



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELECTRICOS 1,
BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACIÓN, EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Antony Ricardo Chicol Yoc

Asesorado por el Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELECTRICOS 1,
BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACIÓN, EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANTONY RICARDO CHICOL YOC

ASESORADO POR EL ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Polanco Aguilar
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELECTRICOS 1,
BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACIÓN, EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 1 de abril de 2016.



Antony Ricardo Chicol Yoc

Guatemala, 9 de marzo de 2018

Ingeniero

Julio Rolando Barrios Archila

Coordinador Área de Electrotecnia

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Barrios:

Hago de su conocimiento que he finalizado la revisión del trabajo de graduación del estudiante de Ingeniería Electrónica Antony Ricardo Chicol Yoc, carnet 2010 20176, titulado **“DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS 1, BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACIÓN, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**.

El cual ha cumplido con los objetivos propuestos, por lo que doy mi aprobación al mismo. Así mismo, indico que tanto el estudiante Chicol Yoc como el suscrito, somos responsables del contenido del trabajo de graduación referido.

Quedo en la mejor disposición de ampliar lo escrito en los párrafos precedentes.

Reciba un cordial saludo,



Otto Fernando Andriano González

ASESOR



REF. EIME 14.2018.
9 DE MARZO 2018.

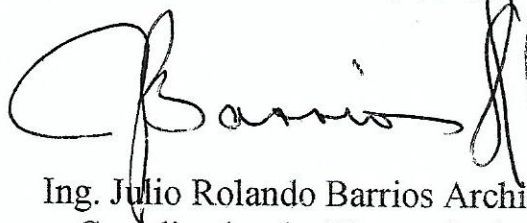
Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS 1, BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACIÓN, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, del estudiante; Antony Ricardo Chicol Yoc, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnia





REF. EIME 14.2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de la estudiante: **ANTONY RICARDO CHICOL YOC** titulado: **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS 1, BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACIÓN, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriano Gonzalez



GUATEMALA, 12 DE MARZO 2018.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIRTUAL DEL CURSO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS 1, BAJO EL MODELO CONSTRUCTIVISTA DE EDUCACION, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Antony Ricardo Chicol Yoc**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

5/27/18
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2018

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme vivir y cumplir con mis metas
Mi padre	Américo Chicol, por sus sabios consejos, disciplina y amor.
Mi madre	Francisca Yoc, por su incondicional apoyo, sus sabios consejos, por mostrarme que lo imposible era posible y por su amor.
Mi esposa	Jullisa Reynoso de Chicol, por su incondicional apoyo en las buenas y en las malas, por su amor y por siempre creer en mí.
Mi hija	Jackeline Chicol, por ser la inspiración de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme llegar a este momento
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme una oportunidad para soñar.
Facultad de Ingeniería	Por construir en realidad lo que soñé.
Lic. Anselma Jáuregui	Por ser mi amiga, por escucharme, por sus consejos, porque con su ayuda pude llegar a este momento.
Ing. Otto Andrino	Por ser una gran influencia en mi carrera, por las charlas en las que siempre aprendía algo nuevo, por compartir de su conocimiento conmigo.
Kimberly Zambrano	Por su incondicional apoyo en la realización de este trabajo, amiga muchas gracias.
Sección Socioeconómica	Por la ayuda y el apoyo otorgado durante todo el recorrido.
Laboratorio de Electrotecnia	Por ser parte de mi formación académica-profesional

Mis amigos

Con mucho aprecio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXXVII
GLOSARIO.....	XXXIX
RESUMEN.....	XLI
OBJETIVOS.....	XLIII
INTRODUCCIÓN.....	XLV
1. ASPECTOS GENERALES, USO DE LAS TIC COMO HERRAMIENTA DE VIRTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Modelo constructivista.....	2
1.2.1. Características del aprendizaje constructivista.....	3
1.3. Educación, ciencia y tecnología.....	4
1.4. Modelos de educación a distancia (EaD).....	5
1.4.1. Generalidades.....	5
1.4.2. E-Learning.....	7
1.4.3. B-Learning.....	8
1.4.4. M-Learning.....	9
1.5. Tecnologías de la Información y Comunicación TIC.....	10
1.5.1. Aplicaciones informáticas.....	13
1.5.2. Las redes de comunicación.....	14
1.5.3. Las TIC en la educación.....	16
1.6. Estructura de los videos.....	18

2.	TEOREMAS Y CONCEPTOS A DIGITALIZAR.....	21
2.1.	Carga eléctrica	22
2.1.1.	Objetivo	22
2.1.2.	Concepto	22
2.1.3.	Aplicación	22
2.1.4.	Conclusiones	23
2.2.	Corriente en CD	23
2.2.1.	Objetivo	23
2.2.2.	Concepto	23
2.2.3.	Aplicación	25
2.2.4.	Conclusiones	25
2.3.	Voltaje en CD	26
2.3.1.	Objetivo	26
2.3.2.	Concepto	26
2.3.3.	Aplicación	27
2.3.4.	Conclusiones	27
2.4.	Conductividad eléctrica	28
2.4.1.	Objetivo	28
2.4.2.	Concepto	28
2.4.3.	Aplicación	29
2.4.4.	Conclusiones	29
2.5.	Resistividad eléctrica.....	29
2.5.1.	Objetivos	29
2.5.2.	Concepto	29
2.5.3.	Aplicación	30
2.5.4.	Conclusiones	30
2.6.	Resistencia eléctrica	31
2.6.1.	Objetivos	31
2.6.2.	Concepto	31

	2.6.3.	Aplicación	32
	2.6.4.	Conclusiones	32
2.7.		Ley de Ohm	32
	2.7.1.	Objetivos.....	32
	2.7.2.	Concepto	32
	2.7.3.	Aplicación	34
	2.7.4.	Conclusiones	34
2.8.		Potencia Eléctrica en CD	35
	2.8.1.	Objetivo.....	35
	2.8.2.	Concepto	35
	2.8.3.	Aplicación	36
	2.8.4.	Conclusión	36
2.9.		Circuitos serie y paralelo.....	36
	2.9.1.	Objetivos.....	36
	2.9.2.	Conceptos.....	37
	2.9.3.	Circuitos serie	38
	2.9.4.	Circuitos en paralelo	39
	2.9.5.	Aplicación	41
	2.9.6.	Conclusiones	41
2.10.		Leyes de Kirchhoff	41
	2.10.1.	Objetivos.....	41
	2.10.2.	Conceptos.....	42
		2.10.2.1. Ley de voltaje de Kirchhoff	42
		2.10.2.2. Ley de corrientes de Kirchhoff.....	43
	2.10.3.	Aplicación	44
	2.10.4.	Conclusiones	44
2.11.		Regla del divisor de tensión	44
	2.11.1.	Objetivos.....	45
	2.11.2.	Concepto	45

	2.11.3.	Aplicación	46
	2.11.4.	Conclusiones	46
2.12.		Regla del divisor de corriente	46
	2.12.1.	Objetivos	46
	2.12.2.	Concepto	47
	2.12.3.	Aplicación	47
	2.12.4.	Conclusiones	48
2.13.		Redes serie-paralelo	48
	2.13.1.	Objetivos	48
	2.13.2.	Concepto	48
	2.13.3.	Aplicación	50
	2.13.4.	Conclusiones	50
2.14.		Redes en escalera	50
	2.14.1.	Objetivos	50
	2.14.2.	Concepto	51
	2.14.3.	Aplicación	51
	2.14.4.	Conclusiones	52
2.15.		Teorema de superposición	52
	2.15.1.	Objetivos	52
	2.15.2.	Concepto	52
	2.15.3.	Aplicación	53
	2.15.4.	Conclusiones	53
2.16.		Teorema de Thevenin	54
	2.16.1.	Objetivos	54
	2.16.2.	Concepto	54
	2.16.3.	Aplicación	55
	2.16.4.	Conclusiones	56
2.17.		Teorema de Norton	56
	2.17.1.	Objetivos	56

	2.17.2.	Concepto	56
	2.17.3.	Aplicación	57
	2.17.4.	Conclusiones	58
2.18.		Teorema de la máxima transferencia de potencia	58
	2.18.1.	Objetivos.....	58
	2.18.2.	Concepto	59
	2.18.3.	Aplicación	59
	2.18.4.	Conclusiones	59
2.19.		Teorema de Millman	60
	2.19.1.	Objetivos.....	60
	2.19.2.	Concepto	60
	2.19.3.	Aplicación	61
	2.19.4.	Conclusiones	62
2.20.		Teorema de sustitución	62
	2.20.1.	Objetivos.....	62
	2.20.2.	Concepto	62
	2.20.3.	Aplicación	63
	2.20.4.	Conclusiones	63
2.21.		Teorema de reciprocidad	64
	2.21.1.	Objetivos.....	64
	2.21.2.	Concepto	64
	2.21.3.	Aplicación	64
	2.21.4.	Conclusiones	64
2.22.		Teorema de Tellegen.....	65
	2.22.1.	Objetivos.....	65
	2.22.2.	Concepto	65
	2.22.3.	Aplicación	66
	2.22.4.	Conclusiones	66

2.23.	Señales en AC	66
2.23.1.	Objetivos	66
2.23.2.	Señales variantes en el tiempo	66
2.23.3.	El periodo de una señal	67
2.23.4.	Forma de onda	69
2.23.5.	Valor instantáneo.....	69
2.23.6.	Valor pico y valor pico-pico	69
2.23.7.	Ciclo	70
2.23.8.	Frecuencia.....	70
2.23.9.	La onda sinusoidal.....	71
2.23.10.	Aplicación	72
2.23.11.	Conclusiones	72
2.24.	Desfase.....	72
2.24.1.	Objetivos	72
2.24.2.	Concepto	73
2.24.3.	Aplicación	74
2.24.4.	Conclusiones	74
2.25.	Valor promedio.....	74
2.25.1.	Objetivo	75
2.25.2.	Concepto	75
2.25.3.	Aplicación	77
2.25.4.	Conclusiones	78
2.26.	Valor eficaz RMS	78
2.26.1.	Objetivos	78
2.26.2.	Concepto	78
2.26.3.	Aplicación	80
2.26.4.	Conclusiones	81
2.27.	Respuesta en frecuencia del resistor	81
2.27.1.	Objetivo	81

	2.27.2.	Concepto	81
	2.27.3.	Aplicación	83
	2.27.4.	Conclusiones	83
2.28.		Reactancia.....	83
	2.28.1.	Objetivo.....	83
	2.28.2.	Concepto	84
	2.28.3.	Aplicación	84
	2.28.4.	Conclusiones	84
2.29.		Reactancia capacitiva.....	85
	2.29.1.	Objetivo.....	85
	2.29.2.	Concepto	85
	2.29.3.	Aplicación	86
	2.29.4.	Conclusiones	86
2.30.		Reactancia inductiva.....	86
	2.30.1.	Objetivos.....	87
	2.30.2.	Concepto	87
	2.30.3.	Aplicación	88
	2.30.4.	Conclusiones	88
2.31.		Impedancia	88
	2.31.1.	Objetivos.....	88
	2.31.2.	Concepto	89
	2.31.3.	Aplicación	89
	2.31.4.	Conclusiones	89
2.32.		Circuitos RC	90
	2.32.1.	Objetivos.....	90
	2.32.2.	Concepto	90
	2.32.3.	Aplicación	92
	2.32.4.	Conclusiones	92

2.33.	Circuitos RL	93
2.33.1.	Objetivos	93
2.33.2.	Concepto	93
2.33.3.	Aplicación	95
2.33.4.	Conclusiones	95
2.34.	Circuitos RLC	96
2.34.1.	Objetivos	96
2.34.2.	Concepto	96
2.34.3.	Aplicación	98
2.34.4.	Conclusiones	98
2.35.	Potencia promedio	99
2.35.1.	Objetivos	99
2.35.2.	Concepto	99
2.35.3.	Aplicación	102
2.35.4.	Conclusiones	102
2.36.	Fasores	102
2.36.1.	Objetivos	102
2.36.2.	Concepto	102
2.36.3.	Aplicación	104
2.36.4.	Conclusiones	104
2.37.	Impedancia y diagrama fasorial	104
2.37.1.	Objetivos	104
2.37.2.	Concepto	105
2.37.3.	Aplicación	107
2.37.4.	Conclusiones	108
2.38.	Potencia aparente	108
2.38.1.	Objetivos	109
2.38.2.	Concepto	109
2.38.3.	Aplicación	110

	2.38.4.	Conclusiones	110
2.39.		Potencia en AC (potencia real)	110
	2.39.1.	Objetivos.....	110
	2.39.2.	Concepto	110
	2.39.3.	Aplicación	112
	2.39.4.	Conclusiones	112
2.40.		Potencia reactiva	112
	2.40.1.	Objetivos.....	112
	2.40.2.	Concepto	112
	2.40.3.	Aplicación	113
	2.40.4.	Conclusiones	113
2.41.		El triángulo de potencia	113
	2.41.1.	Objetivos.....	114
	2.41.2.	Concepto	114
	2.41.3.	Aplicación	115
	2.41.4.	Conclusiones	115
2.42.		Factor de potencia	115
	2.42.1.	Objetivos.....	115
	2.42.2.	Concepto	115
	2.42.3.	Aplicación	117
	2.42.4.	Conclusiones	117
2.43.		Corrección del factor de potencia	118
	2.43.1.	Objetivos.....	118
	2.43.2.	Concepto	118
	2.43.3.	Aplicación	120
	2.43.4.	Conclusiones	120

3.	SIMULACIÓN DE EJERCICIOS Y LABORATORIOS VIRTUALES.....	121
3.1.	Ley de Ohm	121
3.1.1.	Demostración Ley de Ohm	121
3.1.2.	Conversión de la ley vectorial de Ohm a la ley escalar de Ohm	125
3.2.	Resolución de problemas ley de Ohm.....	125
3.2.1.	Problema 1	126
3.2.2.	Problema 2	126
3.2.3.	Problema 3	127
3.3.	Laboratorios virtuales ley de Ohm	128
3.3.1.	Laboratorio 1 materiales óhmicos y no óhmicos ...	128
3.3.1.1.	Objetivo general.....	128
3.3.1.2.	Objetivos específicos	128
3.3.1.3.	Generalidades	129
3.3.2.	Laboratorio 2 resistencia total circuito paralelo	131
3.3.2.1.	Objetivo general.....	131
3.3.2.2.	Objetivos específicos	131
3.3.2.3.	Generalidades	131
3.4.	Aplicaciones de la ley de Ohm	133
3.5.	Leyes de Kirchhoff	136
3.5.1.	Problema 1	136
3.5.2.	Problema 2	137
3.5.3.	Problema 3	139
3.5.4.	Problema 4	140
3.6.	Laboratorio leyes de Kirchhoff.....	141
3.6.1.	Laboratorio 1 comprobación LVK y LCK.....	141
3.6.1.1.	Objetivo general.....	142
3.6.1.2.	Objetivos específicos	142
3.6.1.3.	Generalidades	142

3.6.2.	Laboratorio 2 LVK utilizando diodos	144
3.6.2.1.	Objetivo general	144
3.6.2.2.	Objetivos específicos	145
3.6.2.3.	Generalidades	145
3.7.	Aplicaciones de leyes de Kirchhoff	146
3.8.	Regla del divisor de tensión	149
3.8.1.	Regla del divisor de tensión	149
3.8.1.1.	Problema 1	149
3.8.1.2.	Problema 2.....	150
3.8.1.3.	Aplicaciones, divisor de tensión	152
3.9.	Regla del divisor de corriente	153
3.9.1.	Problemas, divisor de corriente	153
3.9.1.1.	Problema 1	153
3.9.1.2.	Problema 2.....	156
3.9.2.	Aplicaciones, regla del divisor de corriente	159
3.10.	Redes en escalera	160
3.10.1.	Problema 1	160
3.10.2.	Problema 2	162
3.10.3.	Laboratorio 1 problema 1	165
3.10.3.1.	Objetivo general	165
3.10.3.2.	Objetivos específicos	165
3.10.3.3.	Generalidades	165
3.11.	Conversiones entre fuentes de voltaje y corriente	166
3.11.1.	Problema 1	166
3.11.2.	Problema 2	168
3.12.	Conversiones Y- Δ y Δ - Y	169
3.12.1.	Demostración conversión Δ - Y	169
3.12.2.	Demostración conversión Y- Δ	172
3.12.3.	Problema 1	174

3.12.4.	Aplicaciones	177
3.12.4.1.	Detector de humo de puente de Wheatstone	177
3.13.	Teorema de superposición	179
3.13.1.	Problema 1	179
3.13.2.	Problema 2	181
3.13.3.	Problema 3	184
3.14.	Teorema de Thevenin	187
3.14.1.	Problema 1	187
3.14.2.	Problema 2	188
3.14.3.	Problema 3	191
3.15.	Teorema de Norton	192
3.15.1.	Problema 1	192
3.15.2.	Problema 2	194
3.15.3.	Problema 3	195
3.16.	Teorema de la máxima transferencia de potencia	197
3.16.1.	Demostración del teorema de máxima transferencia de potencia	197
3.16.2.	Problema 1	198
3.16.3.	Problema 2	200
3.16.4.	Problema 3	201
3.16.5.	Laboratorio 1	203
3.16.5.1.	Objetivo general.....	203
3.16.5.2.	Objetivos específicos	203
3.16.5.3.	Generalidades	203
3.16.6.	Aplicaciones	205
3.17.	Teorema de Millman.....	205

3.17.1.	Demostración del teorema de Millman utilizando el teorema de superposición y teorema de Thevenin.....	206
3.17.2.	Demostración teorema de Millman con el teorema de Norton	208
3.17.3.	Laboratorio 1.....	210
3.17.3.1.	Objetivo general	210
3.17.3.2.	Objetivos específicos	210
3.17.3.3.	Generalidades.....	210
3.18.	Teorema de sustitución	212
3.18.1.	Problema 1	212
3.18.2.	Laboratorio.....	214
3.18.2.1.	Objetivo general	214
3.18.2.2.	Objetivos específicos	214
3.18.2.3.	Generalidades.....	214
3.19.	Teorema de reciprocidad	215
3.19.1.	Problema 1	215
3.19.2.	Laboratorio.....	217
3.19.2.1.	Objetivo general	217
3.19.2.2.	Objetivos específicos	217
3.19.2.3.	Generalidades.....	217
3.20.	Teorema de Tellegen.....	218
3.20.1.	Problema 1	218
3.20.2.	Laboratorio.....	220
3.20.2.1.	Objetivo general	221
3.20.2.2.	Objetivos específicos	221
3.20.2.3.	Generalidades.....	221
3.21.	Transitorios en redes capacitivas, fase de carga	222

3.21.1.	Ecuación de carga del capacitor en función del tiempo	222
3.21.2.	Problema 1	225
3.21.3.	Laboratorio	226
3.21.3.1.	Objetivo general.....	227
3.21.3.2.	Objetivos específicos	227
3.21.3.3.	Generalidades	227
3.22.	Transitorios en redes capacitivas, fase de descarga	228
3.22.1.	Ecuación de descarga del capacitor en función del tiempo.....	228
3.22.2.	Problema 1	230
3.22.3.	Laboratorio	231
3.22.3.1.	Objetivo general.....	231
3.22.3.2.	Objetivos específicos	232
3.22.3.3.	Generalidades	232
3.23.	Transitorios en redes inductivas, fase de carga.....	233
3.23.1.	Ecuación de carga del inductor en función del tiempo	233
3.24.	Transitorios en redes inductivas, fase de descarga	235
3.24.1.	Ecuación de descarga del inductor en función del tiempo.....	235
3.25.	Desfase.....	237
3.25.1.	Problema 1	237
3.25.2.	Problema 2	238
3.25.3.	Problema 3	239
3.26.	Respuesta en frecuencia del resistor	241
3.27.	Respuesta en frecuencia del capacitor.....	242
3.28.	Respuesta en frecuencia del inductor	246
3.29.	Circuito serie RC	249

3.29.1.	Caída de tensión en el resistor.....	249
3.29.2.	Caída de tensión en el capacitor	250
3.30.	Circuito serie RL	251
3.30.1.	Caída de tensión en el resistor.....	251
3.30.2.	Caída de tensión en el inductor.....	252
3.31.	Circuito serie RLC.....	253
3.31.1.	Caída de tensión en el capacitor	254
3.31.2.	Caída de tensión en el inductor.....	255
3.31.3.	Caída de tensión en el resistor.....	256
3.31.4.	Caída de tensión en el capacitor e inductor	257
3.32.	Fasores	258
3.32.1.	Problema 1	258
3.32.2.	Problema 2	259
3.32.3.	Problema 3	260
3.33.	Impedancia y diagrama fasorial	262
3.33.1.	Problema 1	262
3.33.2.	Problema 2	264
3.33.3.	Problema 3	266
3.34.	El triángulo de potencia	267
3.34.1.	Problema 1	267
3.34.2.	Problema 2	268
3.34.3.	Problema 3	270
3.35.	Factor de potencia.....	273
3.35.1.	Problema 1	273
3.35.2.	Problema 2	273
3.35.3.	Problema 3	274
3.36.	Corrección del factor de potencia	275
3.36.1.	Problema 1	275
3.36.2.	Problema 2	277

4.	EVALUACIONES	279
4.1.	Carga, corriente y voltaje	279
4.1.1.	Problemas de corto alcance	279
4.1.2.	Problemas de mayor alcance	284
4.2.	Conductividad, resistividad, conductancia y resistencia	285
4.2.1.	Problemas de corto alcance	285
4.2.2.	Problemas de mayor alcance	287
4.3.	Ley de Ohm	288
4.3.1.	Problemas de corto alcance	288
4.3.2.	Problemas de mayor alcance	295
4.4.	Potencia eléctrica	297
4.4.1.	Problemas de corto alcance	297
4.4.2.	Problemas de mayor alcance	303
4.5.	Circuitos serie-paralelo y reducción	303
4.5.1.	Problemas de corto alcance	303
4.5.2.	Problemas de mayor alcance	314
4.6.	Leyes de Kirchhoff	316
4.6.1.	Problemas de corto alcance	316
4.6.2.	Problemas de mayor alcance	326
4.7.	Divisor de tensión y corriente	327
4.7.1.	Problemas de corto alcance	327
4.7.2.	Problemas de mayor alcance	337
4.8.	Análisis con fuentes de voltaje y corriente	339
4.8.1.	Problemas de corto alcance	339
4.8.2.	Problemas de mayor alcance	350
4.9.	Conversión ΔY	351
4.9.1.	Problemas de corto alcance	351
4.9.2.	Problemas de mayor alcance	357

4.10.	Teorema de Superposición	359
4.10.1.	Problemas de corto alcance.....	359
4.10.2.	Problemas de mayor alcance.....	369
4.11.	Teorema de Thevenin.....	371
4.11.1.	Problemas de corto alcance.....	371
4.11.2.	Problemas de mayor alcance.....	378
4.12.	Teorema de Norton.....	383
4.12.1.	Problemas de corto alcance.....	383
4.12.2.	Problemas de mayor alcance.....	388
4.13.	Teorema de máxima transferencia de potencia	393
4.13.1.	Problemas de corto alcance.....	393
4.13.2.	Problemas de mayor alcance.....	398
4.14.	Teorema de Millman	400
4.14.1.	Problemas de corto alcance.....	400
4.14.2.	Problemas de mayor alcance.....	402
4.15.	Teorema de sustitución	403
4.15.1.	Problemas de corto alcance.....	403
4.15.2.	Problemas de mayor alcance.....	404
4.16.	Teorema de Tellegen.....	406
4.16.1.	Problemas de corto alcance.....	406
4.16.2.	Problemas de mayor alcance.....	410
4.17.	Teorema de reciprocidad	411
4.17.1.	Problemas de corto alcance.....	411
4.17.2.	Problemas de mayor alcance.....	413
4.18.	Redes capacitivas.....	415
4.18.1.	Problemas de corto alcance.....	415
4.18.2.	Problemas de mayor alcance.....	424
4.19.	Redes inductivas	425
4.19.1.	Problemas de corto alcance.....	425

4.19.2.	Problemas de mayor alcance	432
4.20.	Señales variantes en el tiempo (AC), fasores y circuitos resistivos	433
4.20.1.	Problemas de corto alcance	433
4.20.2.	Problemas de mayor alcance	439
4.21.	Impedancia y reactancia	440
4.21.1.	Problemas de corto alcance	440
4.21.2.	Problemas de mayor alcance	447
4.22.	Respuesta en frecuencia redes R, C y L	448
4.22.1.	Problemas de corto alcance	448
4.22.2.	Problemas de mayor alcance	453
4.23.	Potencia en AC	454
4.23.1.	Problemas de corto alcance	454
4.23.2.	Problemas de mayor alcance	461
4.24.	Factor de potencia y corrección del factor de potencia	462
4.24.1.	Problemas de corto alcance	462
4.24.2.	Problemas de mayor alcance	465
CONCLUSIONES		467
RECOMENDACIONES		469
BIBLIOGRAFÍA		471
APÉNDICES		473

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Corriente continua.....	24
2.	Corriente directa, carga y descarga de un capacitor	25
3.	Voltaje rectificado (DC pulsante)	27
4.	Fuente de voltaje DC	27
5.	Ley de Ohm	33
6.	Relación Ley de Ohm, pendiente = resistencia	34
7.	Ejemplos de nodos.....	37
8.	Terminales de un resistor	38
9.	Circuitos resistivo serie, terminales en rojo y nodos en azul.....	39
10.	Circuito en paralelo, terminales en rojo y nodos en azul.....	40
11.	Ley de voltajes de Kirchhoff	42
12.	Ley de corrientes de Kirchhoff.....	43
13.	Divisor de tensión.....	45
14.	Divisor de corriente	47
15.	Arreglos serie y paralelo.....	49
16.	Red en escalera	51
17.	Sustitución de fuentes, teorema de superposición	53
18.	Circuito equivalente de Thevenin	55
19.	Equivalencia entre los teoremas de Thevenin y Norton.....	57
20.	Ejemplo teorema de Millman	60
21.	Ejemplo teorema sustitución	63
22.	Señales periódicas y no periódicas	68
23.	Diferentes periodos de una señal AC	68

24.	Voltaje pico (V_{pk}).....	69
25.	Voltaje pico-pico (V_{pk-pk}).....	70
26.	Desfase de una señal sinusoidal	73
27.	Valor promedio de una forma de onda.....	75
28.	R Vrs Frec	82
29.	XC Vrs Frec.....	85
30.	XL Vrs Frec.....	87
31.	Circuito serie RC.....	90
32.	Corriente vrs frec	91
33.	Desfase I vrs V	92
34.	Circuito RL en serie	93
35.	V vrs frec	94
36.	Desfase I vrs V	95
37.	Circuito RLC serie.....	97
38.	I vrs frec, RLC.....	97
39.	V vrs frec en R, L y C.....	98
40.	Diagrama fasorial para la resistencia	106
41.	Reactancia capacitiva	107
42.	Reactancia inductiva.....	108
43.	Triángulo de potencia	114
44.	Circuito básico ley de Ohm	122
45.	Circuito problema 1	126
46.	Circuito problema 2.....	127
47.	Circuito equivalente problema 2.....	127
48.	Circuito problema 3.....	127
49.	Circuito 1, laboratorio 1	129
50.	Circuito 2, laboratorio 1	130
51.	Circuito 1, laboratorio 2.....	132
52.	Aplicación ley de Ohm	134

53.	Aplicación ley de Ohm 2.....	135
54.	Problema 1.....	136
55.	Circuito problema 2.....	137
56.	Circuito 2, problema 2.....	138
57.	Circuito problema 3.....	139
58.	Circuito problema 4.....	140
59.	Circuito 1, laboratorio 1.....	143
60.	Circuito 1, laboratorio 2.....	145
61.	Aplicación ley de Kirchhoff.....	147
62.	Circuito 1, problema 1.....	149
63.	Circuito problema 2.....	151
64.	Circuito equivalente problema 2.....	151
65.	Circuito problema 1.....	154
66.	Circuito equivalente, problema 1.....	154
67.	Circuito equivalente 2.....	155
68.	Circuito equivalente 3.....	155
69.	Circuito equivalente 4.....	156
70.	Circuito 1 problema 2.....	157
71.	Amperímetro problema 2.....	158
72.	Circuito 1 problema 1.....	160
73.	Circuito simulado.....	161
74.	Circuito 1 problema 2.....	162
75.	Circuito equivalente problema 2.....	163
76.	Circuito 1 problema 1.....	167
77.	Circuito equivalente problema 1.....	167
78.	Circuito 1 problema 2.....	168
79.	Circuito equivalente problema 2.....	169
80.	Circuito delta-estrella.....	170
81.	Conversión delta-estrella.....	170

82.	Conversión estrella-delta 1	172
83.	Conversión estrella-delta 2	173
84.	Circuito 1 problema 1	174
85.	Circuito simulado problema 1	175
86.	Circuito equivalente	176
87.	Circuito equivalente final.....	177
88.	Circuito detector de humo.....	178
89.	Sensor de humo	178
90.	Circuito problema 1.....	179
91.	Circuito de análisis 1.....	180
92.	Circuito de análisis 2.....	180
93.	Circuito problema 2.....	181
94.	Circuito de análisis 1.....	182
95.	Circuito equivalente 1	182
96.	Circuito equivalente 2	183
97.	Circuito equivalente final.....	183
98.	Circuito 1 problema 3.....	184
99.	Circuito equivalente 1	185
100.	Circuito de análisis 1.....	185
101.	Circuito de análisis 2.....	186
102.	Circuito 1 problema 1	187
103.	Circuito equivalente	188
104.	Circuito 1 problema 2.....	189
105.	Circuito de análisis 1.....	189
106.	Circuito de análisis 2.....	190
107.	Circuito equivalente final.....	191
108.	Circuito 1 problema 3.....	191
109.	Conversión de fuentes.....	193
110.	Circuito 1, problema 2.....	194

111.	Circuito equivalente 1	195
112.	Circuito equivalente 2	195
113.	Circuito 1 problema 3	196
114.	Circuito equivalente 1	197
115.	Circuito 1, demostración máxima trans. pot.....	198
116.	Circuito 1 problema 1	199
117.	Circuito 1 problema 2	200
118.	Circuito 1 problema 3	202
119.	Rth vrs RL	202
120.	Circuito 1, teorema de Millman	206
121.	Circuito 2, teorema de Millman	209
122.	Circuito 1 problema 1	212
123.	Circuito equivalente.....	213
124.	Teorema de reciprocidad	216
125.	Circuito 1, teorema de Tellegen	219
126.	Circuito 1, transitorios.....	223
127.	Circuito 1, problema 1	226
128.	Circuito 1, laboratorio 1	228
129.	Circuito 1, fase de descarga.....	229
130.	Circuito 1, problema 1	230
131.	Circuito 1, laboratorio 1	232
132.	Circuito RL, fase de carga.....	234
133.	Circuito RL, fase de descarga	236
134.	Fase, problema 2	238
135.	Fase, problema 3	239
136.	Respuesta en frecuencia del resistor	241
137.	V vrs I a través de R.....	242
138.	Estructura de un capacitor	244
139.	Circuito RC.....	250

140.	Caída de tensión en el capacitor.....	251
141.	Circuito RL, voltaje en R	252
142.	Voltaje en L, circuito RL.....	253
143.	Circuito rIC.....	254
144.	Circuito rLc	255
145.	Circuito Rlc	256
146.	Circuito rLC.....	257
147.	Fasores 1	259
148.	Fasores 2	261
149.	Reactancia.....	263
150.	Desfase y reactancia	265
151.	Circuitos reactivos	266
152.	Triángulo de potencia	267
153.	Potencia reactiva 1	269
154.	Potencia reactiva 2	271
155.	Potencia reactiva 3	274
156.	Circuito con cargas reactivas	274
157.	Triángulo de potencia	277
158.	Carga variante en el tiempo	282
159.	Ley de Ohm.....	290
160.	Circuito resistivo	291
161.	Divisor de tensión	293
162.	Resistencia equivalente.....	294
163.	Potencia dependiendo de V.....	295
164.	Potencia dependiendo de I	296
165.	Potencia disipada	296
166.	Ley de Ohm.....	297
167.	Circuitos serie-paralelo	305
168.	Potencia en DC	306

169.	Corriente en R4.....	307
170.	Resistencia total equivalente.....	307
171.	Potencia sobre R3.....	308
172.	Potencia sobre R5.....	309
173.	Encontrar R1	309
174.	Potencia individual	310
175.	Potencia en serie	310
176.	Corriente total	311
177.	Resistencia equivalente 1	311
178.	Resistencia equivalente 2	312
179.	Potencia disipada.....	312
180.	Corriente individual	313
181.	Voltaje individual	313
182.	Resistencia Equivalente, problema XXI.....	314
183.	Resistencia equivalente, problema XXII	314
184.	Resistencia equivalente, problema I.....	315
185.	Resistencia Equivalente, problema II	315
186.	Resistencias, corrientes y voltajes	316
187.	Lazos cerrados.....	318
188.	Lazos cerrados.....	319
189.	LCK	319
190.	LVK	320
191.	Trayectorias	321
192.	Nodos y lazos	321
193.	Corriente suministrada	322
194.	LCK	322
195.	Voltaje desconocido	323
196.	Voltaje y corriente desconocidos.....	323
197.	Potencia absorbida	324

198.	Caída de tensión	324
199.	Corriente en resistor	325
200.	Corriente desconocida.....	325
201.	Voltajes desconocidos	326
202.	Corrientes desconocidas	326
203.	Problema de aplicación	327
204.	Problema de diseño.....	329
205.	Divisor de tensión 1	329
206.	Divisor de tensión 2	330
207.	Diferencia de potencial	330
208.	Problema de análisis	331
209.	Resistencia desconocida	331
210.	Divisor de corriente.....	332
211.	División de voltaje.....	332
212.	Caída de tensión en R1	333
213.	Voltaje desconocido.....	333
214.	Corrientes desconocidas	334
215.	Resistencia desconocida	334
216.	Corriente desconocida.....	335
217.	Diseño de circuitos 1	335
218.	Diseño de circuitos 2	336
219.	Corrientes desconocidas	336
220.	Resistencia desconocida	337
221.	Puente de Wheatstone	338
222.	Voltaje variable	339
223.	Conexión entre fuentes de voltaje 1.....	340
224.	Conexión entre fuentes de voltaje 2.....	340
225.	Conexión entre fuentes de corriente 1	341
226.	Conexión entre fuentes de corriente 2	341

