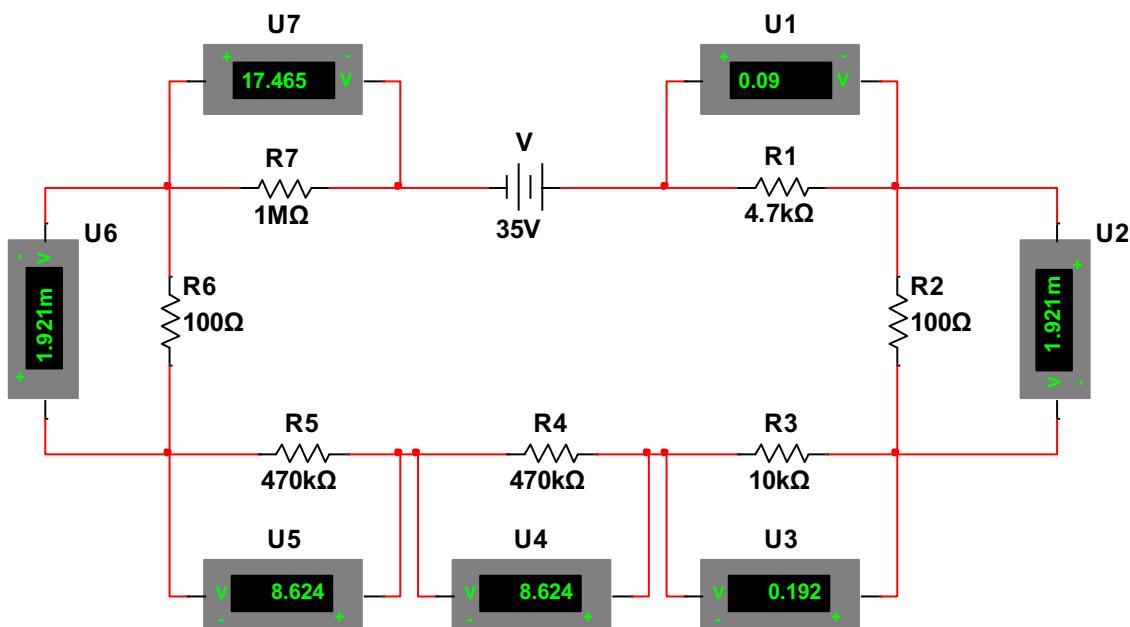
$$V_{R5} = 8.624 [v]$$

$$V_{R6} = 1.921 [v]$$

$$V_{R7} = IT * R7$$

$$V_{R7} = 0.014 [mA] * 1[M\Omega]$$

$$V_{R7} = 17.465 [v]$$



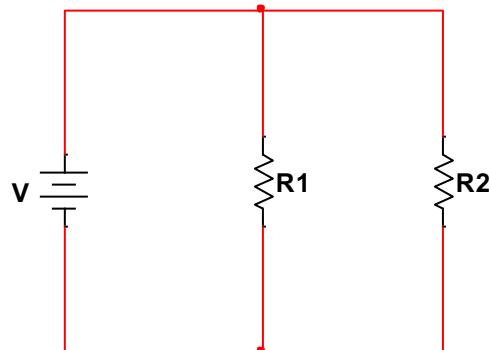
$$\begin{aligned}
 V_s &= V = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R4} + V_{R5} + V_{R6} + V_{R7} \\
 V_s &= V = [0.09 + 1.921 * 10^{-3} + 0.192 + 8.624 + 8.624 + 1.921 * 10^{-3} + 17.465][v] \\
 V_s &= V = 35 [v]
 \end{aligned}$$

Los resistores R_4 y R_5 que tienen mismo valor Óhmico permiten observar que las caídas de tensión en ellos es la misma, por lo que se puede establecer que el número de resistores en la trayectoria del lazo es indeterminado; se colocarán las necesarias para el fin que tenga el circuito y si son de igual valor, la tensión se distribuirá uniformemente en todas ellas.

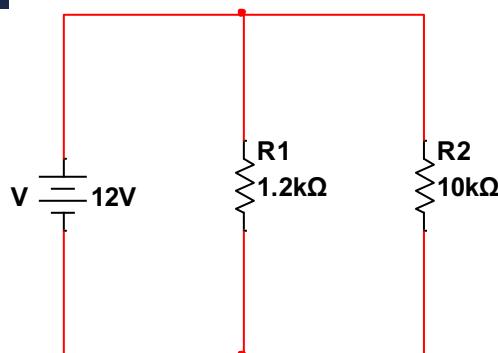
En los dos (2) ejercicios anteriores, se observan los valores de las caídas de tensión y se denota una relación de proporcionalidad directa del voltaje con la resistencia, es decir, mientras mayor sea la resistencia, mayor será la caída de tensión.

Redes eléctricas resistivas en paralelo

Divisores de corriente

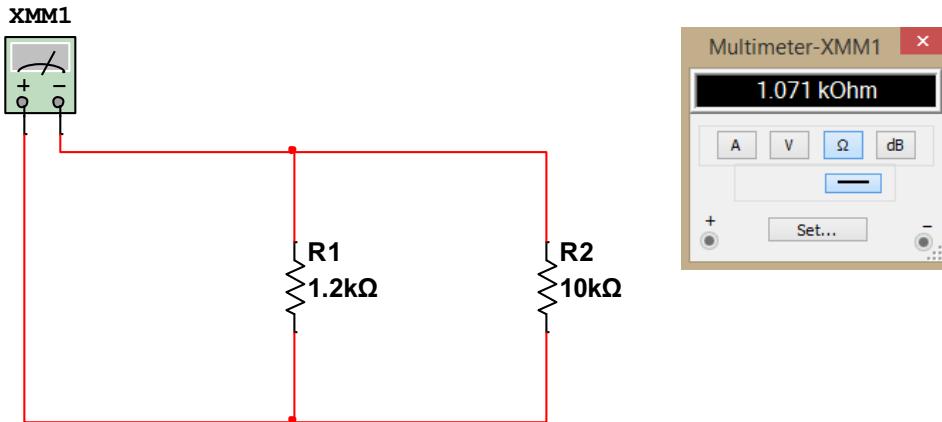


Ejercicio 1

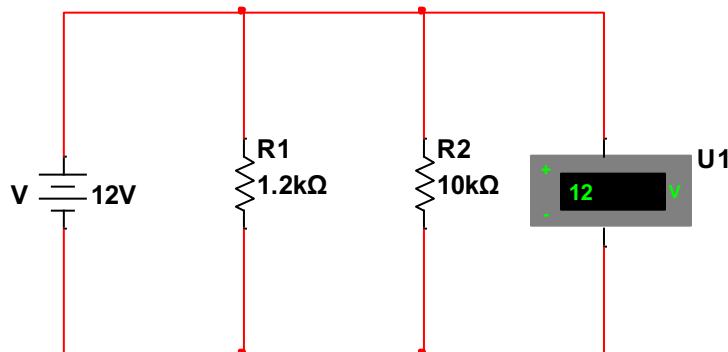


Montaje en Protoboard

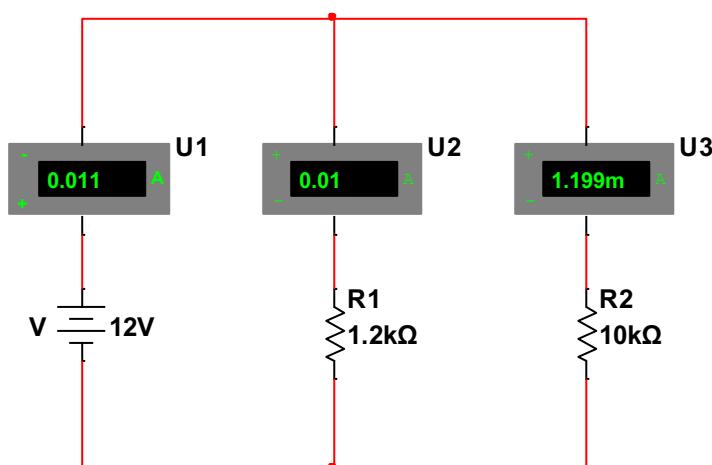
Resistencia total



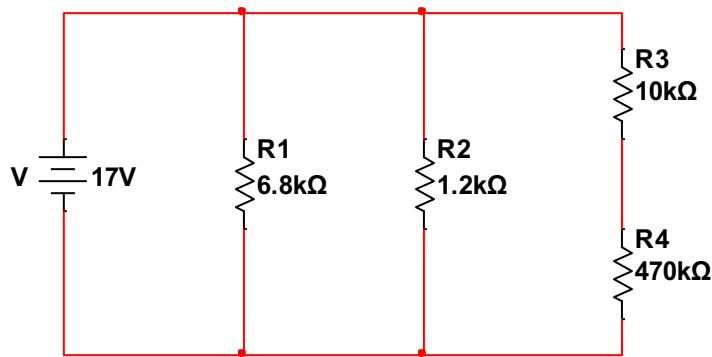
Voltaje de alimentación



Corrientes de rama y total

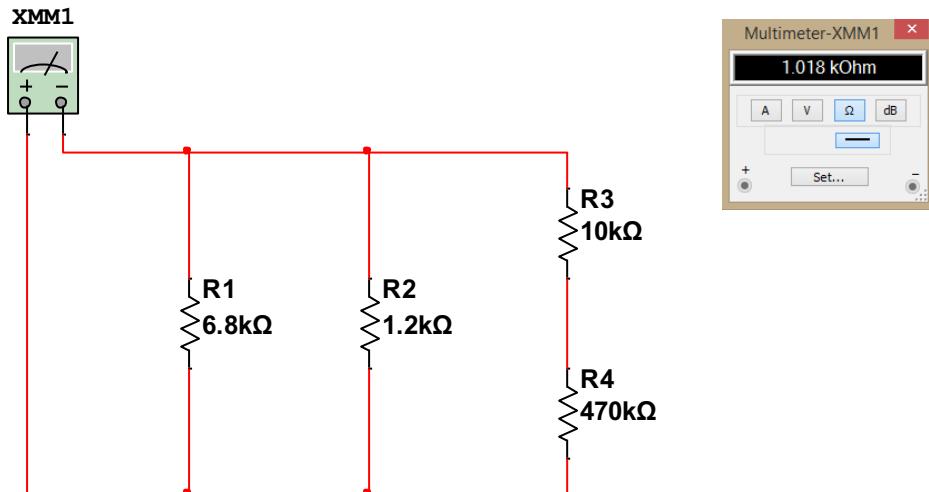


Ejercicio 2

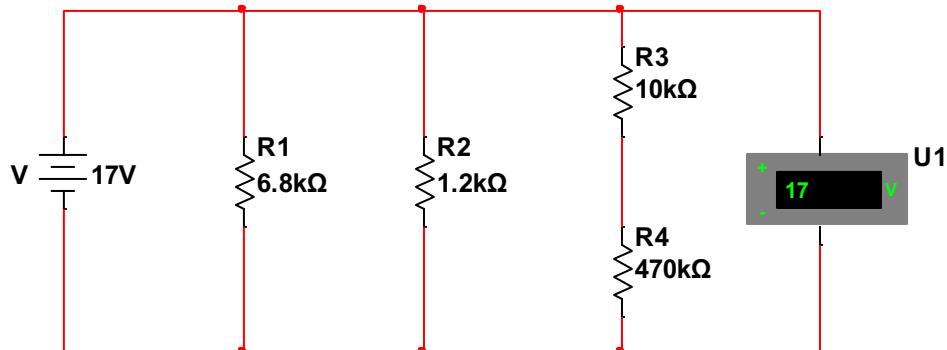


Montaje en protoboard

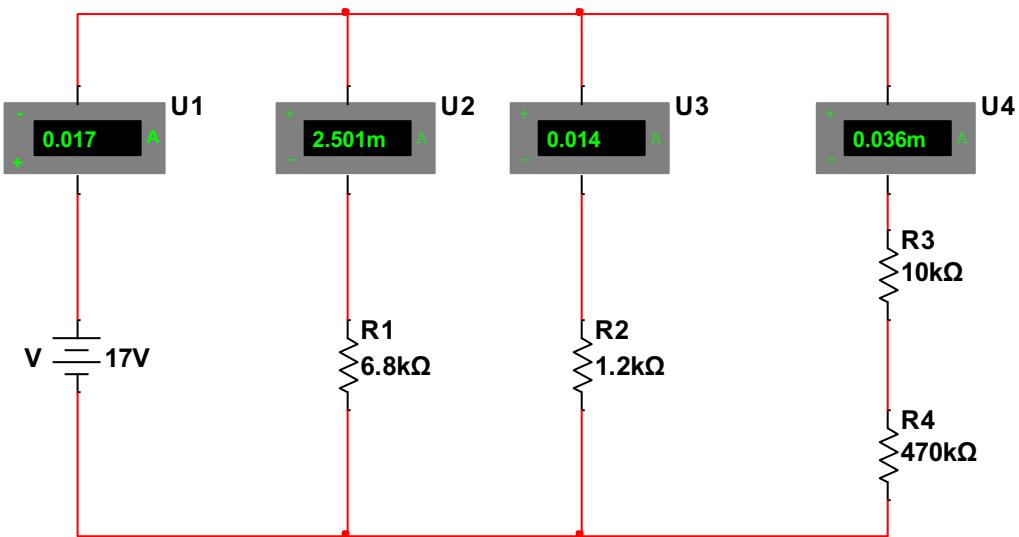
Resistencia total



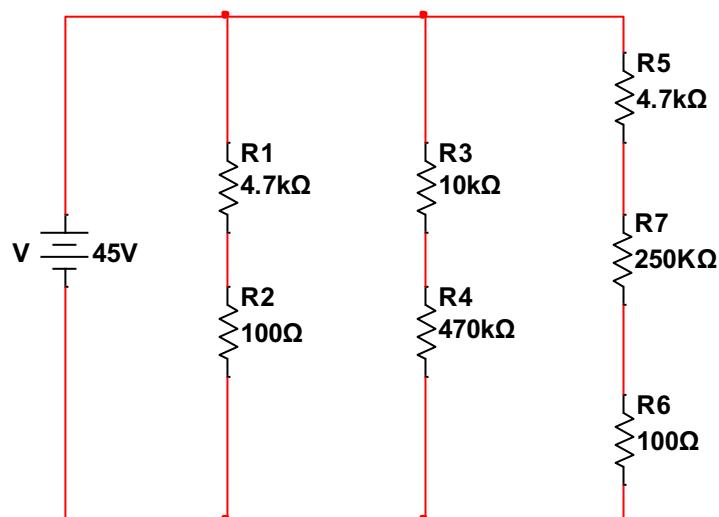
Voltaje de alimentación



Corrientes de rama y total



Ejercicio 3



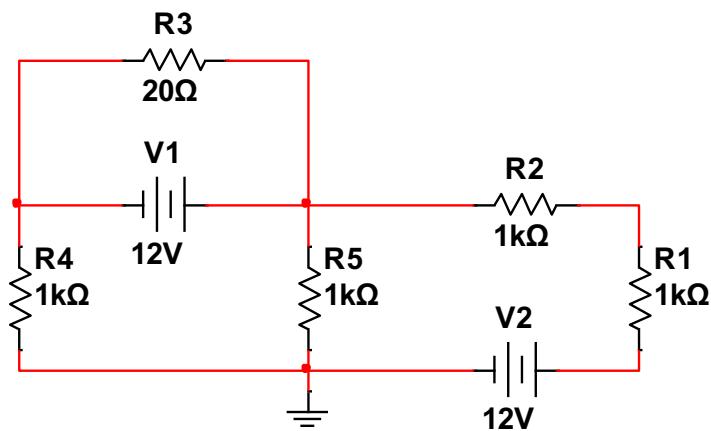
Resistencia total

Voltaje de alimentación

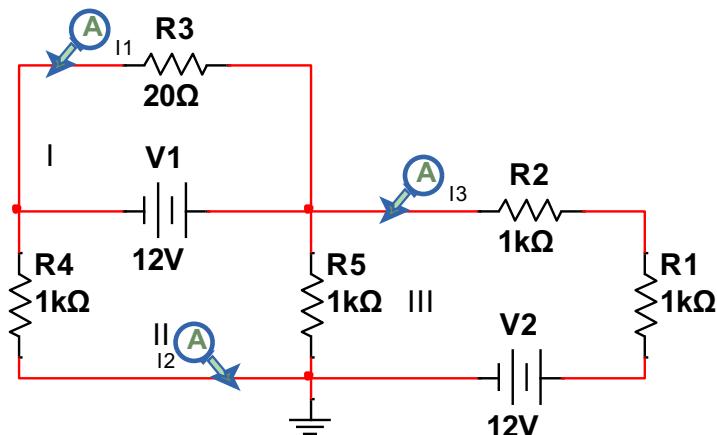
Corrientes de rama y total

Mallas

Ejercicio 1



Identificar mallas y asignar corrientes:



Determinar ecuaciones:

$$\text{MALLA 1: } -12 = 20i_1$$

$$\text{MALLA 2: } 12 = 1000(i_2 - i_3) + 1000i_2$$

$$\text{MALLA 3: } -12 = 1000i_3 + 1000i_3 + 1000(i_3 - i_2)$$

Encontrar las raíces:

```
>> a=[20 0 0; 0 2000 -1000; 0 -1000 3000]
a =
20          0          0
0          2000        -1000
0         -1000        3000

>> b=[-12;12; -12]
b =
-12
12
-12

>> c=inv(a)
c =
0.0500      0          0
0          0.0006    0.0002
0          0.0002    0.0004

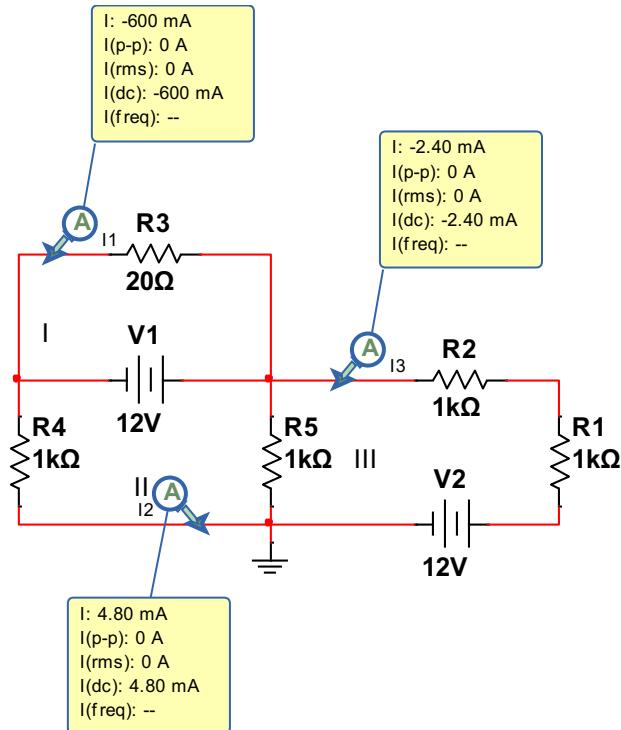
>> x=c*b
x =
-0.6000
0.0048
-0.0024
```

$$i_1 = -0.600 \text{ A}$$

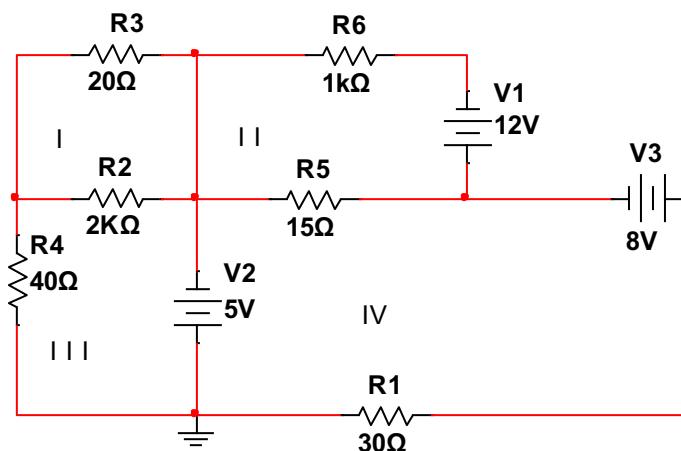
$$i_2 = -0.0048 \text{ A}$$

$$i_3 = -0.024 \text{ A}$$

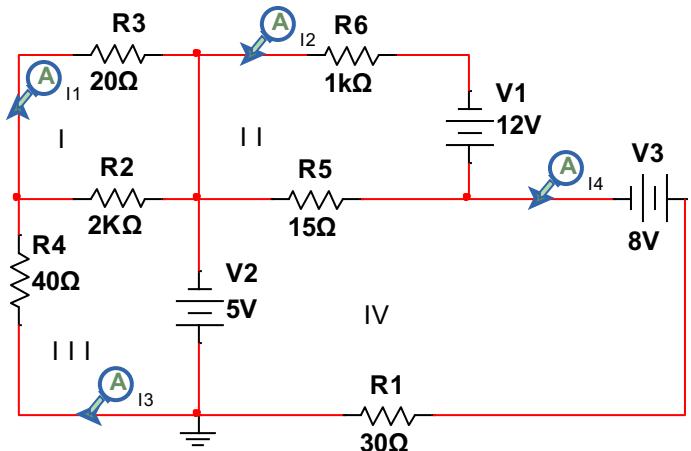
Comprobación:



Ejercicio 2



Identificar mallas:



Asignar corrientes y generar ecuaciones:

$$\text{MALLA 1: } 0 = 20i_1 + 2000(i_1 - i_3)$$

$$\text{MALLA 2: } 12 = 1000i_2 + 15(i_2 - i_4)$$

$$\text{MALLA 3: } 5 = 40i_3 + 2000(i_3 - i_1)$$

$$\text{MALLA 4: } 3 = 30i_4 + 15(i_4 - i_2)$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[2020 0 -2000 0; 0 1015 0 15;-2000 0 2040 0; 0 -15 0 45]
a =
2020      0     -2000      0
      0    1015      0      15
-2000      0    2040      0
      0     -15      0     45

>> b=[0;12;5;3]
b =
      0
    12
      5
      3

>> c=inv(a)
```

```

c =
0.0169      0      0.0166      0
      0      0.0010      0     -0.0003
0.0166      0      0.0167      0
      0     0.0003      0     0.0221

>> x=c*b

x =
0.0828
0.0108
0.0836
0.0703

```

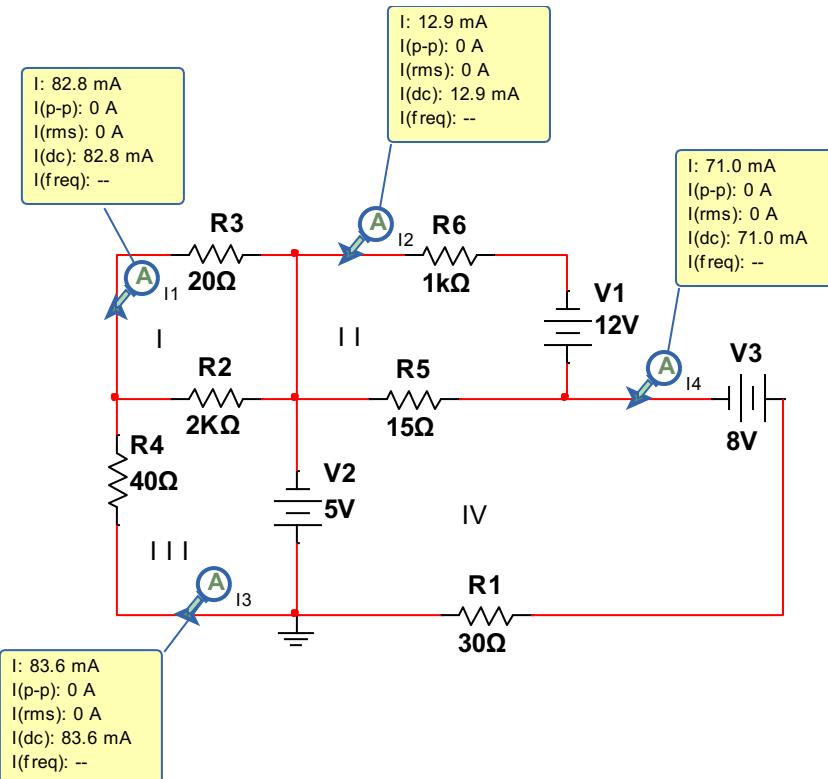
$$i_1 = 0,0828 \text{ A}$$

$$i_2 = 0,0108 \text{ A}$$

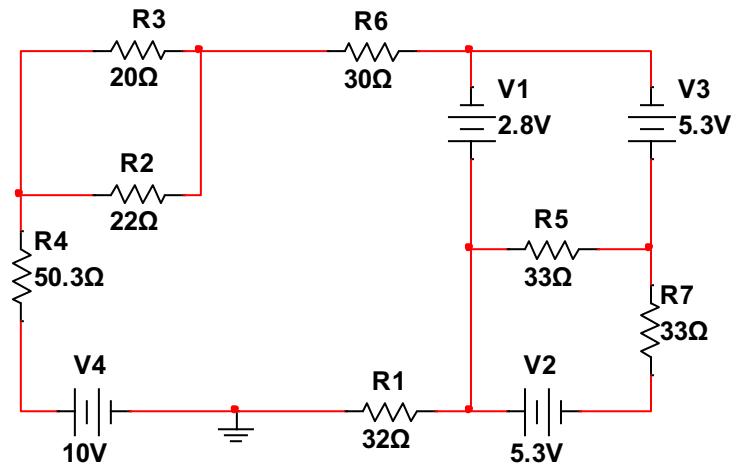
$$i_3 = 0,0836 \text{ A}$$

$$i_4 = 0,0703 \text{ A}$$

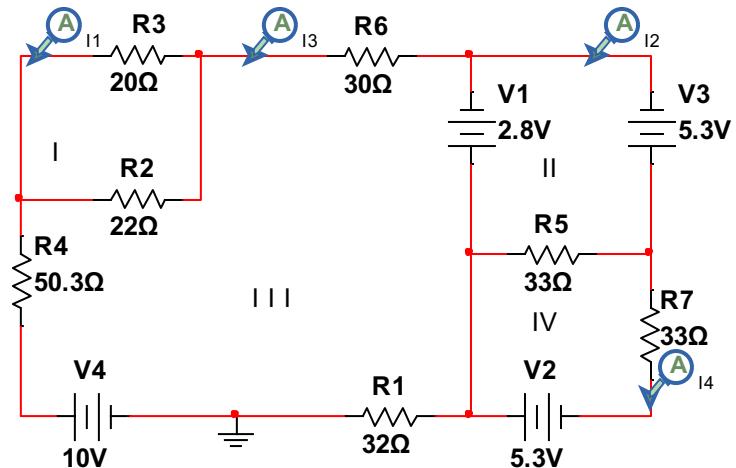
Comprobación:



Ejercicio 3



Identificar mallas y asignar corrientes:



Generar ecuaciones:

$$\text{MALLA 1: } 0 = 20i_1 + 22(i_1 - i_3)$$

$$\text{MALLA 2: } 2.5 = 33i_2 - 33i_4$$

$$\text{MALLA 3: } 12.8 = 134.3i_3 - 20i_2$$

$$\text{MALLA 4: } 5.3 = 69i_4 - 33i_1$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[42 0 22 0 ; 0 33 0 -33;-22 0 134.3 0;0 -33 0 66]  
  
a =  
  
42.0000      0    22.0000      0  
      0   33.0000      0  -33.0000  
-22.0000      0  134.3000      0  
      0  -33.0000      0   66.0000  
  
>> b=[0;2.5;12.8;5.3]  
  
b =  
  
      0  
2.5000  
12.8000  
5.3000  
  
  
>> c=inv(a)  
  
c =  
  
0.0219      0  -0.0036      0  
      0   0.0606      0   0.0303  
0.0036      0   0.0069      0  
      0   0.0303      0   0.0303  
  
>> x=c*b  
  
x =  
  
-0.0460  
0.3121  
0.0878  
0.2364
```

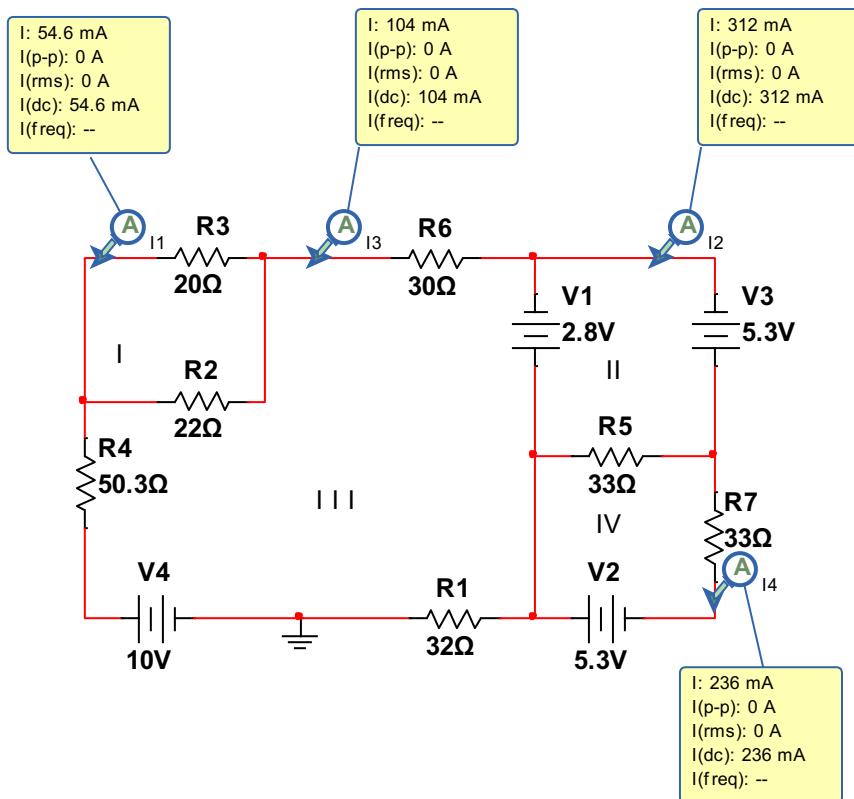
$$i_1 = -0.0460$$

$$i_2 = 0.3121$$

$$i_3 = 0.0878$$

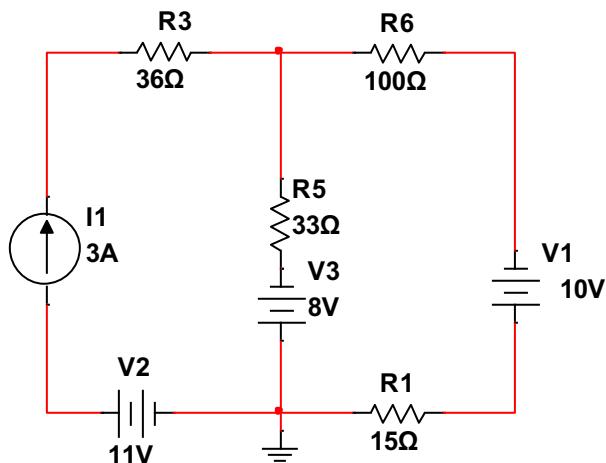
$$i_4 = 0.2364$$

Comprobación:

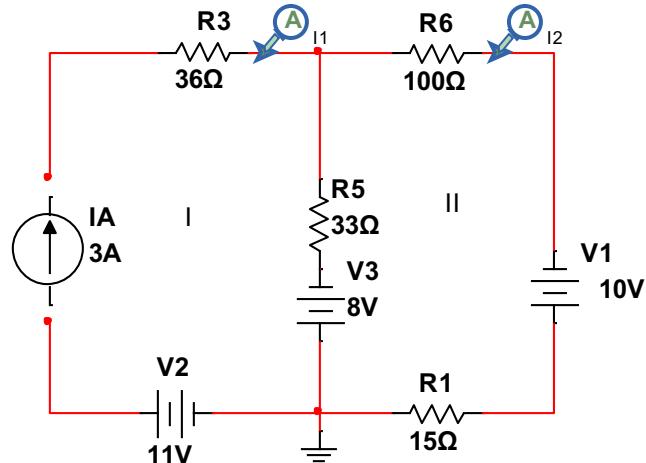


Supermallas

Ejercicio 1



Asignar corrientes de malla e identificar mallas y super mallas:



Generar ecuaciones:

$$SUPER MALLA1: i1 = 3A$$

$$MALLA 1: 10 - 8 = 115i2 + 33(i2 - i1)$$

Hallar raíces:

```
>> a=[1 0; -33 148]
a =
    1      0
   -33   148

>> b=[3;2]
b =
    3
    2

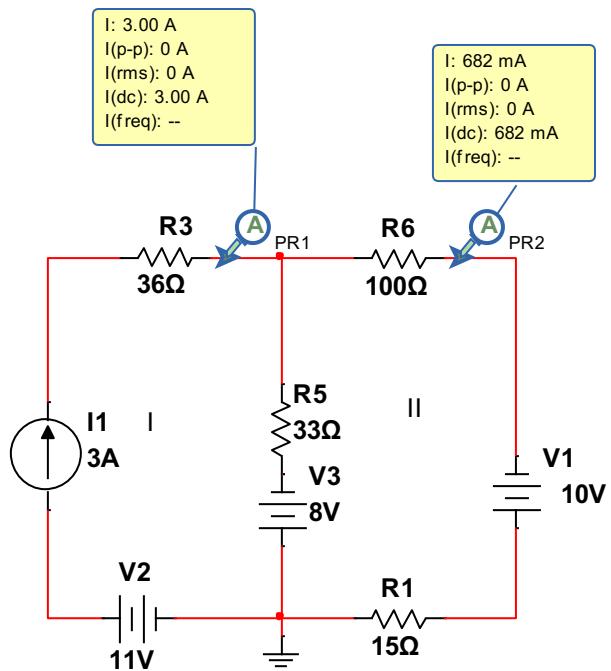
>> c=inv(a)
c =
    1.0000      0
   0.2230   0.0068

>> x=c*b
x =
    3.0000
   0.6824
```