227.	Fuente de corriente	342
228.	Conversión de fuentes	342
229.	Conversión entre fuentes de corriente.....	343
230.	Voltaje entre a y b	344
231.	Corriente en el resistor	344
232.	Caída de tensión en R3, problema X.....	345
233.	Caída de tensión en R3, problema XI.....	345
234.	Caída de tensión en R, problema XII.....	346
235.	Diseño de circuitos, problema XIII	346
236.	Diseño de circuitos, problema XIV	347
237.	Diseño de circuitos, problema XV	347
238.	Diseño de circuitos, problema XVI	348
239.	Diseño de circuitos, problema XVII.....	348
240.	Diseño de circuitos, problema XVIII.....	348
241.	Diseño de circuitos, problema XIX	349
242.	Diseño de circuitos, problema XX	349
243.	Diseño de circuitos, problema XXI	350
244.	Corrientes desconocidas.....	350
245.	Valores desconocidos	351
246.	Voltaje y corrientes desconocidos	351
247.	Conversión delta-estrella, problema I	352
248.	Conversión estrella-delta, problema II	352
249.	Corriente desconocida	353
250.	Conversión delta-estrella, problema IV.....	354
251.	Conversión delta-estrella, problema V.....	354
252.	Conversión estrella-delta, problema VI.....	355
253.	Conversión delta-estrella, problema VII.....	355
254.	Resistencia equivalente, problema VIII	356
255.	Resistencia equivalente, problema IX	356

256.	Resistencia total, problema X	357
257.	Análisis de circuitos	357
258.	Resistencia total, problema II.....	358
259.	Resistencia total	358
260.	Resistencia equivalente, problema IV	359
261.	Teorema de superposición, problema I.....	360
262.	Teorema de superposición, problema II.....	360
263.	Teorema de superposición, problema III.....	361
264.	Corriente desconocida teorema de superposición	361
265.	Teorema de superposición, problema V	362
266.	Teorema de superposición, problema VI	363
267.	Teorema de superposición, problema VII	363
268.	Teorema de superposición, problema VIII	364
269.	Teorema de superposición, problema IX	364
270.	Teorema de superposición, problema X	365
271.	Teorema de superposición, problema XI	365
272.	Teorema de superposición, problema XII	366
273.	Teorema de superposición, problema XIII	366
274.	Teorema de superposición, problema XIV	367
275.	Teorema de superposición, problema XV	367
276.	Teorema de superposición, problema XVI.....	368
277.	Teorema de superposición, problema XVII.....	368
278.	Teorema de superposición, problema I.....	369
279.	Teorema de superposición, problema II.....	369
280.	Teorema de superposición, problema III.....	370
281.	Teorema de superposición, problema IV	370
282.	Teroema de Thevenin, problema I.....	371
283.	Voltaje de Thevenin, problema II	372
284.	Resistencia de Thevenin, problema III.....	372

285.	Voltaje de Thevenin, problema IV	373
286.	Resistencia equivalente de Thevenin	374
287.	Circuito equivalente de Thevenin, problema VII	375
288.	Circuito equivalente de Thevenin, problema VIII	375
289.	Circuito equivalente de Thevenin, problema IX	375
290.	Circuito equivalente de Thevenin, problema X	376
291.	Resistencia de Thevenin	376
292.	Circuito equivalente de Thevenin, problema XII	377
293.	Circuito equivalente de Thevenin, problema XIII	377
294.	Teorema de Thevenin, problema II.....	378
295.	Circuito equivalente de Thevenin, problema IV	379
296.	Teorema de Thevenin, problema V	379
297.	Teorema de Thevenin, problema VI	380
298.	Gráfica problema VI, teorema de Thevenin	380
299.	Teorema de Thevenin, problema VII	381
300.	Gráfica problema VII, teorema de Thevenin	381
301.	Teorema de Thevenin, problema VIII	382
302.	Gráfica problema VIII, teorema de Thevenin	382
303.	Teorema de Norton, problema I	383
304.	Circuito equivalente de Norton, problema II.....	383
305.	Circuito equivalente de Norton, problema III.....	384
306.	Corriente, Teorema de Norton.....	384
307.	Teorema de Norton, problema V	385
308.	Teorema de Norton, problema VI	385
309.	Teorema de Norton, problema VII	386
310.	Teorema de Norton, problema IX	386
311.	Teorema de Norton, problema X	387
312.	Circuito equivalente de Norton, problema XI	387
313.	Circuito equivalente de Norton, problema I.....	388

314.	Teorema de Norton, problema II	388
315.	Circuito equivalente de Norton.....	389
316.	Teorema de Thevenin, problema IV.....	389
317.	Gráfica problema V, teorema de Norton	390
318.	Teorema de Norton, problema V.....	390
319.	Gráfica problema VI, teorema de Norton	391
320.	Teorema de Norton, problema VI.....	391
321.	Gráfica problema VII, teorema de Norton	392
322.	Teorema de Norton, problema VII.....	392
323.	Máxima transferencia de potencia, problema I.....	393
324.	Resistencia máxima transferencia de potencia, problema II	393
325.	Máxima transferencia de potencia, problema III.....	394
326.	Máxima transferencia de potencia, problema IV	394
327.	Máxima transferencia de potencia, problema V	395
328.	Máxima transferencia de potencia, problema VI	395
329.	Máxima transferencia de potencia, problema VII	396
330.	Potencia máxima	396
331.	Máxima transferencia de potencia, problema IX	397
332.	Máxima potencia en R	398
333.	Máxima potencia en resistor variable.....	398
334.	Máxima transferencia de potencia en RL.....	399
335.	Máxima transferencia de potencia, problema III.....	399
336.	Teorema de Millman, problema I	400
337.	Teorema de Millman, problema II	400
338.	Teorema de Millman, problema III	401
339.	Teorema de Millman, problema IV	401
340.	Voltaje en RL, teorema de Millman	402
341.	Potencia disipada en RL	402
342.	Potencia disipada en RL, Teorema de millman.....	403

343.	Teorema de sustitución, problema I	403
344.	Teorema de sustitución, problema II	404
345.	Teorema de sustitución, problema I	404
346.	Teorema de sustitución, problema III	405
347.	Teorema de sustitución, problema IV	405
348.	Teorema de Tellegen	406
349.	Demostración teorema de Tellegen, problema II	406
350.	Demostración teorema de Tellegen, problema III	407
351.	Teorema de Tellegen, problema IV	407
352.	Análisis teorema de Tellegen, problema V	408
353.	Análisis teorema de Tellegen, problema VI	408
354.	Demostración teorema de Tellegen, problema VII.....	409
355.	Demostración teorema de Tellegen, problema VIII.....	409
356.	Demostración teorema de Tellegen, problema IV.....	410
357.	Demostración teorema de Tellegen, problema I.....	410
358.	Teorema de Tellegen, problema II	411
359.	Teorema de reciprocidad, problema I.....	412
360.	Teorema de reciprocidad, problema II.....	412
361.	Teorema de reciprocidad, problema III.....	413
362.	Demostración teorema de reciprocidad.....	413
363.	Teorema de reciprocidad, problema I.....	414
364.	Teorema de reciprocidad, problema II.....	414
365.	Teorema de reciprocidad, problema III.....	415
366.	Constante de tiempo, problema I	415
367.	Constante de tiempo, problema II	416
368.	5 constantes de tiempo	416
369.	3 constantes de tiempo, problema IV	417
370.	Determinar constante de tiempo, problema V	417
371.	Determinar constante de tiempo, problema VI	418

372.	Determinar constante de tiempo, problema VII	418
373.	Constante de tiempo en circuito RC	419
374.	Determinar expresión matemática, problema IX	419
375.	Determinar expresión matemática, problema X	420
376.	Determinar expresión matemática, problema XI	420
377.	Tiempo de descarga	421
378.	Determinar expresión matemática	421
379.	Corriente durante descarga	422
380.	Tiempo de activación	422
381.	Voltaje en el capacitor	423
382.	Energía en el capacitor	423
383.	Determinar la expresión matemática	424
384.	Diseño de sistema RC	424
385.	Determinar expresión matemática	425
386.	Constante de tiempo circuito RL	425
387.	Constante de tiempo circuito RL	426
388.	Corriente en el inductor, problema III	426
389.	Corriente en el inductor, problema IV	427
390.	Determinar expresión matemática, problema V	427
391.	Constante de tiempo.....	428
392.	Determinar ecuación.....	428
393.	Estado estable	429
394.	Constante de tiempo, problema XI.....	429
395.	Estado estable, problema XII	430
396.	Constante de tiempo, problema XIII.....	430
397.	Voltaje en el inductor	431
398.	Energía en el inductor.....	431
399.	Determinar expresión matemática	432
400.	Voltaje sobre el inductor	432

401.	Corriente en el inductor	433
402.	Forma de onda.....	434
403.	Periodo, frecuencia y valor promedio	437
404.	Valor promedio.....	438
405.	Valor RMS.....	438
406.	Corriente y voltaje promedio.....	440
407.	Valor RMS.....	440
408.	Impedancia	441
409.	Corriente fasorial, problema IV	442
410.	Corriente fasorial, problema V	442
411.	Frecuencia de la fuente de voltaje.....	443
412.	Capacitancia fasorial	443
413.	Impedancia total, problema XXII	446
414.	Impedancia total, problema XXIII	446
415.	Impedancia total, problema XXIV	447
416.	Impedancia	447
417.	Impedancia total.....	448
418.	Función de transferencia, problema I	448
419.	Función de transferencia, problema II	449
420.	Función de transferencia, problema III	449
421.	Función de transferencia, problema IV	450
422.	Frecuencia de resonancia, problema VI	450
423.	Frecuencia de resonancia, problema VII	451
424.	Frecuencia de resonancia, problema VIII	451
425.	Filtro pasabajos.....	452
426.	Frecuencia central y ancho de banda.....	452
427.	Ancho de banda	453
428.	Función de transferencia.....	453
429.	Ancho de banda	454

430.	Potencia promedio, problema III	455
431.	Potencia promedio, problema V.....	456
432.	Potencia reactiva, problema VI	456
433.	Potencia activa y reactiva	457
434.	Potencia reactiva, problema VIII	457
435.	Triángulo de potencia, problema IX	458
436.	Reactancia capacitiva	458
437.	Triángulo de potencia, problema XI	458
438.	Potencia promedio, problema XII.....	459
439.	Potencia reactiva, problema XIII	459
440.	Potencia reactiva, problema XIV.....	460
441.	Potencia instantánea, problema XV	460
442.	Potencia	461
443.	Potencia y reactancia, problema II.....	461
444.	Potencia promedio, problema IV.....	462
445.	Potencia aparente, problema III	463
446.	Triángulo de potencia, problema IV	463
447.	Factor de potencia, problema II	465
448.	Factor de potencia, problema IV	466
449.	Presentación del video	473

TABLAS

I.	Herramientas según el tipo de comunicación	14
II.	Ley de Ohm	130
III.	Resistencia en paralelo	133
IV.	LVK y LCK	144
V.	Práctica 1, resolución escalera.....	166
VI.	Máxima transferencia de potencia.....	204
VII.	Teorema de Millman	211
VIII.	Teorema de Tellegen	222
IX.	Teorema de Thevenin	379
X.	Mediciones problema IV	389

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
E	Campo eléctrico
C	Capacitancia
D	Densidad de campo eléctrico
J	Densidad de corriente eléctrica
F	Farads
H	Henrios
L	Inductancia
K Ω	KiloOhm ($\times 10^3$)
KV	Kilovoltios
M Ω	MegaOhm ($\times 10^6$)
m	Metro
μ F	microFarads
μ H	microHenrios
μ V	microvoltios
mA	miliamperio
mF	miliFarads
mH	miliHenrios
mm	milímetro
m Ω	miliOhm ($\times 10^{-3}$)
mV	milivoltios
nm	nanómetro
Ω	Ohm

R	Resistencia
V	Voltios
W	Watts

GLOSARIO

B-Learning	Combina la eficacia y eficiencia de la Educación presencial con la flexibilidad de la Educación virtual.
Camtasia Studio	Software para la edición de video y audio.
Colonia	Época que va desde al año 1524 hasta 1821.
Conductismo	Corriente de la psicología que se basa en la observación del comportamiento o conducta del ser que se estudia con base en estímulos y respuestas.
E-Learning	Modalidad que se realiza mediante el uso del internet como herramienta de comunicación.
La Ilustración	Movimiento cultural e intelectual europeo desarrollado desde el siglo XVIII hasta el siglo IX.
Modelo constructivista	Movimiento pedagógico que se basa en la construcción del conocimiento a través de las actividades basadas en experiencia ricas en contexto.
M-Learning	Modalidad educativa que facilita la construcción del conocimiento gracias a la mediación de dispositivos móviles portables.

Multisim	Software para la simulación de circuitos eléctricos y electrónicos.
TIC	Tecnologías de la Información
VideoScribe	Software para la creación de presentaciones a través de video.

RESUMEN

Este trabajo pretende tomar todos los conceptos enseñados en el curso de Circuitos Eléctricos 1 y digitalizarlos de tal modo que cualquier catedrático pueda tomarlo como un modelo para impartir su clase y facilitar la enseñanza y a la vez el aprendizaje de los alumnos.

La digitalización de los conceptos ayudará a que cada estudiante pueda repasar en cualquier momento y en cualquier lugar los temas para la mejor comprensión de estos, a la vez ayudará a que el catedrático dedique más tiempo a la resolución de dudas, explicación de ejemplos y solución de problemas.

Se mostrarán videos con exposiciones de los conceptos claves para que los estudiantes comprendan los conceptos y procedimientos necesarios para la solución de los ejemplos puestos en el capítulo 3 de este trabajo, igual que con los conceptos estos se podrán consultar las veces que sean necesarias para una mejor comprensión.

El catedrático tendrá acceso a varios exámenes que serán enfocados a la evaluación de cada concepto, ejemplos y aplicaciones que mostrarán al catedrático los puntos deficientes de la enseñanza.

Todo lo anterior permitirá que el catedrático ahorre en tiempo que podrá utilizar de forma efectiva en otras actividades, también evitará los problemas ocasionados por los cierres inesperados de edificios, ya que proporciona un medio de estudio constante sin necesidad de presentarse en un lugar determinado, aumentando al mismo tiempo la calidad académica del curso de Circuitos Eléctricos 1.

OBJETIVOS

General

Diseñar una estructura virtual del curso de Circuitos Eléctricos 1, bajo el modelo constructivista, en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Crear videos conceptuales vinculados al curso de Circuitos Eléctricos 1.
2. Crear videos de aplicaciones sobre los conceptos contenidos en el curso.
3. Simular problemas aplicando los conceptos mediante un software de computadora.
4. Diseñar métodos de evaluación de los conceptos del curso.

INTRODUCCIÓN

A continuación, se detalla la necesidad de contar con un sistema tecnológico para el mejoramiento de la calidad y desarrollo académico que tanto es necesario en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Se efectuará un análisis de la mejor estructura académica para el desarrollo de un sistema digital que ayudaría al catedrático a mejorar con eficacia el tiempo que utiliza para exponer y desarrollar los temas que están contemplados dentro del programa del curso de Circuitos Eléctricos 1.

Para el desarrollo de la estructuración y realización de este proyecto se hará uso de diferentes herramientas tecnológicas y de la información de fácil acceso tanto para el catedrático como de los alumnos y de software con licencia gratuita.

1. ASPECTOS GENERALES, USO DE LAS TIC COMO HERRAMIENTA DE VIRTUALIZACIÓN

1.1. Antecedentes

Durante la Colonia se dieron instancias en las que se impartía un determinado conocimiento, pero no se trataba de una instalación pedagógica consciente, sino simplemente de un conocimiento útil para que la cultura dominada se asimilara a la dominante y manejara operaciones básicas que permitieran su desempeño en el trabajo.

La corriente de pensamiento que se adopta después de la colonia es la francesa y, más específicamente, la Ilustración. De acuerdo con ello, la razón constituye un concepto fundamental, igual que la necesidad de "llevar las luces" a todos por igual. Es en este momento que el modelo pedagógico llamado "Academicista" o "Tradicional" se instala en la sociedad.

Este modelo pedagógico se caracteriza por estar centrado en la enseñanza más que en el aprendizaje, es decir, es más importante que el alumno sea capaz de repetir lo dicho por el docente que su capacidad de comprender y apropiarse del conocimiento. El énfasis, por lo tanto, estará en la memorización de conceptos y en la selección de un tipo de saber canónico. No se consideran, entonces, los códigos propios del contexto al que pertenece cada estudiante, sino que ellos deben asimilarse a un código considerado como "correcto".

Los problemas surgidos a raíz del aumento en el número de alumnos posibilitaron la instalación del Conductismo. Se comenzaron a elaborar materiales didácticos estandarizados, que pretendían evaluar por igual a todos los estudiantes y así facilitar la corrección, haciéndola más 'objetiva'. Desde este punto de vista, el conductismo se manifiesta a favor de una mirada que desvincula el saber de la subjetividad, pues cree en la posibilidad de conocimiento "puro". Así, los alumnos siguen aprendiendo de forma memorística y reiterativa, a lo que se agrega la noción de aprendizaje a través del refuerzo y de la lógica estímulo-respuesta. El estudiante debe aprender a responder siempre lo mismo frente a un mismo estímulo. De esta concepción de la educación vienen las preguntas de opción múltiple, los "verdadero o falso", los "términos pareados", etc.

Debido a la necesidad de equilibrar la calidad de la educación para todos los alumnos del país, se instala en la década de 1990 la reforma que actualmente estructura nuestro Marco Curricular. Sus fundamentos pedagógicos están en el modelo constructivista y en el cognitivo.

1.2. Modelo constructivista

El constructivismo se enfoca en la construcción del conocimiento a través de las actividades basadas en experiencia ricas en contexto.

El constructivismo tiene sus raíces en la filosofía, psicología, sociología y educación. El verbo construir proviene del latín *struere*, que significa "arreglar" o "dar estructura". El principio básico de esta teoría proviene justo de su significado. La idea central es que el aprendizaje humano se construye, que la mente de las personas elabora nuevos conocimientos a partir de la base de enseñanzas anteriores. A diferencia del modelo academicista, cuya

metodología principal era la clase expositiva, el constructivismo privilegia las actividades realizadas por los alumnos, de manera que no se aprende a través del lenguaje abstracto, sino que a través de acciones.

El aprendizaje de los estudiantes debe ser activo, deben participar en actividades en lugar de permanecer de manera pasiva observando lo que se les explica. El constructivismo difiere con otros puntos de vista, en los que el aprendizaje se forja a través del paso de información entre personas (maestro-alumno), en este caso memorizar no es lo importante, sino recibir.

En el constructivismo el aprendizaje es activo, no pasivo. Una suposición básica es que las personas aprenden cuándo pueden controlar su aprendizaje y están al corriente del control que poseen. Esta teoría es del aprendizaje, no una descripción de cómo enseñar. Los alumnos construyen conocimientos por sí mismos. Cada uno individualmente construye significados a medida que va aprendiendo. Las personas no entienden, ni utilizan de manera inmediata la información que se les proporciona. En cambio, el individuo siente la necesidad de “construir” su propio conocimiento.

El conocimiento se construye a través de la experiencia. La experiencia conduce a la creación de esquemas. Los esquemas son modelos mentales que se almacenan en las mentes de los estudiantes. Estos esquemas van cambiando, agrandándose y volviéndose más sofisticados a través de dos procesos complementarios: la asimilación y el alojamiento.

1.2.1. Características del aprendizaje constructivista

El ambiente de aprendizaje constructivista se puede diferenciar por ocho características:

- El ambiente constructivista provee a las personas del contacto con múltiples representaciones de la realidad.
- Las múltiples representaciones de la realidad evaden las simplificaciones y representan la complejidad del mundo real.
- El aprendizaje constructivista se enfatiza al construir conocimiento dentro de la reproducción de este.
- El aprendizaje constructivista resalta tareas auténticas de una manera significativa en el contexto, en lugar de instrucciones abstractas fuera del contexto.
- El aprendizaje constructivista proporciona entornos de aprendizaje como entornos de la vida diaria o casos basados en el aprendizaje, en lugar de una secuencia predeterminada de instrucciones.
- Los entornos de aprendizaje constructivista fomentan la reflexión en la experiencia.
- Los entornos de aprendizaje constructivista permiten el contexto y el contenido dependiente de la construcción del conocimiento
- Los entornos de aprendizaje constructivista apoyan la “construcción colaborativa del aprendizaje, a través de la negociación social, no de la competición entre los estudiantes para obtener apreciación y conocimiento”.

1.3. Educación, ciencia y tecnología

La gran mayoría de países latinoamericanos han vivido desde hace varios años en un contexto crítico de desarrollo, las causas del estado crítico según varios puntos de vista se deben al retraso en materia de modernización productiva, al desequilibrio social, al empobrecimiento rural, a los altos índices de desempleo, la deuda externa y sobre todo el retraso científico-tecnológico.

Se ve que la distancia entre los países latinoamericanos subdesarrollados y los países desarrollados se ensancha con el tiempo, esto se debe al amplio desarrollo de tecnologías que se utilizan para la comercialización, industrialización y educación en los países desarrollados.

Esto no implica recurrir imitar los procesos de reconversión productiva emprendidos por los países industrializados, ya que debido a la falta de recursos y a sus deficiencias estructurales, el tipo de asimilación del progreso técnico debe formularse en base a las necesidades y potencialidades de cada sociedad.

Por lo que la promoción de la base científica-tecnológica en un país debe ser responsabilidad propia del país para el desarrollo científico de su pueblo. Cualquier esfuerzo por desarrollar una base científica-tecnológica en la educación repercutirá positivamente en el desarrollo y progreso económico, cultural, tecnológico y social.

1.4. Modelos de educación a distancia (EaD)

Los modelos de educación a distancia se describen en los siguientes apartados.

1.4.1. Generalidades

Los discentes tienen diversas formas de aprender bajo ritmos distintos, utilizando su propio método y con sus propias estrategias de aprendizaje. La información es percibida por los sentidos. Para algunas personas es más significativo lo que ve, en lugar de lo que escucha o siente.

El docente deberá contar con herramientas efectivas para que durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, los alumnos logren asimilar los contenidos curriculares, el docente debe saber cómo decir lo que el discente quiere escuchar, saber cómo mostrar lo que el discente quiere ver y saber cómo expresar lo que el discente quiere sentir por medio de los distintos canales perceptuales.

Canales perceptuales se denominan a los diferentes sistemas de representación que están relacionados con los cinco sentidos que el ser humano posee, estos canales permiten discriminar o seleccionar la información de interés. Los canales perceptuales son: Visual, Auditivo y Kinestésico.

El canal visual se refiere a la asimilación de la información mediante imágenes, colores, tamaño, formas y algunos otros factores correlacionados. El canal auditivo implica sonidos, palabras, música, etc. Por último, el canal kinestésico corresponde a las sensaciones corporales, el tacto, el olfato, el gusto y el movimiento corporal.

Debido a lo anterior se ha propuesto un modelo de estilos de aprendizaje con base en la acción de los estudiantes: activo, reflexivo, teórico y pragmático, a continuación, se describen algunas características de cada estilo:

El estudiante activo disfruta el presente y las experiencias nuevas, siempre se encuentran rodeados de gente siendo el centro de todas las actividades que desarrolla. El estudiante reflexivo es analítico, tomándose su tiempo para concluir después de realizar un análisis detallado del fenómeno que se le presenta.

El estudiante teórico es lógico y racional, piensa en forma secuencial y suelen ser ajenos a los juicios subjetivos e integra sus observaciones en teorías complejas y coherentes. Por último, el estudiante pragmático es práctico y realista, toma decisiones rápidas para la resolución de problemas y se impacienta con las discusiones externas sobre una misma situación.

Los diversos estilos de aprendizaje corresponden a las diferentes formas que los seres humanos utilizan para proporcionarle un significado a la experiencia y/o información obtenida de la realidad, esto contextualiza el cómo aprender.

1.4.2. E-Learning

Esta modalidad se realiza mediante el uso del internet como herramienta de comunicación, tiene como característica importante la distancia física entre el educador y el estudiante, pero con una comunicación frecuente tanto síncrona como asíncrona, donde el estudiante pasa a ser el centro de formación. Permite un aprendizaje individual y organizacional y comprende fundamentalmente los siguientes aspectos: El pedagógico, referido a la Tecnología Educativa como disciplina de las ciencias de la educación, vinculada a los medios tecnológicos, la psicología educativa y la didáctica. Y el *tecnológico*, referido a la Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC).

Los principales beneficios de este modelo para los estudiantes pueden resumirse como:

- Reducción de costos. Permite reducir y hasta eliminar gastos de traslado, alojamiento, material didáctico, etc.

- Rapidez y agilidad. Las comunicaciones a través de sistemas en la red confiere rapidez y agilidad a las comunicaciones.
- Acceso *just-in-time*. Los usuarios pueden acceder al contenido desde cualquier conexión a Internet, cuando les surge la necesidad.
- Flexibilidad de la agenda. No se requiere que un grupo de personas coincidan en tiempo y espacio.

1.4.3. B-Learning

También conocida como educación semipresencial o híbrida, la educación *B-learning* combina la eficacia y eficiencia de la educación presencial con la flexibilidad de la Educación virtual. En ambos métodos el uso de las TIC es importante y es parte de las herramientas para mejorar la calidad durante todo el proceso.

La educación *B-Learning*, más allá de complementar una modalidad educativa tradicional, permite de manera pertinente, acercar el conocimiento a las personas, utilizar los recursos didácticos y pedagógicos que surgen con las Tecnologías de Información y Comunicación, llevando los espacios educativos a más sectores con diversas necesidades de formación profesional.

Una de sus características es que otorga más responsabilidad a los estudiantes en su estudio individual proporcionándoles destrezas para dicho estudio, y mejorar la calidad de las clases mediante el uso de presentaciones multimedia. Entre los objetivos se tiene la posibilidad de beneficiarse del abundante material disponible en la red, compartido de modo abierto, sin embargo, no consiste en colocar materiales en Internet, sino en aprovechar los materiales que existen en Internet.

Ventajas

- Optimización del uso y la programación del tiempo
- Reducción de sesiones presenciales
- Reducción de costos (desplazamiento, alojamiento, materiales, etc.)
- Comunicación y asesoría permanentes con el docente

1.4.4. M-Learning

El mobile learning o aprendizaje móvil se define como la modalidad educativa que facilita la construcción del conocimiento, la resolución de problemas de aprendizaje y el desarrollo de destrezas o habilidades diversas de forma autónoma y ubicua (en cualquier momento y en cualquier lugar) gracias a la mediación de dispositivos móviles portables.

Existen, además, tres tipos de definiciones que destacan en los nuevos estudios sobre *m-learning*.

- El primero se basa en la tecnología y se define simplemente como: modelos educativos que utilizan dispositivos móviles y conexión inalámbrica.
- El segundo se concentra más en su movilidad y algunos lo destacan como el factor diferencial con respecto al *e-learning*, sugiriendo que esta movilidad brinda la oportunidad de que el estudiante se acerque al aprendizaje en espacios pequeños y separados de tiempo.
- El tercer tipo de definición se centra en la palabra ubicuidad, que hace referencia a acceder a la información en el momento y el lugar que se desee o se necesite.

Las ventajas que presenta este modelo son:

- Permite el acceso a la información cuándo sea necesario y dónde sea necesario.
- Favorece la autonomía.
- Favorece el aprendizaje centrado en el alumno y en el contexto.
- Permite la multifuncionalidad, con los distintos sensores, video, acelerómetros, etc.
- Aumenta la motivación del alumno.
- Es de fácil uso y está integrado en la vida de los alumnos.
- Facilita la comprensión de los conocimientos; incluye multimedia y está centrado en el entorno.
- Atención a la diversidad.
- Permite la utilización de juegos como apoyo a la enseñanza.
- Permiten una evaluación formativa.

1.5. Tecnologías de la Información y Comunicación TIC

Las tecnologías de información y comunicación (TIC) han transformado la educación. Ello ocurre no solo porque estas han facilitado el desarrollo de algunas tareas que comúnmente realizaban los profesores, los alumnos y los administradores sino porque también han abierto oportunidades para modificar tanto los ambientes de aprendizaje en los cuales se llevan a cabo los procesos educativos, así como los métodos empleados para enseñar y aprender, e incluso, cambiar los roles que anteriormente jugaba cada uno de los sujetos que intervienen en el proceso educativo.

Las TIC se desarrollan a partir de los avances científicos producidos en los ámbitos de la informática y las telecomunicaciones. Las TIC son el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos (texto, imagen, sonido, etc).

El elemento más representativo de las nuevas tecnologías es sin duda el ordenador y más específicamente, Internet, este supone un salto cualitativo de gran magnitud, cambiando y redefiniendo los modos de conocer y relacionarse del hombre.

Aunque internet no es por sí solo la solución a las nuevas demandas educativas es necesario saber aprovechar las bondades que proporciona en un entorno fácil y cómodo, a través del cual, el proceso de enseñanza-aprendizaje sea favorable.

Así como el rol del docente ha cambiado a la par de la metodología tradicional basada en la transmisión de contenidos, el rol del alumno también es distinto, ya que éste se responsabiliza de la organización de su trabajo, de la adquisición de conocimientos y asimilación de éstos a su propio ritmo, requiriendo para ello de las siguientes características: Flexibilidad de adaptación a nuevas formas de aprendizaje, tenencia de competencias técnicas en el uso y manejo de las tecnologías, participación activa en los procesos de enseñanza-aprendizaje, gestor de su propio aprendizaje, planificación y organización del tiempo, trabajo en equipo y que aporte sus conocimientos e ideas al grupo.

Las características que diferentes autores especifican como representativas de las TIC son:

Inmaterialidad. En líneas generales podemos decir que las TIC realizan la creación, el proceso y la comunicación de la información. Esta información es básicamente inmaterial y puede ser llevada de forma transparente e instantánea a lugares lejanos.

Interactividad. La interactividad es posiblemente la característica más importante de las TIC para su aplicación en el campo educativo. Mediante las TIC se consigue un intercambio de información entre el usuario y el ordenador. Esta característica permite adaptar los recursos utilizados a las necesidades y características de los sujetos, en función de la interacción concreta del sujeto con el ordenador.

Interconexión. La interconexión hace referencia a la creación de nuevas posibilidades tecnológicas a partir de la conexión entre dos tecnologías. Por ejemplo, la telemática es la interconexión entre la informática y las tecnologías de comunicación, propiciando con ello, nuevos recursos como el correo electrónico, los IRC, etc.

Instantaneidad. Las redes de comunicación y su integración con la informática, han posibilitado el uso de servicios que permiten la comunicación y transmisión de la información, entre lugares alejados físicamente, de una forma rápida.

Digitalización. Su objetivo es que la información de distinto tipo (sonidos, texto, imágenes, animaciones, etc.) pueda ser transmitida por los mismos medios al estar representada en un formato único universal. En algunos casos, por ejemplo, los sonidos, la transmisión tradicional se hace de forma analógica y para que puedan comunicarse de forma consistente por medio de las redes telemáticas es necesario su transcripción a una codificación digital, que en este

caso realiza bien un soporte de hardware como el MODEM o un soporte de software para la digitalización.

Penetración en todos los sectores. El impacto de las TIC no se refleja únicamente en un individuo, grupo, sector o país, sino que, se extiende al conjunto de las sociedades del planeta.

Innovación. Las TIC están produciendo una innovación y cambio constante en todos los ámbitos sociales. Sin embargo, es de reseñar que estos cambios no siempre indican un rechazo a las tecnologías o medios anteriores, sino que en algunos casos se produce una especie de simbiosis con otros medios.

Diversidad. La utilidad de las tecnologías puede ser muy diversa, desde la mera comunicación entre personas, hasta el proceso de la información para crear informaciones nuevas.

1.5.1. Aplicaciones informáticas

Las aplicaciones o programas que se pueden utilizar con el ordenador en algunos casos no requieren el uso de las redes de comunicación, sino que están diseñados para su uso de forma local u “*off line*”. Estas aplicaciones informáticas están bastante extendidas, las más utilizadas son las aplicaciones ofimáticas, que se adaptan a las necesidades de usuarios de diferentes ámbitos y profesiones. No obstante, podemos encontrar otras aplicaciones que son utilizadas en ámbitos más específicos o concretos, como contabilidad y aplicaciones estadísticas.

1.5.2. Las redes de comunicación

Las redes de comunicación tanto si son globales y públicas (internet) como locales y privadas (intranet) nos permiten conectar un ordenador cliente a un servidor a través del cual podemos acceder a la información de los diferentes nodos de la red.

A continuación, se clasifican las herramientas fundamentales en cuanto al tipo de comunicación que se establece y a la finalidad a la que se orientan.

Tabla I. **Herramientas según el tipo de comunicación**

Finalidad	Telemáticas	Ejemplos
Comunicación Asíncrona	Correo electrónico	Hotmail, Gmail, etc.
	Listas de Distribución	Google y Yahoo groups
	Grupos de Noticias	Foros, blogs.
Acceso, obtención y utilización de información y/o recursos	Transferencia de ficheros (FTP) Telnet, Páginas web	Megaupload, Dropbox, icloud drive.
Comunicación síncrona	Charlas (IRC), Audioconferencia y Videoconferencia	Whatsapp, Messenger, Skype, TeamViewer

Fuente: elaboración propia.

Los principales elementos de la comunicación Asíncrona se definen a continuación.

Correo electrónico. Permite enviar y recibir información personalizada, intercambiando mensajes entre usuarios de ordenadores conectados a Internet.

Presenta ciertas ventajas sobre otros sistemas de comunicación tradicional: rapidez, comodidad, economía, posibilidad de archivos adjuntos.

Listas de distribución. Permite la formación de comunidades virtuales compuestas por grupos de personas que tienen intereses comunes, y que se comunican enviando su información a la dirección electrónica de la lista. El intercambio de la información se realiza a través del correo electrónico, de tal modo que los correos que llegan a la lista son reenviados a los integrantes de la lista. La lista de distribución puede ser pública o privada y puede estar moderada o no tener ningún control.

Los grupos de noticias o foros de debate. Pueden compararse a una cartelera en el que cualquier usuario puede enviar su comentario, respuesta o participación en un debate. Se asemeja, por tanto, a una discusión activa en línea en la que los participantes se incorporan en momentos diferentes y todos pueden seguir a través de los contenidos comunes que se van incorporando a tal discusión. Generalmente, no son moderados, por lo que la información que se transmite suele tener un carácter coloquial e informal.

Los principales elementos de la comunicación síncrona se definen a continuación.

Charlas (*IRC-Internet Relay Chat*). Mediante esta herramienta se pueden establecer “charlas” entre dos o más usuarios de internet. La comunicación es sincrónica, esto es, los usuarios que conversan lo hacen en tiempo real, por lo que, tiene la característica de inmediatez en la comunicación que la asemejan a una conversación presencial, aunque los interlocutores pueden estar situados en cualquier parte del mundo. Las características propias de la actividad

implicada por estas herramientas hacen que la comunicación se condicione en cierto sentido.

Audioconferencia/Videoconferencia. Mediante la audioconferencia o videoconferencia, un especialista en un tema puede pronunciar una conferencia que puede ser escuchada y vista por un grupo de interlocutores, situados en diferentes lugares. La complejidad de estos sistemas y su coste hace que aún no sean utilizados habitualmente, no obstante, la integración de estas herramientas de comunicación en actividades educativas proporciona entornos más enriquecedores, principalmente en la enseñanza a distancia, facilitando la comunicación y la tutorización. Mediante la videoconferencia se consigue una mejor aproximación a la enseñanza presencial dentro del “aula”, sustituyendo este espacio físico por el “aula virtual” de la que forman parte todos los participantes en la videoconferencia.

1.5.3. Las TIC en la educación

Desde la introducción de las tecnologías de información y comunicación (TIC), su incorporación a la educación y a las inversiones financieras que ello conlleva ha sido un área de interés dentro de la política educativa de muchos países. Las numerosas iniciativas emprendidas para otorgar a las TIC un lugar en la educación han ido acompañadas por la necesidad de monitorear el progreso alcanzado recurriendo a indicadores confiables y válidos.

Las TIC pueden contribuir al fortalecimiento y la gestión de la planificación educativa democrática y transparente. Las tecnologías de la comunicación pueden ampliar el acceso al aprendizaje, mejorar la calidad y garantizar la integración. Donde los recursos son escasos, la utilización prudente de materiales de fuente abierta por medio de las TIC puede contribuir a superar los

atascos que genera la tarea de producir, distribuir y actualizar los manuales escolares.

Las personas encargadas de formular las políticas educativas han llegado a la conclusión de que la difusión y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en las escuelas ofrecen una oportunidad significativa. Les interesa la perspectiva de que las TIC pueden mejorar el rendimiento académico de los alumnos, ampliar el acceso a la escolaridad, aumentar la eficiencia y reducir los costos, preparar a los estudiantes para el aprendizaje a lo largo de toda la vida y capacitarlos para incorporarse a una fuerza de trabajo que compite a escala mundial.

Aunque en la mayoría de los países del mundo la enseñanza superior ha adoptado las TIC, los demás niveles de la educación se han quedado retrasados. La utilización de las TIC para ampliar el acceso, lograr una enseñanza más integradora, mejorar la pedagogía y aumentar tanto el número de docentes como su capacidad, sigue siendo dispersa y de carácter experimental. Las TIC deberían llegar a personas de todas las edades, todos grupos lingüísticos y culturales, y en todas las circunstancias. La atención debe centrarse primeramente en los docentes, en el sentido más amplio del término, es decir, en todas las personas que pueden facilitar y ampliar las oportunidades de aprendizaje para todos.

Algo fundamental para que un sistema educativo dé buenos resultados es la relación entre el alumno y el docente. Para que una política orientada a aplicar las TIC en la educación dé buenos resultados, debe abordar las necesidades de los docentes y estar a su alcance.

Uno de los mejores modelos pedagógicos con la TIC es el Aprendizaje Móvil. El aprendizaje móvil, personalizado, portátil, cooperativo, interactivo y ubicado en el contexto, presenta características singulares que no posee el aprendizaje tradicional mediante el uso de instrumentos electrónicos (e-learning). En el primero se hace hincapié en el acceso al conocimiento en el momento adecuado, ya que el aprendizaje puede realizarse en cualquier lugar y en todo momento. Por eso, en tanto que el dispositivo dé ayuda al aprendizaje formal e informal, posee un enorme potencial para transformar las prestaciones educativas y la capacitación.

1.6. Estructura de los videos

El modelo pedagógico por utilizar para la realización de los videos propuestos será el aprendizaje móvil (m-learning), ya que este modelo tiene la característica esencial que los videos son de corta duración y se pueden visualizar o tener acceso a la información desde cualquier dispositivo, desde cualquier lugar y a cualquier hora.

Se realizarán varios videos por cada tema, cada uno de corta duración, esto con el motivo que el estudiante no trate de asimilar contenidos muy extensos y que al final le perjudique en lugar de favorecerle.

Los videos incluirán objetivos, el concepto y fundamento teórico, aplicaciones y conclusiones.

Cada video se estructurará de la siguiente manera.

- Información general del curso. Aquí se mostrará el nombre del curso al que pertenecen los temas y conceptos, el nombre de la escuela a la que

pertenece el curso en desarrollo y el nombre de la Universidad de San Carlos, así como cada uno con sus respectivos logotipos si los tuviera.

- Título del video. Aquí se dará a conocer el o los temas a desarrollar.
- Cuerpo del video. En esta sección dependiendo el tipo de video se desarrollara los conceptos teóricos, ejemplos, aplicaciones o problemas que se relacionen directamente con el tema o concepto en estudio, este desarrollo será breve y puntual, sin entrar en divagaciones y en redundancias.
- Créditos. En esta sección se darán los créditos necesarios a las personas que desarrollarán el video, entiéndase, al estudiante como autor, redactor y productor del video y al Ingeniero asesor del trabajo.

Para los videos de conceptos teóricos se enfatizará en la redacción corta y puntual, los ejercicios y problemas se diseñarán de tal manera que puedan mostrar la mayor cantidad de elementos necesarios para la resolución de casi cualquier problema.

Para la elaboración de los videos se utilizarán ciertos programas informáticos, estos programas son:

- VideoScribe™
- Camtasia Studio
- Multisim

Estos programas facilitarán el trabajo a realizar ya que le darán una mejor presentación a cada uno de los videos desarrollados.

Para los ejercicios y problemas que se desarrollarán en los videos se utilizará una pizarra digital incluida en el software VideoScribe, esta pizarra

digital ayudará a la digitalización de los procedimientos y/o desarrollo de sistemas algebraicos necesarios para la explicación de los ejercicios, problemas y aplicaciones.

2. TEOREMAS Y CONCEPTOS A DIGITALIZAR

El curso de Circuitos Eléctricos 1 aborda sobre los conceptos, teoremas y leyes fundamentales de la electricidad, que son aplicados tanto en el área de potencia como en el área de control electrónico.

Se pretende que el alumno visualice y simplifique los circuitos eléctricos, conociendo las principales técnicas y métodos de resolución en régimen permanente, además se pretende introducir al alumno al análisis de redes en AC.

Los principales Fundamentos del curso de Circuitos Eléctricos 1 abordan en los siguientes temas.

- Leyes Fundamentales de Circuitos en CD
- Métodos de resolución de redes
- Conversiones Delta-Estrella y Estrella-Delta
- Teoremas Fundamentales de circuitos
- Parámetros L y C
- Corriente Alterna
- Métodos de resolución en AC
- Potencia
- Sistemas trifásicos

Los principales fundamentos se desarrollan en las siguientes secciones.

2.1. Carga eléctrica

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.1.1. Objetivo

Comprender el concepto de carga eléctrica.

2.1.2. Concepto

La carga eléctrica es el elemento fundamental de los fenómenos electromagnéticos. Existen dos tipos de cargas eléctricas: las cargas positivas, también llamadas protones; y las cargas negativas, también llamadas electrones.

Ambos elementos están cargados al mismo potencial eléctrico, pero con diferente polaridad, la magnitud de esta carga eléctrica es de $1.602 \times 10^{-19} \text{Coulombs}(C)$. El coulomb (C) es la unidad de medida de la carga eléctrica en el Sistema Internacional (SI).

2.1.3. Aplicación

Las cargas eléctricas en movimiento se utilizan en todos los dispositivos eléctricos y prácticamente son los encargados de poner en marcha todos los fenómenos eléctricos.

2.1.4. Conclusiones

La carga eléctrica en cualquiera de sus dos polaridades es la responsable de iniciar con todos los fenómenos electromagnéticos.

2.2. Corriente en CD

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.2.1. Objetivo

Comprender como se produce la corriente eléctrica en DC.

Determinar el sentido correcto en el cual fluye la corriente.

2.2.2. Concepto

La corriente directa o corriente continua se puede definir en su forma más completa como la cantidad de carga eléctrica que fluye desde un punto hacia otro atravesando un área definida en una sola dirección en un tiempo determinado, esto quiere decir que la corriente eléctrica posee una magnitud y una dirección, vectorialmente se define como:

$$I = \vec{J}\vec{A} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde J es la densidad de corriente y determina cuanta corriente atraviesa una superficie designada por A.

La corriente eléctrica promedio se puede definir como la cantidad de carga que atraviesa una sección transversal de un conductor en un intervalo de tiempo dado (esta expresión no define un sentido o una dirección de la corriente), matemáticamente se define como:

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{Ec. (2)}$$

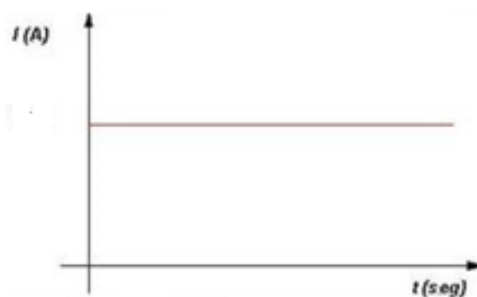
La dirección positiva de la corriente se define en la misma dirección en que “fluyen” las cargas positivas.

Cuando el intervalo de tiempo se vuelve muy cercano a cero decimos que es una corriente instantánea.

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad \text{Ec. (3)}$$

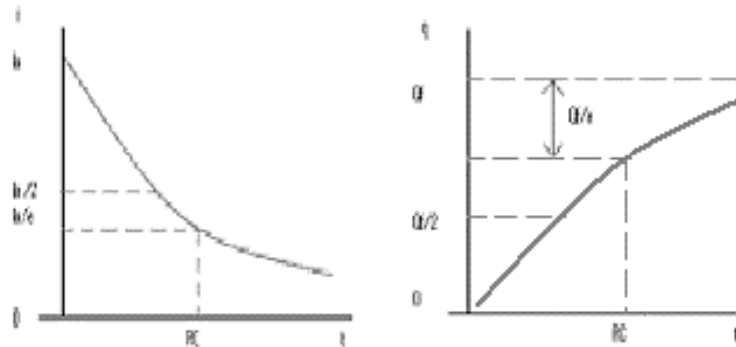
La unidad en el sistema Internacional para la corriente es el Ampere (A).

Figura 1. **Corriente continua**



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Corriente directa, carga y descarga de un capacitor**



Fuente: HAYT, William H. *Análisis de circuitos en Ingeniería*. p. 122.

2.2.3. Aplicación

La corriente DC es usualmente utilizada en electrónica digital, en aplicaciones de régimen de estado permanente y sistemas eléctricos de automóviles y motocicletas.

En el análisis de circuitos la dirección se tomará como positiva siempre al contrario de la dirección del movimiento de las cargas negativas.

2.2.4. Conclusiones

La corriente eléctrica se produce como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas, esto quiere decir, que puede ser un movimiento de electrones (carga negativa) o bien un movimiento de protones (carga positiva).

La corriente directa o corriente continua representa un flujo constante de carga eléctrica que viaja en un solo sentido a lo largo de un conductor y su intensidad o magnitud no varía de polaridad en el tiempo

2.3. Voltaje en CD

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.3.1. Objetivo

Comprender el concepto de voltaje en CD

2.3.2. Concepto

El voltaje es el trabajo necesario para empujar una carga eléctrica desde un punto hacia otro a través de un elemento.

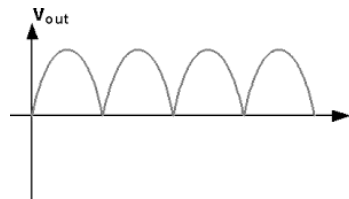
$$V = \frac{W}{Q} \qquad \text{Ec. 4}$$

La unidad para voltaje en el sistema internacional es el voltio (V) y equivale a la relación entre el trabajo en Joules (J) y la carga eléctrica en Coulombs (C).

Al conjunto de cargas que son empujadas por la energía producida por el voltaje se le llama corriente.

Para crear la energía utilizada por el voltaje es necesario un campo eléctrico y esta se produce al existir una diferencia de potencial en los puntos donde se crea el voltaje.

Figura 3. **Voltaje rectificado (DC pulsante)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Fuente de voltaje DC**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Aplicación

El voltaje en DC es usualmente utilizado en electrónica digital, en aplicaciones de régimen de estado permanente y sistemas eléctricos de automóviles y motocicletas.

2.3.4. Conclusiones

El voltaje en corriente directa representa la diferencia de potencial constante que existe en cada una de las terminales de la fuente de voltaje.

2.4. Conductividad eléctrica

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.4.1. Objetivo

Comprender el fenómeno de conductividad eléctrica.

Identificar las características de la conductividad.

2.4.2. Concepto

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para dejar fluir libremente la corriente eléctrica. La conductividad de un material depende de las características atómicas y moleculares de un material.

$$\sigma = \frac{n(e^-)^2 t}{m_e} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde n es el número de electrones que caben en un volumen determinado, t es el tiempo promedio que le toma a una carga atravesar un material y m_e es la masa del electrón.

En el sistema internacional la unidad para la conductividad es el Siemens/metro (S/m) o el mho/metro ($1/(\Omega \cdot m)$).

2.4.3. Aplicación

Los materiales con la mejor conductividad son la mayoría de los metales, ya que estos materiales disponen de una mayor cantidad de electrones libres que pueden viajar con cierta libertad.

2.4.4. Conclusiones

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para dejar fluir electrones.

La conductividad de un material depende las características atómicas de cada material.

2.5. Resistividad eléctrica

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.5.1. Objetivos

Comprender el fenómeno de resistividad eléctrica.

Identificar las características de la resistividad de un material.

2.5.2. Concepto

La resistividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para no permitir el flujo libre de cargas eléctricas. La resistividad igual que la

conductividad de un material depende de las características atómicas y moleculares de un material.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e}{n(e^-)^2 t} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde n es el número de electrones que caben en un volumen determinado, t es el tiempo promedio que le toma a una carga atravesar un material y m_e es la masa del electrón.

En el sistema internacional la unidad para la resistividad es el ohm*metro ($\Omega \cdot m$) y esto quiere decir que la resistividad es el inverso de la conductividad eléctrica.

2.5.3. Aplicación

Los materiales con la mejor resistividad son los aislantes, los átomos de los materiales aislantes producen una fuerza tal que mantienen muy unidos sus electrones, no dejando así que los electrones se muevan con libertad.

2.5.4. Conclusiones

La resistividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para no dejar fluir electrones.

La resistividad de un material depende de sus características atómicas, eso quiere decir que varía según el tipo de material.

2.6. Resistencia eléctrica

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.6.1. Objetivos

Comprender el fenómeno de resistencia eléctrica.

Identificar las características de la resistividad de un material.

2.6.2. Concepto

Atómicamente el flujo de carga experimenta una fuerza de oposición a su movimiento, a esta oposición se le llama resistencia eléctrica del material y es debida a las colisiones entre electrones en el material que convierte la energía eléctrica en otra forma de energía, como el calor, por ejemplo. La unidad de medición en el sistema internacional para la resistencia es el ohm (Ω).

Matemáticamente la resistencia del material se define como:

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad \text{Ec. 7}$$

Donde rho (ρ) designa a la resistividad del material, A el área del material y l la longitud del material dado.

2.6.3. Aplicación

La resistencia de un material se utiliza para delimitar la magnitud de la corriente eléctrica que fluye a través de la misma resistencia.

2.6.4. Conclusiones

La resistencia eléctrica es la oposición que presenta un material al flujo o movimiento de electrones.

La resistencia de un material depende de sus características físicas, como por ejemplo la longitud y la sección transversal; así como también de las características atómicas del material.

2.7. Ley de Ohm

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.7.1. Objetivos

Comprender el significado de la ley de ohm.

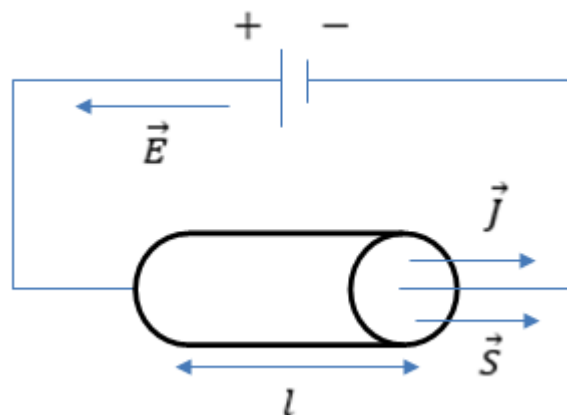
2.7.2. Concepto

Esta ley establece la relación constante que existe entre la Densidad de corriente (J) y el campo eléctrico (E) en un circuito puramente resistivo.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \qquad \text{Ec. 8}$$

La expresión matemática anterior establece la proporción directa que existe entre la densidad de corriente y el campo eléctrico. También establece que, existe un flujo de carga eléctrica que atraviesa una cierta superficie (sección transversal del material) y si la resistividad muestra un indicio de cuán difícil es que las cargas fluyan a través del material, la intensidad de campo eléctrico es la encargada de proveer la fuerza necesaria para que el flujo eléctrico pueda atravesar el material resistivo. En otras palabras, se podría decir que la causa por la cual se produce un movimiento de electrones es la intensidad de campo eléctrico (voltaje), el efecto es el movimiento de electrones (corriente) y la oposición es la resistividad del material (Resistencia).

Figura 5. **Ley de Ohm**



Fuente: elaboración propia.

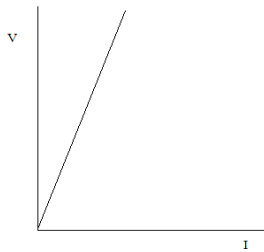
Al convertir la anterior expresión en una ecuación escalar queda como se muestra a continuación:

$$V = R * I \qquad \text{Ec. 9}$$

La relación que existe entre corriente y voltaje es completamente lineal, a esta relación se le conoce como resistencia, en otras palabras, la resistencia es la pendiente que existe entre la relación de voltaje y corriente.

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ec. 10}$$

Figura 6. **Relación Ley de Ohm, pendiente = resistencia**



Fuente: elaboración propia.

2.7.3. Aplicación

La ley de ohm se utiliza usualmente para determinar la cantidad de corriente que existe en un circuito de control o incluso en una línea de transmisión de alto voltaje.

2.7.4. Conclusiones

La ley de ohm establece la relación completamente lineal que existe, en un componente óhmico, entre el voltaje y la corriente o la densidad de corriente y el campo eléctrico.

2.8. Potencia Eléctrica en CD

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.8.1. Objetivo

Comprender y entender el concepto de potencia eléctrica.

2.8.2. Concepto

La potencia eléctrica representa el ritmo con que se consume energía eléctrica a través de una cantidad específica de tiempo, esto quiere decir, una taza de trabajo realizado. La unidad de medida para la potencia en el sistema internacional es el Watt (W) o joules/seg (J/s).

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{Ec. 11}$$

La potencia entregada a, o absorbida por, un dispositivo eléctrico puede encontrarse en términos de la corriente y el voltaje sustituyendo la ec.4 en la ec.9, quedando de la siguiente forma.

$$P = V * I \quad \text{Ec. 12}$$

Por sustitución directa de la ley de Ohm, la ecuación para la potencia puede obtenerse de dos formas más:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ec. 13}$$

$$P = I^2 * R$$

Ec. 14

2.8.3. Aplicación

Usualmente la potencia eléctrica sirve para determinar el consumo de energía de cualquier dispositivo eléctrico.

En instalaciones industriales y en algunos comerciales las empresas de distribución de energía cobran la potencia usada. Cabe destacar que la unidad de watt es pequeña y usualmente se utiliza el KiloWatts para su medición en contadores eléctricos domiciliarios e industriales.

2.8.4. Conclusión

La potencia eléctrica representa el ritmo con que se consume energía eléctrica a través de una cantidad específica de tiempo.

2.9. Circuitos serie y paralelo

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.9.1. Objetivos

Identificar las características que posee un circuito conectado en serie.

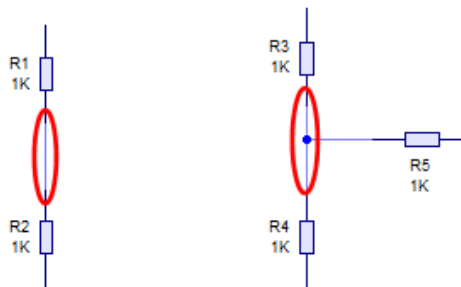
Identificar las características que posee un circuito conectado en paralelo.

2.9.2. Conceptos

Antes de definir las diferentes conexiones que existen en los circuitos se debe definir el concepto de nodo. Un nodo es una conexión donde dos o más dispositivos se unen en alguna de sus terminales, formando así una intersección. El concepto no es complicado, pero en ciertos momentos puede ser difícil identificarlos. A continuación, se muestran algunos ejemplos circulados en rojo.

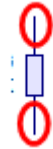
Una terminal es un punto en donde un dispositivo tiene contacto con todos los demás dispositivos que se encuentran a su alrededor. Todo dispositivo al menos posee dos terminales.

Figura 7. Ejemplos de nodos



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Terminales de un resistor**



Fuente: elaboración propia.

2.9.3. **Circuitos serie**

Un circuito serie está formado por dos o más dispositivos que se encuentran interconectados uno después del otro, esto quiere decir que, si siguiéramos con la vista la trayectoria que forman estos dispositivos solo podríamos ver un dispositivo conectado a la vez a lo largo de toda la trayectoria.

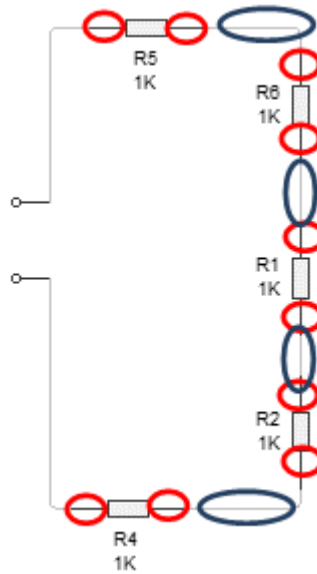
En otras palabras, los nodos que se encuentran en los circuitos serie solo pueden tener conectados como máximo dos terminales de diferentes dispositivos a la vez, esto se reduce al siguiente ejemplo:

Una característica importante en los circuitos serie es que la corriente recorre toda la trayectoria en una sola dirección a la vez, en consecuencia, la corriente es la misma en cada uno de los dispositivos que están conectados en serie, esto se debe gracias al teorema de la Conservación de la Carga.

$$I_T = I_1 = I_2 = \dots\dots I_n \qquad \text{Ec. 15}$$

Dado a la ecuación anterior, en un circuito serie la resistencia total equivale a la sumatoria de todas las resistencias individuales. (Ir a la sección 3.2 para observar algunos ejercicios).

Figura 9. Circuitos resistivo serie, terminales en rojo y nodos en azul



Fuente: elaboración propia.

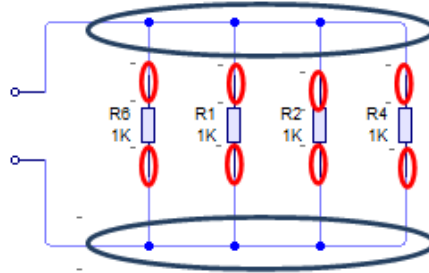
$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \text{Ec. 16}$$

Se puede apreciar por tanto que la resistencia total equivalente en un circuito serie aumenta conforme se van agregando resistores al circuito.

2.9.4. Circuitos en paralelo

Un circuito paralelo está formado cuando dos o más dispositivos se encuentran conectados uno a la par del otro, es decir, cuando un dispositivo tiene al menos dos de sus terminales conectadas a, al menos, dos de las terminales de otro dispositivo, en consecuencia, este circuito solo tendrá dos nodos.

Figura 10. **Circuito en paralelo, terminales en rojo y nodos en azul**



Fuente: elaboración propia.

Una característica importante en los circuitos paralelos es que el voltaje es el mismo en cada uno de los ramales de la conexión en paralelo, esto se debe gracias al teorema de la Conservación de la Energía. (Ir a la sección 3.2 para observar algunos ejercicios).

$$V_T = V_1 = V_2 = \dots V_n \quad \text{Ec. 17}$$

Dado a la ecuación anterior la resistencia total equivalente en un circuito paralelo es como se muestra en la siguiente ecuación.

$$R_T = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)^{-1} \quad \text{Ec. 18}$$

Analizando la ecuación anterior se determina que en el caso de las conexiones en paralelo la resistencia total equivalente corresponde a una disminución y no a un aumento como en el caso de las resistencias en conexión serie.

2.9.5. Aplicación

El concepto de serie y paralelo podrían ser los más utilizados en el área de la electrónica y potencia eléctrica, ya que se encuentran en prácticamente todos los circuitos imaginables, no será difícil identificarlos en la vida real.

2.9.6. Conclusiones

Un circuito serie está formado por dos o más dispositivos que se encuentran interconectados uno después del otro y la corriente que circula por ellos es la misma.

Un circuito paralelo está formado por un dispositivo que tiene al menos dos de sus terminales conectadas a, al menos, dos de las terminales de otro dispositivo y el voltaje aplicados a ellos es el mismo.

2.10. Leyes de Kirchhoff

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.10.1. Objetivos

Conocer y entender la ley de voltajes de Kirchhoff

Conocer y entender la ley de corriente de Kirchhoff

Conocer nuevas herramientas para la solución de circuitos.

2.10.2. Conceptos

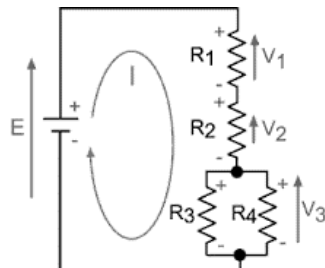
A continuación se presentan los dos teoremas de Kirchhoff, uno para el análisis de corrientes y el segundo para el análisis de voltajes.

2.10.2.1. Ley de voltaje de Kirchhoff

La suma algebraica de las subidas y caídas de tensión alrededor de un lazo cerrado es igual a cero.

Se define entonces como “lazo cerrado” o “malla” a cualquier trayectoria continua que sale de un punto en una dirección y regresa al mismo punto desde otra dirección sin abandonar el circuito.

Figura 11. Ley de voltajes de Kirchhoff



Fuente:

https://iesmjuancalero.educarex.es/archivos_insti/recurdptos/tecnolog/electrotenia/t3.htm.

Consulta: agosto 2016.

Matemáticamente la LVK se representa de la siguiente forma:

$$\sum_{n=1}^N V_n = 0$$

Ec. 19

2.10.2.2. Ley de corrientes de Kirchhoff

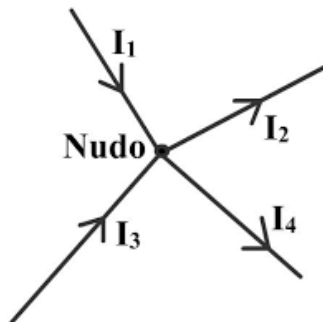
La suma algebraica de las corrientes que entran y salen de cualquier nodo es igual a cero.

Matemáticamente la LCK se representa de la siguiente forma:

$$\sum_{n=1}^N I_n = 0 \quad \text{Ec. 20}$$

Esta ley representa el hecho de que la carga no puede acumularse en un nodo. Un nodo, por tanto, no es un elemento de un circuito, y ciertamente no puede almacenar, destruir o crear carga, en consecuencia, las corrientes deben sumar cero.

Figura 12. Ley de corrientes de Kirchhoff



Fuente:

http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo_electricidad_leyes.htm. Consulta: 05/04/2017.

2.10.3. Aplicación

Las Leyes de Kirchhoff se pueden utilizar como método de resolución de circuitos, como método para corroborar resultados obtenidos con otros métodos de resolución, etc.

La ley de mallas sirve para encontrar los valores de corrientes en un circuito y la de nodos sirve para encontrar los voltajes de esos mismos nodos en un circuito.

2.10.4. Conclusiones

La Ley de Voltajes de Kirchhoff se fundamenta en la ley de la conservación de la Energía, por lo que la sumatoria de todas las subidas y bajadas de tensión debería sumar cero.

La Ley de Corrientes de Kirchhoff se fundamenta en la ley de la conservación de la carga, por lo que la sumatoria de todas las corrientes que entran y salen de un nodo debería sumar cero.

La ley de mallas sirve para encontrar los valores de corrientes en un circuito y la de nodos sirve para encontrar los voltajes de esos mismos nodos en un circuito.

2.11. Regla del divisor de tensión

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.11.1. Objetivos

Aprender a utilizar una nueva herramienta para la resolución de circuitos.
Comprender el fenómeno físico de la conservación de la energía.

2.11.2. Concepto

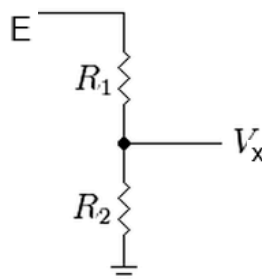
El voltaje en los elementos resistivos se dividirá proporcionalmente a la magnitud de los niveles de resistencia.

La ecuación general para el divisor de tensión es:

$$V_x = \frac{R_x E}{R_T} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde R_x puede ser cualquier resistencia conectada en serie, V_x es el voltaje sobre la R_x , E es el voltaje aplicado a los elementos en serie, y R_T es la resistencia total del circuito en serie.

Figura 13. **Divisor de tensión**



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Divisor_de_tensi%C3%B3n. Consulta: 10/04/2017.

2.11.3. Aplicación

Esta regla se utiliza para calcular caídas de tensión en circuitos conectados en serie, solo es necesario conocer el valor de la fuente y el valor de cada resistor sin necesidad de encontrar la corriente que fluye a través del circuito.

2.11.4. Conclusiones

Debido a la conservación de la energía, toda la energía es repartida en todos los dispositivos de la red proporcionalmente al valor de la resistencia de cada elemento.

Para aplicar esta regla no es necesario conocer las corrientes que circulan por el circuito para poder determinar la caída de tensión producida por cada resistor.

2.12. Regla del divisor de corriente

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.12.1. Objetivos

Aprender a utilizar una nueva herramienta para la resolución de circuitos.

Comprender el fenómeno físico de la conservación de la energía.

2.12.2. Concepto

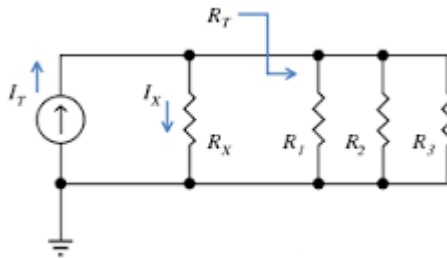
Para dos o más elementos en paralelo de igual valor, la corriente se dividirá en forma equitativa, para elementos en paralelo de valores diferentes, la corriente se dividirá según una razón igual a la inversa de los valores de sus resistores.

La ecuación general para calcular el divisor de corrientes es: (ver demostración en la sección 3.4)

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} I \quad \text{Ec. 22}$$

Donde R_x la resistencia donde se pretende medir la corriente, I_x es la corriente sobre R_x , R_t es la resistencia total del circuito e I es la corriente total que ingresa al sistema.

Figura 14. Divisor de corriente



Fuente: http://copro.com.ar/Divisor_de_corriente.html. Consulta: octubre 2016.

2.12.3. Aplicación

Esta regla se utiliza para calcular corriente en cada ramal conectado en paralelo, solo es necesario conocer el valor de la fuente de corriente y el valor

de cada resistor y no es necesario conocer el voltaje aplicado. También es usado en sistemas de distribución de energía.

2.12.4. Conclusiones

Debido a la conservación de la carga toda la corriente que ingresa a un nodo debe salir por todos los ramales que se encuentran conectadas al nodo.

Para aplicar esta regla es necesario conocer el valor total de la fuente de corriente y el valor de resistencia de cada ramal para calcular la corriente en cada ramal.

2.13. Redes serie-paralelo

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.13.1. Objetivos

Determinar las características de una red Serie-Paralelo.

2.13.2. Concepto

Una red serie-paralelo es una red que está formada, como su nombre lo indica, por una combinación de arreglos serie y arreglos paralelo.

La forma más fácil de analizar estas redes es ir reduciendo todas las redes a una sola y a partir de ese punto calcular las corrientes y/o voltajes para

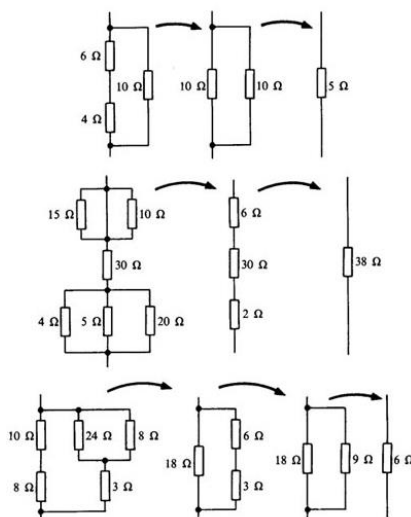
luego iniciar a expandir todas las redes. Este método se conoce con el nombre “Reducción y Regreso”.

En la figura 15 se pueden observar tres ejemplos de redes serie y paralelo.

En el primer ejemplo se puede observar un arreglo de tres resistores, un resistor de 6 y uno de 4 ohms que se encuentran conectados en serie, además un resistor de 10 ohms que se encuentra conectado en paralelo a los resistores anteriores.