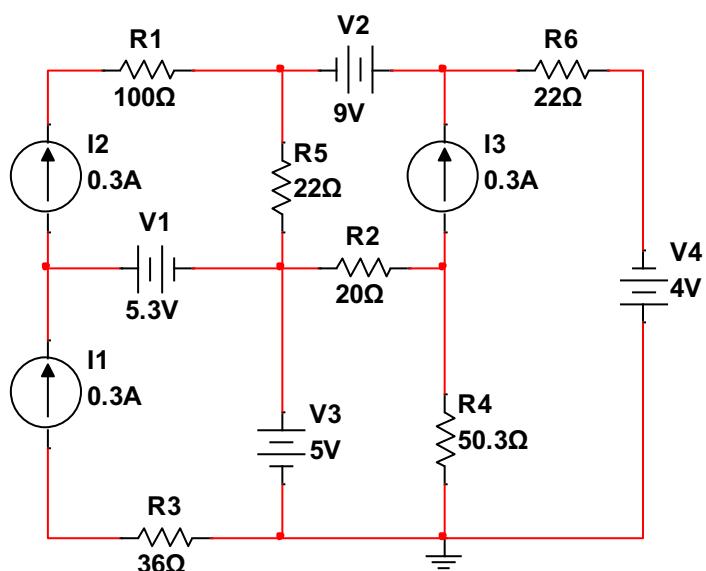
$$i1 = 3 A$$

$$i1 = 0.6824 A$$

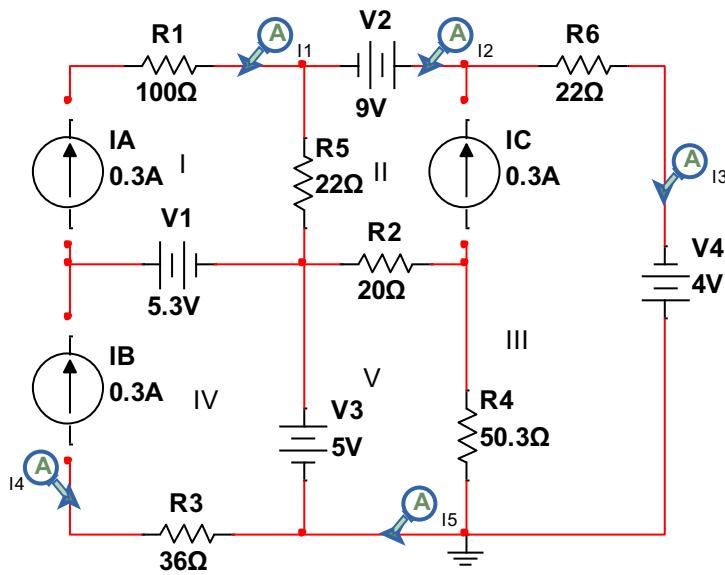
Comprobación:



Ejercicio 2



Asignar corriente e identificar mallas:



-Generar ecuaciones:

$$SUPER MALLA 1: i_1 = 3A$$

$$SUPER MALLA 2: i_4 = 0.3A$$

$$SUPER MALLA 3: i_3 - i_2 = 8A$$

$$SUPER SUPER MALLA 1: 9 + 4 = 22(i_2 - i_1) + 22i_3 + 50.3(i_3 - i_4)$$

$$13 = 22i_2 - 22i_1 + 77.3i_3 - 50.3i_4$$

$$MALLA 1: 5 = 20(i_5 - i_2) + 50.3(i_4 - i_3)$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[1 0 0 0 0;0 0 1 0;0 -1 1 0 0;-22 42 72.3 0 -70.3;0 -20 -50.3 0 70.3]

a =
1.0000      0      0      0      0
      0      0      0      1.0000      0
      0     -1.0000    1.0000      0      0
-22.0000    42.0000   72.3000      0   -70.3000
      0   -20.0000  -50.3000      0    70.3000

>> b=[0.3;0.3;0.3;13;5]

b =
0.3000
0.3000
0.3000
13.0000
5.0000
```

```

>> c=inv(a)
c =

```

1.0000	0	0	0	0
0.5000	0	-0.5000	0.0227	0.0227
0.5000	0	0.5000	0.0227	0.0227
0	1.0000	0	0	0
0.5000	0	0.2155	0.0227	0.0370

```

>> x=c*b
x =

```

0.3000
0.4091
0.7091
0.3000
0.6949

$$i_1 = 0.3000 \text{ A}$$

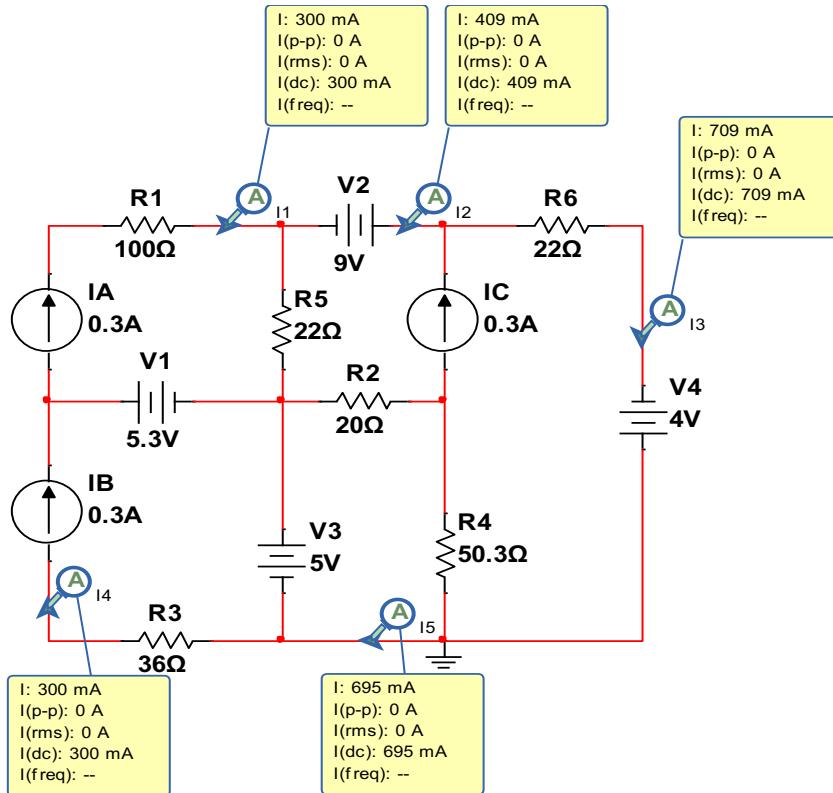
$$i_2 = 0.3000 \text{ A}$$

$$i_3 = 0.7099 \text{ A}$$

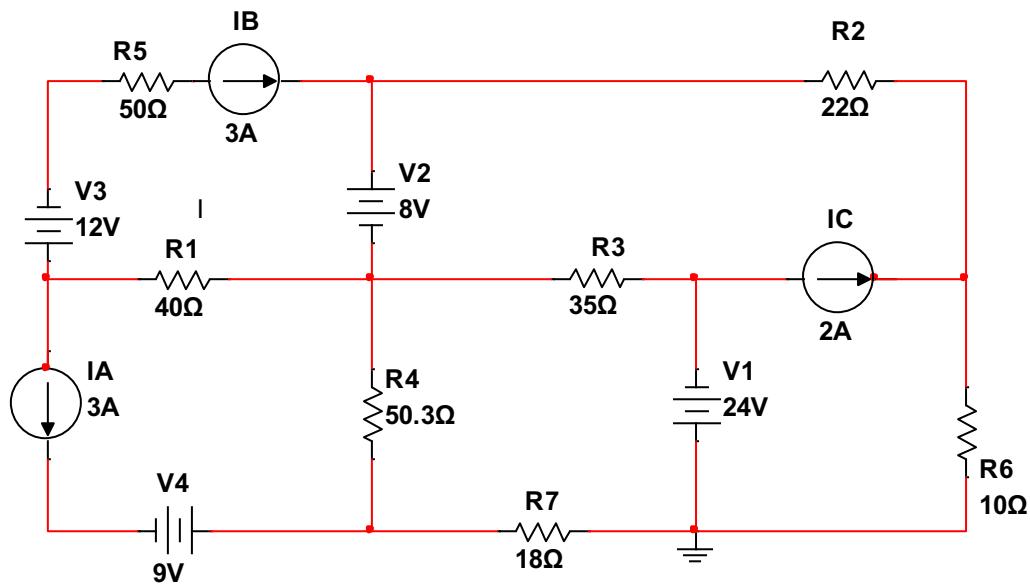
$$i_4 = 0.3000 \text{ A}$$

$$i_5 = 0.6949 \text{ A}$$

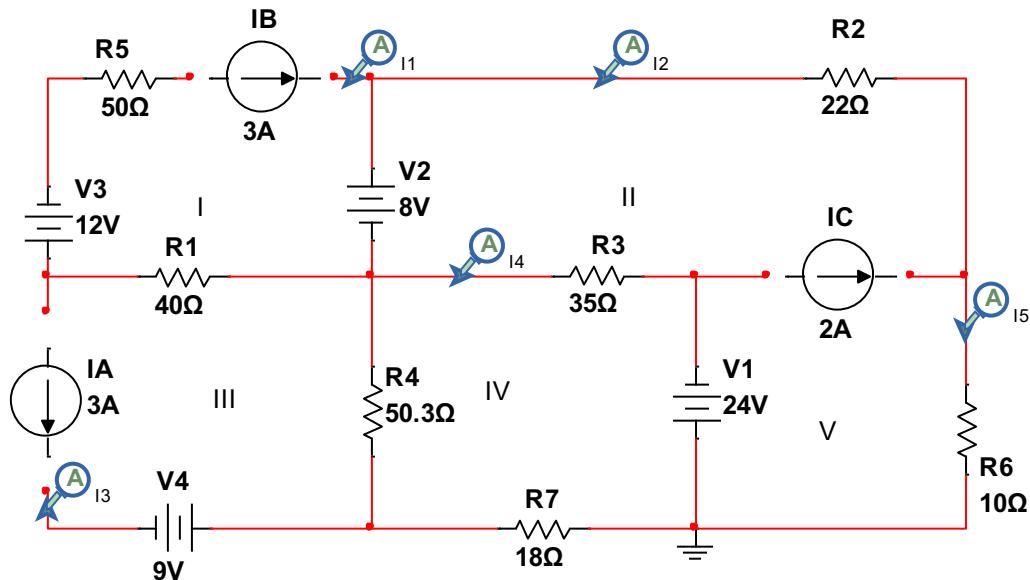
Comprobación:



Ejercicio 3



Asignar corrientes e identificar super mallas:



Generar ecuaciones:

$$SUPER MALLA 1: i1 = 3A$$

$$SUPER MALLA 2: i3 = -3A$$

$$SUPER MALLA 3: i2 - i5 = 2A$$

$$SUPER SUPER MALLA 1(II, V): 8 - 24 = 22i2 + 10i5 + 35(i2 - i4)$$

$$MALLA 1: 24 = 18i4 + 50(i4 - i3) + 35(i4 - i2)$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[1 0 0 0 0; 0 0 1 0 0; 0 -1 0 0 1; 0 57 0 -25 0; 0 -35 0 53 0]

a =
1     0     0     0     0
0     0     1     0     0
0    -1     0     0     1
0    57     0    -25     0
0   -35     0    53     0

>> b=[3;-3;2;-16;24]

b =
3
-3
2
-16
24

>> c=inv(a)

c =
1.0000      0      0      0      0
0      0      0    0.0247    0.0116
0    1.0000      0      0      0
0      0      0    0.0163    0.0266
0      0    1.0000    0.0247    0.0116

>> x=c*b

x =
3.0000
-0.1156
-3.0000
0.3765
1.8844
```

$$i1 = 3 A$$

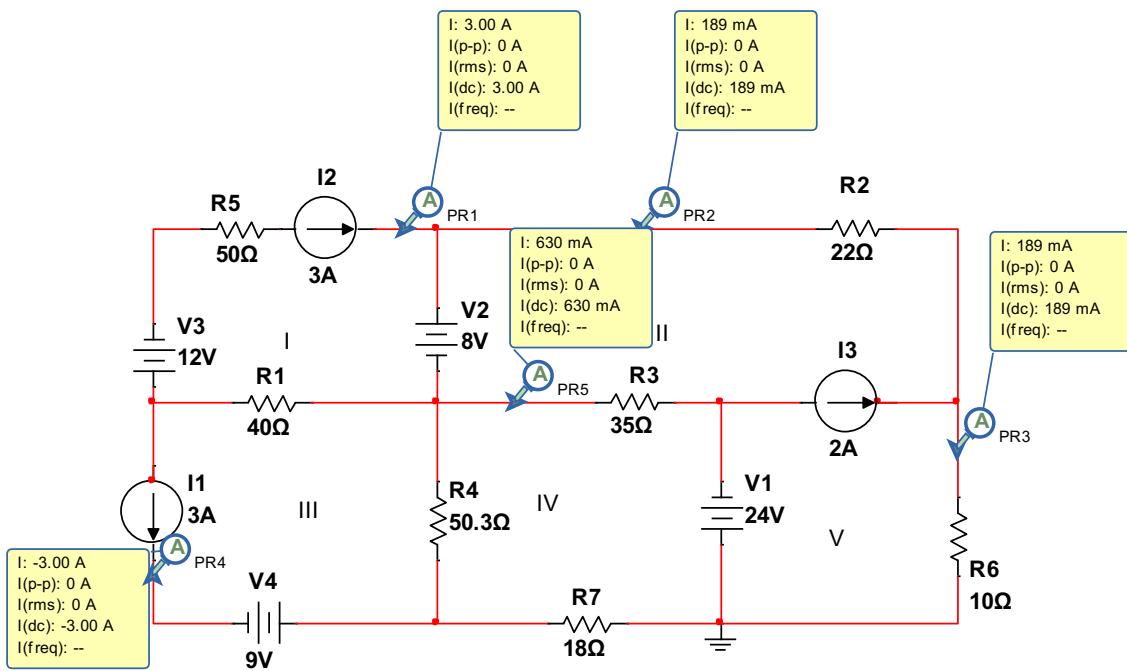
$$i2 = -0.1156 A$$

$$i3 = -3 A$$

$$i4 = 0.3765 A$$

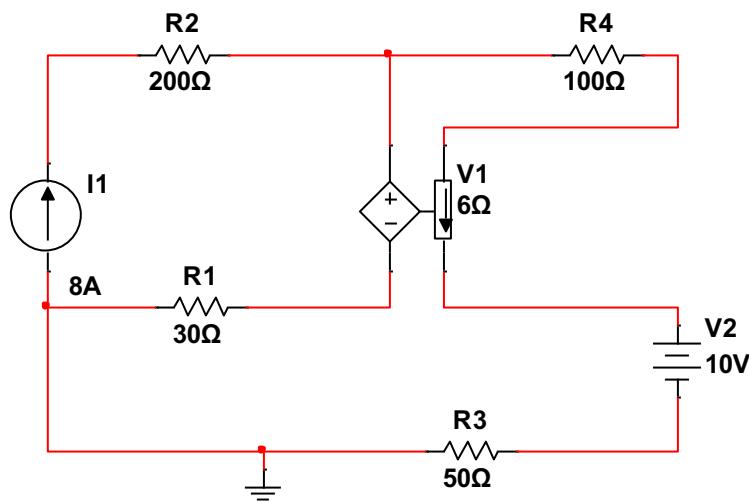
$$i5 = 1.8844 A$$

Comprobación:

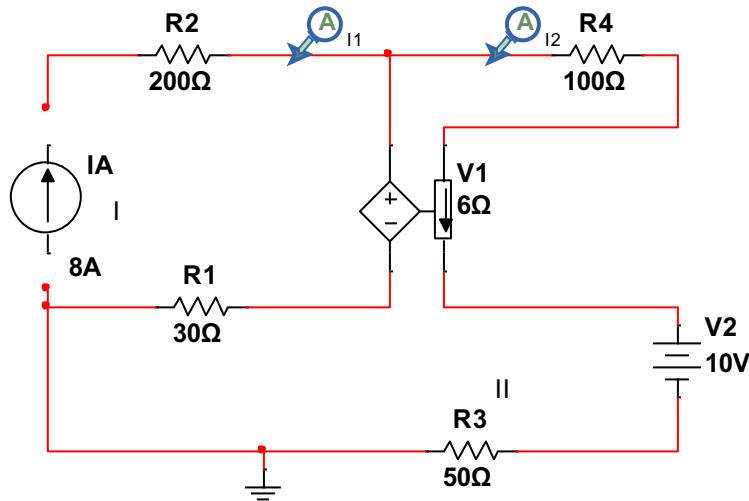


Mallas con voltajes dependientes

Ejercicio 1



Asignar corriente identificar mallas y super mallas:



Generar ecuaciones:

$$SUPER\ MALLA1: 8 = i1$$

$$MALLA1: -10 = 180i2 - 30i1 - 6 * ix$$

$$ix = i2$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[1 0;-30 186]
a =
    1     0
   -30   186

>> b=[8;-10]
b =
    8
   -10

>> c=inv(a)
c =
    1.0000      0
   0.1613   0.0054
```

```
>> x=c*b
```

```
x =

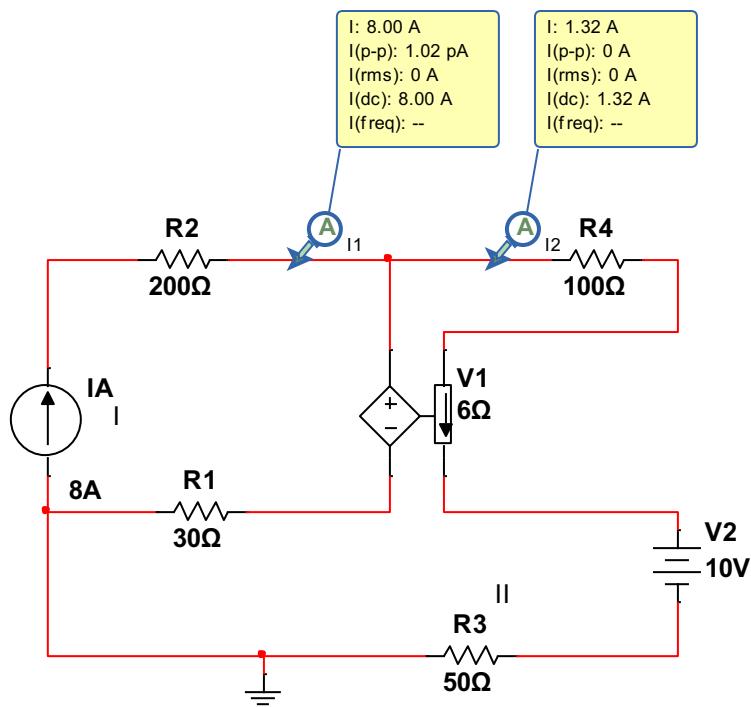
```

```
8.0000
1.2366
```

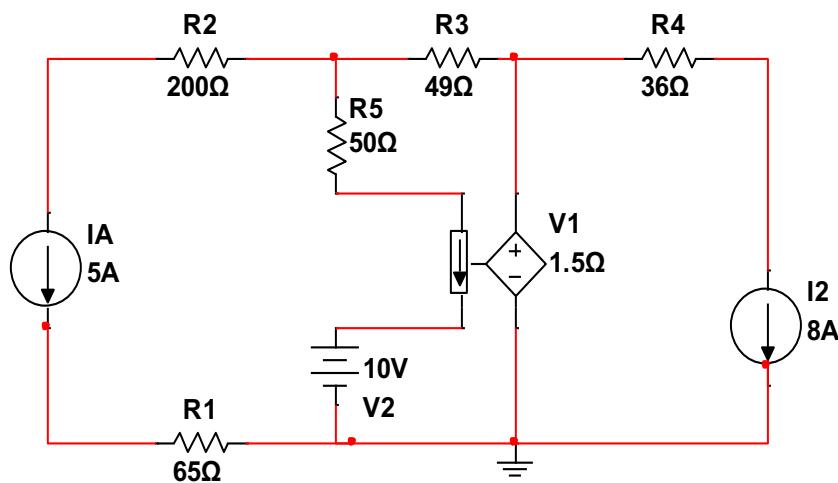
$$i1 = 8 A$$

$$i2 = 1.2366 A$$

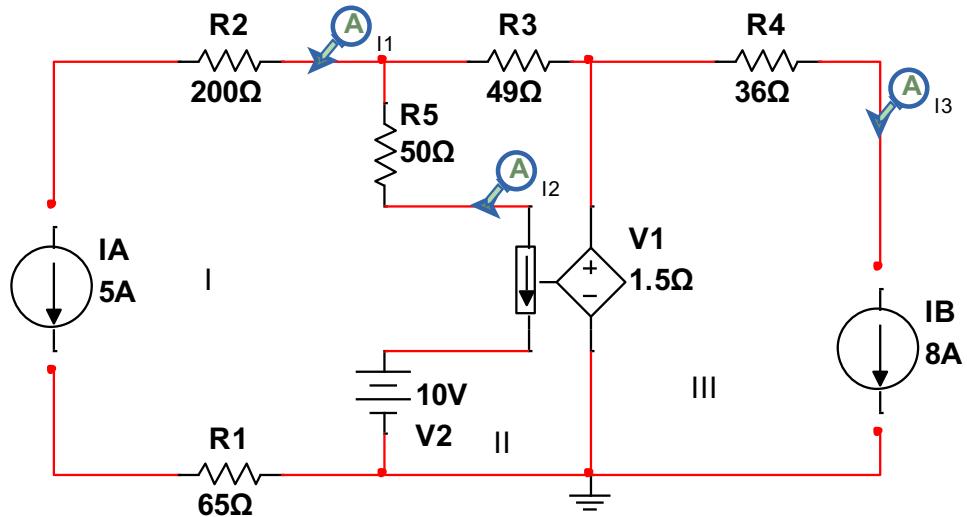
Comprobación:



Ejercicio 2



Asignar corriente, identificar mallas y super mallas:



Generar ecuaciones:

$$SUPER MALLA1: -5 = i_1$$

$$SUPER MALLA2: -10 + 50(i_2 - i_1) + 49i_2 + 1.5ix = 0$$

$$SUPER MALLA2: i_3 = 8 \text{ A}$$

$$SUPER MALLA1: -5 = i_1$$

$$ix = (i_1 - i_2)$$

$$50(i_2 - i_1) + 49i_2 + 1.5(i_1 - i_2) = -10$$

$$SUPER MALLA2: 97.5i_2 - 48.5i_1 = 10$$

Hallar raíces:

```
>> a=[1 0 0; 0 0 1;-48.8 97.5 0]

a =
    1.0000      0      0
    0      0    1.0000
   -48.8000    97.5000      0

>> b=[5;8;10]

b =
    5
    8
   10

>> c=inv(a)

c =
    1.0000      0   -0.0000
    0.5005      0    0.0103
    0      1.0000      0

>> x=c*b

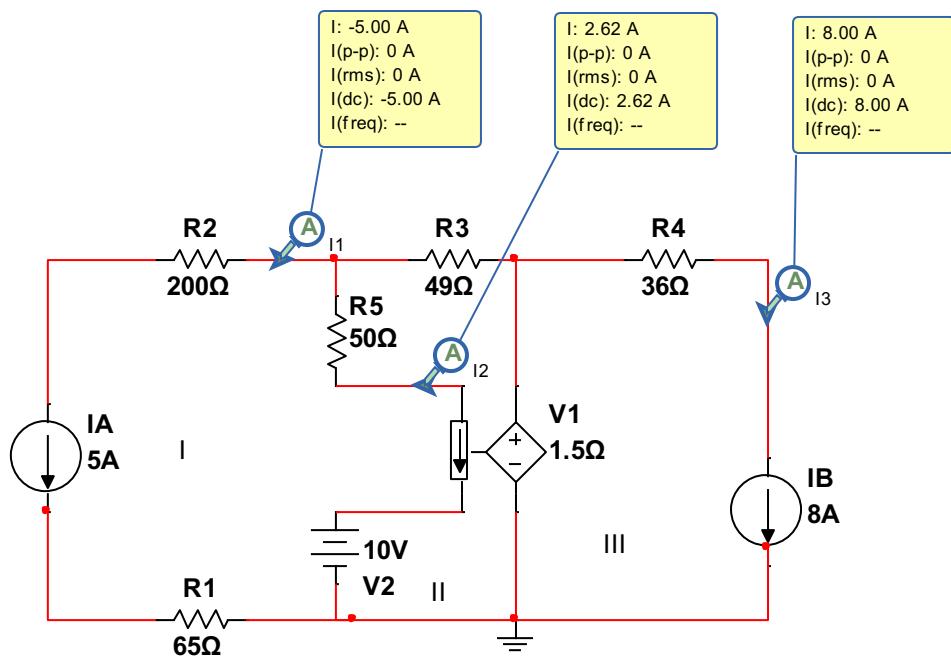
x =
    5.0000
    2.6051
    8.0000
```

$$i_1 = 5 \text{ A}$$

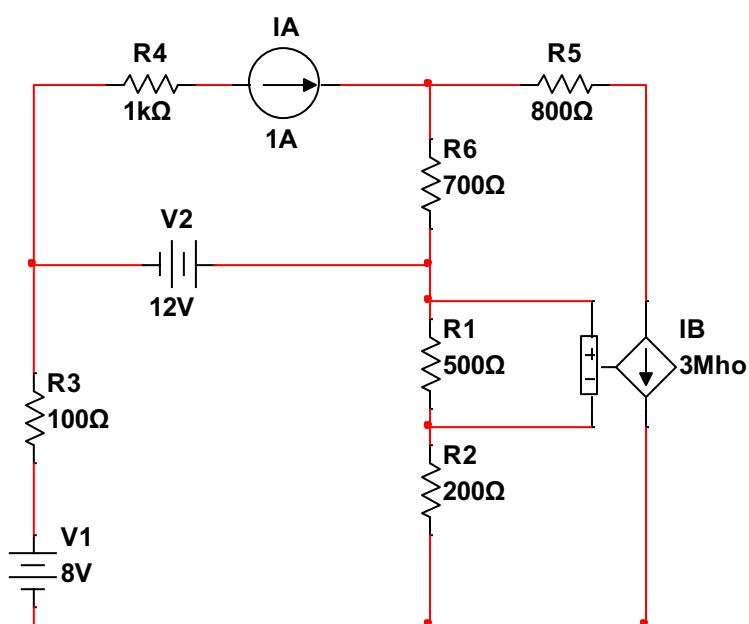
$$i_2 = 2.4394 \text{ A}$$

$$i_3 = 8 \text{ A}$$

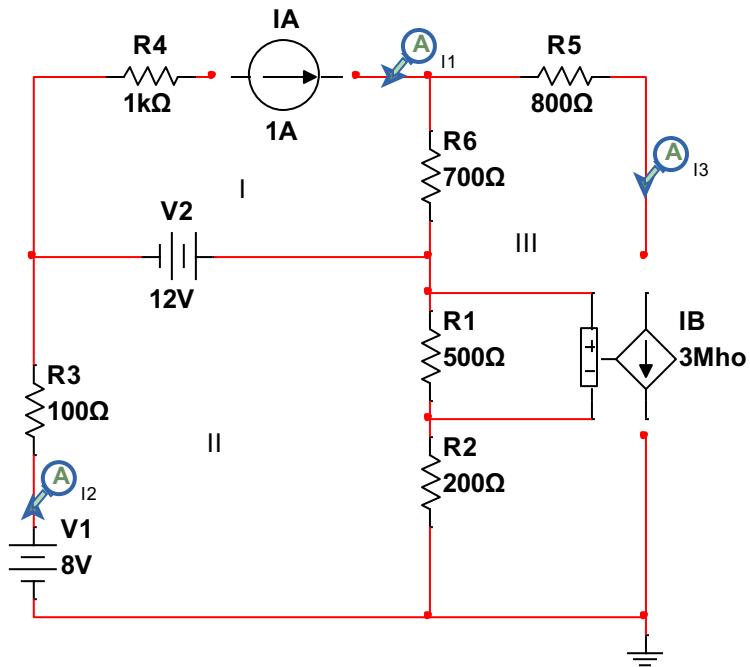
Comprobación:



Ejercicio 3



Asignar corrientes e identificar mallas y super mallas:



$$SUPER\ MALLA1: i_1 = 1\ A$$

$$MALLA2: -8 + 100i_2 - 12 + 700(i_2 - i_3) = 0$$

$$MALLA2: 20 = 800i_2 - 700i_3$$

$$SUPER\ MALLA2: i_3 = 3Vx$$

$$Vx = 500(i_3 - i_2)$$

$$SUPER\ MALLA2: i_3 = 3500(i_3 - i_2)$$

$$1499i_3 - 1500i_2 = 0$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[1 0 0;0 800 -700;0 -1500 1499]
```

```
a =
```

```
1 0 0  
0 800 -700  
0 -1500 1499
```

```
>> b=[1;20;0]
```

```
b =
```

```
1  
20  
0
```

```
>> c=inv(a)
```

```
c =
```

```
1.0000 0 0  
0 0.0100 0.0047  
0 0.0101 0.0054
```

```
>> x=c*b
```

```
x =
```

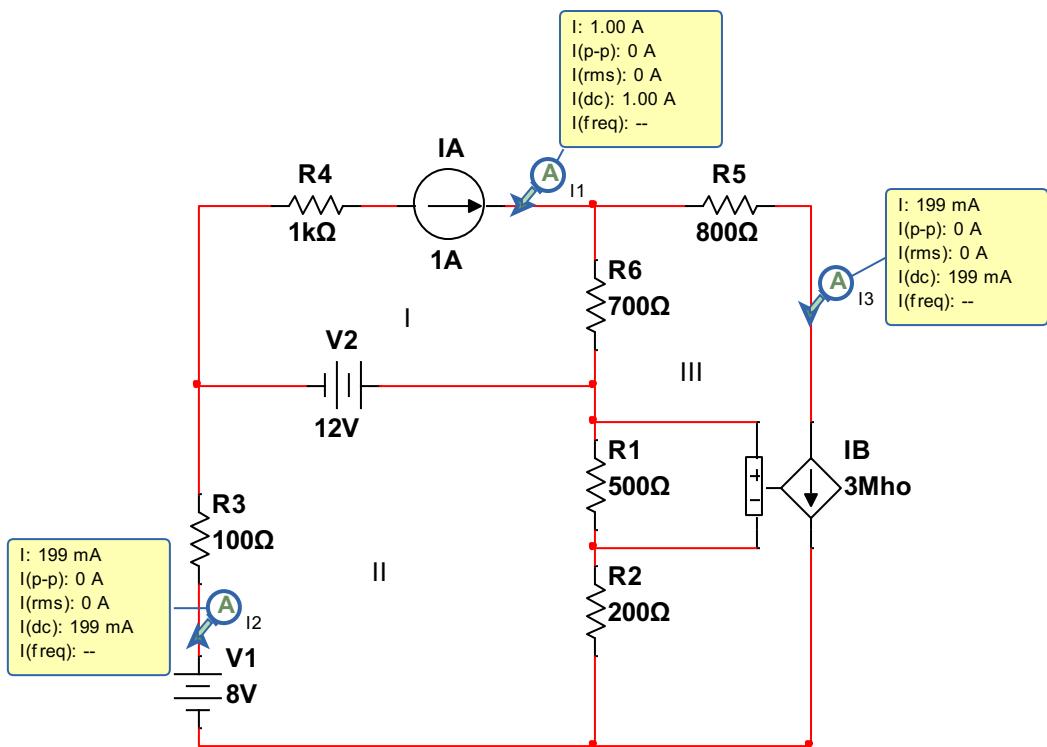
```
1.0000  
0.2009  
0.2011
```

$$i_1 = 1 \text{ A}$$

$$i_2 = 0.2009 \text{ A}$$

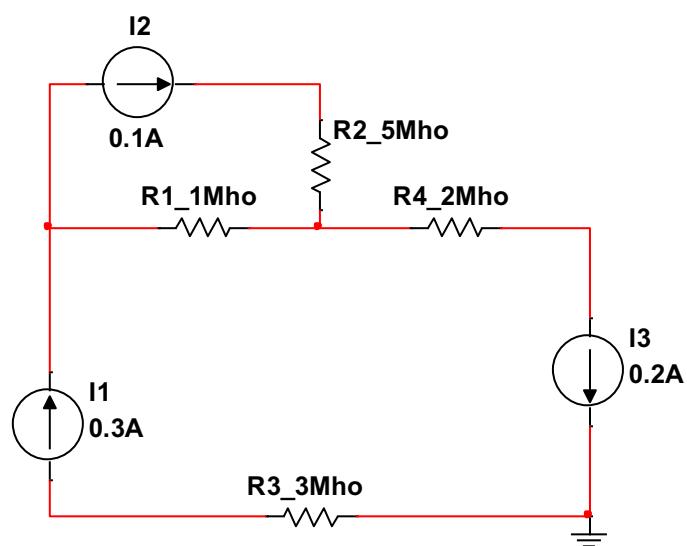
$$i_3 = 0.2011 \text{ A}$$

Comprobación:

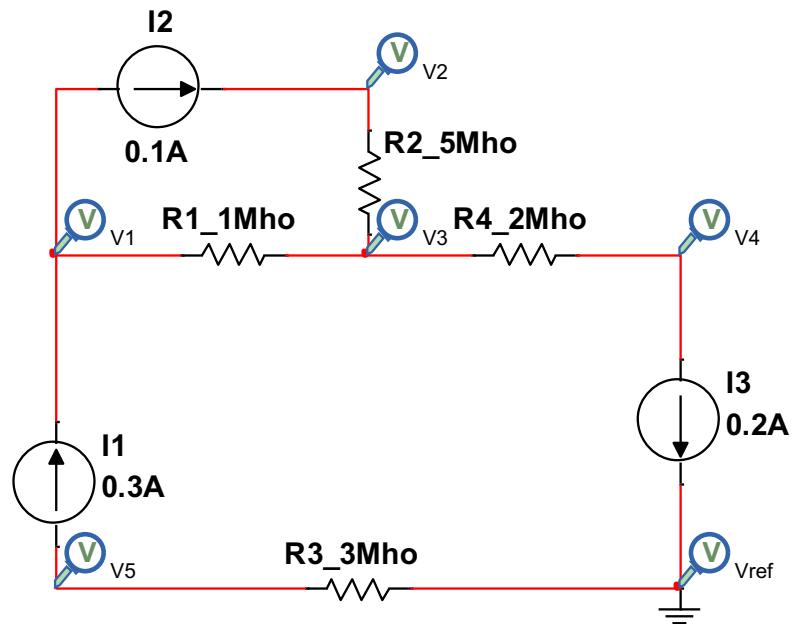


Nodos

Ejercicio 1



Identificar nodos y asignar un potencial:



Generar ecuaciones:

$$NODO1: 0.1 - 0.3 + 1V_1 - 1V_3 = 0$$

$$NODO2: 5V_2 - 2V_3 = 0.1$$

$$NODO3: -V_1 - 5V_2 - 8V_3 - 2V_4 = 0$$

$$NODO4: -2V_3 + 2V_4 = -0.2$$

$$NODO5: 3V_5 = 0.3$$

Hallar las raíces:

```
>> a=[1 0 -1 0 0; 0 5 -2 0 0; -1 -5 8 -2 0;0 0  
a =  
  
1 0 -1 0 0  
0 5 -2 0 0  
-1 -5 8 -2 0  
0 0 -2 2 0  
0 0 0 0 3  
  
>> b=[0.2; 0.1; 0;-0.2;-0.3]  
  
b =  
  
0.2000  
0.1000  
0  
-0.2000  
-0.3000  
  
>> c=inv(a)  
  
c =  
  
1.3333 0.3333 0.3333 0.3333 0  
0.1333 0.3333 0.1333 0.1333 0  
0.3333 0.3333 0.3333 0.3333 0  
0.3333 0.3333 0.3333 0.8333 0  
0 0 0 0 0.3333  
  
>> x=c*b  
  
x =  
  
0.2333  
0.0333  
0.0333  
-0.0667  
-0.1000
```

$$V1 = 0.2333 \text{ V}$$

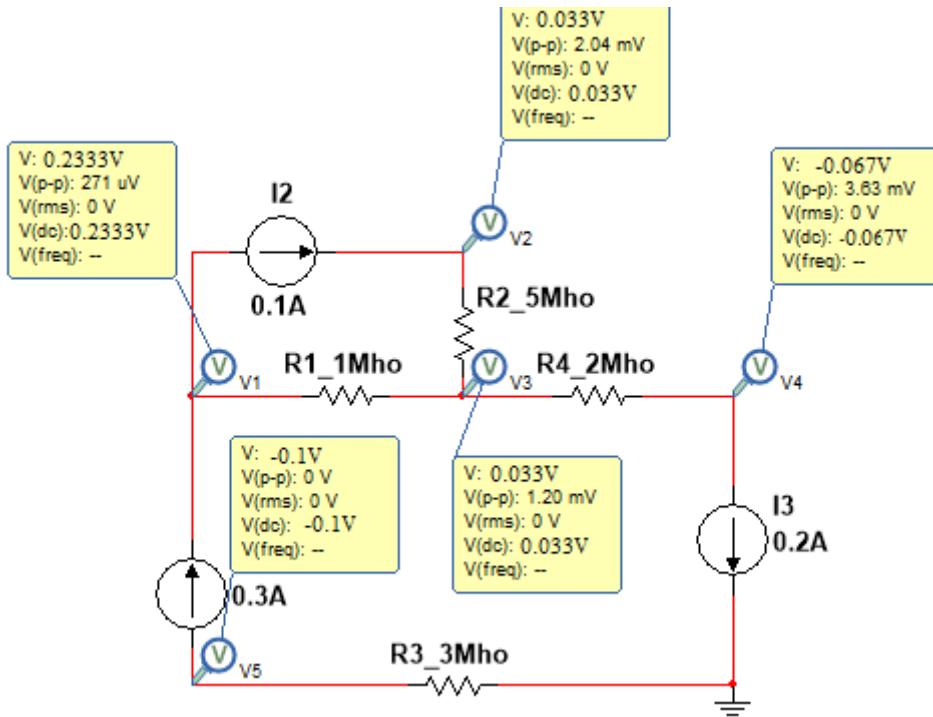
$$V2 = 0.0333 \text{ V}$$

$$V3 = 0.0333 \text{ V}$$

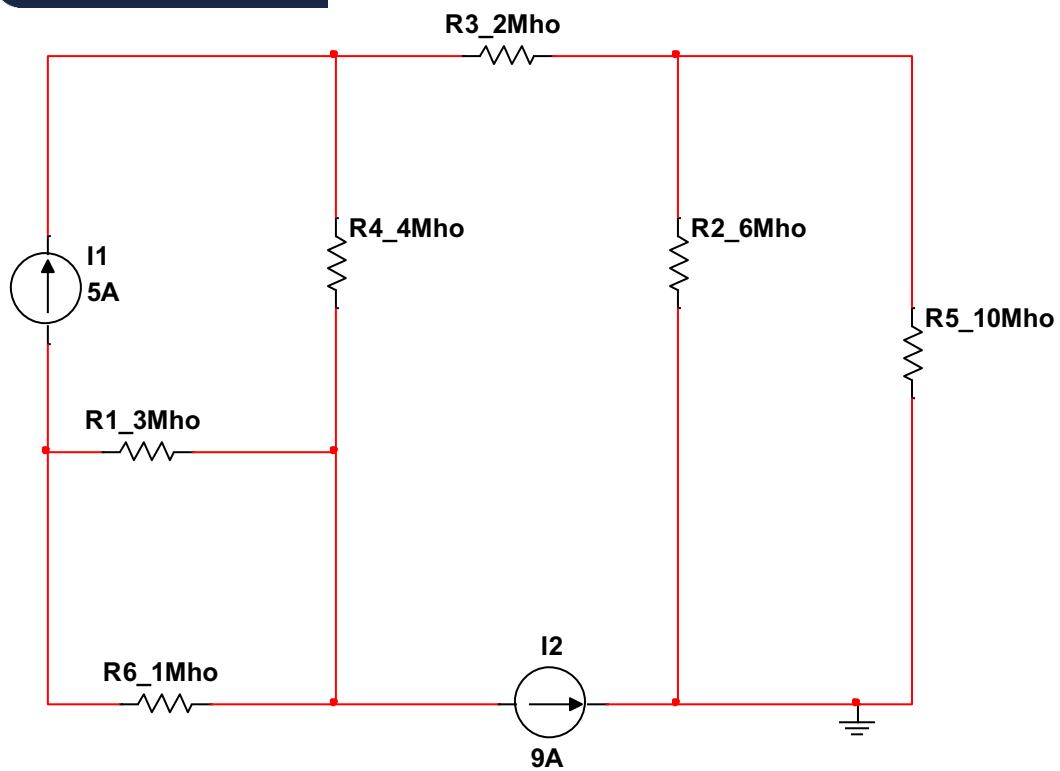
$$V4 = -0.0667 \text{ V}$$

$$V5 = -0.1000 \text{ V}$$

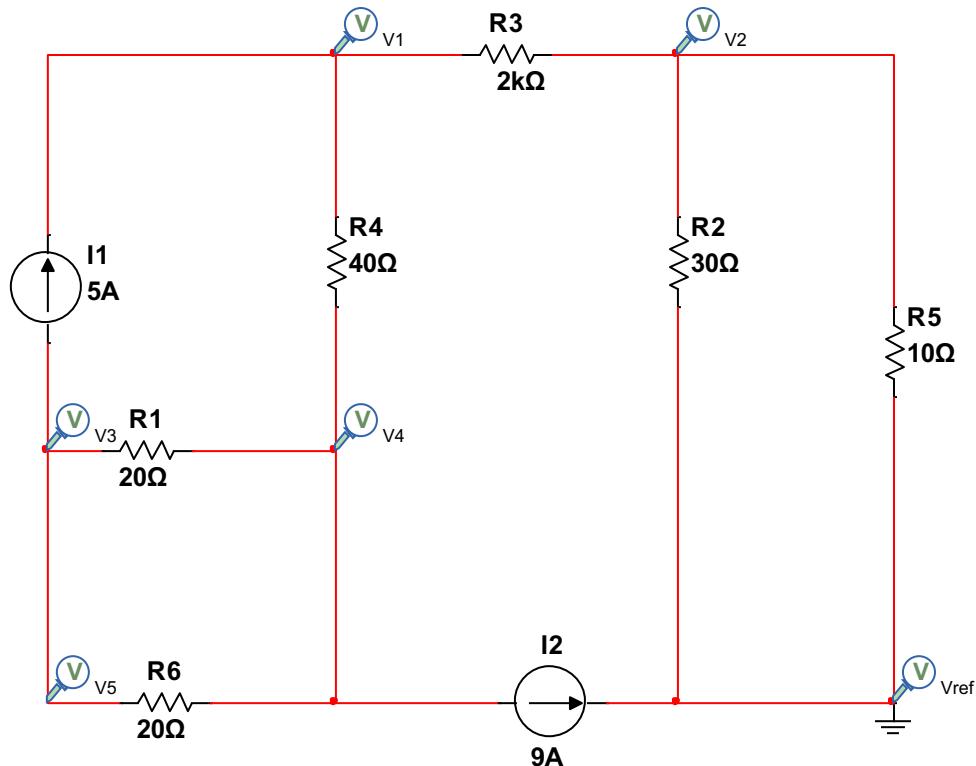
Comprobación de resultados en el simulador:



Ejercicio 2



Asignar un potencial e identificar nodos:



Generar ecuaciones:

$$NODO1: (V1 - v_{ref}) \frac{1}{20} + 5$$

$$NODO2: -5 + (V2 - V_{ref}) \frac{1}{40}$$

Hallar raíces:

```
>> a=[6 -2 0 -4; -2 18 0 0;0 0 0 4 -4; -4 0 -4 8]

a =

```

6	-2	0	-4
-2	18	0	0
0	0	0	-4
-4	0	-4	8

```
>> b=[5;0;-5;-9]

b =

```

5
0
-5
-9

```
>> c=inv(a)
```

```

c =
0.5625  0.0625  0.5625  0.5625
0.0625  0.0625  0.0625  0.0625
0.5625  0.0625  1.0625  0.8125
0.5625  0.0625  0.8125  0.8125

>> x=c*b

x =
-5.0625
-0.5625
-9.8125
-8.5625

```

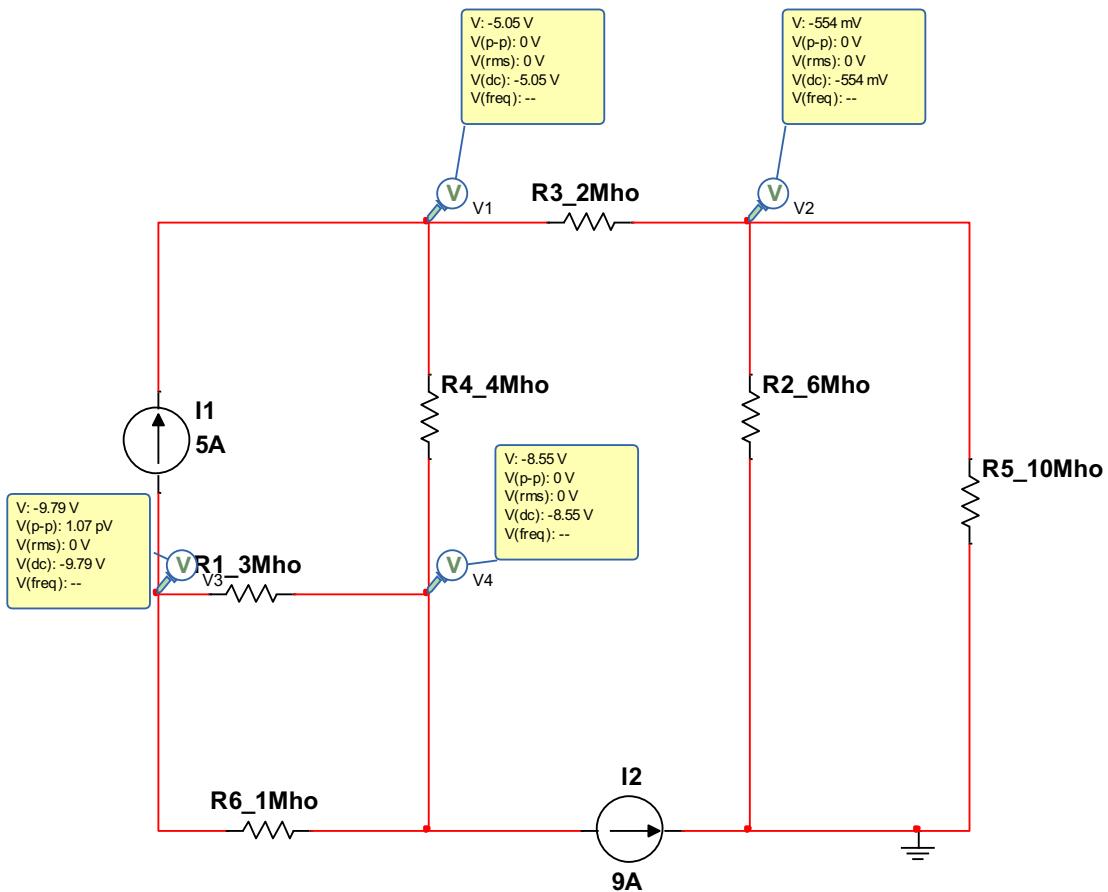
$$V_1 = -5.0625 \text{ V}$$

$$V_2 = -0.5625 \text{ V}$$

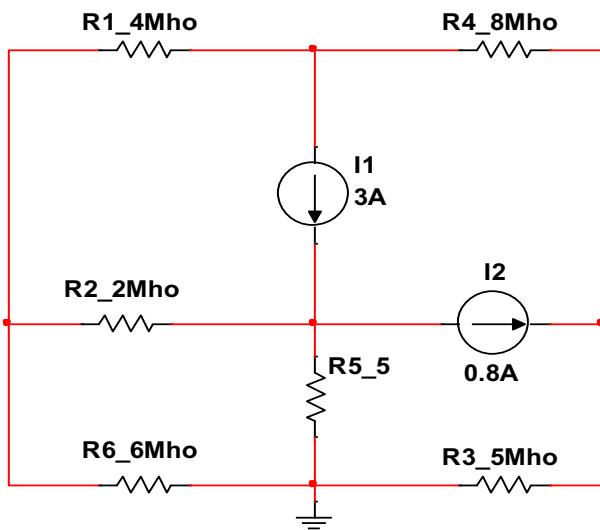
$$V_3 = -9.8125 \text{ V}$$

$$V_4 = -8.5625 \text{ V}$$

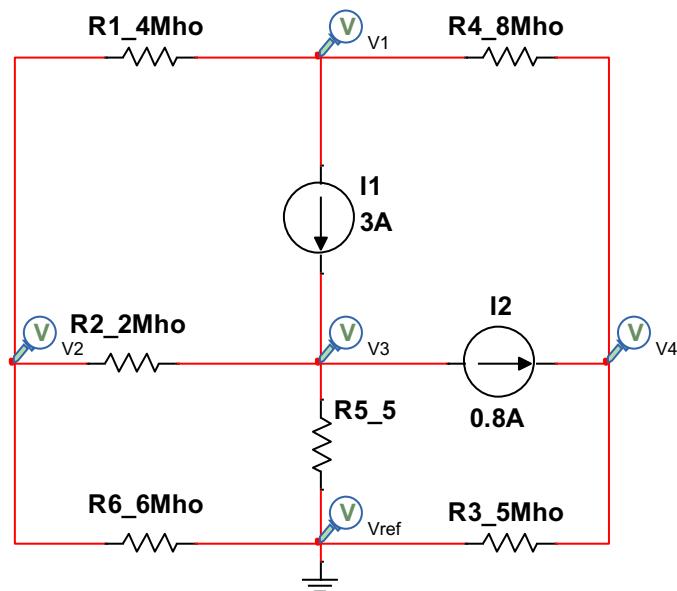
Comprobación:



Ejercicio 3



Identificar nodos y asignar un potencial:



Generar ecuaciones:

$$NODO1: 4V_1 - 4V_2 - 8V_4 = -3$$

$$NODO2: -4V_1 + 12V_2 - 2V_3 = 0$$

$$NODO3: -2V_2 - 7V_3 = 2.2$$

$$NODO4: 8V_1 + 13V_4 = 0.8$$

Hallar raíces:

```
>> a=[12 -4 0 -8; -4 12 -2 0; 0 -2 7 0; -8 0 0 13 ]  
  
a =  
  
12     -4      0     -8  
-4     12     -2      0  
0     -2      7      0  
-8      0      0     13  
  
>> b=[-3;0;2.2;0.8]  
  
b =  
  
-3.0000  
0  
2.2000  
0.8000  
  
>> c=inv(a)  
  
  
c =  
  
0.1762    0.0617    0.0176    0.1084  
0.0617    0.1091    0.0312    0.0379  
0.0176    0.0312    0.1518    0.0108  
0.1084    0.0379    0.0108    0.1436  
  
>> x=c*b  
  
x =  
  
-0.4030  
-0.0860  
0.2897  
-0.1864
```

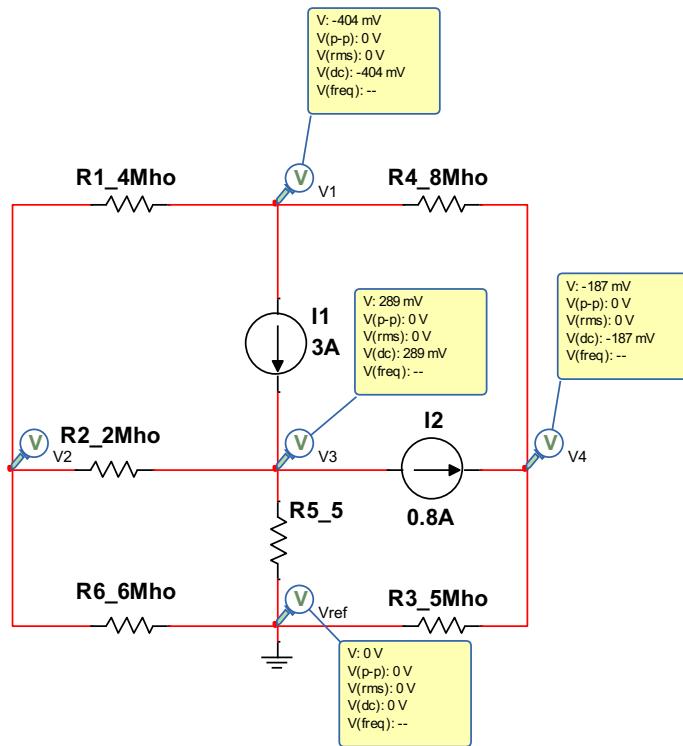
$$V1 = -0.4030 \text{ V}$$

$$V2 = -0.0860 \text{ V}$$

$$V3 = 0.2897 \text{ V}$$

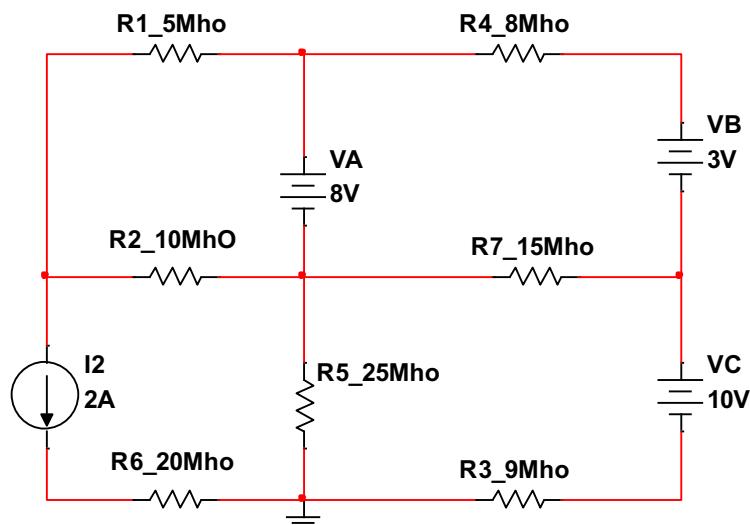
$$V4 = -0.1864 \text{ V}$$

Comprobación:

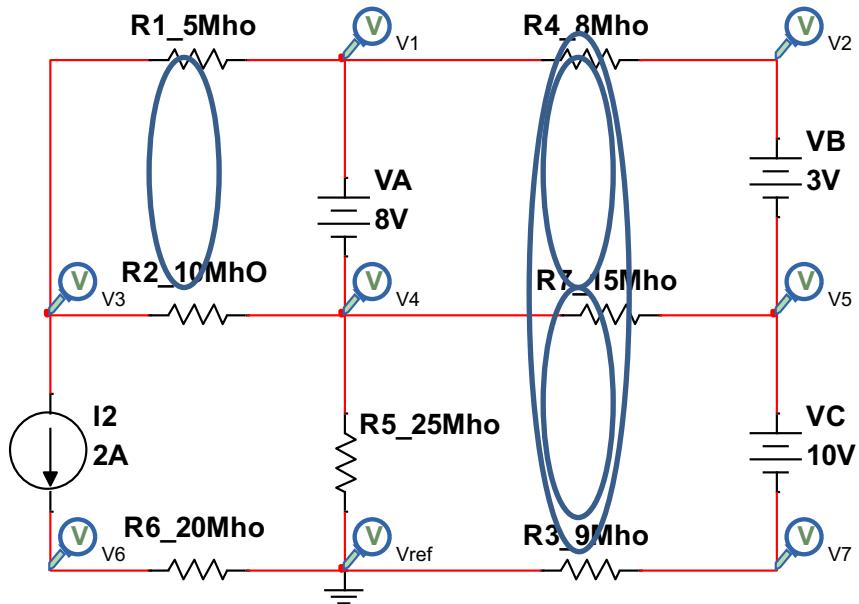


Super nodos

Ejercicio 1



Asignar un potencial detectar nodos y super nodos:



Generar ecuaciones:

$$\text{SUPER NODO1}(V1, V4): 8 = V1 - V4$$

$$\text{SUPER NODO2}(V2, V5): 3 = V2 - V5$$

$$\text{SUPER NODO3}(V5, V7): 10 = V5 - V7$$

$$\text{SUPER SUPER NODO1}(SN2, SN3): 0 = -8V1 + 8V2 - 15V4 + 15V5 + 9V7$$

$$\text{SUPER NODO1}(V1, V4): 0 = 12V1 - 8V2 - 15V3 + 50V4 - 15V5$$

$$\text{NODO 3: } 2 = -5V1 + 15V3 - 10V4$$

$$\text{NODO6: } 2 = 20V6$$

Hallar raíces:

```
>> a=[1 0 0 -1 0 0 0; 0 1 0 0 -1 0 0; 0 0 0 0 1 0 -1;-8 8 0 -15 15 0 9;12 -8 -15 50 -15 0 0; -5 0 15 -10 0 0 0; 0 0 0 0 0 20 0]

a =

1   0   0   -1   0   0   0
0   1   0   0   -1   0   0
0   0   0   0   1   0   -1
-8   8   0   -15  15   0   9
12  -8  -15  50  -15   0   0
-5   0  15  -10   0   0   0
0   0   0   0   0  20   0

>> b=[8;3;10;;0;0;2;2]

b =

8
3
10
0
0
2
2
;

>> c=inv(a)

c =

0.9590   0.0738   0.2123   0.0236   0.0328   0.0328   0
0.2205   0.8031   0.4338   0.0482   0.0236   0.0236   0
0.2923   0.0738   0.2123   0.0236   0.0328   0.0995   0
-0.0410   0.0738   0.2123   0.0236   0.0328   0.0328   0
0.2205  -0.1969   0.4338   0.0482   0.0236   0.0236   0
0       0       0       0       0       0  0.0500
0.2205  -0.1969  -0.5662   0.0482   0.0236   0.0236   0

>> x=c*b

x =

10.0821
8.5590
4.8821
2.0821
5.5590
0.1000
-4.4410
```

$$V1 = 10.0821 \text{ V}$$

$$V2 = 8.5590 \text{ V}$$

$$V3 = 4.8821 \text{ V}$$

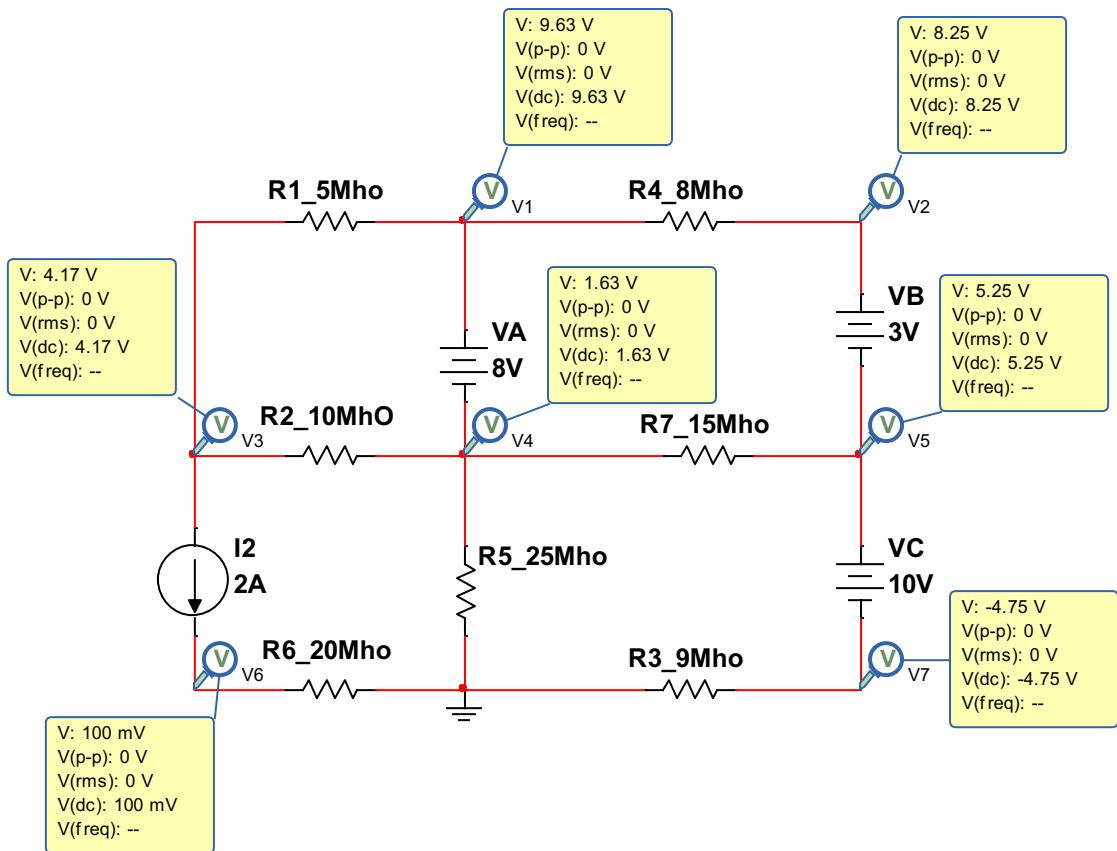
$$V4 = 2.0821 \text{ V}$$

$$V5 = 5.5590 \text{ V}$$

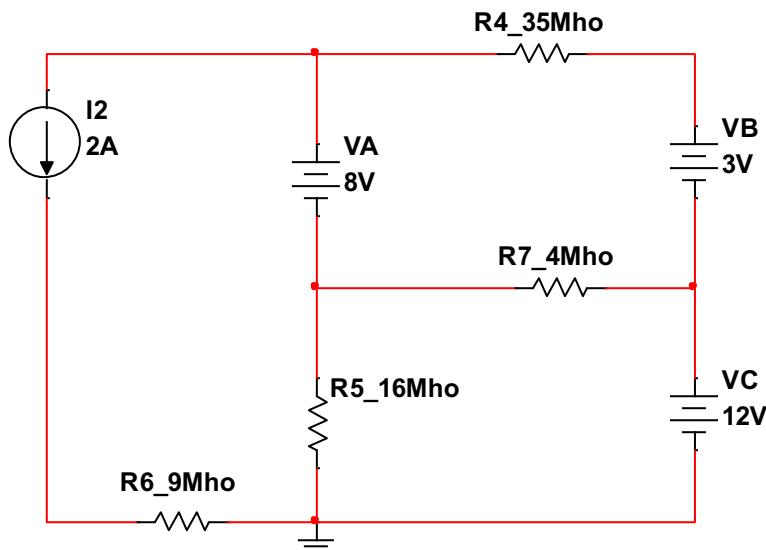
$$V6 = 0.1000 \text{ V}$$

$$V7 = -4.4410 \text{ V}$$

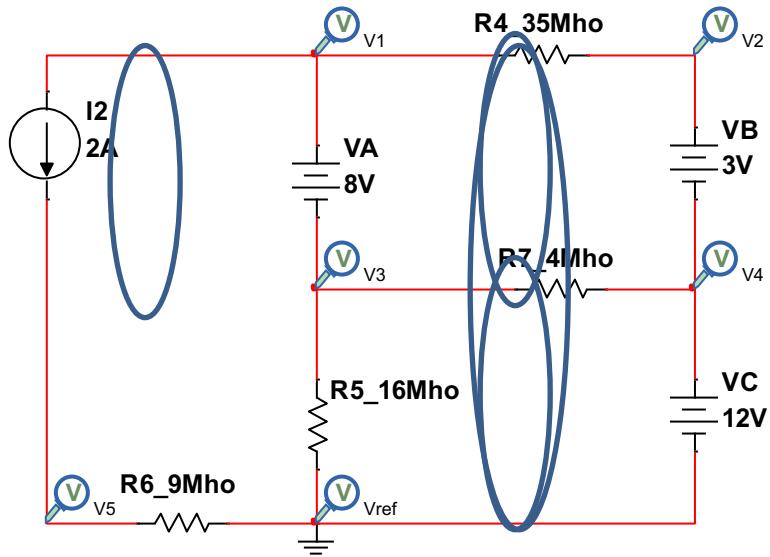
Comprobación:



Ejercicio 2



Asignar un potencial e identificar nodos y super nodos:



Generar ecuaciones:

$$SUPER\ NODO1: 8 = V_1 - V_3$$

$$SUPER\ NODO2: 3 = V_2 - V_4$$

$$SUPER\ NODO3: 12 = V_4$$

$$15 = V_2$$

$$NODO5: V_5 = 0.222$$

$$ANALISIS\ SUPER\ NODO1: 765 = 35V_1 + 4V_3$$

$$SUPER\ NODO1: 571 = 35V_1 - 20V_3$$

Hallar ecuaciones:

```
>> a=[35 20; 35 4]  
  
a =  
  
    35      20  
    35      4  
  
>> b=[571;765]  
  
b =  
  
    571  
    765  
  
>> c=inv(a)  
  
c =  
  
   -0.0071      0.0357  
    0.0625     -0.0625  
  
>> x=c*b  
  
x =  
  
   23.2429  
 -12.1250
```

$$SUPER NODO1: V_1 = 23.2429 \text{ V}$$

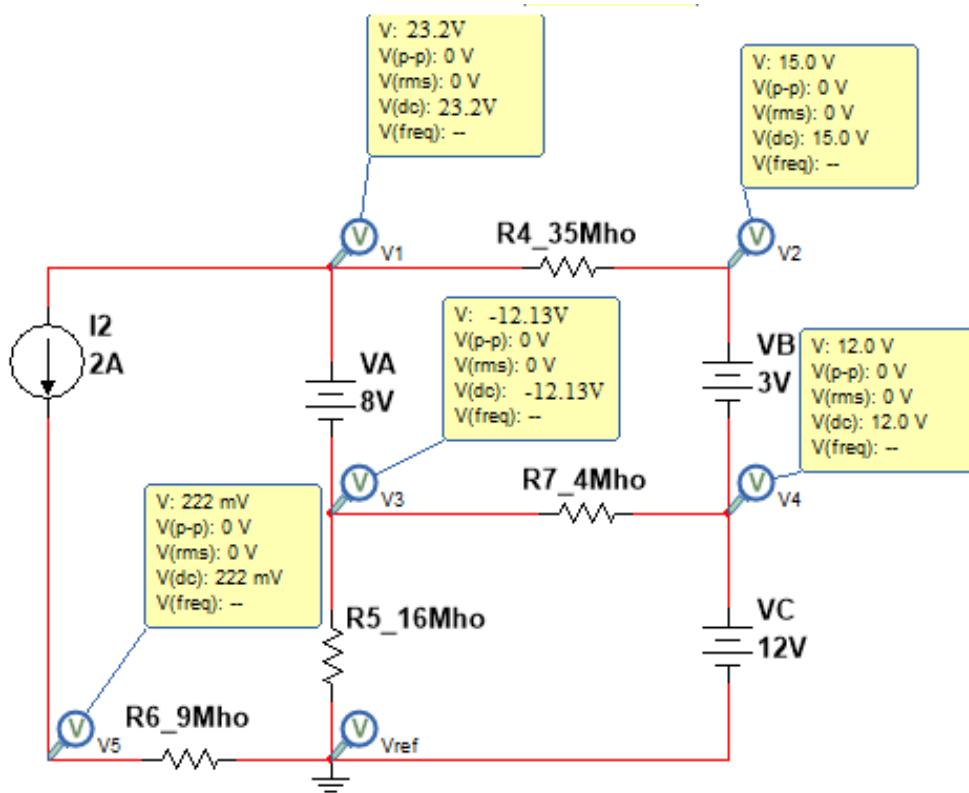
$$V_2 = 15 \text{ V}$$

$$V_3 = -12.1250 \text{ V}$$

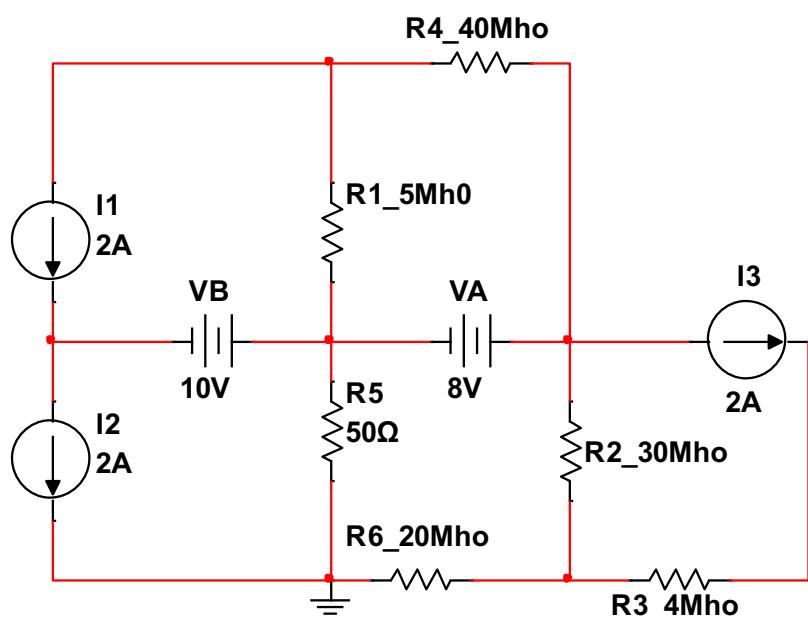
$$V_4 = 12$$

$$V_5 = 0.222 \text{ V}$$

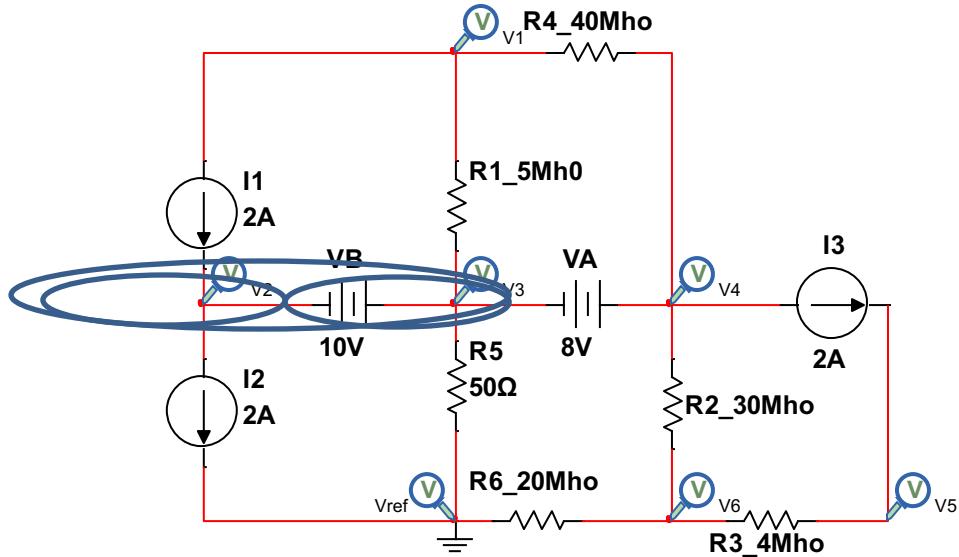
Comprobación:



Ejercicio 3



Asignar un potencial e identificar nodos y super nodos:



Generar ecuaciones:

$$SUPER NODO 1: 10 = V_3 - V_2$$

$$SUPER NODO 2: 8 = V_4 - V_3$$

$$SUPER SUPER NODO 1: -2 = -4V_1 + 50V_3 + 34V_4 - 30V_6$$

$$NODO 1: 0 = 45V_1 - 40V_3 - 40V_4$$

$$NODO 5: 2 = 4V_3 - 4V_6$$

$$SUPER NODO 6: 0 = -30V_4 - 4V_5 + 54V_6$$

Hallar raíces:

```
>> a=[0 -1 1 0 0 0; 0 0 -1 1 0 0; -4 0 50 34 0 -30; 45 0 -40 -40 0 0; 0 0 0 4 -4; 0 0 0 -30 -5 56]

a =

 0   -1    1    0    0    0
 0    0   -1    1    0    0
 -4    0   50   34    0   -30
 45    0   -40   -40    0    0
 0    0    0    0    4   -4
 0    0    0   -30   -5   56

>> b=[10;8;-2;0;2;0]

b =

 10
  8
 -2
  0
  2
  0

>> c=inv(a)

c =

 0    0.5049    0.0300    0.0249    0.0221    0.0177
 -1.0000   -0.2160    0.0169    0.0015    0.0124    0.0099
  0   -0.2160    0.0169    0.0015    0.0124    0.0099
  0    0.7840    0.0169    0.0015    0.0124    0.0099
  0    0.4612    0.0099    0.0009    0.2818    0.0254
  0    0.4612    0.0099    0.0009    0.0318    0.0254

>> x=c*b

x =

 4.0229
 -11.7371
 -1.7371
 6.2629
 4.2331
 3.7331
```

$$V1 = 4.0229 \text{ V}$$

$$V2 = -11.7371 \text{ V}$$

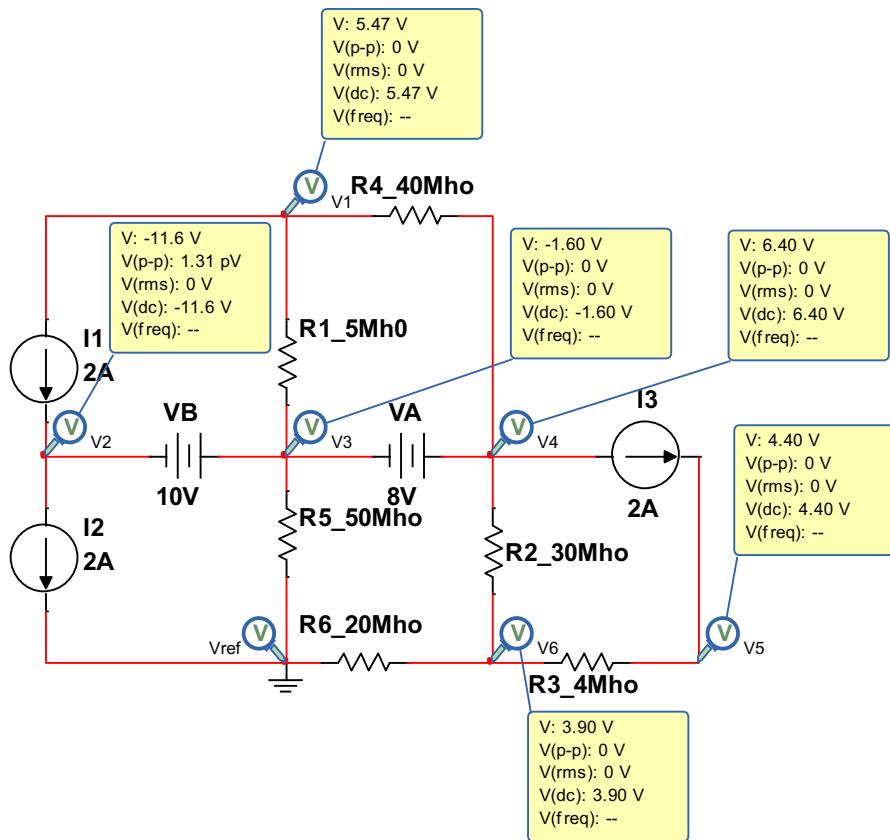
$$V3 = -1.7371 \text{ V}$$

$$V4 = 6.2629 \text{ V}$$

$$V5 = 4.2331 \text{ V}$$

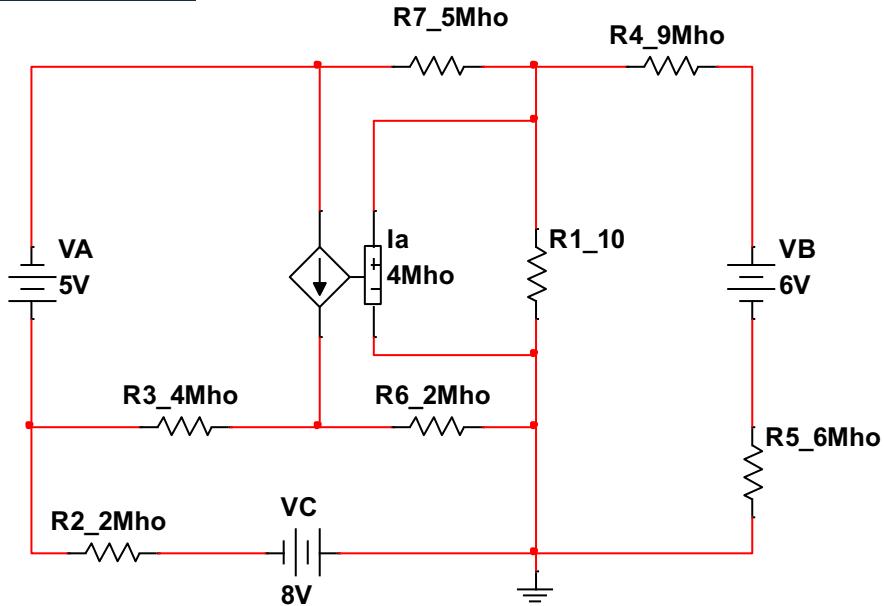
$$V6 = 3.7331 \text{ V}$$

Comprobación:

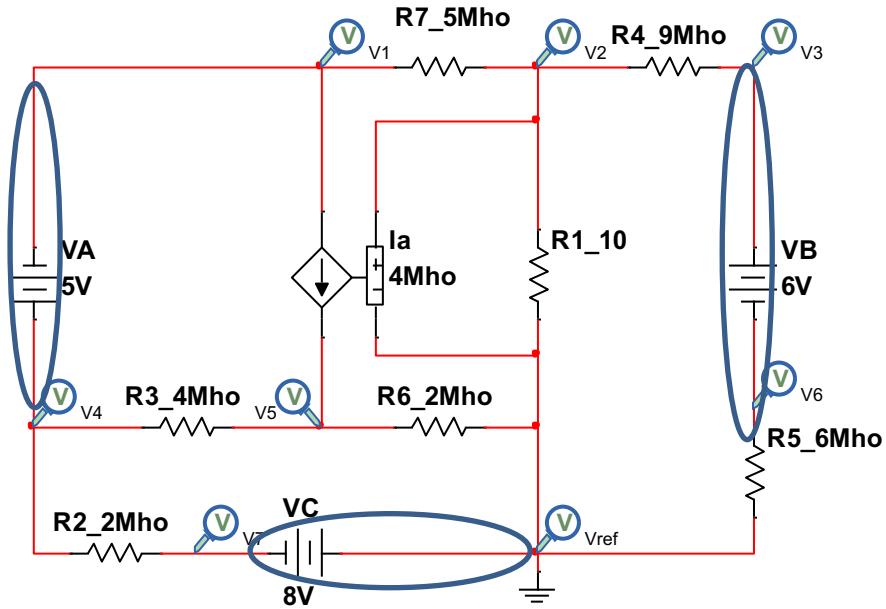


Nodos con fuentes dependientes

Ejercicio 1



Asignar un potencial e identificar nodos y super nodos:



Generar ecuaciones:

$$SUPER\ NODO\ 1: 5 = V4 - V1$$

$$SUPER\ NODO\ 2: 6 = V3 - V6$$

$$SUPER\ NODO\ 3: 8 = -V7$$

$$AN.\ SUPER\ NODO\ 1: 4V4 - 4V5 + 2V4 - 2V7 + 4Vx + 5V1 - 5V2 =$$

$$Vx = V2 - VRef$$

$$5V1 - 5V2 + 6V4 - 4V5 - 2V7 + 4(V2) = 0$$

$$AN.\ SUPER\ NODO\ 1: 5V1 - V2 + 6V4 - 4V5 - 2V7 = 0$$

$$AN.\ SUPER\ NODO\ 2: 9V3 - 9V2 + 6V6 = 0$$

$$AN.\ SUPER\ NODO\ 3: -2V4 + 2V7 - 2V5 - 10V2 - 6V6 = 0$$

$$AN.\ NODO\ 2: 5V2 - 5V1 + 10V2 + 9V2 - 9V3 = 0$$

Hallar las raíces:

$$V_1 = -1.5 \text{ V}$$

$$V_2 = 0.25 \text{ V}$$

$$V_3 = 1.5 \text{ V}$$

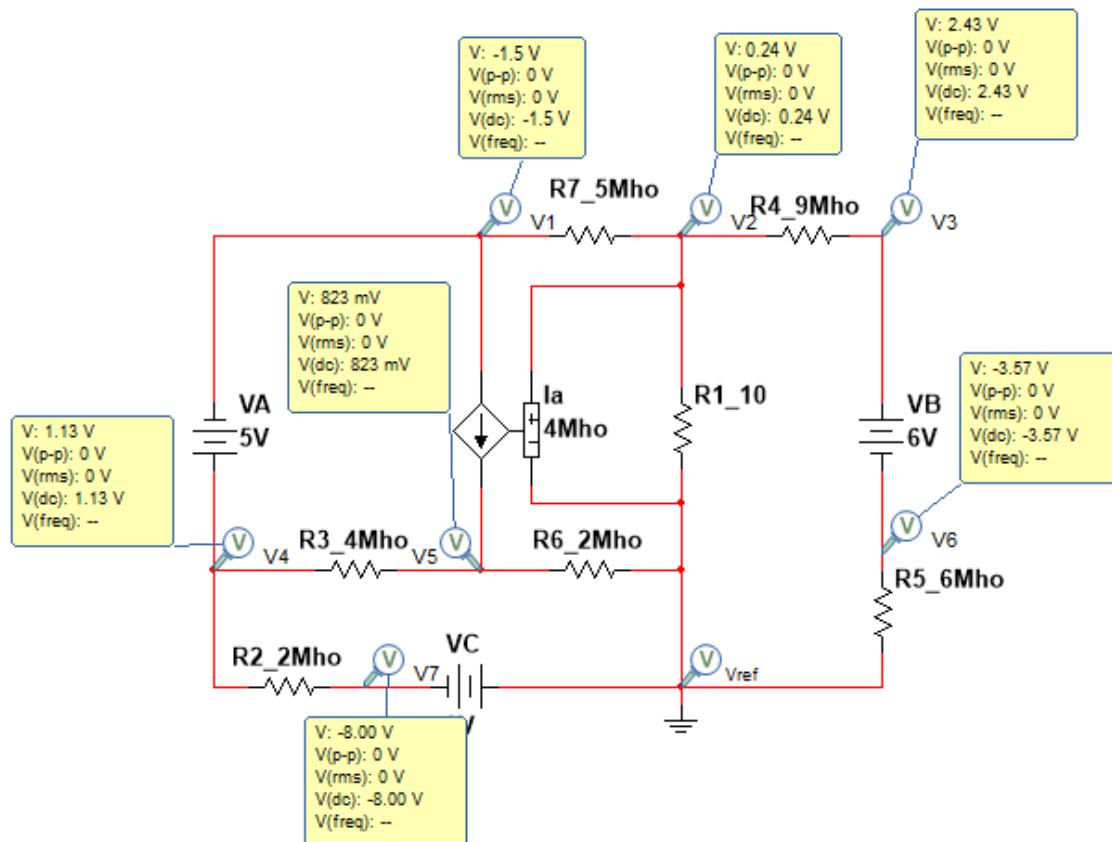
$$V_4 = 0.875 \text{ V}$$

$$V_5 = 3.375 \text{ V}$$

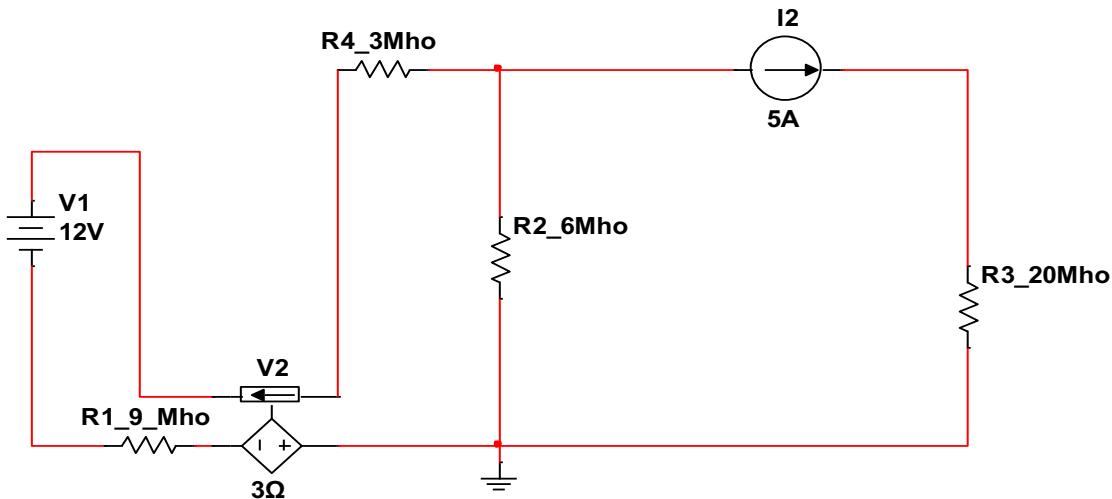
$$V_6 = -4.5 \text{ V}$$

$$V_7 = -8 \text{ V}$$

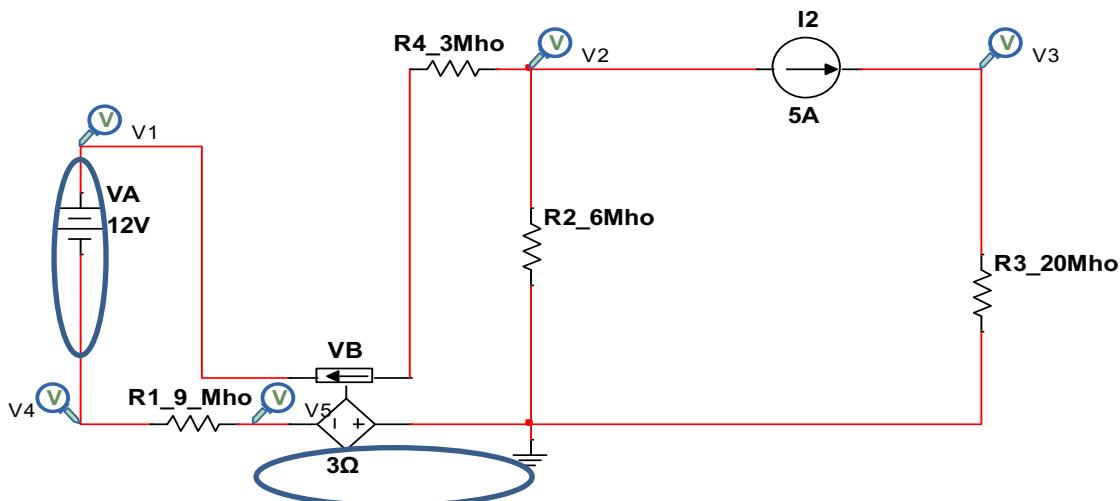
Comprobación:



Ejercicio 2



Asignar un potencial e identificar nodos y super nodos:



Generar ecuaciones:

$$\text{SUPER NODO1(N1, N4): } V1 - V4 = 12$$

$$\text{SUPER NODO1: } 3V1 - 3V2 + 3V4 - 3V5 = 0$$

$$\text{SUPER NODO2(N5, NRef): } 3Ix = V5$$

$$\text{SUPER NODO2: } 3v5 - 3V4 - 6V2 - 6V3 = 0$$

$$Ix = 3(V2 - V1)$$

$$NODO2: 3V2 - 3V1 + 6V2 - 6VRef + 5 = 0$$

$$NODO 3: 20V3 = 5$$

Hallar raíces:

$$V1 = 15.5 V$$

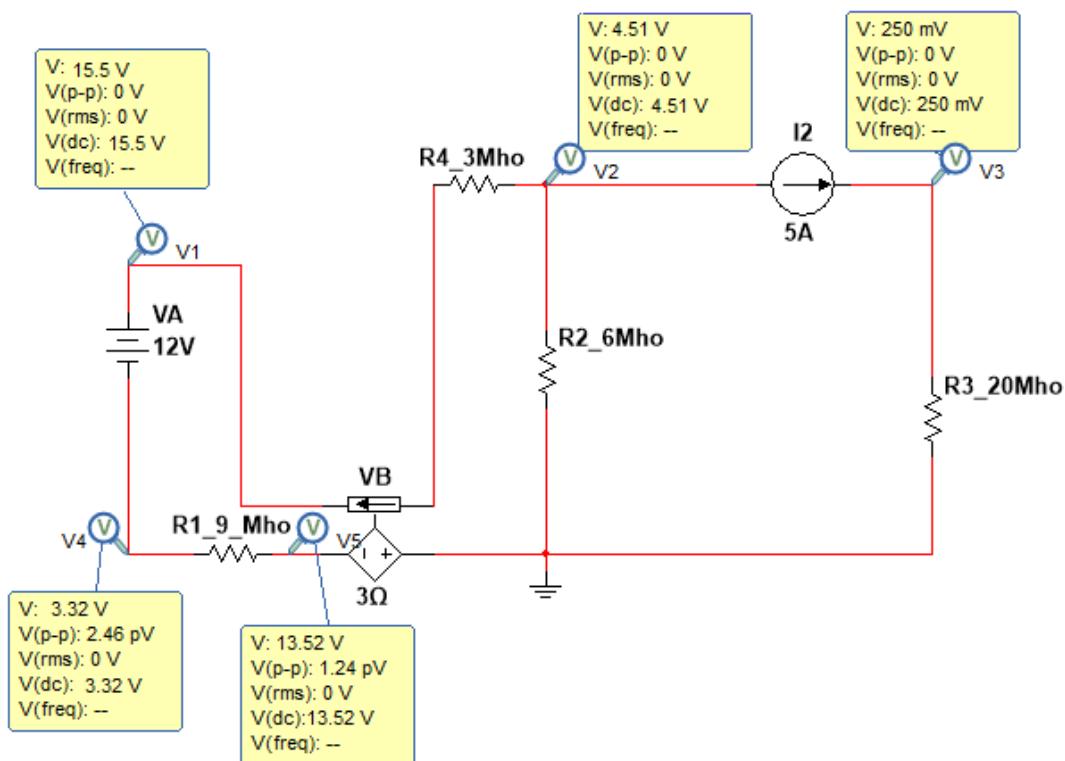
$$V2 = 4.61 V$$

$$V3 = 0.25 V$$

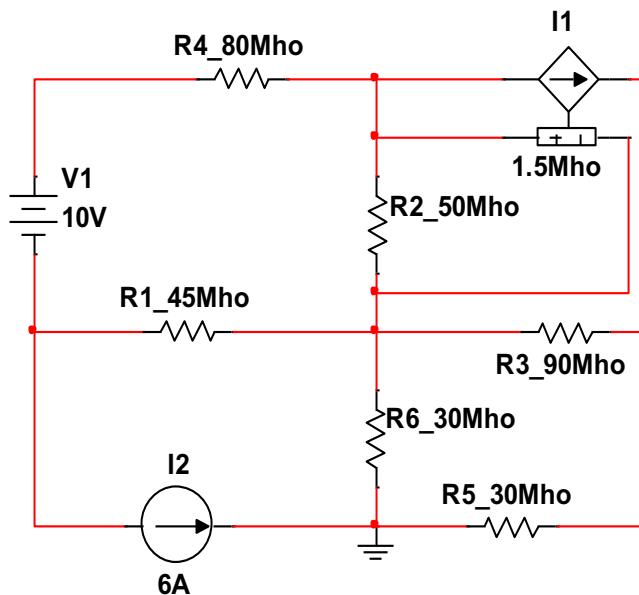
$$V4 = 3.5 V$$

$$V5 = 14.38 V$$

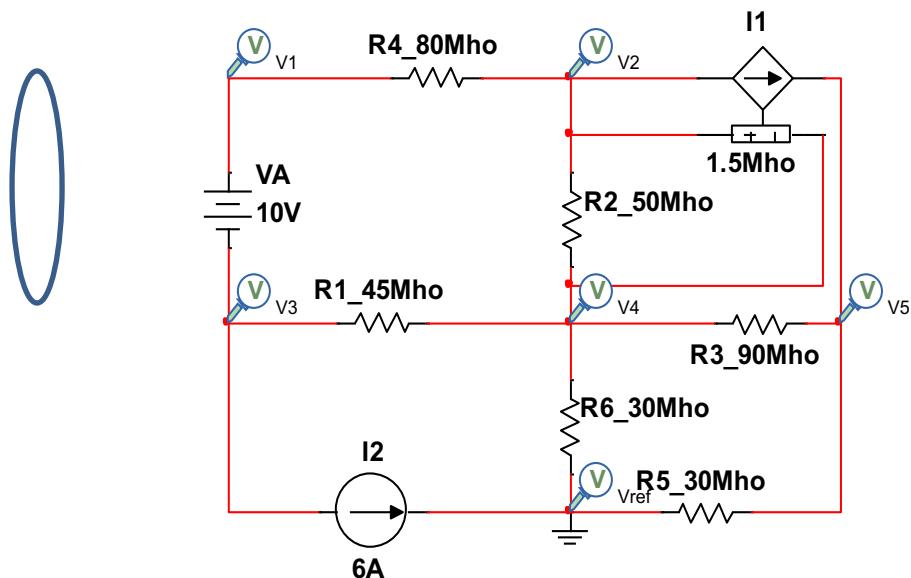
Comprobación:



Ejercicio 3



Asignar un potencial e identificar nodos y super nodos:



Generar ecuaciones:

$$SN1: V1 - V3 = 10$$

$$SN1: 80V1 - 80V2 + 45V3 - 45V4 + 6 = 0$$

$$NODO2: 80V2 - 80V1 + 50V2 - 50V4 + 1.5Vx = 0$$

$$Vx = V2 - V4$$

$$NODO2: 80V2 - 80V1 + 50V2 - 50V4 + 1.5(V2 - V4) = 0$$

$$NODO2: 131.5V2 - 80V1 - 51.5V4 = 0$$

$$NODO\ 4: 215V4 - 45V3 - 90V5 - 50V2 = 0$$

$$NODO5: -1.5(V2 - V4) + 90V5 - 90V4 + 30V5 = 0$$

$$NODO5: -1.5V2 + 1.5V4 + 90V5 - 90V4 + 30V5 = 0$$

$$NODO5: -1.5V2 - 88.5V4 + 120V5 = 0$$

Hallar raíces:

$$V1 = 2.053 \text{ V}$$

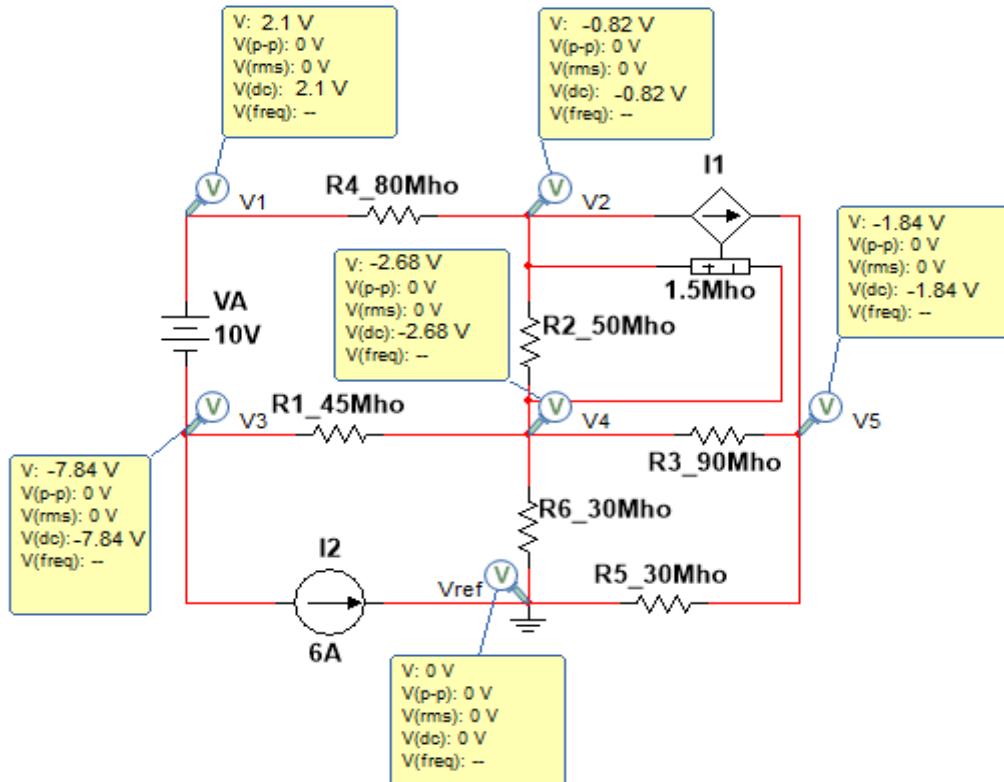
$$V2 = -0.833 \text{ V}$$

$$V3 = -7.94 \text{ V}$$

$$V4 = -2.68 \text{ V}$$

$$V5 = -1.966 \text{ V}$$

Comprobación:



REFERENCIAS

- Alcalde San Miguel, P. (2010). *Electrónica general: equipos electrónicos de consumo.* (2da. ed.). Paraninfo.
- Alexander, C. K. y Sadiku, M.N.O. (2013). *Fundamentos de circuitos eléctricos.* (5ta ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Altuve Paredes, M. A. (2019). *Análisis y simulación de circuitos eléctricos en corriente continua.* UPB
- Boylestad, R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos.* Pearson Educacion. <https://notasfisicados.files.wordpress.com/2016/05/boylestd-1-1.pdf>
- Díaz Torres, F.M. (2021). *Circuitos eléctricos de corriente continua.* Universidad Nacional de La Pampa <http://redi.exactas.unlpam.edu.ar/xmlui/handle/2013/349?show=full>
- Fernández de Ávila, S. y Hidalgo García, R. (2013). *Fundamentos teóricos para analizar circuitos.* Editorial Club Universitario. E-book
- César Fernández Peris, C. y Vicente Ripoll, M.A. (2005). *150 problemas de teoría de circuitos. Exámenes resueltos y problemas adicionales.* http://coolab.umh.es/circuitos/libro_150problemas.pdf
- Guerrero Sedeño, J. y Candelo Becerra, J. E. (2011). *Análisis de circuitos eléctricos: estado estable.* Universidad del Norte Editorial.
- Hayt Jr, W.H., Kemmerly, J., y Durbin, S. (2012). *Análisis de circuitos en ingeniería.* (8a ed.). Mc Graw-Hill.
- Irwin, J.D. (1997). *Análisis básico de circuitos en ingeniería.* Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Oficina Internacional de Pesas y Medidas Organización Intergubernamental de la Convención del Metro (2006). *El Sistema Internacional de Unidades (SI).* 2da ed español. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Centro Español de Metrología. (pdf)
- Polo, J. R. R. (2000). *Circuitos eléctricos monofásicos y trifásicos. Fundamentos teóricos y ejercicios resueltos.* Universitat de Lleida.
- Usaola García, J. Moreno López de Saá, M.A. (2003). *Teoría de circuitos eléctricos: problemas y ejercicios resueltos.* Pearson Educación.

ISBN: 978-9942-844-95-8



ISBN IMPRESO

9789942844958

ISBN: 978-9942-844-96-5



ISBN DIGITAL

9789942844965