En el segundo ejemplo se puede observar un arreglo de 6 resistores, un grupo de 2 resistencias en paralelo, otro grupo de 3 resistencias en paralelo y estos dos grupos se encuentran conectados en serie con otro resistor.

Figura 15. Arreglos serie y paralelo



Fuente:

<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/imagenes2/reactancias%20serie%20paralelo.jpg>.

Consulta: Diciembre 2016

En el tercer ejemplo se observa un arreglo de 5 resistencias, un grupo de 2 resistores en serie con otra resistencia y el conjunto anterior descrito se encuentra conectado en paralelo a un arreglo de dos resistencias en serie.

2.13.3. Aplicación

Para el análisis de estas redes es suficiente con conocer las Leyes de Kirchhoff, Divisor de Tensión, Divisor de Corriente y la Ley de Ohm.

Estas combinaciones de arreglos serie-paralelo son muy comunes en los actuales circuitos eléctricos y electrónicos.

2.13.4. Conclusiones

Una red Serie-Paralelo es aquella que posee una combinación de arreglos serie y arreglos en paralelo.

2.14. Redes en escalera

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.14.1. Objetivos

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

Identificar una red en escalera.

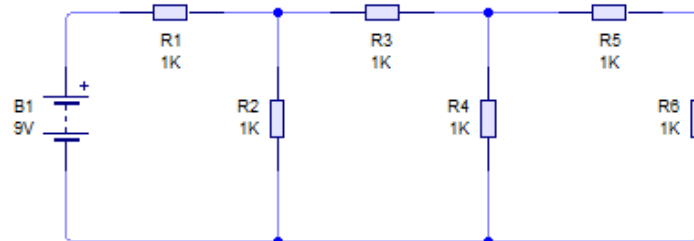
2.14.2. Concepto

Una red en escalera es aquella que posee una estructura repetitiva a lo largo de toda la red.

El método general consiste en calcular la resistencia y la corriente de fuente resultante totales, para luego proceder de regreso a través de la escalera hasta obtener la corriente o voltaje deseados.

Básicamente este método es una simplificación del método “Reducción y Regreso” visto en la sección anterior.

Figura 16. Red en escalera



Fuente: elaboración propia.

2.14.3. Aplicación

Es un método común para la resolución de circuitos simples, ya que basta con conocer las Leyes de Kirchhoff y la ley de Ohm.

2.14.4. Conclusiones

Las redes en escalera son redes con una construcción muy similar a las redes serie-paralelo.

La red en escalera es identificable por su construcción repetitiva en cada ramal.

2.15. Teorema de superposición

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.15.1. Objetivos

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

Identificar circuitos donde se pueda aplicar el teorema de Superposición.

Comprender el Teorema de Superposición.

2.15.2. Concepto

La respuesta a una corriente o un voltaje en un elemento resistivo en una red lineal es igual a la suma algebraica de las respuestas ocasionadas por las fuentes independientes separadas que actúan solas, una a la vez.

Este teorema suele utilizarse para encontrar V o I en un punto deseado en redes de dos o más fuentes de voltaje y/o corriente que no se encuentran

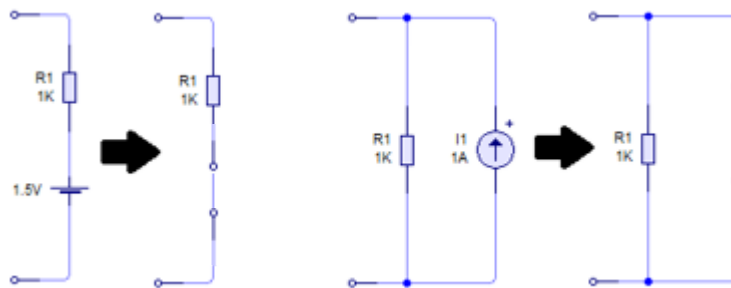
conectadas en serie o paralelo. Este teorema trata el efecto sobre un elemento resistivo de cada fuente independientemente, y la suma algebraica de I o V se encuentra para determinar una cantidad particular desconocida.

Una fuente de voltaje puede ser removida y reemplazada por una diferencia de potencial igual a cero (cortocircuito); una fuente de corriente puede ser removida y reemplazada por un circuito abierto.

2.15.3. Aplicación

Para aplicar este teorema es necesario anular (fuente de voltaje se cortocircuita y las fuentes de corriente se abren) las fuentes para analizar los efectos de cada fuente independiente, esto quiere decir reemplazarlas sin modificar el resultado final.

Figura 17. **Sustitución de fuentes, teorema de superposición**



Fuente: elaboración propia.

2.15.4. Conclusiones

El teorema de Superposición se aplica en redes donde existan dos más fuentes de voltaje y/o de corriente.

El teorema de Superposición analiza el efecto de cada fuente, de corriente y/o voltaje, sobre una misma carga resistiva.

2.16. Teorema de Thevenin

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.16.1. Objetivos

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

Identificar circuitos donde se pueda aplicar el teorema de Thevenin.

Comprender el Teorema de Thevenin.

2.16.2. Concepto

Cualquier red de corriente directa lineal de dos terminales puede ser reemplazada por un circuito equivalente que conste de una fuente de voltaje y un resistor en serie.

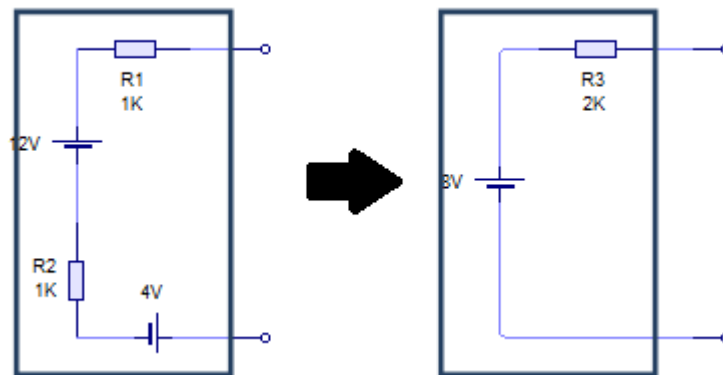
Dado lo anterior se puede afirmar que el circuito equivalente de Thevenin proporciona una equivalencia sólo en las terminales; la construcción interna y características de la red original son usualmente muy diferentes a la red equivalente de Thevenin.

Para calcular la R_{TH} se debe calcular la resistencia observada por la resistencia de carga o las terminales del circuito sustituyendo por un circuito

abierto a las fuentes de corriente ($I=0$) y un circuito cerrado a las fuentes de voltaje ($v=0$).

Para calcular el V_{TH} se debe aplicar el teorema de superposición, tomando en consideración los efectos de todas las fuentes de voltaje y corriente que participan en el circuito original.

Figura 18. **Circuito equivalente de Thevenin**



Fuente: elaboración propia.

2.16.3. Aplicación

Este teorema permite encontrar cualquier voltaje o corriente en un circuito lineal con una o dos fuentes de voltaje o corriente, también permite centrarse en un área específica de una red, para luego sustituir la red restante con un circuito equivalente que incluye solo una fuente de voltaje y un resistor.

Cabe resaltar que para analizar un circuito con este teorema también se debe utilizar el teorema de superposición.

2.16.4. Conclusiones

El teorema de Thevenin se aplica en redes complejas para reducirlas a solo una fuente de voltaje y un resistor.

El teorema de Thevenin busca reducir al máximo con una fuente de voltaje un arreglo complejo con cualquier cantidad de fuentes de corriente o voltaje.

El teorema de Thevenin busca encontrar el efecto del voltaje sobre la carga.

2.17. Teorema de Norton

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.17.1. Objetivos

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

Identificar circuitos donde se pueda aplicar el teorema de Norton.

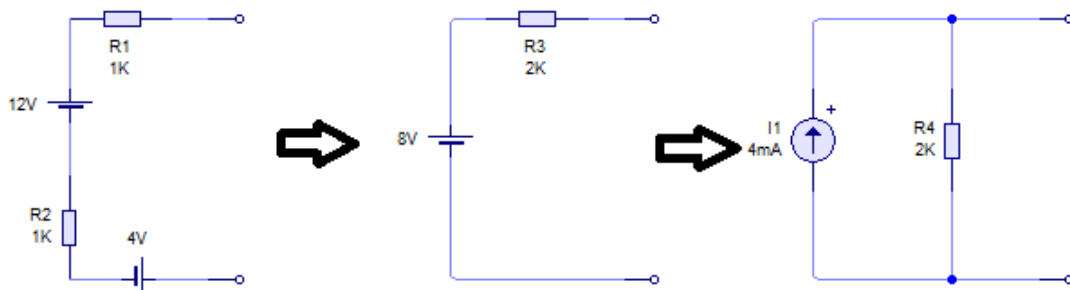
Comprender el Teorema de Norton.

2.17.2. Concepto

Cualquier red de cd lineal de dos terminales puede ser reemplazada por un circuito equivalente que consista en una fuente de corriente y un resistor en paralelo.

En otras palabras, establece que existe un circuito equivalente para el circuito equivalente de Thevenin, utilizando una fuente de corriente (I_N) y un resistor (R_N).

Figura 19. Equivalencia entre los teoremas de Thevenin y Norton



Fuente: elaboración propia

La relación entre el Teorema de Thevenin y el Teorema de Norton se establece como se muestra a continuación.

$$V_{Th} = \frac{I_N}{R_N} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde V_{Th} es el voltaje equivalente de Thevenin, I_N es la corriente equivalente de Norton y R_N es la resistencia equivalente de Norton, que a su vez es igual a la resistencia equivalente de Thevenin.

2.17.3. Aplicación

Este teorema permite encontrar cualquier corriente en un circuito lineal con una o dos fuentes de voltaje o corriente, también permite centrarse en un área específica de una red, para luego sustituir la red restante con un circuito equivalente que incluye solo una fuente de corriente y un resistor en paralelo.

Cabe resaltar que para analizar un circuito con este teorema se debe utilizar el teorema de superposición.

2.17.4. Conclusiones

El teorema de Norton se aplica en redes complejas para reducirlas a solo una fuente de corriente y un resistor.

El teorema de Norton busca reducir al máximo con una fuente de corriente un arreglo complejo con cualquier cantidad de fuentes de corriente o voltaje.

El teorema de Norton busca encontrar el efecto de la corriente sobre la carga.

2.18. Teorema de la máxima transferencia de potencia

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.18.1. Objetivos

Comprender el teorema de máxima transferencia de potencia.

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

2.18.2. Concepto

Una carga resistiva recibirá una potencia máxima, de una red cualquiera, cuando este alcance exactamente el mismo valor resistivo de la resistencia interna de la red, la resistencia de Thevenin o la resistencia de Norton.

Por tanto, este teorema se cumple cuando:

$$R_{Th} = R_N = R_L \quad Ec. 24$$

La expresión de la máxima transferencia de potencia es:

$$P = \frac{V_{th}^2}{4 * R_{th}} \quad Ec. 25$$

2.18.3. Aplicación

Usualmente este teorema es muy utilizado en circuitos aplicados al procesamiento de audio con filtros pasivos y/o activos, ya que se basan en la máxima transferencia de potencia para determinar la frecuencia de corte de cada filtro.

2.18.4. Conclusiones

El Teorema de Máxima Transferencia de Potencia ocurre cuando la multiplicación entre la caída de tensión y la corriente sobre un resistor es un máximo, esto ocurre solo cuando $R_L=R_{Th}$.

2.19. Teorema de Millman

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.19.1. Objetivos

Comprender el Teorema de Millman.

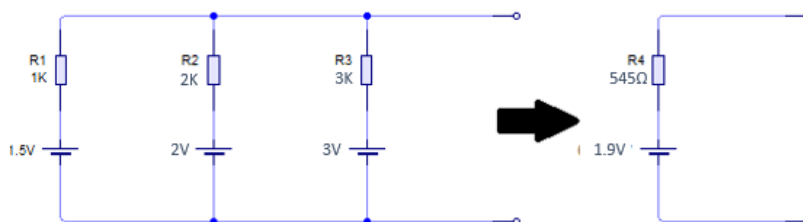
Identificar donde aplicar el Teorema de Millman.

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

2.19.2. Concepto

Cualquier número de fuentes de voltaje puestas en paralelo pueden ser reducidas a una sola fuente.

Figura 20. Ejemplo teorema de Millman



Fuente: elaboración propia.

Para determinar la Resistencia equivalente se tiene la siguiente ecuación:

$$R_{Eq} = \left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right)^{-1} \quad Ec. 26$$

Para determinar la Fuente de voltaje equivalente se tiene la siguiente ecuación:

$$V_{Eq} = \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{R_n} * R_{Eq} \quad Ec. 27$$

2.19.3. Aplicación

El teorema de Millman facilita el análisis de circuitos que usualmente se resolverían con el extenso método de sustitución o el análisis de mallas.

Es un teorema que por lo regular solo es utilizado como una herramienta más para el análisis de circuitos o como herramienta de comprobación de resultados.

Suele utilizarse también para el control del voltaje y corriente otorgados por un UPS, el UPS consta de varias celdas voltaicas conectadas en paralelo y al no ser celdas ideales poseen resistencia interna, por lo que este sistema se puede modelar utilizando el teorema de Millman. Idealmente todas las celdas voltaicas deben poseer el mismo potencial eléctrico para conectarlas en paralelo, al aumentar o disminuir el número de celdas conectadas en paralelo aumenta o disminuye también la capacidad de carga del UPS. Este análisis se demuestra por medio del teorema de Millman.

2.19.4. Conclusiones

El teorema de Millman es usado en redes en paralelo que en cada ramal se tienen conectados una fuente de voltaje ideal y un resistor en serie.

El teorema de Millman es un método de reducción de circuitos con varios ramales puestos en paralelo que incluyen una fuente de voltaje y un resistor.

2.20. Teorema de sustitución

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.20.1. Objetivos

Comprender el teorema de sustitución.

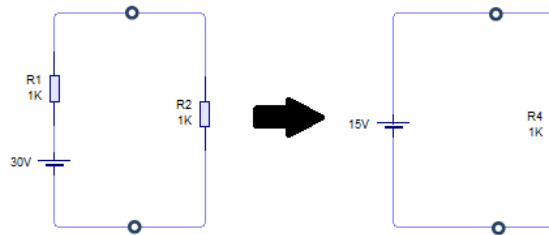
Identificar donde aplicar el teorema de sustitución.

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

2.20.2. Concepto

Si se conocen el voltaje o la corriente en una rama de una red, esta rama puede ser sustituida por cualquier combinación de elementos que mantendrán el mismo voltaje y corriente a través de la rama elegida.

Figura 21. **Ejemplo teorema sustitución**



Fuente: elaboración propia.

Para el ejemplo anterior se utilizó la regla del divisor de voltaje para determinar la caída de tensión en la segunda resistencia y sustituir por una fuente de voltaje.

2.20.3. Aplicación

Para este teorema no se define una ecuación con la que se pueda calcular los voltajes, corrientes y resistencias equivalentes, simplemente se establece que se puede sustituir una parte del circuito por otra equivalente.

2.20.4. Conclusiones

Este teorema se utiliza para análisis teóricos específicos, cuando solamente interesa analizar el efecto de un nivel de tensión o de corriente en alguna parte del circuito.

Este teorema propone la sustitución de una rama cualquier por otra combinación de n dispositivos diferentes, pero sin modificar la corriente y el voltaje a través de la misma rama.

2.21. Teorema de reciprocidad

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.21.1. Objetivos

Comprender el Teorema de Reciprocidad.

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

2.21.2. Concepto

Una corriente I , que es producida en un ramal cualquiera por una sola fuente de voltaje E en cualquier otra parte de la red, será igual a la corriente a través de la rama en que la fuente E estaba originalmente, si la fuente es colocada en la rama donde se midió la corriente I al inicio.

2.21.3. Aplicación

Este teorema establece una característica que poseen los circuitos DC con una sola fuente de voltaje, mas no representa una característica importante para la solución y análisis de circuitos en DC.

2.21.4. Conclusiones

Este teorema muestra una característica relativamente importante de los circuitos DC pero no es una herramienta de análisis.

2.22. Teorema de Tellegen

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.22.1. Objetivos

Comprender el Teorema de Tellegen.

Aprender nuevas herramientas para el análisis de circuitos.

2.22.2. Concepto

La sumatoria algebraica de todas las potencias distribuidas en una red cualquiera debe ser igual a cero.

Es decir que todas y cada una de las potencias distribuidas en cada dispositivo lineal o no lineal, alimentadas por una fuente variante o no en el tiempo considerando su polaridad al sumarlas deben sumar cero.

Esta ley se cumple si y solo si también se cumplen las leyes para voltajes y corrientes de Kirchhoff. Matemáticamente se representa así:

$$P_T = \sum_{n=1}^N V_n i_n \quad \text{Ec. 28}$$

Donde i_n es la corriente en cada dispositivo y V_n es el voltaje en el dispositivo donde se mide I_n .

2.22.3. Aplicación

Este teorema, se puede aplicar en una instalación eléctrica de baja, media y alta tensión, ya que la potencia consumida total (y medida por el contador) debe ser igual a la suma de todas las potencias individuales de cada dispositivo conectado a la red.

2.22.4. Conclusiones

El teorema de Tellegen establece que la suma de todas las potencias individuales en una red es igual a la potencia suministrada por la fuente, sin embargo, esto se cumple si y solo si también se cumplen las Leyes de Kirchhoff.

2.23. Señales en AC

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.23.1. Objetivos

Comprender el concepto de señal AC.

Conocer las características básicas de las señales variantes en el tiempo.

2.23.2. Señales variantes en el tiempo

Estas señales son todas las que en su amplitud existe una variación con el transcurrir del tiempo.

Existen dos grupos de señales variantes en el tiempo. El primer grupo se denomina señales variantes en el tiempo NO periódicas y el segundo recibe el nombre de señales periódicas variantes en el tiempo.

Las señales variantes en el tiempo no periódicas son las señales en las que su amplitud varía según el transcurrir en el tiempo, pero su variación es indefinida, es decir, no se puede predecir, estas señales existen en nuestro medio, pero no se analizan porque no se obtiene un beneficio de ello.

Las señales periódicas variantes en el tiempo son las señales en las que su amplitud varía según el transcurrir en el tiempo, pero su variación es (como su nombre lo indica) periódica. El hecho de que sea periódica implica que cierta variación en su amplitud se repite en ciertos periodos de tiempo, de esta manera se predice su comportamiento en cualquier tiempo. Estas señales son objeto de estudio ya que mediante su variación periódica se transmite y recibe información, y otras cosas más.

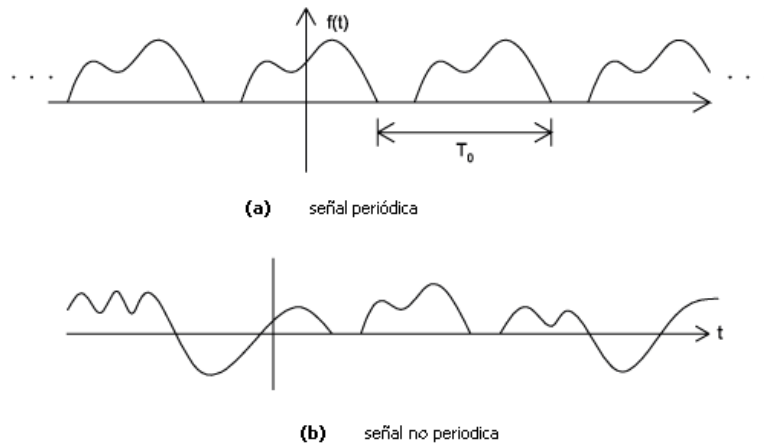
Las señales AC pueden ser señales sinusoidales, cuadradas, triangulares, diente de sierra, etc.

2.23.3. El periodo de una señal

El periodo de una señal representa el tiempo que le toma a esa señal repetir ciertos intervalos de variación en amplitud de la señal.

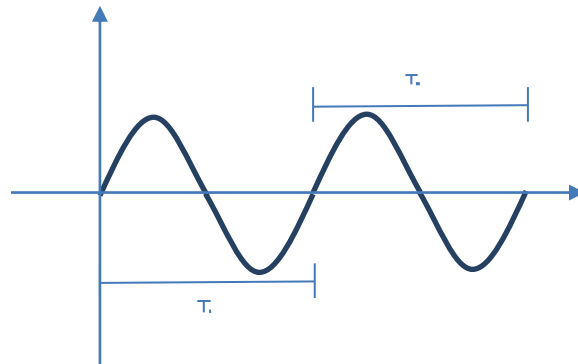
Usualmente el periodo se designa con la letra T y su dimensional se da en segundos.

Figura 22. **Señales periódicas y no periódicas**



Fuente: <http://teamisc.260mb.net/wordpress382/?i=1>. Consulta: Enero 2017.

Figura 23. **Diferentes periodos de una señal AC**



Fuente: elaboración propia.

2.23.4. Forma de onda

Trayectoria formada por una señal que varía en función de alguna variable. En la figura 23 se observa una forma de onda creada por una función sinusoidal.

2.23.5. Valor instantáneo

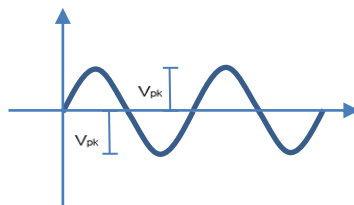
Magnitud del valor de una forma de onda en un tiempo instantáneo cualquiera.

2.23.6. Valor pico y valor pico-pico

Valor pico (pk). Valor máximo adquirido por una forma de onda dentro de cualquier rango de tiempo, medido desde el valor de referencia, pudiendo ser positivo o negativo.

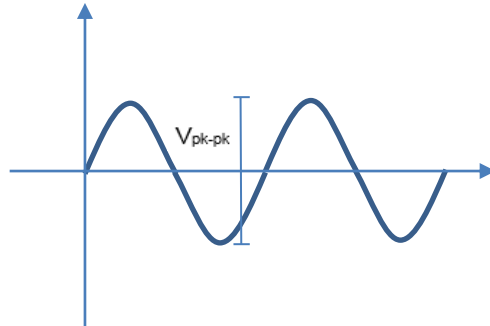
Valor pico-pico (pk-pk). Voltaje completo desde el pico más bajo hasta el pico más alto, es decir, la suma absoluta del valor pico negativo y el valor pico positivo de una forma de onda.

Figura 24. Voltaje pico (V_{pk})



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Voltaje pico-pico (Vpk-pk)**



Fuente: elaboración propia.

2.23.7. Ciclo

Parte de una forma de onda contenida en un periodo. Debido a la definición anterior se establece que:

$$\#ciclos = \#periodos \quad Ec. 29$$

2.23.8. Frecuencia

Numero de ciclos contenidos en un segundo. La relación entre frecuencia y ciclos o frecuencia y periodo se establece como:

$$f = \frac{1}{T} \quad Ec. 30$$

Debido a la ecuación 29 se tiene que:

$$f = \frac{1}{ciclos} \quad Ec. 31$$

La frecuencia usualmente se abrevia utilizando la letra f y en el sistema internacional la dimensional es s^{-1} ó Hz (Hertz).

2.23.9. La onda sinusoidal

Usualmente se considera que la señal de AC es una señal sinusoidal y que no importa dentro de que rango de voltaje varíe, las señales AC también pueden ser cuadradas, triangulares, etc.

La señal sinusoidal es como cualquier otra señal variante en el tiempo, pero por su simplicidad es ideal para el análisis matemático de redes. Además, es la única forma de onda cuyo aspecto no lo afectan por las características de respuesta de los dispositivos R, L y C.

La forma general que describe el comportamiento de una señal sinusoidal es la siguiente:

$$A_m \sin \omega t \quad \text{Ec. 32}$$

Donde A_m es la amplitud máxima, ω es la velocidad angular y t el periodo.

$$\omega = 2\pi f \quad \text{Ec. 33}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Ec. 34}$$

Para fenómenos eléctricos como la corriente y el voltaje el formato queda como se muestra:

$$i = I_m \sin \omega t \quad \text{Ec. 35}$$

$$v = V_m \sin \omega t$$

Ec. 36

Donde las letras minúsculas representan la corriente y voltaje instantáneos respectivamente.

Debido a las funciones trigonométricas que usan las ecuaciones anteriores se afirma que la secuencia se repite cada 2π radianes, es decir, que el ciclo completo o el periodo dura 2π radianes, por lo que media onda sinusoidal dura π radianes y cada forma de onda inicia en cero radianes.

2.23.10. Aplicación

La señal sinusoidal en AC se utiliza en electrodomésticos o dispositivos electrónicos digitales.

2.23.11. Conclusiones

La señal AC repite su ciclo después de cierto tiempo y además cambia su polaridad 1 vez en cada ciclo. El periodo, la frecuencia, el ciclo, valor pico y pico-pico son características importantes que toda señal en AC debe poseer.

2.24. Desfase

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.24.1. Objetivos

Comprender lo que es el desfase.

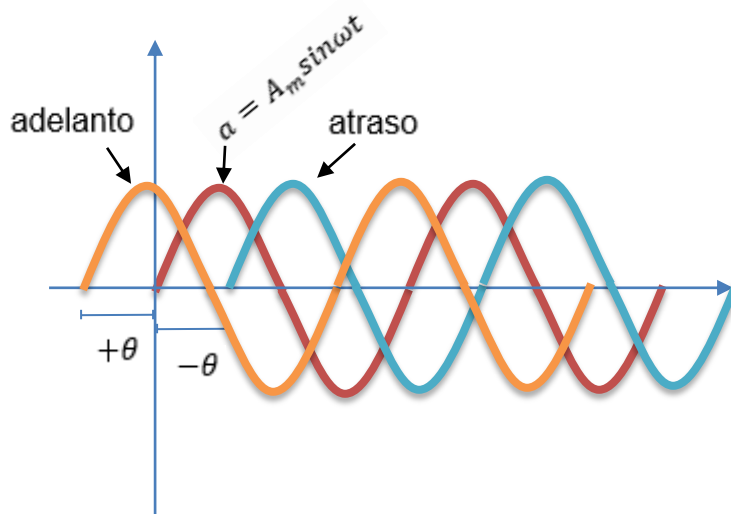
2.24.2. Concepto

Cuando se analizan dos señales AC (variantes en el tiempo) y se observan que en el mismo periodo de tiempo las dos señales no inician y terminan en el mismo punto se dice que una señal se encuentra en desfase con la otra, por lo que:

El desfase implica que una señal ha sufrido un atraso o un adelanto con respecto de la señal original, matemáticamente esto se representa como: atraso

$$A_m \sin(\omega t \pm \theta) \quad \text{Ec. 37}$$

Figura 26. **Desfase de una señal sinusoidal**



Fuente: elaboración propia

Donde θ representa el desfase en grados o radianes, el signo positivo en la ecuación representa que la onda sufre un adelanto, por lo que inicia antes de

la señal original; el signo negativo en la ecuación representa que la onda sufre un atraso, por lo que inicia después de la señal original.

Si la señal sinusoidal contempla un desfase de $\pi/2$ rad sobre la horizontal, esta señal se puede renombrar como onda cosenoidal.

$$A_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = A_m \sin(\omega t + 90^\circ) = A_m \cos(\omega t) \quad \text{Ec. 38}$$

La relación de fase o desfase entre dos formas de onda indica cuál de estas se adelanta o retrasa con respecto a la otra.

2.24.3. Aplicación

Un generador funciona con una conexión de tres líneas de corriente eléctrica (conexión trifásica), la característica de esta conexión es que las señales en cada una se encuentran desfasada 120° una con respecto de la otra. Y es este desfase lo que provoca que diferentes bobinas proporcionen una fuerza repulsión y/o atracción al rotor, lo que provoca en consecuencia una mayor eficiencia en el trabajo realizado por el motor.

2.24.4. Conclusiones

El desfase de una señal es un fenómeno de adelanto o atraso producido por un elemento pasivo no resistivo.

2.25. Valor promedio

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.25.1. Objetivo

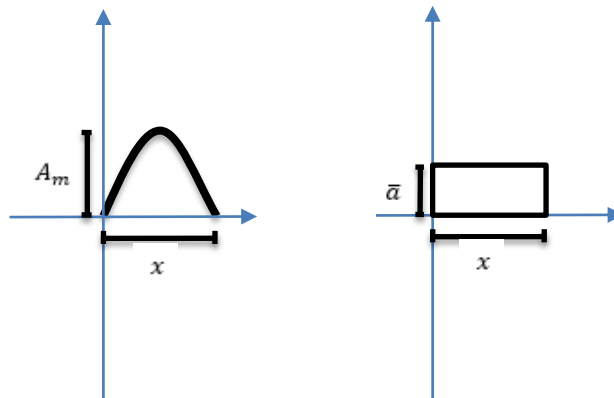
Comprender el concepto de valor promedio en una señal AC

2.25.2. Concepto

El valor promedio de cualquier forma de onda variante en el tiempo es equivalente a un valor constante a través del mismo lapso, de tal manera que se pueda analizar un área más simple y con la misma magnitud.

Si se analiza una onda sinusoidal de voltaje o corriente y se pretende calcular su valor promedio se deberá calcular primero el área bajo la curva de esta forma de onda. Para efectos de este análisis solo se tomará media onda, es decir la parte que varía de 0 a pi radianes.

Figura 27. Valor promedio de una forma de onda



Fuente: elaboración propia

$$I = \int_0^{\pi} I_m \sin(\theta) d\theta = -I_m \cos(\theta)_0^{\pi} = 2I_m \quad \text{Ec. 39}$$

Dado que se tiene el valor del área bajo la curva y tomando en consideración que el área de una superficie rectangular se calcula tomando en cuenta la altura (h) y su base (b), se tiene que:

$$a = b * h \quad \text{Ec. 40}$$

Y después de realizar manipuleo algebraico, se tiene que:

$$h = \frac{a}{b} = I_{prom} \quad \text{Ec. 41}$$

Se puede calcular el valor promedio para una onda sinusoidal como se muestra a continuación, tomando como base del rectángulo la longitud de análisis, que va desde 0 a pi radianes.

$$I_{prom} = \frac{2I_m}{\pi - 0} = \frac{2I_m}{\pi} \cong 0.6366198 * I_m \quad \text{Ec. 42}$$

$$V_{prom} \cong 0.6366198 * V_m$$

$$P_{prom} = I_{prom}V_{prom} \cong 0.405V_mI_m$$

Como se puede apreciar el valor promedio para una onda sinusoidal de voltaje o corriente es una proporción del valor pico (Vpk) de la señal en análisis. Este resultado solo aplica para la onda sinusoidal, para cualquier otra onda se deberá realizar un análisis como el anterior.

Al analizar la onda sinusoidal en su periodo completo se obtiene un resultado igual a cero. Esto sucede porque esta forma de onda tiene un pulso

positivo y luego un pulso negativo, por eso la suma algebraica de las dos áreas da como resultado un valor neto igual a cero.

El voltaje promedio para una onda de voltaje o corriente cuadrada se calcula de la siguiente manera:

$$I_{prom} = \int_0^{\pi} I_m d\theta = -I_m \theta_0^{\pi} = \pi I_m \quad Ec. 43$$

Se puede calcular el valor promedio para una onda cuadrada como se muestra a continuación, tomando como base del rectángulo la longitud de análisis, que va desde 0 a pi radianes.

$$I_{prom} = \frac{\pi I_m}{2\pi - 0} = \frac{\pi I_m}{2\pi} \cong \frac{I_m}{2} \quad Ec. 44$$

$$V_{prom} \cong \frac{V_m}{2}$$

$$P_{prom} = I_{prom} V_{prom} \cong 0.25 V_m I_m$$

2.25.3. Aplicación

El valor promedio provee una noción de cuanto voltaje constante es entregado en cada instante de tiempo, este valor sirve como referencia.

El valor promedio es la magnitud de voltaje que representa a un voltaje que varía en el tiempo.

2.25.4. Conclusiones

El valor promedio es un valor obtenido al distribuir todas las amplitudes de igual manera a lo largo de un tiempo determinado.

El valor promedio es la magnitud de voltaje o corriente que representa a un voltaje que varía en el tiempo.

2.26. Valor eficaz RMS

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.26.1. Objetivos

Comprender el concepto de valor RMS.

2.26.2. Concepto

El valor eficaz o RMS (Root Mean Square) es una medida equivalente en CD para la señal AC en la cual se disipa la misma potencia efectiva sobre una carga.

Este valor se obtiene del hecho de relacionar las potencias disipadas en AC y disipadas en DC. Los valores se relacionan de la siguiente manera para una onda de voltaje, corriente o potencia sinusoidal:

$$P_{ca} = (i_{ca})^2 R = (I_m \sin \alpha)^2 R = (I_m^2 \sin^2 \alpha) R \quad Ec. 45$$

Utilizando una identidad trigonométrica la ecuación 42 queda como:

$$P_{ca} = I_m^2 \left[\frac{1}{2} (1 - \cos 2\alpha) \right] R = \frac{I_m^2 R}{2} - \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\alpha \quad Ec. 46$$

Y al calcular la potencia promedio queda de la siguiente manera:

$$\overline{P_{ca}} = \frac{1}{2\pi - 0} \int_0^{2\pi} \left(\frac{I_m^2 R}{2} - \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\alpha \right) d\alpha = \frac{I_m^2 R}{2} \quad Ec. 47$$

Luego de calcular la potencia promedio se debe igualar a la potencia en DC, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{I_m^2 R}{2} = i^2 R \quad Ec. 48$$

Y al realizar una manipulación algebraica queda de la siguiente manera:

$$i = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cong 0.707 I_m = i_{RMS} \quad Ec. 49$$

De esta forma se establece que la corriente efectiva o RMS es una proporción de la corriente pico (I_{pico}).

El valor RMS para el voltaje y en consecuencia también para la potencia rms se tienen en las siguientes ecuaciones.

$$v_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cong 0.707 V_m \quad Ec. 50$$

$$P_{RMS} = iv = \frac{I_m}{\sqrt{2}} * \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cong \frac{I_m V_m}{2} = \frac{P_m}{2} \quad Ec. 51$$

Para calcular el valor eficaz de una onda triangular se tiene que:

$$I = \begin{cases} \frac{2I_m}{t_1} t - I_m, & 0 < t < t_1 \\ \frac{-2I_m}{T-t_1} t + \frac{I_m(T+t_1)}{T-t_1}, & t_1 < t < T \end{cases} \quad Ec. 52$$

La definición matemática de RMS establece que el cálculo se debe realizar de la siguiente manera.

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T-0} \left(\int_0^{t_1} \left(\frac{2I_m}{t_1} t - I_m \right)^2 dt + \int_{t_1}^T \left(\frac{-2I_m}{T-t_1} t + \frac{I_m(T+t_1)}{T-t_1} \right)^2 dt \right)} \quad Ec. 53$$

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{3}} \quad Ec. 54$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{3}} \quad Ec. 55$$

$$P_{RMS} = \frac{I_m V_m}{3} \quad Ec. 56$$

2.26.3. Aplicación

El valor eficaz del voltaje o corriente es un valor utilizado en cualquier lugar, ya que proporciona una idea de cuanta energía es consumida realmente por un dispositivo resistivo o reactivo.

El valor eficaz es la magnitud constante de voltaje o corriente que representa a un voltaje o corriente que varía en el tiempo y además producen el mismo trabajo.

2.26.4. Conclusiones

El valor eficaz o RMS (*Root Mean Square*) es una medida equivalente en CD para la señal AC en la cual se disipa la misma potencia efectiva sobre una carga.

El valor eficaz es la magnitud constante de voltaje o corriente que representa a un voltaje o corriente que varía en el tiempo y además producen el mismo trabajo.

2.27. Respuesta en frecuencia del resistor

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.27.1. Objetivo

Comprender como se comporta el resistor en función de la frecuencia.

2.27.2. Concepto

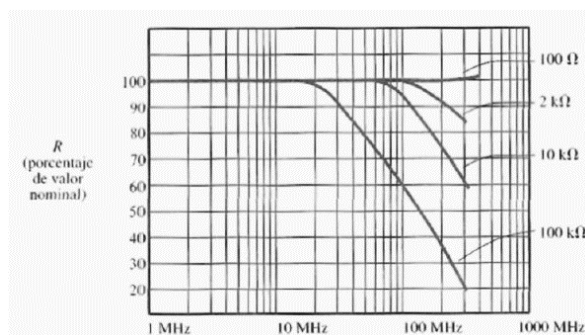
El resistor es un dispositivo óhmico que idealmente no varía su magnitud de resistencia con forme varia la frecuencia de oscilación de la fuente de alimentación, pero de forma real los dispositivos resistivos presentan capacitancias e inductancias parásitas que usualmente son tan pequeñas que pueden ser ignoradas. A pesar de esto, existe un límite de frecuencia para que

el resistor mantenga sus propiedades resistivas, esto depende del valor resistivo que tenga el resistor.

La imagen anterior muestra la decadencia del valor nominal del resistor en función de la frecuencia de la señal aplicada, en la imagen se muestran 4 valores diferentes de resistencia (100, 2K, 10K y 100K ohms), estos valores se muestran al lado derecho de la imagen e indican cuál es su variación correspondiente en la imagen, al lado izquierdo se puede observar una escala que varía desde el 10% al 100% del valor nominal de cada resistor. Esto se hace para comparar de mejor manera el efecto sobre cada resistor ya que se pueden comparar bajo el mismo marco visible.

Como se puede observar en la imagen las 4 resistencias conservan su valor nominal hasta poco antes de los 10MHz, luego de este punto las resistencias con un valor nominal alto empiezan a experimentar una disminución en su nivel de resistencia, mientras que las resistencias con valores nominales bajos mantienen su valor resistivo incluso por encima de los 150MHz.

Figura 28. R Vrs Frec



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al Análisis de Circuitos*, p. 588.

Esto significa que, cuanto más grande sea el valor nominal de un resistor su decaimiento iniciará más rápido y su pendiente será más pronunciada. Mientras que para resistores con valores nominales relativamente pequeñas sucede lo contrario.

En términos generales, el valor nominal de un resistor no varía de acuerdo con la variación de frecuencia de una señal aplicada y para usos de este trabajo se asumirá que el valor de resistencia no varía en función de la frecuencia aplicada.

2.27.3. Aplicación

Las resistencias son usadas como calefactores o en circuitos eléctricos y electrónicos tales como: control de temporización con capacitores, filtro pasivos y activos.

2.27.4. Conclusiones

En términos generales el valor nominal de un resistor no varía conforme varía la frecuencia de una señal aplicada.

2.28. Reactancia

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.28.1. Objetivo

Comprender el concepto de reactancia.

Comprender el efecto de la reactancia sobre las señales de V e I.

2.28.2. Concepto

Magnitud física que se caracteriza por modificar la amplitud de la corriente que fluye a través de él y producir un cambio de fase de 90° entre la corriente y el voltaje, este efecto es producido por capacitores e inductores.

Matemáticamente la reactancia en general se representa con la letra X y se mide en ohms (Ω).

La reactancia capacitiva es producida por capacitancias y se representa como XC.

La reactancia inductiva es producida por inductancias y se representa como XL.

2.28.3. Aplicación

Las reactancias son utilizadas en el diseño de filtros pasivos y activos pasa bajos, pasa banda y pasa altos.

2.28.4. Conclusiones

Las reactancias es la magnitud física que se caracteriza por modificar la amplitud de la corriente y producir un cambio de fase de 90° entre la corriente y el voltaje.

2.29. Reactancia capacitiva

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.29.1. Objetivo

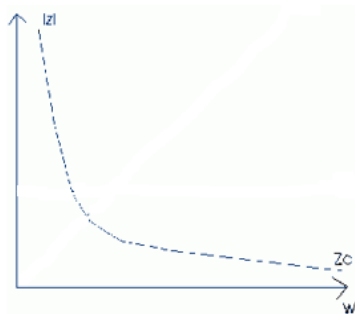
Comprender el comportamiento del capacitor en relación con la frecuencia.

Determinar la forma del comportamiento de la reactancia capacitiva.

2.29.2. Concepto

La reactancia capacitiva es la oposición que presenta el capacitor al paso de la corriente AC y va variando en función de la frecuencia según la ecuación siguiente:

Figura 29. **X_C Vrs Frec**



Fuente: elaboración propia

$$X_c = \left| \frac{1}{SC} \right| = \left| \frac{1}{j\omega C} \right| = \left| \frac{1}{j2\pi f C} \right| = \frac{1}{2\pi f C}$$

Ec. 57

Al graficar esta relación se obtiene la variación que tiene la reactancia capacitiva con respecto la frecuencia.

La reactancia es variable y cuanto más grande sea la frecuencia de una señal más pequeña resulta la reactancia y viceversa.

Como se puede observar la reactancia muestra un comportamiento similar a una forma exponencial.

2.29.3. Aplicación

La variación en la reactancia capacitiva debida a las variaciones de frecuencia usualmente se utiliza en la fabricación de filtros pasivos para audio.

2.29.4. Conclusiones

La reactancia capacitiva depende totalmente de la frecuencia angular, por lo que se puede decir que la reactancia solo existe con fuentes AC.

La reactancia capacitiva no varía en forma lineal con respecto de la frecuencia.

2.30. Reactancia inductiva

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.30.1. Objetivos

Comprender el comportamiento del inductor en relación con la frecuencia.
Determinar la forma del comportamiento de la reactancia inductiva.

2.30.2. Concepto

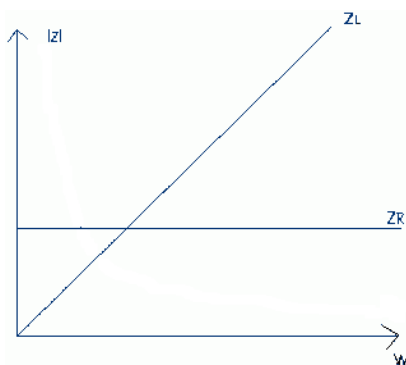
La reactancia inductiva es la oposición que presenta el inductor al paso de la corriente AC, varía en función de la frecuencia según la ecuación siguiente:

$$Z_L = |j2\pi fL| = 2\pi fL \quad \text{Ec. 58}$$

Al graficar esta relación se obtiene la variación que tiene la reactancia inductiva con respecto la frecuencia.

La reactancia inductiva es variable y la relación entre frecuencia y reactancia es directamente proporcional.

Figura 30. **XL Vrs Frec**



Fuente: elaboración propia

2.30.3. Aplicación

La variación en la reactancia inductiva provocada por la variación en la frecuencia de una señal se aprovecha para realizar filtros pasivos y filtros activos de primer y segundo orden.

Se utilizan en motores inductores que tienen estator y rotor, la variación en la frecuencia de voltaje genera una variación en la velocidad angular del motor, por lo que es posible regular la velocidad del motor.

2.30.4. Conclusiones

La reactancia inductiva depende completamente de la frecuencia a la que varía una señal, por lo que se puede decir que la reactancia solo existe con fuentes AC.

La reactancia inductiva varía en forma lineal con respecto de la frecuencia.

2.31. Impedancia

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.31.1. Objetivos

Comprender el concepto de impedancia.

Comprender el efecto de la impedancia sobre las señales de V e I.

2.31.2. Concepto

Magnitud física que se caracteriza por modificar la amplitud de la corriente que fluye a través de un circuito y producir un cambio de fase entre la corriente y el voltaje y varía entre 0 y 180 grados, se crea al combinar una parte resistiva y una parte reactiva.

La reactancia se representa por medio de la letra Z y se mide en ohms (Ω).

La magnitud de la impedancia está dada por la siguiente ecuación:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{Ec. 59}$$

2.31.3. Aplicación

Se utiliza usualmente para determinar la potencia aparente consumida por un dispositivo o un arreglo de elementos en un circuito eléctrico cualquiera.

2.31.4. Conclusiones

Impedancia es la magnitud y fase de la oposición que presentan ciertas combinaciones de dispositivos a la corriente alterna.

La impedancia produce un desfase entre las señales de voltaje y corriente que fluyen a través del mismo circuito eléctrico.

2.32. Circuitos RC

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.32.1. Objetivos

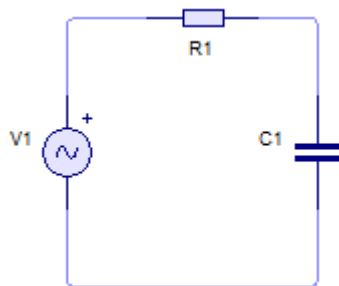
Comprender el comportamiento del circuito RC en función de la frecuencia.

2.32.2. Concepto

El circuito RC es la combinación de, al menos, un resistor y un capacitor puestos en serie, donde la corriente total del circuito varía según la magnitud de la resistencia y la magnitud de la reactancia capacitiva; además, el ángulo de fase de la corriente se adelanta al voltaje aplicado al circuito RC.

$$V_{(s)} = I_{(s)}R + \frac{I_{(s)}}{j2\pi fC} = I_{(s)}R - \frac{jI_{(s)}}{2\pi fC} \quad \text{Ec. 60}$$

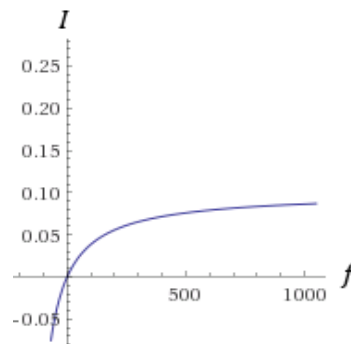
Figura 31. Circuito serie RC



Fuente: elaboración propia.

De este modo, se puede apreciar como la corriente en el resistor cambia según la frecuencia de oscilación de la fuente de voltaje; como consecuencia de la ley de Ohm también el voltaje sobre el resistor varía.

Figura 32. **Corriente vrs frec**



Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior se muestra que mientras la frecuencia es muy baja la impedancia aumenta y en consecuencia la corriente es cero; y mientras la frecuencia es muy alta la impedancia es igual al valor constante de la resistencia y, en consecuencia, la corriente está limitada al valor de la resistencia puesta en el circuito RC.

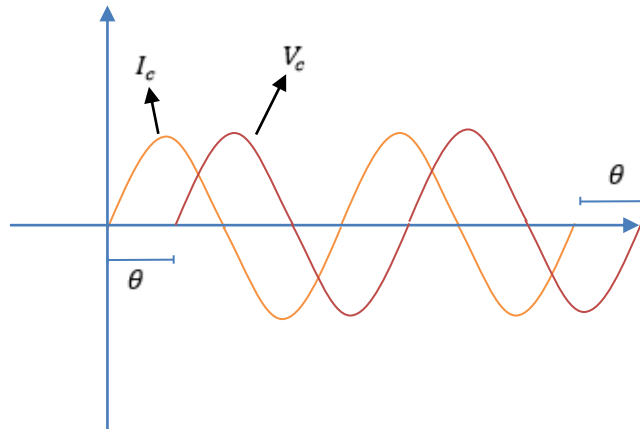
En la imagen anterior se puede observar la señal de voltaje y la señal de corriente sobre el circuito RC, según muestra la ecuación 60 existe un desfase de θ grados negativos en el voltaje con respecto a la corriente, es decir que el voltaje se encuentra atrasado con respecto a la corriente.

El ángulo de fase se encuentra a través de la siguiente ecuación:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_c}{R}$$

Ec. 61

Figura 33. **Desfase I vrs V**



Fuente: elaboración propia.

2.32.3. Aplicación

La mayor aplicación para este tipo de circuitos RC es la realización de filtros pasivos de primer orden, ya sea filtros pasabajos o filtros pasaaltos.

Puede representar también el modelo de un banco de capacitores que servirá para la mejora del factor de potencia.

2.32.4. Conclusiones

La impedancia total del circuito RC varía en función de la variación de la frecuencia, a bajas frecuencias la impedancia es grande y la corriente tiende a cero.

2.33. Circuitos RL

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

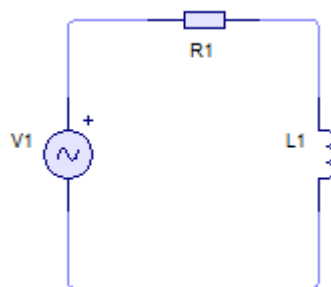
2.33.1. Objetivos

Comprender el comportamiento del circuito RL en función de la frecuencia.

2.33.2. Concepto

Igual que con los circuitos RC, se pueden realizar combinaciones entre dispositivos resistivos e inductivos (RL), el circuito más básico es la combinación en serie de estos elementos.

Figura 34. **Circuito RL en serie**

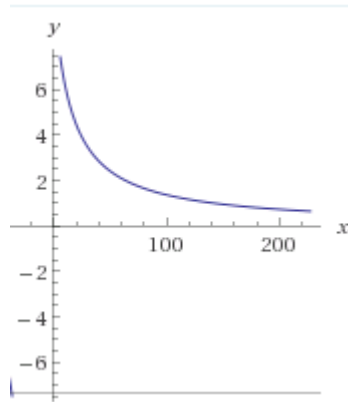


Fuente: elaboración propia.

$$V_{(s)} = I_{(s)}R + I_{(s)}j2\pi fL \quad \text{Ec. 62}$$

De este modo, se puede apreciar cómo la caída de tensión en el resistor cambia según la frecuencia de oscilación de la fuente de voltaje.

Figura 35. **V vrs frec**



Fuente: elaboración propia.

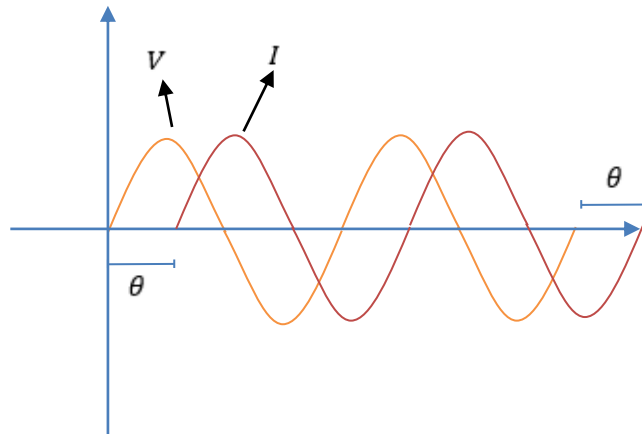
En la imagen anterior se muestra que, mientras la frecuencia (eje x) es muy baja la impedancia se vuelve muy pequeña (ecuación 83) y, en consecuencia, la corriente (eje y) está limitada al valor del resistor y es máxima; mientras que si la frecuencia es muy alta la impedancia se vuelve muy grande y en consecuencia la corriente es muy pequeña.

En la imagen anterior se puede observar la señal de voltaje y la señal de corriente sobre el circuito RL. Según muestra la ecuación 83 existe un desfase de θ grados positivos en el voltaje con respecto a la corriente, es decir que el voltaje se encuentra adelantado con respecto a la corriente.

El ángulo de fase se encuentra a través de la siguiente ecuación:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} \quad 63$$

Figura 36. **Desfase I vrs V**



Fuente: elaboración propia.

2.33.3. Aplicación

La mayor aplicación para los circuitos RL es la realización de filtros pasivos de primer orden, ya sea filtros pasabajos o filtros pasaaltos, estas configuraciones dependen de donde se tome la señal de salida, ya sea del resistor o del inductor.

También suele utilizarse como modelo de una línea de transmisión corta y sirve para analizar en la teoría los efectos producidos por la línea o hacia la línea.

2.33.4. Conclusiones

La impedancia total del circuito RL varía en función de la variación de la frecuencia, a bajas frecuencias la impedancia es pequeña y la corriente tiende a ser máxima.

2.34. Circuitos RLC

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.34.1. Objetivos

Comprender el comportamiento del circuito RLC serie.

2.34.2. Concepto

El circuito RLC puede tener de varias formas diferentes, ya que se puede realizar arreglos serie y paralelos con los tres dispositivos diferentes.

Los dispositivos R, L y C se pueden combinar de tal modo que se puede apreciar la variación en sus reactancias y en consecuencia las variaciones de voltajes en cada dispositivo.

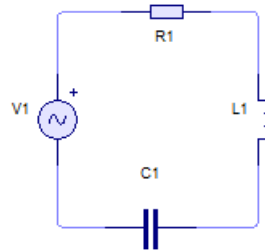
La combinación más sencilla es la conexión en serie de los tres dispositivos.

La ecuación que modela el circuito según la ley de Kirchhoff es:

$$V_{(s)} = I_{(s)}R + I_{(s)}j2\pi fL + \frac{I_{(s)}}{j2\pi fC} \quad \text{Ec. 64}$$

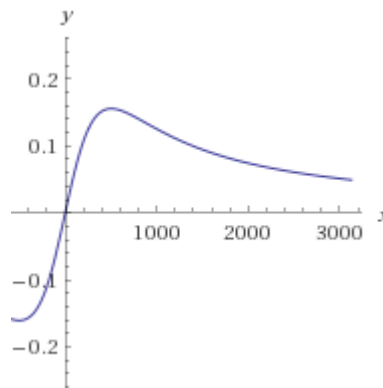
Se puede apreciar como la caída de tensión en el resistor cambia según la frecuencia de oscilación de la fuente de voltaje. Mientras la reactancia capacitiva aumenta la reactancia inductiva disminuye y viceversa.

Figura 37. **Circuito RLC serie**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **I vrs frec, RLC**



Fuente: elaboración propia.

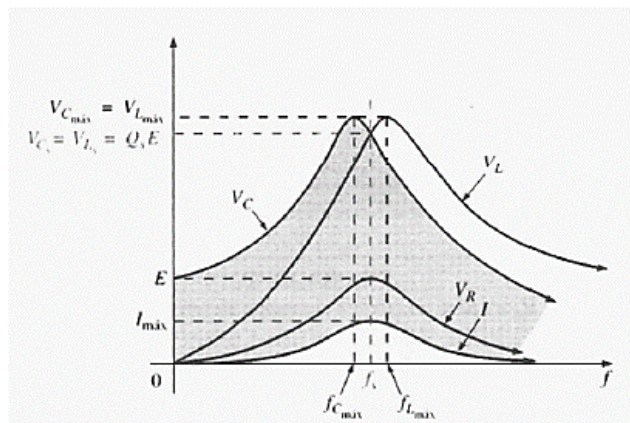
La imagen anterior muestra el comportamiento de la corriente en función de la frecuencia.

En la imagen anterior se puede observar las caídas de tensión en el inductor, capacitor, resistor y la corriente a través de todo el circuito.

2.34.3. Aplicación

El circuito RLC serie posee la característica que la reactancia capacitiva es inversamente proporcional a la reactancia inductiva, esta característica se puede apreciar en la ecuación anterior, debido a esto, este tipo de circuito se utiliza como filtros de frecuencias. Además es el único circuito que puede ser configurado como filtro pasabajos, pasaaltos, pasabanda o rechazabanda.

Figura 39. **V vs frec en R, L y C**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de Circuitos*. p. 897

2.34.4. Conclusiones

Las reactancias inductivas y capacitivas son inversamente proporcionales entre ellas.

La corriente en este circuito es máxima cuando las reactancias inductivas y capacitivas son iguales en magnitud.

2.35. Potencia promedio

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.35.1. Objetivos

Comprender el concepto de potencia promedio.

2.35.2. Concepto

La potencia promedio es la potencia real consumida por algún dispositivo eléctrico, esta potencia posee la característica que no depende del tiempo por lo que siempre es constante.

Si se asume que

$$v = V_m \sin(\omega t) \quad \text{Ec. 65}$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta_i) \quad \text{Ec. 66}$$

Donde θ_i es el desfase asociado por los elementos R, L y C.

Y se define la potencia como

$$P = vi = V_m \sin(\omega t) * I_m \sin(\omega t + \theta_i) \quad \text{Ec. 67}$$

$$P = V_m I_m \sin(\omega t) \sin(\omega t + \theta_i) \quad \text{Ec. 68}$$

Utilizando la identidad trigonométrica:

$$\sin A \sin B = \frac{\cos(A - B) - \cos(A + B)}{2} \quad \text{Ec. 69}$$

La función queda:

$$P = V_m I_m \frac{\cos[(\omega t) - (\omega t + \theta_i)] - \cos[(\omega t) + (\omega t + \theta_i)]}{2} \quad \text{Ec. 70}$$

$$P = V_m I_m \frac{\cos[\theta_i] - \cos[2\omega t + \theta_i]}{2} \quad \text{Ec. 71}$$

El valor fijo de la potencia es

$$P = V_m I_m \frac{\cos[\theta_i]}{2} \quad \text{Ec. 72}$$

La parte variable de la potencia varía conforme el tiempo y el promedio de esto es igual a cero.

$$P = V_m I_m \frac{\cos[2\omega t + \theta_i]}{2} \quad \text{Ec. 73}$$

Por lo que se define como potencia promedio neta a la siguiente expresión:

$$\bar{P} = V_m I_m \frac{\cos[|\theta_i|]}{2} \quad \text{Ec. 74}$$

La magnitud de la potencia promedio entregada es independiente de si v adelante a i o viceversa.

Si $\theta = |\theta_i|$ entonces la potencia promedio quedaría como:

$$\bar{P} = V_m I_m \frac{\cos[\theta]}{2} \quad \text{Ec. 75}$$

Donde θ representa el desfase entre el voltaje y corriente.

Cuando el circuito es completamente resistivo se dice que el ángulo de fase entre v e i es igual a cero, por lo que:

$$\bar{P}_R = V_m I_m \frac{\cos[0]}{2} = \frac{V_m I_m}{2} = V_{RMS} I_{RMS} \quad \text{Ec. 76}$$

Cuando el circuito es completamente reactivo (xl o xc) se dice que la magnitud del ángulo de fase entre v e i es de 90° .

$$\bar{P}_C = V_m I_m \frac{\cos[90]}{2} = \frac{V_m I_m}{2} * 0 = 0$$

$$\bar{P}_L = V_m I_m \frac{\cos[90]}{2} = \frac{V_m I_m}{2} * 0 = 0$$

Cuando el circuito contiene una combinación de elementos resistivos y reactivos (impedancia) el valor de la potencia promedio varía entre 0 y $V_{RMS} I_{RMS}$, ya que la magnitud del ángulo se encuentre entre 0 y 90 grados.

$$\bar{P}_L = V_m I_m \frac{\cos[\varphi]}{2} = \frac{V_m I_m}{2} \cos[\varphi] = V_{RMS} I_{RMS} \cos[\varphi] \quad \text{Ec. 77}$$

Donde φ es el ángulo producido por la combinación entre los elementos reactivos y resistivos.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} \quad \text{Ec. 78}$$

2.35.3. Aplicación

La potencia promedio es la potencia que se utiliza para calcular el cobro en la factura del servicio de energía eléctrica, ya que esta representa solo la energía realmente consumida por el usuario.

2.35.4. Conclusiones

La potencia promedio es independiente del tiempo, por lo que es siempre constante y es la potencia real consumida por cualquier dispositivo resistivo.

2.36. Fasores

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.36.1. Objetivos

Comprender lo que representa un fasor en el análisis de circuitos AC.

Determinar las características especiales que tiene un fasor.

2.36.2. Concepto

Matemáticamente, es un vector radial en rotación, este vector radial, que tiene magnitud constante con uno de sus extremos fijo en el centro del plano complejo, se denomina fasor cuando se aplica a circuitos eléctricos en AC.

Eléctricamente un fasor es la representación matemática de la corriente y voltaje producido por una reactancia inductiva y/o capacitiva.

Para convertir una señal escrita en forma sinusoidal se tiene que:

$$v = V_m \sin(\omega t + \theta) = V_m \angle \theta \quad \text{Ec. 79}$$

La ecuación anterior muestra que para este análisis, no se contempla que un par de formas de ondas tengan frecuencias de oscilación diferentes. Por eso, este método, por el momento, solo es aplicable a formas de onda con la misma frecuencia de oscilación.

Usualmente en la industria no se utilizan valores pico para dar a conocer la magnitud de los valores de corriente y voltaje, por ello, se deberá reescribir la ecuación anterior, quedando como se muestra a continuación:

$$v = \sqrt{2} V \sin(\omega t + \theta) = V \angle \theta \quad \text{Ec. 80}$$

Donde $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ o bien el voltaje efectivo (RMS), de la misma forma sería para la corriente.

Por lo que, generalmente, los voltajes y corrientes se escribirán en forma polar como se muestra a continuación:

$$V = V \angle \theta \quad \text{Ec. 81}$$

$$I = I \angle \theta \quad \text{Ec. 82}$$

Donde V e I son los voltajes y corrientes efectivos y theta es el ángulo de fase.

2.36.3. Aplicación

La forma fasorial es un método muy utilizado en la industria para nombrar las características principales de una señal AC, ya que no es necesario nombrar la forma trigonométrica que posee dicha señal.

2.36.4. Conclusiones

El fasor es la representación matemática de los vectores V , I y Z , y facilita el cálculo y manipuleo algebraico de V , I y Z .

La onda que se toma como referencia para la forma fasorial es la sinusoidal y las señales a operar deben tener las mismas frecuencias de oscilación.

2.37. Impedancia y diagrama fasorial

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.37.1. Objetivos

Comprender lo que es la impedancia.

Comprender el diagrama fasorial.

2.37.2. Concepto

La impedancia de un elemento es la magnitud y fase de la oposición que presenta un dispositivo en una red AC.

La impedancia está conformada por una parte resistiva y una parte reactiva de un circuito en AC.

Matemáticamente la impedancia se escribe de la siguiente manera:

$$Z = R + jX \quad \text{Ec. 83}$$

Donde R es la parte resistiva y X es la reactancia inductiva y/o capacitiva.

El diagrama fasorial se deduce a partir de la impedancia en un circuito y representa el desfase provocado por cada elemento resistivo y/o reactivo.

La impedancia resistiva no produce un efecto de fase entre la corriente y el voltaje.

$$Z_R = R \quad \text{Ec. 84}$$

En forma polar se tiene:

$$Z = R \angle 0^\circ \quad \text{Ec. 85}$$

En forma rectangular

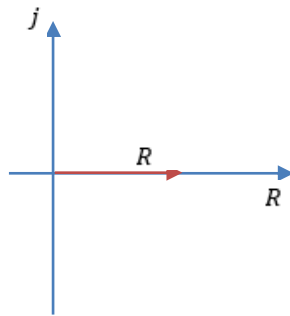
$$Z = R + j0 \quad \text{Ec. 86}$$

Y en forma gráfica

La impedancia capacitiva se produce cuando no existe una resistencia y la reactancia del circuito es puramente capacitiva.

Como se puede observar, la impedancia capacitiva posee un efecto de desfase sobre la corriente o el voltaje. El desfase de la corriente con respecto del voltaje es de $+90^\circ$ o bien de -90° si es el voltaje con respecto de la corriente.

Figura 40. **Diagrama fasorial para la resistencia**



Fuente: elaboración propia.

$$Z_c = \frac{1}{j2\pi fC} = \frac{-j}{2\pi fC} \quad \text{Ec. 87}$$

En forma polar se tiene:

$$Z = Z_c \angle -90^\circ \quad \text{Ec. 88}$$

En forma rectangular se tiene:

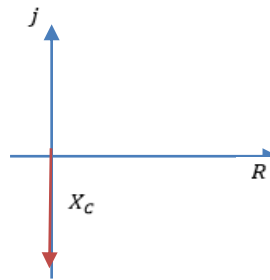
$$Z = -jZ_c \quad \text{Ec. 89}$$

Y en forma gráfica:

La impedancia inductiva se produce cuando no existe una resistencia y la reactancia del circuito es puramente inductiva.

Como se puede observar la impedancia inductiva posee un efecto de desfase sobre la corriente o el voltaje. El desfase de la corriente con respecto del voltaje es de -90° o bien de $+90^\circ$ si es el voltaje con respecto de la corriente.

Figura 41. **Reactancia capacitiva**



Fuente: elaboración propia.

$$Z_L = |j2\pi fL| = 2\pi fL \quad \text{Ec. 90}$$

En forma polar se tiene:

$$Z = Z_L \angle 90^\circ \quad \text{Ec. 91}$$

En forma rectangular se tiene:

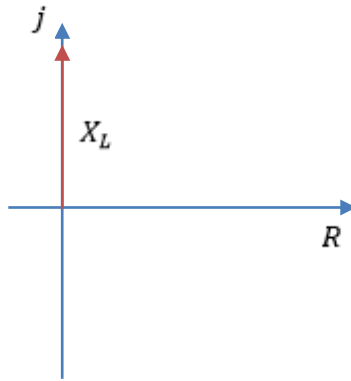
$$Z = jZ_L \quad \text{Ec. 92}$$

Y en forma gráfica:

2.37.3. Aplicación

La impedancia de un circuito en AC se utiliza para detallar como está conformado el circuito, además ayuda a realizar los cálculos para la corrección del factor de potencia más fácilmente.

Figura 42. **Reactancia inductiva**



Fuente: elaboración propia.

2.37.4. Conclusiones

La impedancia capacitiva no solo modifica en magnitud la relación entre voltaje y corriente sino también aplica un efecto de desfase entre el voltaje y la corriente.

La impedancia inductiva no solo modifica en magnitud la relación entre voltaje y corriente sino también aplica un efecto de desfase entre el voltaje y la corriente.

La impedancia resistiva no produce un efecto de fase entre la corriente y el voltaje.

2.38. Potencia aparente

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.38.1. Objetivos

Comprender el concepto de potencia aparente

2.38.2. Concepto

La potencia aparente es la suma algebraica de la potencia activa (real) y la potencia reactiva.

Para analizarla tomamos la ecuación 89 y asumiendo que el voltaje no posee desfase se realiza un manipuleo algebraico y utilizando algunas identidades trigonométricas se tiene que:

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \sin \omega t \sin(\omega t + \theta) \quad \text{Ec. 93}$$

$$P = V_m I_m \frac{\cos[\theta](1 - \cos 2\omega t) - \sin \theta \sin[2\omega t]}{2} \quad \text{Ec. 94}$$

$$S = V_m I_m \frac{\cos \theta}{2} - V_m I_m \frac{\cos \theta \cos 2\omega t}{2} + V_m I_m \frac{\sin \theta \sin 2\omega t}{2} \quad \text{Ec. 95}$$

Ahora se puede apreciar que el primer término es la potencia promedio, este término es independiente del tiempo, por lo que se puede decir que es constante.

El segundo término es parte de la potencia real disipada en los dispositivos óhmicos-resistivos, se puede observar que este término varía con 2 veces la frecuencia original de voltaje.

El tercer término se conoce como potencia reactiva. Es la potencia disipada en forma de campos electromagnéticos por los elementos reactivos como los inductores y capacitores.

2.38.3. Aplicación

Se usa para determinar la capacidad que puede tener un generador, un motor o una planta eléctrica

2.38.4. Conclusiones

La potencia aparente es la potencia total suministrada por la fuente y está constituida por la suma de la potencia real y la potencia reactiva.

2.39. Potencia en AC (potencia real)

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.39.1. Objetivos

Comprender lo que es la potencia AC.

2.39.2. Concepto

La potencia en AC es exactamente igual a la potencia promedio en AC ya que la potencia que varía en el tiempo no ejerce potencia neta diferente de cero. Por lo que se tiene que:

$$P_{AC} = \bar{P} = V_m I_m \frac{\cos[\theta]}{2} = \frac{V_m I_m}{\sqrt{2}\sqrt{2}} \cos[\theta] = \frac{V_m I_m}{2} \cos \theta \quad \text{Ec. 96}$$

La potencia en AC es conocida, muchas veces, como potencia real, ya que solo muestra la potencia disipada en los elementos resistivos y no en los dispositivos reactivos.

Como se puede observar en la ecuación 99, la primera parte solo es máxima en el momento en el que no existe una reactancia, es decir, cuando el desfase es de cero grados, por lo que se tiene que:

$$P = V_m I_m \frac{\cos \theta}{2} - V_m I_m \frac{\cos \theta \cos 2\omega t}{2} + V_m I_m \frac{\sin \theta \sin 2\omega t}{2} \quad \text{Ec. 97}$$

$$P = V_m I_m \frac{\cos 0}{2} - V_m I_m \frac{\cos 0 \cos 2\omega t}{2} = \frac{V_m I_m}{2} - V_m I_m \frac{\cos 2\omega t}{2} \quad \text{Ec. 98}$$

$$P = \frac{V_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) \quad \text{Ec. 99}$$

Para el análisis es mucho más fácil tomar solo la magnitud de la potencia activa, por lo que:

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cos \theta \quad \text{Ec. 100}$$

Usualmente se toma en consideración que no existe un desfase entre el voltaje y la corriente cuando la red es ideal y no tiene elementos reactivos.

$$P_{AC} = \frac{V_m I_m}{\sqrt{2}\sqrt{2}} \cos[0] = \frac{V_m I_m}{\sqrt{2}\sqrt{2}} = \frac{V_m I_m}{2} = V_{RMS} I_{RMS} \quad \text{Ec. 101}$$

2.39.3. Aplicación

La potencia real es la potencia que se utiliza para calcular el cobro en la factura del servicio de energía eléctrica por concepto de potencia máxima y potencia contratada en instalaciones donde la potencia máxima requerida por el circuito sea superior a los 11KW.

2.39.4. Conclusiones

La potencia real o potencia activa, es la potencia que realmente realiza un trabajo efectivo.

2.40. Potencia reactiva

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.40.1. Objetivos

Comprender el concepto de potencia reactiva.

2.40.2. Concepto

La potencia reactiva es la potencia que se disipa en forma de campos electromagnéticos, por la existencia de dispositivos reactivos inductivos y reactivos capacitivos, y, en consecuencia, cada uno produce un desfase de ± 90 grados en la corriente.

La potencia reactiva es:

$$P_{reactiva} = \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta) \sin[2\omega t] \quad Ec. 102$$

Donde θ es el desfase entre la corriente y el voltaje.

Al realizar un análisis es mucho más fácil tomar solo los valores picos y no la variación en el tiempo, por lo que:

$$P_{reactiva} = \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta) = Q \quad Ec. 103$$

2.40.3. Aplicación

La potencia reactiva no tiene una aplicación efectiva dentro de los análisis de sistemas de potencia, en muchas ocasiones se trata de reducir este fenómeno al máximo para aprovechar de mejor manera la potencia otorgada por la fuente.

2.40.4. Conclusiones

La potencia reactiva es energía disipada en forma de campos eléctricos y magnéticos en los elementos reactivos y los sistemas eléctricos no la aprovechan efectivamente.

2.41. El triángulo de potencia

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.41.1. Objetivos

Entender el triángulo de potencia.

2.41.2. Concepto

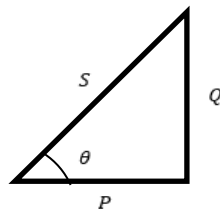
El triángulo de potencia es la representación gráfica de la potencia aparente y establece que:

$$S = P + Q \quad \text{Ec. 104}$$

$$S = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta) + \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta) \quad \text{Ec. 105}$$

Donde Q es la potencia reactiva, P es la potencia activa, S es la potencia aparente y theta es el ángulo de fase.

Figura 43. **Triángulo de potencia**



Fuente: elaboración propia.

Y el ángulo theta es el ángulo entre la potencia activa y la potencia reactiva.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Q}{P} \quad \text{Ec. 106}$$

2.41.3. Aplicación

El triángulo de potencia es utilizado como una herramienta para corregir el factor de potencia y así aprovechar de mejor manera la potencia entregada por la fuente de voltaje AC.

2.41.4. Conclusiones

El triángulo de potencia es una representación gráfica de la potencia aparente y una herramienta que ayuda a disminuir la potencia reactiva en un circuito AC.

2.42. Factor de potencia

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.42.1. Objetivos

Comprender el concepto de factor de potencia.

2.42.2. Concepto

El factor que tiene control importante sobre el nivel de potencia entregado en una red AC es el $\cos \theta$.

$$P = V_m I_m \frac{\cos[\theta]}{2} \quad \text{Ec. 107}$$

Sin importar cuán grande sea la corriente o el voltaje, cuando $\cos\theta=0$, la potencia es cero; si $\cos\theta=1$, la potencia entregada es un máximo.

Debido al control que posee este factor dentro de la potencia promedio, la expresión recibe el nombre de factor de potencia.

$$F_p = \cos \theta \qquad \text{Ec. 108}$$

En el caso de una carga puramente resistiva, el ángulo de fase entre v e i es nulo, en consecuencia el resultado de $\cos(0)=1$, por lo que se dice que la potencia entregada es un máximo.

Para una carga reactiva inductiva o reactiva capacitiva, el ángulo de fase entre v e i es de 90 grados y por tanto el $\cos(90)=0$, por lo que se dice que la potencia entregada es un mínimo, aun cuando la corriente tenga el mismo valor pico que el que tiene la red resistiva.

En el caso en el que el circuito sea una combinación entre elementos resistivos y reactivos el factor de potencia variará entre los valores de 0 y 1. Cuanto más resistiva sea la impedancia total, más cercano a 1 será el factor de potencia y viceversa.

Al despejar de la ecuación 95 se obtiene que:

$$\cos \theta = \frac{2P}{V_m I_m} = \frac{P}{S} \qquad \text{Ec. 109}$$

Al despejar de la ecuación 110 se obtiene que:

$$\cos \theta = \cos \left(\sin^{-1} \frac{2Q}{V_m I_m} \right) = \cos \left(\sin^{-1} \frac{Q}{S} \right) \quad \text{Ec. 110}$$

En muchos casos se considera ideal que el factor de potencia sea igual o mayor a 0,95, ya que si su valor es menor, se considera que no se aprovecha la energía y en algunos casos el desperdicio de esta energía genera cobros como penalización por desperdicio de energía.

2.42.3. Aplicación

El factor de potencia ayuda a determinar cuánto de la potencia aparente es aprovechada realmente en los dispositivos resistivos que están conectados a la red eléctrica de AC.

Es ideal que el factor de potencia sea igual o mayor a 0,95, ya que si es menor de este valor se considera que se desperdicia energía y en algunos casos el desperdicio de esta energía genera cobros como penalización por desperdicio de energía.

2.42.4. Conclusiones

El factor de potencia es el factor que determina la proporción de la potencia aparente que es aprovechada para realizar un trabajo por un elemento resistivo.

Es ideal que el factor de potencia sea igual o mayor a 0,95, ya que si es menor de este valor se considera que se desperdicia energía y en algunos casos el desperdicio de esta energía genera cobros como penalización por desperdicio de energía.

2.43. Corrección del factor de potencia

A continuación, se presenta la estructura y contenido que se utilizará para la realización de los videos.

2.43.1. Objetivos

Identificar cuando se debe corregir el factor de potencia.

2.43.2. Concepto

Casi todos los dispositivos que se encuentran en la actualidad necesitan consumir una cantidad de energía eléctrica equivalente a la entregada directamente de la fuente de energía a la cual están conectados. Esta energía consumida se denomina “Activa” o “real”. Y es la energía que se registra en los contadores y es facturada al consumidor por las empresas de suministro eléctrico.

Algunos dispositivos eléctricos, debido a su principio de funcionamiento, toman de la fuente de electricidad una cantidad de energía mayor a la que registra el contador, una parte de esta energía es la activa y es la que consume la carga puramente resistiva; la parte restante no es realmente consumida sino disipada en forma de campos eléctricos y magnéticos. Esta energía que no es consumida se conoce como energía reactiva y esta parte de la energía no es medida por el contador eléctrico. La energía aparente o potencia aparente, que es la suma de la potencia activa y potencia reactiva, es la que debe ser transportada desde la fuente hasta el punto de consumo.

El hecho de transportar una energía mayor a la que realmente se consume, impone la necesidad de que los conductores y demás dispositivos que participan en el suministro de esta energía sean más grandes y esto implica un costo elevado del sistema de distribución.

Como resultado de una enorme cantidad de equipos conectados con esta condición se disminuye en gran medida la calidad del servicio eléctrico y provocan altibajos de tensión, cortes, etc. Por tal razón, las compañías de distribución eléctrica cobran una compensación económica a los usuarios y/o los obligan a corregir las instalaciones eléctricas.

Una mala instalación por tanto tendrá un bajo factor de potencia y esto implica que se tienen instaladas muchas cargas inductivas, esto es porque no son cargas lineales y contaminan la red eléctrica, por tanto, provoca que exista un desfase entre la corriente con respecto del voltaje que se suministra.

Un bajo factor de potencia produce, por tanto:

- Un incremento de pérdidas por el efecto Joule, dando como consecuencia el calentamiento de cables, calentamientos de transformadores y el disparo de los dispositivos de protección sin razón aparente.
- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución, en consecuencia, reducen la vida útil.
- Penalización por el no aprovechamiento de la energía.

El proceso de introducir elementos reactivos para llevar al factor de potencia lo más cercano a la unidad se denomina “corrección del factor de potencia”.

La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir o eliminar el costo de la energía reactiva en los sistemas de distribución eléctrica y en consecuencia reducir el costo de la factura que debe pagar cualquier usuario de la red eléctrica.

Dado que la mayoría de las cargas son inductivas, el proceso involucra normalmente la introducción de elementos capacitivos.

Al introducir un elemento capacitivo en la red inductiva el resultado es una corriente con un desfase de 90 grados que contrarresta el desfase de -90 grados producido por el elemento reactivo de la carga y en consecuencia el desfase en la red será igual a cero grados por lo que se considera que la red es puramente resistiva.

2.43.3. Aplicación

La corrección del factor de potencia se utiliza para reducir el desperdicio de la energía en los dispositivos reactivos, además ayuda a reducir costos en la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

2.43.4. Conclusiones

El factor de potencia debe corregirse cuando se encuentra por debajo del 95% y esto implica agregar un banco de capacitores para igualar la magnitud de la corriente producida por el inductor, pero con un desfase de 180 grados.

3. SIMULACIÓN DE EJERCICIOS Y LABORATORIOS VIRTUALES

3.1. Ley de Ohm

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.1.1. Demostración Ley de Ohm

La ley de Ohm muestra la relación lineal que existe entre la amplitud de voltaje y la amplitud de corriente en un circuito eléctrico. Para que esta relación exista se debe considerar algunas características que debe cumplir este circuito:

Debe tener una fuente de voltaje, un dispositivo por el cual fluirá la corriente, el circuito debe ser un lazo completamente cerrado, en caso contrario, no puede existir el flujo de electrones en el circuito.

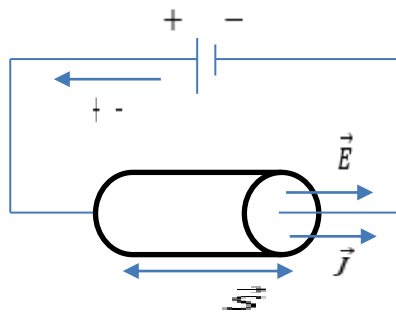
Se puede asumir que existe un dispositivo de cualquier material y de cualquier forma, y que se conectan sus extremos a las terminales positiva y negativa de la fuente de voltaje como se muestra en la Figura 44.

Ahora se asume que el dispositivo conectado a las terminales de la fuente de voltaje tiene una longitud l y un área superficial S , y que al crear un lazo cerrado en el circuito se crea también un campo eléctrico E que va desde la terminal positiva a la terminal negativa y que en consecuencia se crea una

densidad de corriente J , esto implica que una corriente atraviesa la superficie S en la misma dirección que el campo E .

Como S , E y J son vectores se asume que estas llevan asociadas una dirección, un sentido y una magnitud.

Figura 44. **Circuito básico ley de Ohm**



Fuente: elaboración propia.

Ahora se analiza el dispositivo bajo condiciones constantes, se establece que el número de electrones que caben en un determinado volumen es constante.

$$n = \frac{\#e^-}{Vol} \quad Ec. 111$$

Por lo que la carga en un dispositivo es

$$q = n * e^- * vol = n * e^- * l * S \quad Ec. 112$$

Si desea saber la cantidad de carga que fluye a través de la superficie en un tiempo determinado se aplica la ecuación 113.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n * e^- * \Delta l * S}{\Delta t} \quad \text{Ec. 113}$$

La tasa de cambio de la distancia con respecto del tiempo se denomina velocidad y representa la velocidad promedio a la que un electrón le toma salir de un extremo del dispositivo hasta el otro extremo, esta velocidad se conoce como velocidad de arrastre.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n * e^- * \Delta v * S \quad \text{Ec. 114}$$

Para mover un electrón desde un extremo a otro del dispositivo se necesita una fuerza que se capaz de realizar este trabajo, también se asume que cuando el electrón inicia su viaje su velocidad es igual a cero, por lo que se puede asegurar que el electrón sufre una aceleración.

$$F_e = m_e a \quad \text{Ec. 115}$$

Donde F_e es la fuerza eléctrica, m_e es la masa del electrón y a es la aceleración que sufre.

También es necesario conocer la velocidad final, que corresponde a la velocidad que alcanzará el electrón al salir del dispositivo.

$$v_f = v_o + at$$

Asumiendo que al inicio la velocidad es cero, la ecuación anterior queda como se muestra a continuación

$$v_f = at \quad \text{Ec. 116}$$

Si se despeja la aceleración de la ecuación de fuerza eléctrica y se sustituye en la ecuación de velocidad queda así:

$$v_f = \frac{F_e}{m_e} t \quad \text{Ec. 117}$$

Ahora se sustituye esta ecuación en la ecuación 3-4 y se divide por S, se tiene que:

$$J = \frac{\Delta Q}{S\Delta t} = ne^{-} \frac{F_e}{Sm_e} tS = \frac{nF_e te^{-}}{me} \quad \text{Ec. 118}$$

También sabiendo que la fuerza eléctrica se desarrolla en términos del campo E, se tiene que:

$$J = \frac{nEe^{-}te^{-}}{m_e} = \frac{n(e^{-})^2t}{m_e} E \quad \text{Ec. 119}$$

Al realizar un análisis más detallado se puede apreciar que n, e⁻, t y m_e son constantes, por lo que se puede sustituir por una sola constante.

$$\sigma = \frac{n(e^{-})^2t}{m_e} \quad \text{Ec. 120}$$

Donde σ es la conductividad del material y la ecuación 9 quedaría como se muestra a continuación:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad \text{Ec. 121}$$

La ecuación 121 se conoce como la “verdadera” Ley de Ohm o Ley Vectorial de Ohm, como se puede observar esta ecuación establece una relación lineal entre la densidad de corriente (J) y el campo eléctrico (E).

3.1.2. Conversión de la ley vectorial de Ohm a la ley escalar de Ohm

La ley vectorial de Ohm implica el uso de vectores la ley escalar de Ohm ya que esta ultimo implica el uso de magnitudes.

Se sustituirán en la ecuación 121 las dimensionales que utiliza cada elemento de la ecuación, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{i}{S} = \sigma \frac{v}{l} \quad \text{Ec. 122}$$

Y despejando para v

$$v = \frac{l}{\sigma S} i = \frac{\rho l}{S} i \quad \text{Ec. 123}$$

Y se puede definir por tanto que la resistencia de un material es

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad \text{Ec. 124}$$

Y sustituyendo en la ecuación 123

$$v = Ri \quad \text{Ec. 125}$$

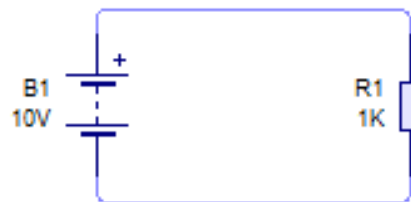
3.2. Resolución de problemas ley de Ohm

A continuación se presentan 3 problemas para facilitar la comprensión del tema que se estudia.

3.2.1. Problema 1

Determine la magnitud de la corriente que atraviesa un resistor de 1k Ohm cuando se le aplica una diferencia de potencial de 10 volts.

Figura 45. **Circuito problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación 125 y sustituyendo valores

La corriente en el circuito es de 10 mA.

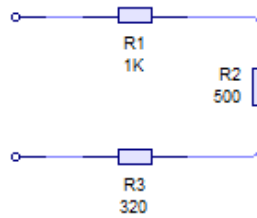
3.2.2. Problema 2

Determine la resistencia equivalente para un circuito con 3 resistencias puestas en serie.

Utilizando la siguiente ecuación se puede calcular la resistencia equivalente en las dos terminales de la red anterior.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

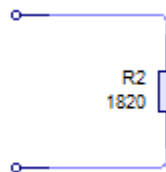
Figura 46. **Circuito problema 2**



Fuente: elaboración propia.

$$R_T = 1000 \Omega + 500 \Omega + 320 \Omega = 1820 \Omega$$

Figura 47. **Circuito equivalente problema 2**

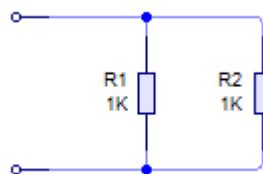


Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Problema 3

Determine la resistencia equivalente para un circuito con dos resistencias conectadas en paralelo.

Figura 48. **Circuito problema 3**



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la ecuación 16 se puede calcular la resistencia equivalente en las terminales.

$$R_T = \left(\frac{1}{1000} + \frac{1}{1000} \right)^{-1} = 500 \Omega$$

La resistencia equivalente es de 500 Ohms.

3.3. Laboratorios virtuales ley de Ohm

A continuación se presentan los laboratorios propuestos, estos pueden realizarse de forma virtual o real.

3.3.1. Laboratorio 1 materiales óhmicos y no óhmicos

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.3.1.1. Objetivo general

Identificar las características que posee un material óhmico.

3.3.1.2. Objetivos específicos

Identificar un dispositivo óhmico.

Identificar un dispositivo no óhmico.

3.3.1.3. Generalidades

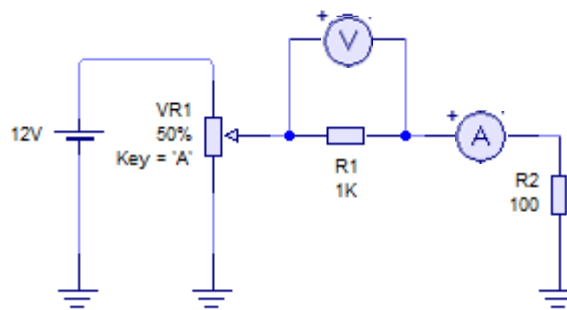
A pesar de que la ley de Ohm se ha considerado una “Ley” no todos los materiales presentes en la naturaleza se rigen bajo esta ley, como es el caso de los diodos, transistores y otros.

Por lo que se pretende identificar un material óhmico analizando su comportamiento con el voltaje y la corriente.

Instrucciones

- Armar el circuito de la figura 49, el dispositivo por analizar es R1.

Figura 49. **Circuito 1, laboratorio 1**



Fuente: elaboración propia.

- Mover el potenciómetro al menos a 10 posiciones diferentes, por cada variación realizada en el potenciómetro realizar una medición de voltaje y una medición de corriente, anotar cada valor tomado.
- Tabular los datos obtenidos en la tabla 1.
- Graficar todos los datos obtenidos. Graficar I vrs V .

- Utilizar la ecuación dada por la regresión lineal, identificar el valor de la resistencia y anotarlo.
- Responder y concluir. Según los datos graficados, ¿cuál de los dos elementos es un material óhmico?, ¿Qué características muestra un material óhmico?, ¿Qué características tiene un material no óhmico?

3.3.2. Laboratorio 2 resistencia total circuito paralelo

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.3.2.1. Objetivo general

Observar el comportamiento de la resistencia total en un circuito paralelo.

3.3.2.2. Objetivos específicos

Observar el comportamiento de la resistencia total al variar el valor de una resistencia.

Explicar la razón por la que disminuye la resistencia total.

Identificar cuando la resistencia equivalente es un máximo.

3.3.2.3. Generalidades

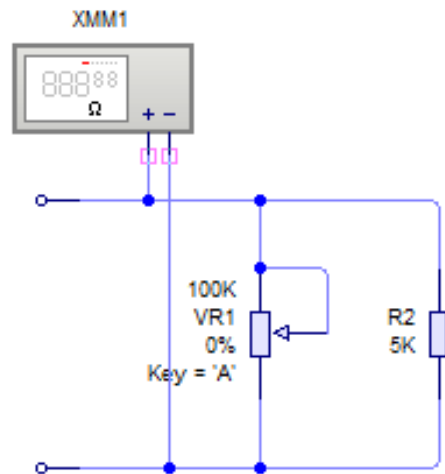
Se ha establecido que la resistencia total equivalente en un circuito paralelo disminuye en lugar de aumentar, a pesar de esto existe un punto en el

cual el arreglo de resistores produce una resistencia máxima, por lo que se tratará de identificar la condiciones que deben cumplirse para que esto suceda.

Instrucciones

- Armar el circuito de la figura 51.
- Variar el valor del potenciómetro al menos 15 veces, medir el valor del potenciómetro de forma individual, medir y anotar su valor de resistencia, luego conectar el circuito y medir la resistencia total del circuito y volver a anotar el valor.
- Realizar una tabla con dos columnas para anotar los valores de las dos mediciones que se realizó en el inciso anterior (tabla 3).

Figura 51. **Circuito 1, laboratorio 2**



Fuente: elaboración propia.

- Graficar los valores tabulados en la tabla y analizar la gráfica.

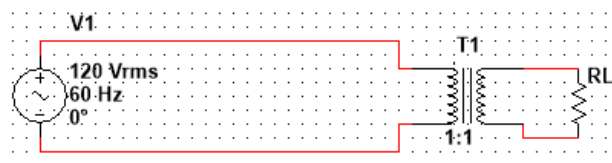
la ley de Ohm. Para que un cable sea barato debe construirse con la menor cantidad de material conductor, y un buen material conductor resulta ser mucho más caro.

Suponga que se utilizará un cable que posee una resistencia de 10 ohm por cada kilómetro, y que se necesita conectar dos puntos a una distancia de 500km. El punto extremo final de la línea debe proveer una tensión de 120VAC para una instalación domiciliar, como medida de precaución, se deberá conectar a un transformador de voltaje antes de llegar a la instalación domiciliar.

Se pretende no reducir la potencia que se entrega al usuario final, a fin de aprovechar toda la energía posible.

Si se utiliza un nivel de voltaje de 120 volts para la transmisión no es necesario modificar la amplitud de la señal, al conectar un transformador con relación 1:1 ideal ($R=0$, $Z=0$ y $P_{in}=P_{out}$) la línea quedaría de la siguiente manera:

Figura 52. Aplicación ley de Ohm



Fuente: elaboración propia.

$$R_T = \frac{10\Omega}{Km} * 500Km = 5000 \Omega$$

Aplicando la ley de Ohm.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120v}{5000 \Omega} = 24mA$$

Y la potencia disipada por la línea y el transformador es:

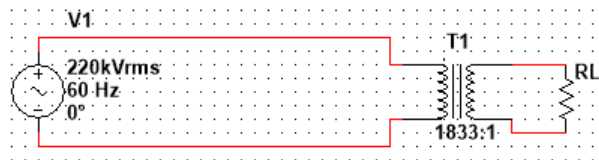
$$P = VI = 0.024 * 120 = 2,88 W$$

Como la potencia de entrada en un transformador ideal es igual a la potencia de salida, la potencia total suministrada a la instalación es de 2,88 W.

Si se utiliza un nivel de voltaje de 220kv la corriente resultante al conectar un transformador ideal sobre la línea quedaría de la siguiente manera:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220Kv}{5000 \Omega} = 44A$$

Figura 53. **Aplicación ley de Ohm 2**



Fuente: elaboración propia.

Y la potencia disipada sobre la línea y el transformador es:

$$P = VI = 44A * 220Kv = 9,68 MW$$

La potencia de entrada sería de 9,68MW y la potencia de salida sería del mismo valor. Esto significa que, al aplicar alto voltaje a un transformador

reducidor y tomando en consideración que la potencia es constante en cada bobina del transformador, se obtendría un voltaje de 120v con 80,7K amperios y 9,68 MW, suficiente para alimentar a muchas instalaciones eléctricas domésticas y no solo a una.

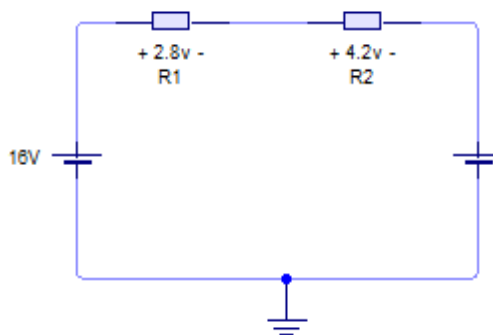
3.5. Leyes de Kirchhoff

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.5.1. Problema 1

Compruebe que en el circuito que se muestra en la figura 54 se cumple la ley de voltajes de Kirchhoff. Encuentre el valor desconocido de la fuente.

Figura 54. Problema 1



Fuente: elaboración propia.

La LVK establece que la sumatoria de todas las caídas y subidas de tensión debe ser igual a cero, por lo que:

$$0 = -16 V + (2,8 V) + (4,2 V) + V1$$

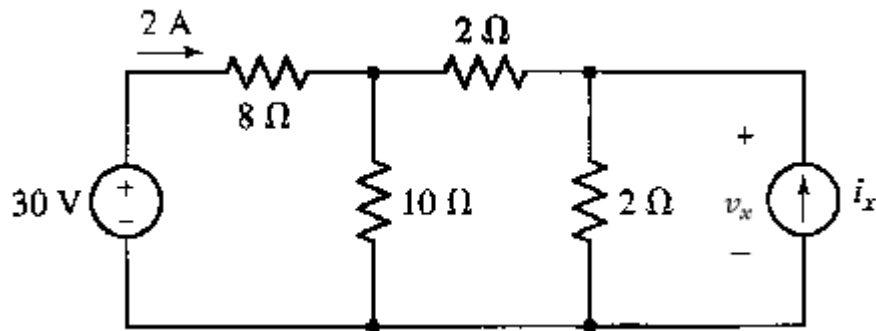
$$V_1 = 16 V - 2,8 - 4,2 = 9 V$$

Por lo que el valor de la fuente desconocida es de 9 volts.

3.5.2. Problema 2

Determinar V_x (Figura 55).

Figura 55. Circuito problema 2



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 347

Se sabe que el voltaje total es de 30 volts, que la corriente proporcionada por la fuente de voltaje es de 2A, por lo que se inicia con el análisis.

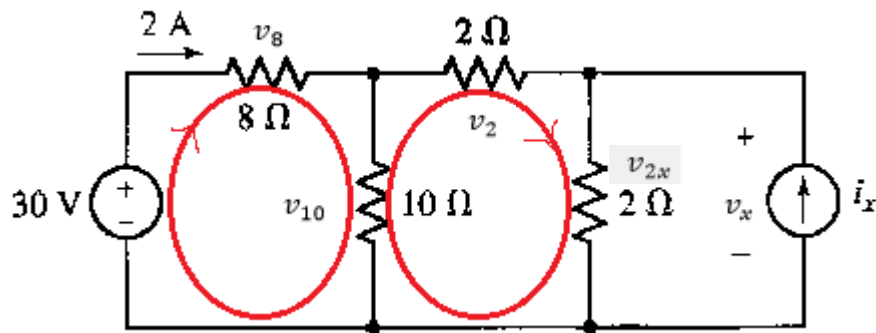
Conociendo que la LVK establece que la sumatoria de subidas y bajadas de tensión en un lazo cerrado es cero, se puede escribir la siguiente ecuación para el primer lazo cerrado.

$$30 = v_8 + v_{10}$$

Y para el segundo lazo cerrado

$$v_{10} = v_2 + v_{2x}$$

Figura 56. Circuito 2, problema 2



Fuente: elaboración propia.

Ahora se tienen 2 ecuaciones con 4 incógnitas. El voltaje en la resistencia de 8 ohm se puede calcular utilizando la ley de ohm, ya que la corriente proporcionada por la fuente de voltaje atraviesa esta resistencia.

$$v_8 = (2 A) * (8 \Omega) = 16 v$$

Por lo que la expresión para el primer lazo cerrado quedaría así:

$$30 = 16 + v_{10}$$

$$v_{10} = 30 - 16 = 14 v$$

La corriente que provee la fuente de voltaje se divide en la corriente que atraviesa la resistencia de 10 Ohm y la primera resistencia de 2 Ohm.

$$i_2 = 2 - i_{10} = 2 - \frac{14}{10} = 2 - 1,4 = 0,6 A$$

La caída de tensión en la primera resistencia de 2 ohm es:

$$v_2 = 0.6A * 2ohm = 1,2 v$$

Por lo que en la segunda resistencia de 2 ohm el voltaje es:

$$v_{2x} = 14 - 1,2 = 12,8 v = v_x$$

Y la corriente que atraviesa la segunda resistencia es.

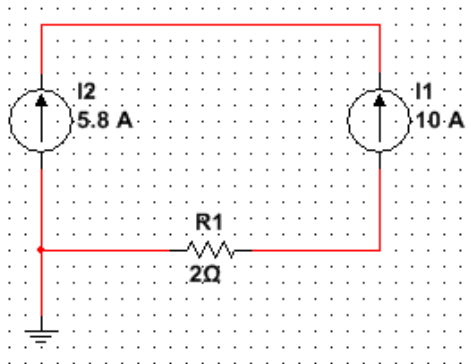
$$i_{2x} = 0,6A + i_x$$

$$i_x = \frac{12,8}{2} - 0,6A = 6,4 - 0,6 = 5,8A$$

3.5.3. Problema 3

Analice el circuito de la Figura 57.

Figura 57. Circuito problema 3



Fuente: elaboración propia.

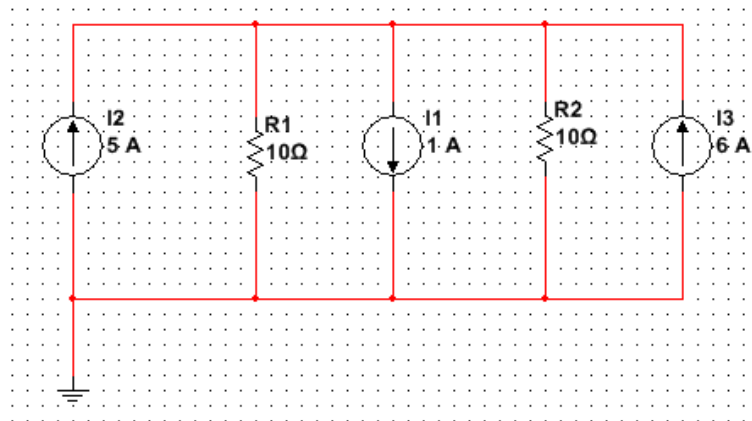
Según la LCK se establece que la sumatoria de las corrientes en un nodo debe ser igual a cero.

En el nodo, que se crea al unir una terminal de la fuente I2 y una terminal de la fuente I1, se puede observar que la corriente que entra al nodo es de 5.8 amperios y la corriente que sale es de 10 amperios. Esto implica que existe una violación a la Ley de Corrientes de Kirchhoff, dado a esto este circuito no puede ser construido ni analizado.

3.5.4. Problema 4

Analice el circuito mostrado en la figura 58 y determine el voltaje en R1.

Figura 58. Circuito problema 4



Fuente: elaboración propia.

La LVK establece que en un lazo cerrado la sumatoria de todas las caídas y subidas de tensión debe ser igual a cero, por lo que en los cuatro lazos cerrados cada dispositivo tiene exactamente la misma caída de tensión.

La LCK establece también que todas las corrientes que entran a un nodo deben salir (según el teorema de la conservación de la carga).

Por lo que, si se realiza la sumatorias de corrientes en cualquier de los dos nodos, se tiene que:

$$5A - 1A + 6A = I_{R2} + I_{R1}$$

Utilizando la ley de ohm se tiene que:

$$10A = \frac{v_{R1}}{10 \Omega} + \frac{v_{R2}}{10 \Omega}$$

Y debido a que todos los dispositivos están conectados en paralelo todos tienen la misma caída de tensión, por lo que:

$$10A = \frac{2v_R}{10 \Omega}$$

$$v_R = 50 v$$

3.6. Laboratorio leyes de Kirchhoff

A continuación se presentan los laboratorios propuestos, estos pueden realizarse de forma virtual o real.

3.6.1. Laboratorio 1 comprobación LVK y LCK

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.6.1.1. Objetivo general

Comprobar que las Leyes de Kirchhoff se cumplen en un circuito DC

3.6.1.2. Objetivos específicos

Comprobar la Ley de Corrientes de Kirchhoff.

Comprobar la Ley de Voltajes de Kirchhoff

3.6.1.3. Generalidades

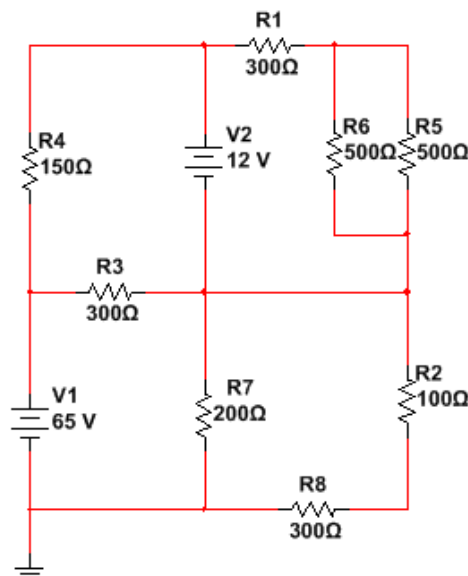
Las Leyes de Kirchhoff son indispensables para el análisis de circuitos en corriente directa, actualmente, todos los dispositivos electrónicos (óhmicos y semiconductores) se rigen bajo estas leyes, por lo que es indispensable que todos los estudiantes puedan comprobar la efectividad de estas leyes para su posterior aplicación.

Instrucciones

- Armar el circuito que se muestra en la figura 59.
- Identificar cada componente en el circuito.
- Identificar cada nodo en el circuito.
- Realizar una tabla de dos columnas (tabla 4), en la primera columna escribir el nombre de cada dispositivo que pueda tener una diferencia de potencial, en la segunda columna anotar el valor de esta medición.
- Identificar al menos tres lazos cerrados en el circuito de la figura 59, trazar una trayectoria para representar cada lazo cerrado.

- Seguir la dirección de la trayectoria del primer lazo cerrado e identificar cada elemento con caída de tensión, realizar la sumatoria de todas las caídas y subidas de tensión en esta trayectoria (que ya ha registrado en la tabla) y comprobar que en efecto se cumple la LVK.
- Repetir el paso f) dos veces más, uno para cada uno de los dos lazos cerrados restantes.
- Medir cada corriente que sale y/o entra a cada nodo y anotarlo.
- Sumar todas las corrientes que entran en cada nodo y restar a este resultado la sumatoria de todas las corrientes que salen del mismo nodo.
- Comprobar que en efecto la LCK se cumple en cada nodo.
- Responder y Concluir, ¿Qué establece la LVK?, ¿Qué establece la LCK?, ¿La sumatoria de subidas de tensión es igual a la sumatoria de bajadas de tensión?, ¿La sumatoria de todas las corrientes que entran a un nodo son iguales a la sumatoria de corrientes que salen del mismo nodo?

Figura 59. **Circuito 1, laboratorio 1**



Fuente: elaboración propia.

3.6.2.2. Objetivos específicos

Observar cómo afecta un dispositivo semiconductor al análisis de voltajes de Kirchhoff.

Observar cómo afecta un potenciómetro al análisis de voltajes de Kirchhoff.

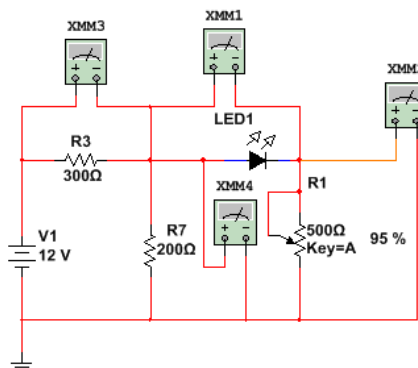
3.6.2.3. Generalidades

Las Leyes de Kirchhoff se han vuelto indispensables para el análisis de circuitos en corriente directa, actualmente todos los dispositivos electrónicos (óhmicos y semiconductores) se rigen bajo estas leyes, por lo que es indispensable que todos los estudiantes puedan comprobar la efectividad de estas leyes para su posterior aplicación.

Instrucciones

- Armar el circuito de la Figura 60.

Figura 60. **Circuito 1, laboratorio 2**



Fuente: elaboración propia.

- Ver individualmente como varía la caída de tensión en R3 al realizar variaciones de resistencia en el potenciómetro.
- Ver individualmente como varía la caída de tensión en R7 al realizar variaciones de resistencia en el potenciómetro.
- Ver individualmente como varía la caída de tensión en R1 al realizar variaciones de resistencia en el potenciómetro.
- Ver individualmente como varía la caída de tensión en D1 al realizar variaciones de resistencia en el potenciómetro.
- Si es necesario observar en conjunto como varían todas las diferentes caídas de tensión al variar la magnitud de la resistencia del potenciómetro R1.
- Responder y concluir. ¿Cómo varían los dispositivos según la variación del potenciómetro?, ¿Cómo varía la caída de tensión en conjunto de D1 y R1?, ¿Cómo afecta el Led al circuito resistivo?, ¿La caída de tensión en el Led es constante?

3.7. Aplicaciones de leyes de Kirchhoff

Determinar la corriente consumida en una instalación cualquiera es muy importante, ya que es este valor es el que se toma en consideración al tratar de proteger un sistema eléctrico, una instalación o de realizar algún cobro por consumo eléctrico.

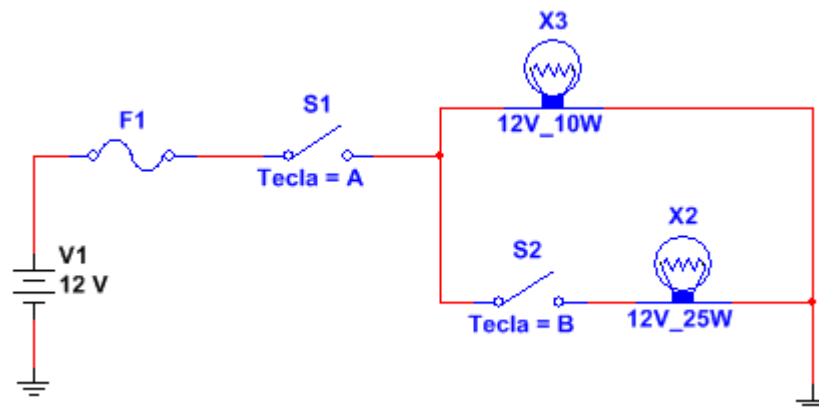
Actualmente todos los automóviles cuentan con una “caja” de seguros o fusibles que se encargan de proteger todo el sistema eléctrico del automóvil.

Por ejemplo, existe un fusible para la alimentación del estéreo, un fusible para las luces de emergencia, un fusible para los faros de noche, un fusible para el encendido del ventilador del radiador, etc.

Cada uno de estos fusibles se identifican con diferentes colores, estos colores funcionan como un código y sirven para determinar el valor de la corriente máxima que soportan antes de romper el filamento interno de cada fusible.

Pero ¿cómo se sabe el valor del fusible que debe instalarse?

Figura 61. **Aplicación ley de Kirchhoff**



Fuente: elaboración propia.

La figura 61 muestra el diagrama del circuito de encendido y apagado de las luces altas y medias de un automóvil. En este diagrama no se muestra el valor del fusible que se debe instalar para que este circuito este bien protegido.

Por ello, se iniciará aplicando las Leyes de Kirchhoff.

Se puede observar que para encender cualquiera de las dos luces primero se debe activar el switch1 (S1), al activar S1 automáticamente se

encenderá la lámpara X3 (luz media), luego para encender la luz alta (X2) se debe accionar el switch2 (s2) e inmediatamente se encenderán las dos luces.

Esto implica que cuando ambas lámparas están apagadas el consumo de corriente es igual a cero, pero, cuando se activa S1 la corriente que se consume es de:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{10 \text{ w}}{12 \text{ v}} = 0,83 \text{ A}$$

Cuando se activa el S2 se enciende la lámpara de 25W y la corriente que consume es:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{25 \text{ w}}{12 \text{ v}} = 2,08 \text{ A}$$

Debe considerarse que cuando X2 se enciende X3 también se encuentra encendida, por lo que se debe considerar el consumo de ambas lámparas.

$$I_{X3} + I_{X2} = 2,08 \text{ A} + 0,83 \text{ A} = 2,91 \text{ A}$$

Por lo que el fusible por instalar debe ser cuando mucho del valor máximo de corriente que consumen ambas lámparas encendidas, estos valores nunca puede llegar a ser tan exactos, por lo que se establece un pequeño rango de corriente para que las lámparas puedan fluctuar. El valor real del fusible debe ser el entero siguiente más próximo, esto para tener un rango de incerteza en la corriente que consume cada lámpara y además, si se cruza este limite el fusible debe romperse y proteger toda la instalación eléctrica del automóvil.

Por lo que el valor del fusible debe ser igual a 3 A.

3.8. Regla del divisor de tensión

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

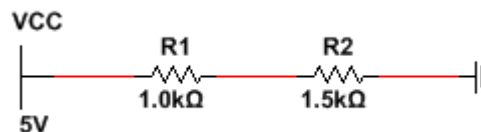
3.8.1. Regla del divisor de tensión

Se presentan a continuación 2 problemas relacionadas con este tema y ejemplo de aplicación.

3.8.1.1. Problema 1

Encontrar el voltaje en cada resistor mostrado en la figura 62 utilizando la regla del divisor de tensión, luego corrobore los resultados utilizando la LVK.

Figura 62. **Circuito 1, problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha discutido en un circuito serie la corriente que atraviesa a cada dispositivo de la red es el mismo.

$$I_T = I_{R1} = I_{R2}$$

También se ha discutido que, según la LVK, el voltaje que entrega la fuente se reparte en cada dispositivo de un lazo cerrado, por lo que:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$\frac{V_T}{R_T} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$V_1 = \frac{V_T}{R_T} R_1 = \frac{5}{1000 + 1500} 1000 = 2 \text{ v}$$

Y para la resistencia 2

$$V_2 = \frac{V_T}{R_T} R_2 = \frac{5}{1000 + 1500} 1500 = 3 \text{ v}$$

Y al corroborar con la LVK se tiene que

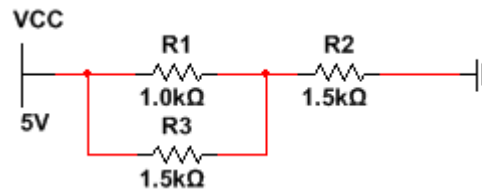
$$V_T = V_1 + V_2$$

$$5 = 3 + 2$$

3.8.1.2. Problema 2

Determine el valor de la corriente que atraviesa a la resistencia de 1Kohm.

Figura 63. **Circuito problema 2**

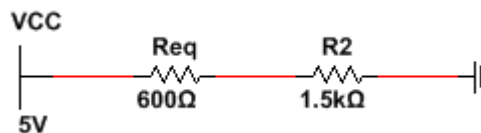


Fuente: elaboración propia.

Lo primero que se debe hacer es reducir a una resistencia equivalente las dos que se encuentran conectadas en paralelo.

$$R_{eq} = \left(\frac{1}{1000} + \frac{1}{1500} \right)^{-1} = 600 \Omega$$

Figura 64. **Circuito equivalente problema 2**



Fuente: elaboración propia.

Y se aplica la regla del divisor de voltaje a la resistencia equivalente.

$$V_{eq} = \frac{V_T}{R_T} R_{eq} = \frac{5}{600 + 1500} 600 = 1,43 \text{ v}$$

Ahora que ya se tiene la caída de tensión en el arreglo en paralelo se procede a determinar la corriente en la resistencia de 1Kohm.

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{1.43}{1000} = 1,43 \text{ mA}$$

3.8.1.3. Aplicaciones, divisor de tensión

Las luces navideñas, utilizadas para adornar usualmente las casas y árboles navideños, se conectan usualmente en serie.

Se sabe que la serie de luces tiene 50 focos conectados en serie, y cada foco es de 2,5W, se desea saber el valor de la resistencia total de la serie de luces.

Asumiendo que el suministro de energía eléctrica es de 120 V se tiene que:

$$120 = v_1 + v_2 + \dots + v_{50}$$

Si $v_1 = v_2 = \dots = v_{50}$

$$120 = 50v_x$$

$$v_x = \frac{120}{50} = 2,4 \text{ v}$$

Si cada foco posee características similares como consumo de corriente, caída de tensión y resistencia interna, y al aplicar la fórmula del divisor de tensión se tiene que:

$$P = \frac{V^2}{R_x}$$

$$2,5W = \frac{2,4^2}{R_x}$$

$$R_x = \frac{5,76}{2,5} = 2,3 \Omega$$

$$V_x = \frac{V_T}{R_T} R_x = \frac{V_T}{R_T} * 2,3$$

$$R_T = \frac{120}{2,4} * 2,3 \approx 115 \Omega$$

3.9. Regla del divisor de corriente

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

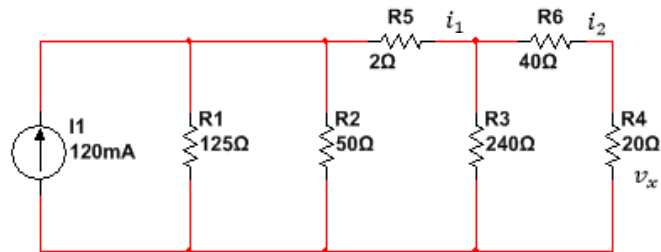
3.9.1. Problemas, divisor de corriente

Se muestra a continuación 2 problemas para una mejor comprensión del tema.

3.9.1.1. Problema 1

Encuentre las corrientes i_1 , i_2 y v_x en el circuito mostrado en la figura 65.

Figura 65. **Circuito problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Lo primero es reducir el circuito de tal manera que solo existan dos resistencias en paralelo.

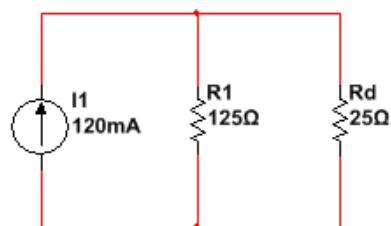
$$R_a = R6 + R4 = 60 \Omega$$

$$R_b = R_a || R3 = 48 \Omega$$

$$R_c = R5 + R_b = 50 \Omega$$

$$R_d = R_c || R2 = 25 \Omega$$

Figura 66. **Circuito equivalente, problema 1**



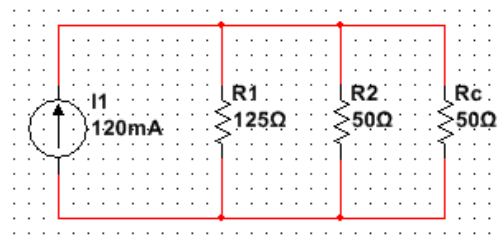
Fuente: elaboración propia.

Al aplicar la regla del divisor de corriente se tiene que:

$$I_d = \frac{I_T R_1}{R_1 + R_d} = 100 \text{ mA}$$

Por lo que a la red que se encuentra justo después de R1 consume 100 mA.

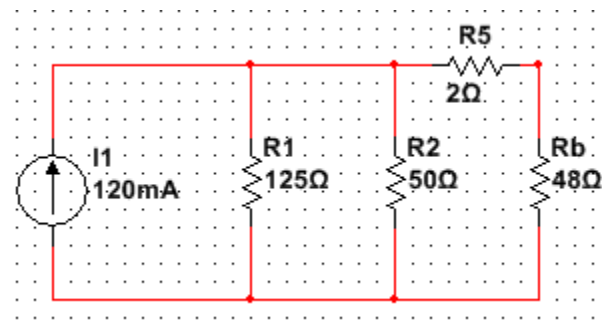
Figura 67. **Circuito equivalente 2**



Fuente: elaboración propia.

$$I_2 = I_c = \frac{I_d R_2}{R_2 + R_c} = 50 \text{ mA}$$

Figura 68. **Circuito equivalente 3**



Fuente: elaboración propia.

La corriente I_c es de 50 mA, la corriente I_{R5} se calcula como se muestra a continuación:

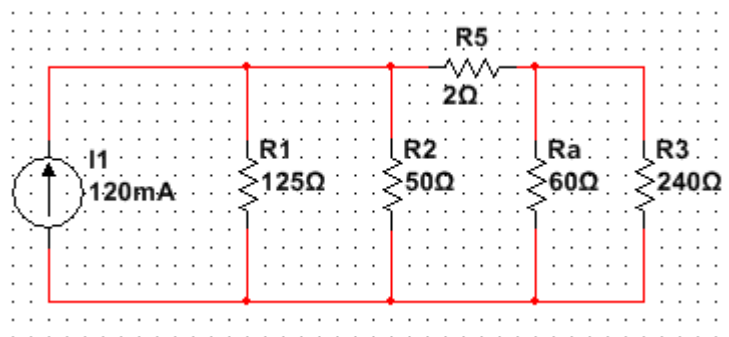
$$I_{R5} = I_b = I_c = 50 \text{ mA}$$

$$I_a = \frac{I_b R_3}{R_3 + R_a} = 40 \text{ mA}$$

$$I_3 = \frac{I_b R_a}{R_3 + R_a} = 10 \text{ mA}$$

$$I_a = I_x = 40 \text{ mA}$$

Figura 69. **Circuito equivalente 4**



Fuente: elaboración propia.

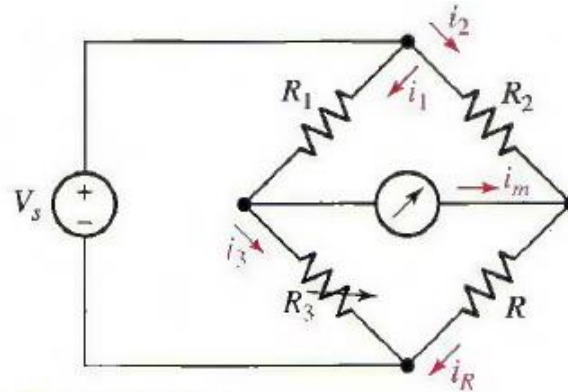
Y el voltaje en V_x es:

$$v_x = I_2 R_4 = 0,8 \text{ v}$$

3.9.1.2. Problema 2

El puente de Wheatstone es uno de los circuitos eléctricos más famosos y es utilizado en la medición de resistencias. En la figura 70 el amperímetro mide la corriente que circula a través del alambre central. Se supone que este amperímetro es ideal, así que tiene una resistencia interna nula.

Figura 70. Circuito 1 problema 2



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 321.

Su operación es sencilla. Los valores de R_1 , R_2 y R_3 son conocidos y se desea conocer el valor de R . la resistencia R_3 se ajusta hasta que $i_m=0$; en otras palabras, hasta que no fluya corriente a través del amperímetro. En este punto se dice que el puente se encuentra “balanceado”.

Utilizando la LCK la LVK, demuestre que $R = \frac{R_2}{R_1} R_3$.

Por simple inspección se puede apreciar que los voltajes en R_1 y R_2 son iguales, ya que están conectados en paralelo, igual que los voltajes en R y R_3 son iguales, ya que están conectados en paralelo, de ser necesario se puede corroborar analizando con la LVK en cada lazo cerrado que forman las resistencias en paralelo.

$$v_1 = v_2$$

$$v_3 = v_R$$

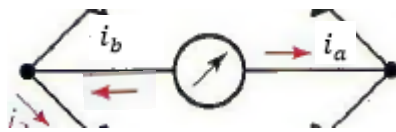
El amperímetro puede considerarse como un nodo, ya que no tiene resistencia interna, por lo que todas las corrientes que entran deben salir también (LCK).

Para que el amperímetro pueda realizar alguna medición es necesario que circule una corriente, a pesar de esto se busca que la corriente que circule por el amperímetro sea igual a cero.

$$i_m = i_a - i_b = 0$$

Utilizando la ecuación de la regla del divisor de corriente se tiene que:

Figura 71. **Amperímetro problema 2**



Fuente: elaboración propia.

$$i_a = \frac{i_1 R_3}{R_3 + R}$$

$$i_b = \frac{i_2 R}{R_3 + R}$$

Debido a la condición de $i_m=0$, se tiene que:

$$i_a = i_b$$

$$\frac{i_1 R_3}{R_3 + R} = \frac{i_2 R}{R_3 + R} \Rightarrow i_1 R_3 = i_2 R$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{R}{R_3} = \frac{v_1/R_1}{v_2/R_2}$$

$$v_1 = v_2$$

$$\frac{R}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

3.9.2. Aplicaciones, regla del divisor de corriente

Cuando una serie de luces navideñas no es suficiente para adornar un árbol usualmente lo que las personas hacen es conectar una serie de luces en paralelo a la primera serie de luces, esta conexión en paralelo se realiza justo en el tomacorriente.

Las personas usualmente no toman en consideración que todo conductor eléctrico tiene ciertas limitaciones a cerca de cuánta corriente es capaz de conducir, una consecuencia de no tomar precauciones es que el cable puede dañarse o incluso puede incendiarse.

Si se asume la situación descrita anteriormente, considere que el conductor que va conectado al tomacorriente es capaz de conducir 2 amperios de corriente como máximo.

Se desconoce la corriente que fluye a través de cada serie de luces, pero se sabe que la resistencia de cada serie de luces es de 115 ohms, se desea saber por tanto la corriente máxima que puede ser consumida por cada serie de luces.

$$I_x = \frac{I_T R_T}{R_X} = \frac{2 * 115/2}{115} = 1 A$$

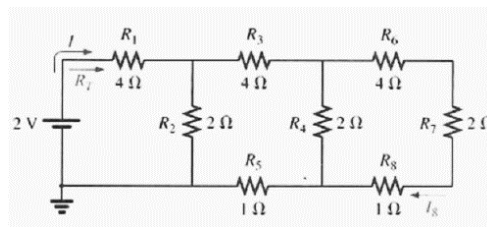
3.10. Redes en escalera

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.10.1. Problema 1

Para la red mostrada en la figura 72 se desea calcular R_T , I e I_8 .

Figura 72. Circuito 1 problema 1



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 334

Lo primero que se debe realizar es la reducción a una sola resistencia equivalente.

$$R_a = R_6 + R_7 + R_8 = 7 \text{ ohm}$$

$$R_b = R_a || R_4 = \frac{R_a R_4}{R_a + R_4} = \frac{14}{9} \text{ ohm}$$

$$R_c = R_b + R_3 + R_5 = \frac{14}{9} + 5 = 6\frac{5}{9} \text{ ohm}$$

$$R_d = R_c || R_2 = \frac{R_2 R_c}{R_2 + R_c} = 1\frac{41}{77} \text{ ohm}$$

$$R_t = R_1 + R_d = 5 \frac{41}{77} \cong 5,532 \text{ ohm}$$

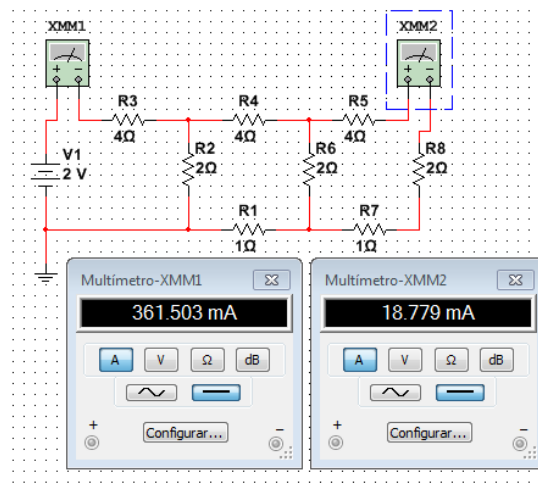
La corriente total es:

$$I_t = \frac{2 \text{ V}}{5,532} = 0,3615 \text{ A}$$

Ahora se aplicará un divisor de corriente para determinar la corriente en la R_c , tomando como corriente total la corriente que atraviesa a R_d .

$$I_{R_c} = \frac{I_T R_2}{R_2 + R_c} = \frac{0,3615 * 2}{2 + 6,556} = 0,0845 \text{ A}$$

Figura 73. **Circuito simulado**



Fuente: elaboración propia.

Ahora se aplicará un divisor de corriente para determinar la corriente en la R_a , tomando como corriente total la corriente que atraviesa a R_c , ya que $R_c=R_3=R_4=R_5$.

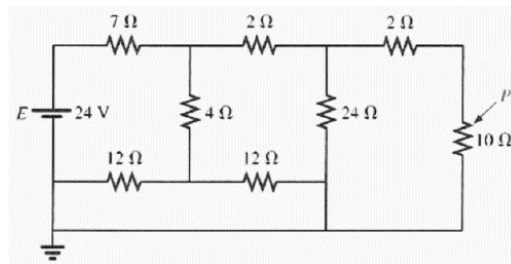
$$I_{Ra} = \frac{I_T R_4}{R_4 + R_a} = \frac{0,0845 * 2}{2 + 7} = 0,01878A$$

$$I_{Ra} = I_{R6} = I_{R7} = I_{R8}$$

3.10.2. Problema 2

Para el circuito mostrado en la figura 74 calcular la potencia en la resistencia de 10 ohm.

Figura 74. Circuito 1 problema 2



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 338

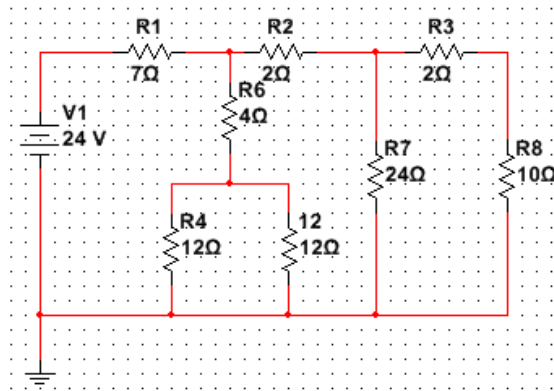
Para solucionar este circuito es necesario reubicar los resistores de tal manera que sea más fácil apreciar el procedimiento justo para la solución de este circuito.

Se iniciará reduciendo el circuito hasta obtener un solo resistor equivalente para encontrar la corriente total del circuito.

$$R_a = R_8 + R_3 = 2 + 10 = 12 \text{ ohm}$$

$$R_b = R_a || R_7 = \frac{12 * 24}{12 + 24} = 8 \text{ ohm}$$

Figura 75. Circuito equivalente problema 2



Fuente: elaboración propia.

$$R_c = R_b + R_2 = 2 + 8 = 10 \text{ ohm}$$

$$R_d = R_4 || R_5 = \frac{12 * 12}{12 + 12} = 6 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_d + R_6 = 6 + 4 = 10 \text{ ohm}$$

$$R_f = R_e || R_c = \frac{10 * 10}{10 + 10} = 5 \text{ ohm}$$

$$R_t = R_f + R_1 = 5 + 7 = 12 \text{ ohm}$$

Por lo que la corriente total se calcula utilizando la ley de ohm

$$I_T = \frac{24V}{12 \text{ ohm}} = 2A$$

La corriente que atraviesa a R1 es la misma que la corriente total.

Debido a que Rf está en serie con R1 la corriente en ambas es la misma, en consecuencia, Re y Rc que están conectadas en paralelo son del mismo valor óhmico y tienen la misma magnitud de corriente, es decir, que:

$$I_{Rc} = I_{Re} = \frac{I_{Rf}}{2} = 1A$$

Rc es la resistencia equivalente de la suma de Rb y R2, como Rb y R2 están conectadas en serie ambas tienen la misma magnitud de corriente por lo que:

$$I_{Rc} = I_{Rb} = I_{R2} = 1A$$

Y como Rb es el paralelo entre Ra y R7 la corriente que atraviesa a Rb se reparte entre estas dos, por lo que se calcula la corriente que circula en Ra con la ayuda de un divisor de corriente.

$$I_{Ra} = \frac{I_{Rb} * R7}{R7 + Ra} = \frac{1A * 24\Omega}{24\Omega + 12\Omega} = 0.667A$$

Y Ra es la suma de R3 y R8 por lo que la corriente que atraviesa a Ra es la misma que atraviesa a R3 y R8, esto dado a que están conectados en serie.

$$I_{Ra} = I_{R3} = I_{R8} = 0,667A$$

Por lo que para calcular la potencia en R8

$$P_{R8} = I_{R8}^2 * R8 = 0,667^2 * 10 = 4,44889W$$

3.10.3. Laboratorio 1 problema 1

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.10.3.1. Objetivo general

Corroborar los resultados obtenidos en el Problema 1.

3.10.3.2. Objetivos específicos

Comparar los resultados de corriente obtenidos en el problema 1.

Determinar las caídas de tensión en cada dispositivo del problema 1.

3.10.3.3. Generalidades

Las redes en escalera son redes fáciles de analizar, sin embargo, es necesario corroborar que los datos obtenidos se cumplen en un circuito real.

Instrucciones

- Armar el circuito mostrado en el problema 1 (figura 72), ya sea en un *protoboard* o en un simulador por computadora.
- Crear una tabla con cuatro columnas, la primera columna será para nombrar a cada resistor, la segunda será para anotar el valor resistivo del resistor, la tercera columna será para anotar el valor de corriente que atraviesa al respectivo resistor y por último la cuarta columna será para anotar los valores de voltaje para cada resistor.

- Compare los resultados con los obtenidos en los cálculos del problema 1.
- Si los resultados no son iguales, explicar el motivo por el cual no son iguales.
- Concluir.

Tabla V. **Práctica 1, resolución escalera**

Dispositivo	Valor resistivo	Caída de tensión	Corriente

Fuente: elaboración propia.

3.11. Conversiones entre fuentes de voltaje y corriente

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

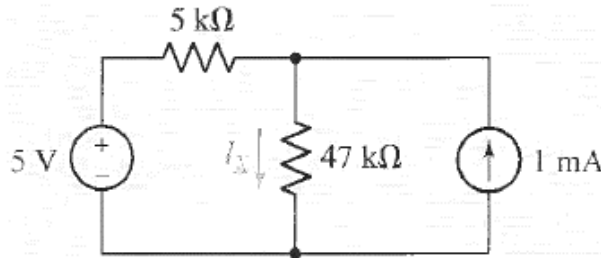
3.11.1. Problema 1

Calcular la corriente que circula por la resistencia de $47\text{K}\Omega$ del circuito de la figura 76, luego de efectuar una transformación de fuente sobre la fuente de tensión.

Solución:

Lo primero que se debe hacer es la conversión de la fuente de voltaje a fuente de corriente.

Figura 76. **Circuito 1 problema 1**

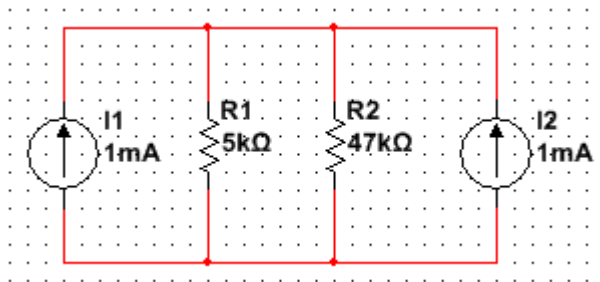


Fuente: HAYT, William H. *Análisis de circuitos en Ingeniería*. p. 258.

Para realizar la conversión se debe encontrar la magnitud de la corriente que atraviesa al resistor de 5kΩ.

$$I = \frac{5}{5K} = 1mA$$

Figura 77. **Circuito equivalente problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Ahora se aplica la LCK

$$I1 + I2 = I_{R1} + I_{R2}$$

$$2mA = I_{R1} + I_{R2}$$

Ahora se puede aplicar la regla del divisor de corriente para determinar I_{R1} e I_{R2} .

$$I_{R1} = \frac{2mA * 47K\Omega}{47K\Omega + 5k\Omega} = 1,8077mA$$

$$I_{R2} = \frac{2mA * 5K\Omega}{47K\Omega + 5k\Omega} = 0,192mA$$

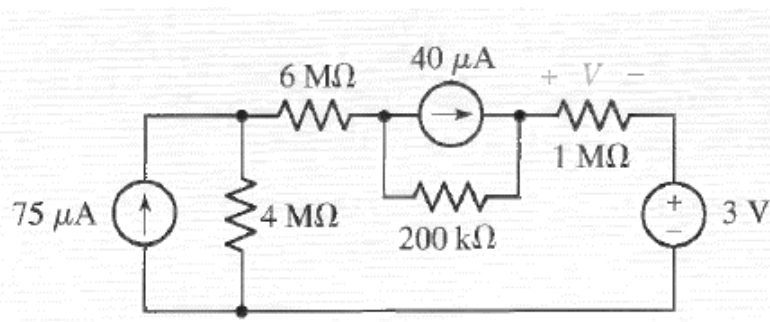
3.11.2. Problema 2

En el circuito de la figura 78, determinar la tensión V en los extremos de la resistencia de 1MΩ mediante de transformaciones de fuentes repetidas.

Solución,

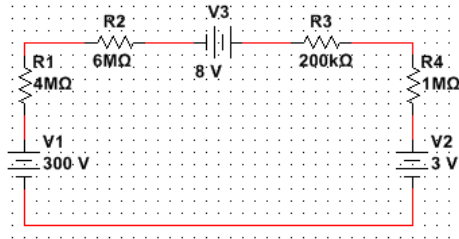
Lo primero que se debe realizar son las conversiones entre fuente de corriente y fuentes de voltaje.

Figura 78. Circuito 1 problema 2



Fuente: COGDELL, J.R. *Fundamentos de Circuitos Eléctricos*. p. 189.

Figura 79. Circuito equivalente problema 2



Fuente: elaboración propia.

Utilizando la LVK

$$300 + 8 - 3 = I(R1 + R2 + R3 + R4)$$

$$305 = I11,2M\Omega$$

$$I = \frac{305V}{11.2M\Omega} = 27,23\mu A$$

Por lo que

$$V_{1M\Omega} = 27,23\mu A * 1M\Omega = 27,23V$$

3.12. Conversiones Y-Δ y Δ- Y

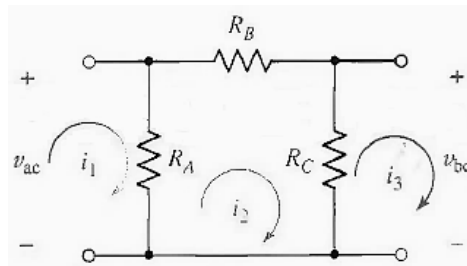
A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.12.1. Demostración conversión Δ- Y

Se inicia analizando la red de la figura 80 para convertirla en la red de la figura 81.

Se debe aplicar LVK sobre la red Delta mostrada en la figura 80, como se podrá observar se han identificado tres corrientes diferentes dentro de la red Delta.

Figura 80. **Circuito delta-estrella**



Fuente: FRAILE MORA, Jesús. *Circuitos Eléctricos*. p. 200

También se debe aplicar LVK sobre la red Estrella mostrada en la figura 81, como se podrá observar se han identificado solo dos corrientes diferentes dentro de la red estrella.

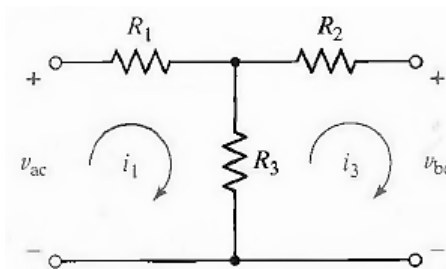
Red Δ

$$v_{ac} = R_A i_1 - R_A i_2 \quad \text{Ec. 125}$$

$$0 = -R_A i_1 + (R_A + R_B + R_C) i_2 - R_C i_3 \quad \text{Ec. 126}$$

$$-v_{bc} = R_C i_3 - R_C i_2 \quad \text{Ec. 127}$$

Figura 81. **Conversión delta-estrella**



Fuente: FRAILE MORA, Jesús. *Circuitos Eléctricos*. p. 200

Red Y

$$v_{ac} = R_1 i_1 + R_3 i_1 - R_3 i_3 = (R_1 + R_3) i_1 - R_3 i_3 \quad \text{Ec. 128}$$

$$-v_{bc} = R_3 i_3 + R_2 i_3 - R_3 i_1 = (R_3 + R_2) i_3 - R_3 i_1 \quad \text{Ec. 129}$$

Al sustituir la ecuación 125 en la ecuación 126.

$$v_{ac} = \left(R_A + \frac{R_A^2}{R_A + R_B + R_C} \right) i_1 - \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} i_3 \quad \text{Ec. 130}$$

Al sustituir la ecuación 125 en la ecuación 124

$$-v_{bc} = \frac{-R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} i_1 + \left(R_C - \frac{R_C^2}{R_A + R_B + R_C} \right) i_3 \quad \text{Ec. 131}$$

Al comparar la ecuación 130 con la ecuación 128 y la ecuación 131 con la ecuación 129, se puede determinar que

$$R_3 = \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad \text{Ec. 132}$$

Al extraer la parte resistiva que multiplica a i_1 de la ecuación 130 y la ecuación 128 y al igualarlas y restándole R_3 se tiene que

$$\left(R_A + \frac{R_A^2}{R_A + R_B + R_C} \right) - R_3 = R_1 + R_3 - R_3$$

$$R_1 = \left(R_A + \frac{R_A^2}{R_A + R_B + R_C} \right) - \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_1 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} \quad \text{Ec. 133}$$

Al extraer la parte resistiva que multiplica a i_3 de la ecuación 131 y la ecuación 129 y al igualarlas y restándole R_3 se tiene que

$$\left(R_C - \frac{R_C^2}{R_A + R_B + R_C} \right) - R_3 = R_3 + R_2 - R_3$$

$$R_2 = \left(R_C - \frac{R_C^2}{R_A + R_B + R_C} \right) - \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C}$$

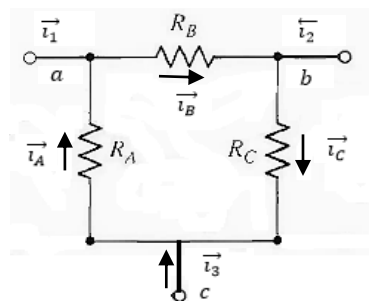
$$R_2 = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad \text{Ec. 134}$$

3.12.2. Demostración conversión Y-Δ

Se inicia analizando la red de las ilustraciones 82 y 83, pero esta vez se analizarán utilizando la LCK y no la LVK.

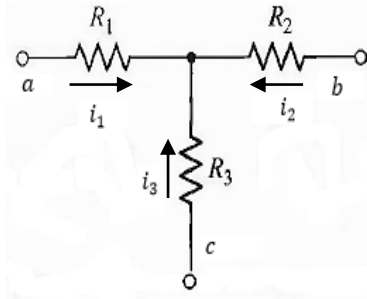
Para la red Delta:
$$i_1 = i_B - i_A = \frac{v_{ab}}{R_B} - \frac{v_{ac}}{R_A} \quad \text{Ec. 135}$$

Figura 82. Conversión estrella-delta 1



Fuente: FRAILE MORA, Jesús. *Circuitos Eléctricos*. p. 202

Figura 83. **Conversión estrella-delta 2**



Fuente: FRAILE MORA, Jesús. *Circuitos Eléctricos*. p. 202

$$i_2 = i_C - i_B = \frac{v_{bc}}{R_C} - \frac{v_{ab}}{R_B} \quad \text{Ec. 136}$$

$$i_3 = i_A - i_C = \frac{v_{ac}}{R_A} - \frac{v_{bc}}{R_C} \quad \text{Ec. 137}$$

Para la red Estrella:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad \text{Ec. 138}$$

Ahora se tienen 4 ecuaciones y 6 incógnitas, por lo que se determinarán tres ecuaciones más.

$$v_{ab} = R_1 i_1 - R_2 i_2 \quad \text{Ec. 139}$$

$$v_{bc} = R_2 i_2 - R_3 i_3 \quad \text{Ec. 140}$$

$$v_{ca} = R_3 i_3 - R_1 i_1 \quad \text{Ec. 141}$$

Al despejar i_1 de la ec. 139 y al despejar i_3 de la ecuación 140 y sustituirlas en la ecuación 138, se tiene que:

$$i_2 = \frac{v_{bc}R_1}{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2} - \frac{v_{ab}R_3}{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2} \quad \text{Ec. 142}$$

Al comparar la ecuación 142 con la ecuación 136 se puede establecer que:

$$R_C = \frac{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2}{R_1} \quad \text{Ec. 143}$$

$$R_B = \frac{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2}{R_3} \quad \text{Ec. 144}$$

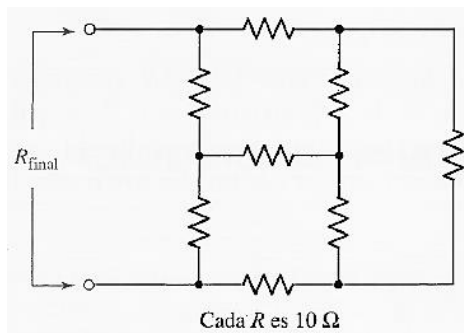
Y de una manera similar se puede determinar R_A .

$$R_A = \frac{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2}{R_2} \quad \text{Ec. 145}$$

3.12.3. Problema 1

Utilizar la técnica de conversión Y- Δ para determinar la resistencia equivalente de Thevenin del circuito de la figura 84.

Figura 84. **Circuito 1 problema 1**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 319.

Solución

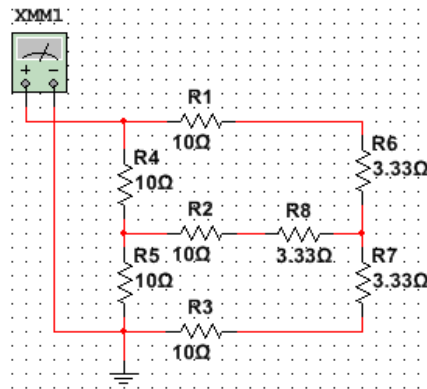
Lo primero que se debe hacer es identificar el arreglo de resistores que es necesario convertir para reducir la complejidad de la red.

Los tres resistores que se encuentran en el extremo derecho de la figura 84 son un arreglo delta, por lo que se convertirán a un arreglo estrella, como el que se muestra en la figura 85.

Utilizando las ecuaciones 132, 133 y 134

$$R_1 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} = \frac{10 * 10}{10 + 10 + 10} = 3,33\Omega$$

Figura 85. Circuito simulado problema 1



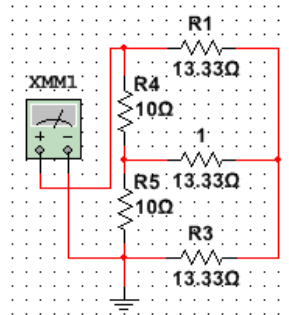
Fuente: elaboración propia

Debido a que R_A , R_B y R_C son del mismo valor R_1 , R_2 y R_3 también lo son

$$R_1 = R_2 = R_3 = 3,33\Omega$$

Al tratar de reducir el arreglo se obtiene:

Figura 86. Circuito equivalente



Fuente: elaboración propia.

Ahora es necesario volver a convertir de un arreglo delta a un arreglo estrella.

$$R_1 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} = \frac{10 * 13.33}{10 + 13.33 + 13.33} = 3,64\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} = \frac{13.33 * 13.33}{10 + 13.33 + 13.33} = 4,85\Omega$$

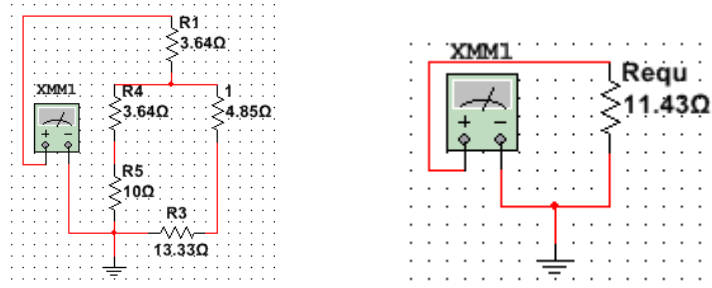
$$R_3 = \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} = \frac{10 * 13.33}{10 + 13.33 + 13.33} = 3,64\Omega$$

El arreglo resultante se muestra en la figura 87, este arreglo puede reducirse aún más utilizando las reglas básicas aprendidas.

$$R_Z = R_4 + R_5 = 13,64\Omega$$

$$R_Y = R_3 + R_7 = 18,18\Omega$$

Figura 87. Circuito equivalente final



Fuente: elaboración propia.

$$R_W = R_Y || R_Z = 7,79\Omega$$

$$R_{equ} = R_W + R_1 = 11,43\Omega$$

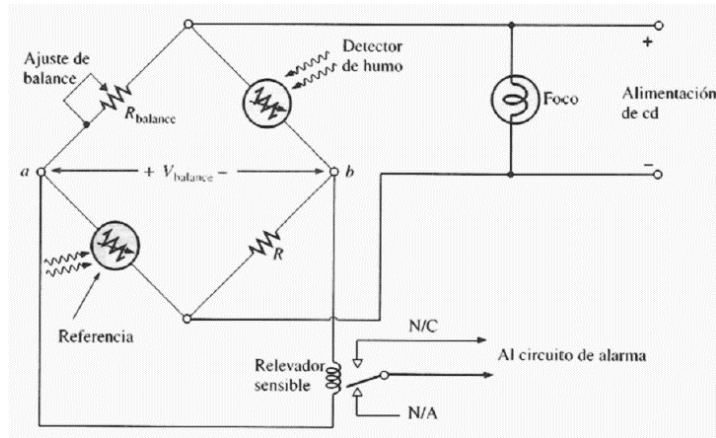
3.12.4. Aplicaciones

Se presenta a continuación una de las muchas aplicaciones que tiene este tema en el mundo real.

3.12.4.1. Detector de humo de puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone es un circuito eléctrico construido a partir de elementos pasivos, un ejemplo de este puente es el que se encuentra en la figura 88, la diferencia con el detector de humo es que el circuito para el sensor está construido no solo a base de resistores sino también de fotoresistores y un relé.

Figura 88. **Circuito detector de humo**

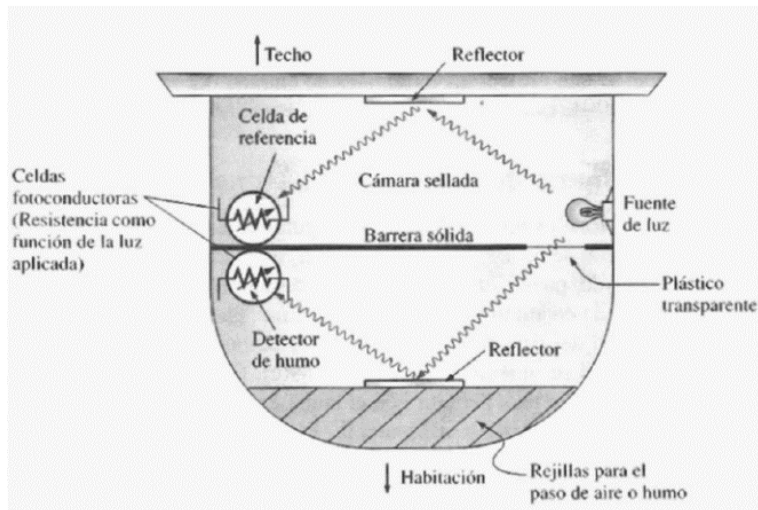


Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p 340.

El funcionamiento se muestra en la figura 89.

Como se puede observar el sensor está conformado por dos cámaras, la cámara más alta está completamente sellada y es la que contiene a la fotorresistencia con el valor de referencia, ya que esta cámara no contiene contaminación alguna.

Figura 89. **Sensor de humo**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 340

La segunda cámara es la que se encuentra en la parte inferior y esta no se encuentra sellada, esta cámara además cuenta con un fotoresistor que identifica la intensidad de luz que atraviesa la segunda cámara, cuando esta cámara es contaminada con humo la intensidad de luz baja considerablemente y se produce una diferencia de potencial en los puntos a y b.

Esta diferencia de potencial produce que un relé se enclave y active una alarma visual y sonora para que toda persona se alerte del peligro potencial.

Para analizar este arreglo es necesario aplicar los conocimientos adquiridos en la actual sección, ya que es necesario convertir de la forma delta a una forma estrella para reducir el arreglo y obtener los cálculos deseados.

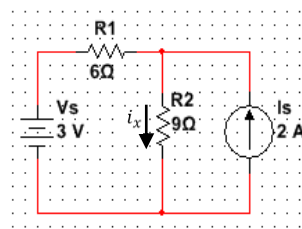
3.13. Teorema de superposición

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.13.1. Problema 1

En el circuito de la figura 90, utilizar la superposición para escribir la expresión de la corriente de rama desconocida i_x .

Figura 90. Circuito problema 1

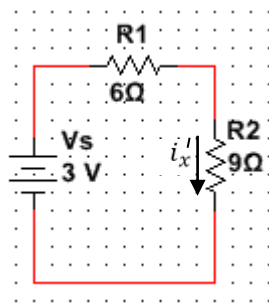


Fuente: elaboración propia.

Solución

Lo primero que se debe realizar es igualar la fuente de corriente a cero, esto implica que la fuente de corriente se sustituye por un circuito abierto por lo que el circuito resultante se muestra en la figura 91.

Figura 91. **Circuito de análisis 1**



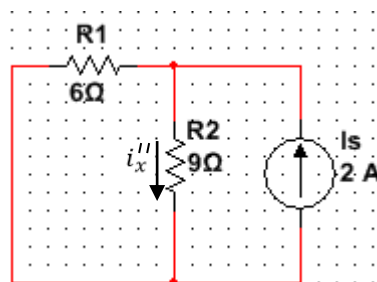
Fuente: elaboración propia.

Dado a que $R1$ y $R2$ están conectados en serie la corriente en ambos resistores es la misma.

$$i'_x = \frac{3}{6 + 9} = 0,2\text{ A}$$

Ahora se analiza el circuito con la fuente de corriente y sin la fuente de voltaje.

Figura 92. **Circuito de análisis 2**



Fuente: elaboración propia.

Se analiza por tanto el circuito mostrado en la figura 92, se aplica una regla de divisor de corriente para determina la corriente en R2.

$$i''_x = \frac{I_s R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2 * 6}{6 + 9} = 0,8A$$

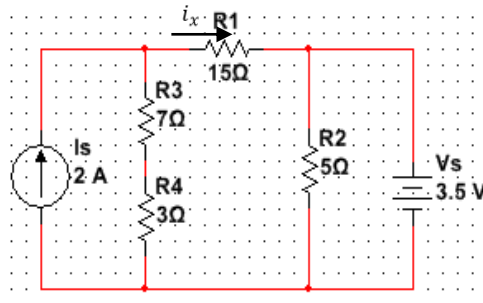
Ahora al aplicar el teorema de superposición la corriente total es:

$$i_x = i'_x + i''_x = 0,2 + 0,8 = 1A$$

3.13.2. Problema 2

Aplicar el principio de superposición en el circuito de la figura 93 para calcular la corriente ix.

Figura 93. Circuito problema 2

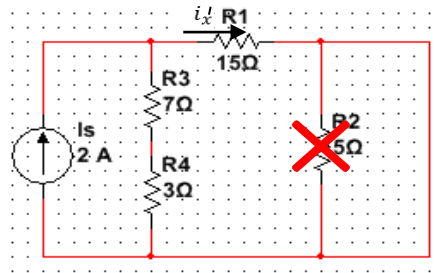


Fuente: elaboración propia.

Solución

Lo primero que se debe hacer es eliminar la fuente de voltaje y sustituirlo por un corto circuito.

Figura 94. **Circuito de análisis 1**



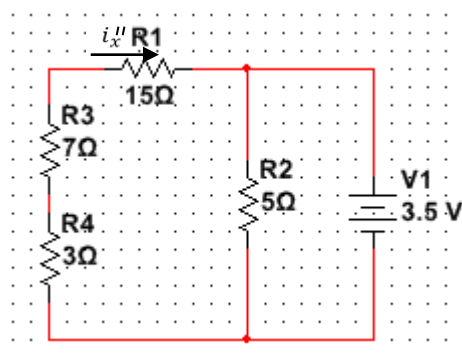
Fuente: elaboración propia.

De tal modo que el circuito queda como se muestra en la figura 94, por lo que se calcula un divisor de corriente sobre el resistor R1.

$$i'_x = \frac{2 * 10}{10 + 15} = 0,8A$$

Ahora se debe analizar el circuito con el efecto de la fuente de voltaje y sin tomar en cuenta a la fuente de corriente. Se puede observar que la dirección de la corriente mostrada en la figura 95 es inversa a la verdadera dirección.

Figura 95. **Circuito equivalente 1**

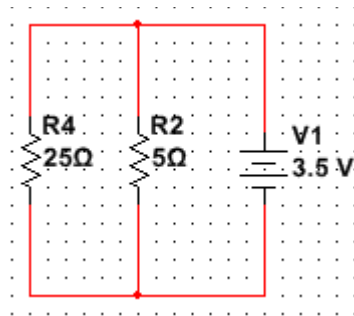


Fuente: elaboración propia

Por lo que el nuevo circuito a analizar es el mostrado en la figura 96, se inicia reduciendo los resistores R1, R3 y R4 a una sola Resistencia.

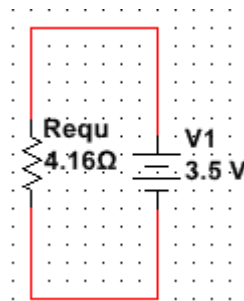
$$R_A = R1 + R3 + R4 = 25\Omega$$

Figura 96. **Circuito equivalente 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 97. **Circuito equivalente final**



Fuente: elaboración propia.

Y reducir a una sola resistencia equivalente.

$$R_{equ} = \frac{25 * 5}{25 + 5} = \frac{25}{6}\Omega$$

Ahora se calcula la corriente total del arreglo utilizando la ley de ohm.

$$I = \frac{3.5}{\frac{25}{6}} = \frac{21}{25} A = 0,84A$$

Y debido a que R1, R3 y R4 están conectados en serie basta con calcular la corriente en R_A para determina la corriente i_x'' .

$$i_x'' = \frac{0,84 * 5}{5 + 25} = 0,14A$$

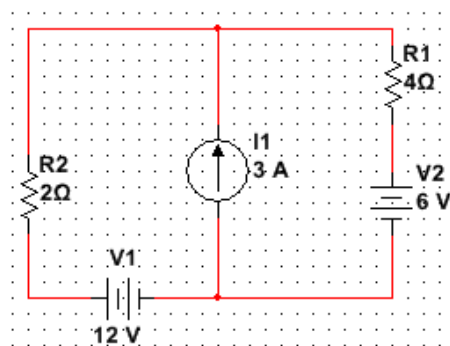
Al aplicar el teorema de superposición se tiene que:

$$i_x = -i_x'' + i_x' = -0,14 + 0,8 = 0,66A$$

3.13.3. Problema 3

Encontrar la corriente a través del resistor de 2Ω de la red de la figura 98.

Figura 98. Circuito 1 problema 3

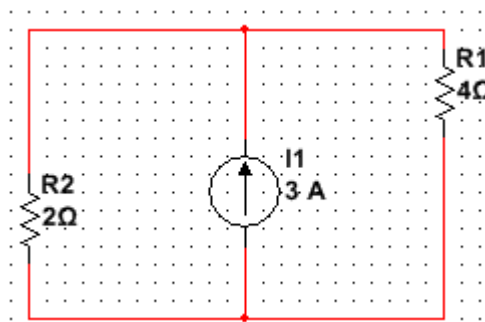


Fuente: elaboración propia.

Solución

Se inicia sustituyendo por un corto circuito todas las fuentes de voltaje y analizando el circuito únicamente con la fuente de corriente.

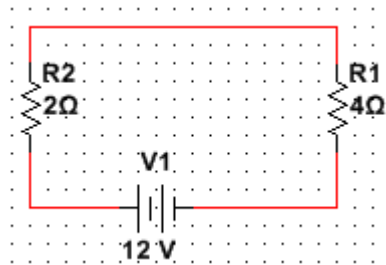
Figura 99. **Circuito equivalente 1**



Fuente: elaboración propia.

$$I'_{R2} = \frac{3 * 4}{4 + 2} = 2A$$

Figura 100. **Circuito de análisis 1**



Fuente: elaboración propia.

Ahora se analiza la red solo con la fuente V1.

$$I''_{R2} = \frac{12}{6} = 2A$$

Ahora se analiza la red solo con la fuente V2.

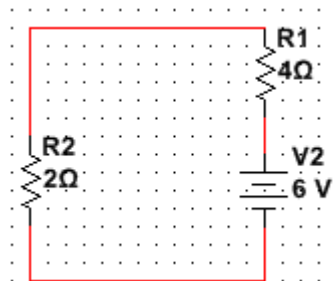
$$I'''_{R2} = \frac{6}{6} = 1A$$

Aplicando el teorema de sustitución se tiene que:

$$I_{R2} = I'_{R2} + I''_{R2} + I'''_{R2} = 2 - 2 + 1 = 1A$$

La corriente en I''_{R2} va hacia la dirección contraria en la que va I'''_{R2} y I'_{R2} .

Figura 101. **Circuito de análisis 2**



Fuente: elaboración propia.

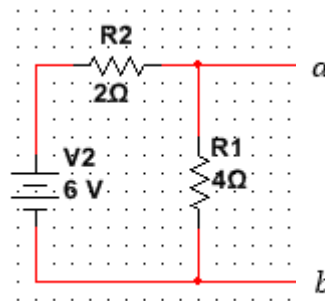
3.14. Teorema de Thevenin

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.14.1. Problema 1

Encontrar el circuito equivalente de Thevenin para la red ubicada en la figura 102, luego encontrar la corriente a través de $R_1=2\Omega$.

Figura 102. **Circuito 1 problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Solución

La fuente de voltaje se sustituye por un corto circuito para determinar la resistencia equivalente en las terminales a y b.

$$R_{Th} = \frac{2 * 4}{2 + 4} = 1,333\Omega$$

Como se puede observar se determina la resistencia vista por la resistencia de carga y no la resistencia vista por la fuente.

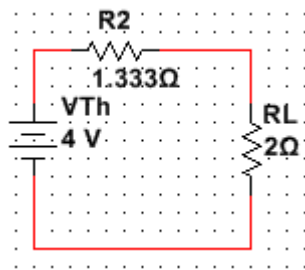
Ahora se determinará el voltaje equivalente de Thevenin justo en las terminales a y b.

Como se puede observar en la figura 102 el voltaje en las terminales a y b es el voltaje en la resistencia de 4Ω , por lo que calcula el voltaje a través de un divisor de voltaje.

$$v_{Th} = \frac{6 * 4}{2 + 4} = 4 \text{ volts}$$

Por lo que el circuito equivalente de Thevenin resulta como se muestra en la figura 103.

Figura 103. **Circuito equivalente**



Fuente: elaboración propia.

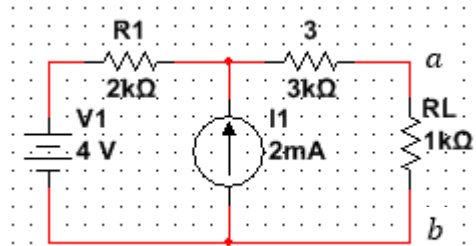
Ahora para encontrar la corriente en R_L se calcula con la ley de ohm.

$$I = \frac{4}{3.333} = 1,2A$$

3.14.2. Problema 2

Encontrar el circuito equivalente de Thevenin de la red que se muestra en la figura 104.

Figura 104. **Circuito 1 problema 2**



Fuente: elaboración propia.

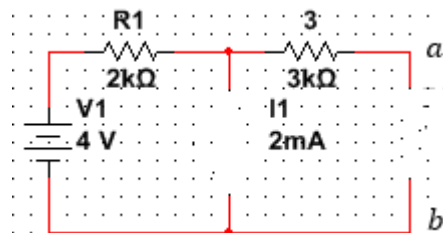
Solución

Se necesita encontrar la R_{th} vista por la R_L , para esto es necesario sustituir la fuente de voltaje por un corto circuito y la fuente de corriente por un circuito abierto.

$$R_{Th} = 2K + 3K = 5K\Omega$$

Ahora se necesita determinar el efecto de la fuente de voltaje sobre las terminales a y b.

Figura 105. **Circuito de análisis 1**



Fuente: elaboración propia.

Por lo que el V_{th} en las terminales a y b es de 4V.

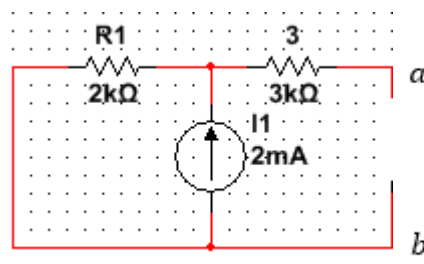
$$v_{Th}' = 4V$$

Ahora se necesita determinar el efecto de la fuente de corriente sobre las terminales a y b.

Como se puede observar la corriente de la fuente I1 solo atraviesa a la resistencia R1 ya que las terminales a y b se encuentran abiertas, por lo que el voltaje aplicado en las terminales a y b es:

$$v_{Th}'' = 2mA * 2k\Omega = 4v$$

Figura 106. **Circuito de análisis 2**



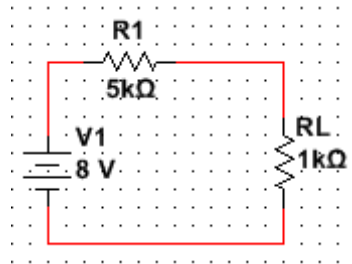
Fuente: elaboración propia.

Ahora al aplicar el teorema de superposición se tiene que

$$v_{Th} = v_{Th}' + v_{Th}'' = 4v + 4v = 8v$$

Y el circuito equivalente de Thevenin queda como se muestra en la figura 107.

Figura 107. **Circuito equivalente final**

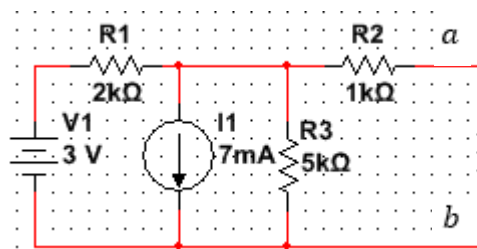


Fuente: elaboración propia.

3.14.3. Problema 3

Determinar el equivalente de Thevenin para la figura 108.

Figura 108. **Circuito 1 problema 3**



Fuente: elaboración propia.

Solución

Es necesario determinar la R_{th} vista desde las terminales a y b. se sustituye la fuente de voltaje por un corto circuito y la fuente de corriente por un circuito abierto.

$$R_{Th} = 1.43K + 1K = 2.43K$$

Ahora, se analiza el efecto de la fuente de voltaje sobre las terminales a y b, para esto se debe eliminar la fuente de corriente y sustituirla por un circuito abierto.

$$v'_{Th} = \frac{vR_3}{R_3 + R_1} = \frac{3 * 5K}{5K + 2K} = 2,14v$$

A continuación, se analiza el efecto de la fuente de corriente sobre las terminales a y b, para esto se debe eliminar la fuente de voltaje y sustituirla por un corto circuito.

$$v''_{Th} = -I_1(R_1 || R_3) = -7mA * 1.43K\Omega = -10v$$

Al aplicar el teorema de superposición V_{th} queda de la siguiente forma:

$$v_{Th} = v'_{Th} + v''_{Th} = 2.14 - 10 = -7,86v$$

3.15. Teorema de Norton

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.15.1. Problema 1

Encontrar el circuito equivalente de Norton para la red ubicada en la figura 102, luego encontrar la corriente a través de $R_I=2\Omega$.

Solución

Primero se debe convertir la fuente de voltaje a una fuente de corriente.

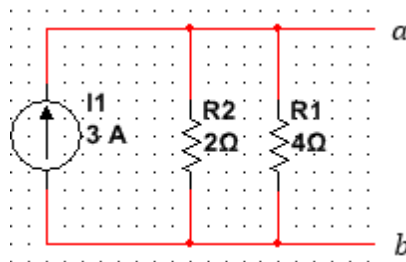
$$I = \frac{6}{2} = 3A$$

Y luego la red resultante se muestra en la figura 109.

Ahora es necesario calcular la R_N vista desde las terminales a y b.

$$R_N = \frac{2 * 4}{2 + 4} = 1.333\Omega$$

Figura 109. **Conversión de fuentes**



Fuente: elaboración propia.

Para calcular la I_N es necesario cortocircuitar las terminales a y b y determinar la corriente que circula por ese ramal, dado a que solo existe una fuente de corriente se tiene que:

$$I_N = I = 3A$$

Si se compara la R_{th} de la sección 2.9.1 con la R_N de esta sección, se puede afirmar que el valor resistivo es el mismo y que al multiplicar la I_N por R_N da como resultado el V_{th} .

$$v_{Th} = I_N * R_N$$

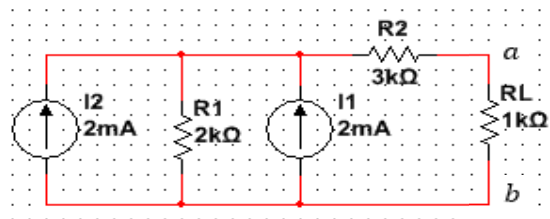
3.15.2. Problema 2

Encontrar el circuito equivalente de Norton de la red que se muestra en la figura 110.

Solución

Lo primero que se debe realizar es la conversión de la fuente de voltaje a una fuente de corriente, quedando como se muestra en la figura 110.

Figura 110. **Circuito 1, problema 2**



Fuente: elaboración propia.

Lo más fácil es sumar las fuentes de corriente y obtener solo una fuente.

$$I_T = 2mA + 2mA = 4mA$$

Determinar la R_N vista desde las terminales a y b, para esto se debe poner a cero todas las fuentes de corriente y calcular R_N .

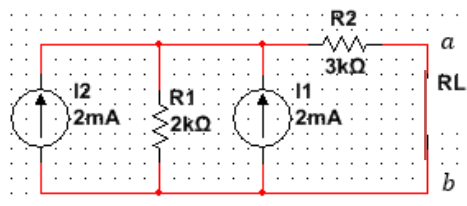
$$R_N = 2K + 3K = 5K\Omega$$

Devolver todas las fuentes como se muestra en la figura 111 y a demás cortocircuitar la RL para determinar la corriente que fluye en ese ramal.

Y la corriente de Norton se puede calcular aplicando un divisor de corriente sobre la R2.

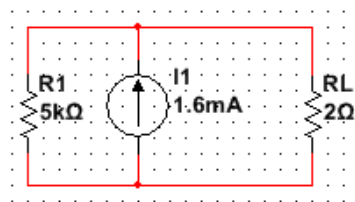
$$I_N = \frac{4mA * 2K\Omega}{5K\Omega} = 1,6mA$$

Figura 111. **Circuito equivalente 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 112. **Circuito equivalente 2**

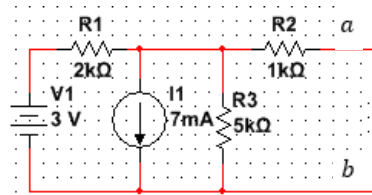


Fuente: elaboración propia.

3.15.3. Problema 3

Determinar el equivalente de Thevenin para la figura 113.

Figura 113. Circuito 1 problema 3



Fuente: elaboración propia.

Solución

Primero se determina R_N , igualando todas las fuentes a cero.

$$R_N = 1K + 2K || 5K = 2,43K\Omega$$

Luego, se debe volver todas las fuentes a sus valores originales. Luego se convierte la fuente de voltaje a una fuente de corriente.

$$I_2 = \frac{3}{2K} = 1,5mA$$

Ahora es posible sumar las fuentes de corriente y determinar una resistencia equivalente para R1 y R3.

$$I_T = I_1 + I_2 = -5,5mA$$

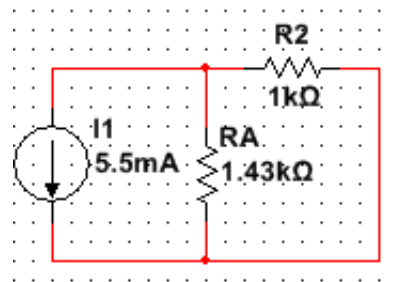
$$R_A = \frac{2K * 5K}{7K} = 1,43K\Omega$$

Ahora es necesario cortocircuitar las terminales a y b para determinar la corriente que fluye en ese ramal.

$$I_N = \frac{-5,5mA * 1,43K\Omega}{2,43K\Omega} = -3,24mA$$

Los resultados de esta sección pueden compararse con los resultados de la sección 3.9.3 y confirmarse que son equivalentes.

Figura 114. **Circuito equivalente 1**



Fuente: elaboración propia.

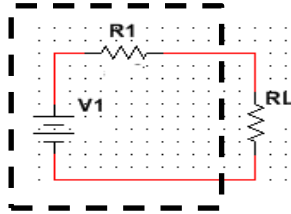
3.16. Teorema de la máxima transferencia de potencia

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.16.1. Demostración del teorema de máxima transferencia de potencia

Teniendo un circuito equivalente de Thevenin, como el mostrado en la figura 115, se calcula la potencia que existe sobre la RL.

Figura 115. **Circuito 1, demostración máxima trans. pot.**



Fuente: elaboración propia.

$$P_{RL} = \frac{v_1^2 R_L}{(R_L + R_1)^2} \quad \text{Ec. 44}$$

Para calcular en que momento una función tiene un máximo es necesario derivar la ecuación 44 e igualarla a cero.

$$\frac{dP_{RL}}{dR_L} = \frac{v_1^2 (R_1 - R_L)}{(R_L + R_1)^3} = 0 \quad \text{Ec. 45}$$

Al realizar un manipuleo algebraico de la ecuación 45 se obtiene que:

$$R_L = R_1$$

Donde R_1 es la resistencia de Thevenin y R_L es la resistencia de carga.

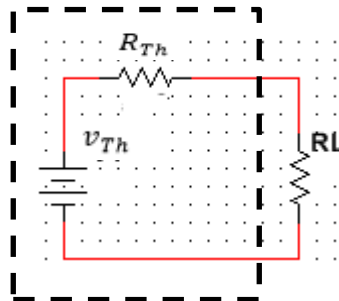
3.16.2. Problema 1

Obtener una expresión para la potencia máxima sobre un resistor de carga en términos de la resistencia equivalente de Thevenin.

Solución

La potencia máxima se obtiene cuando la resistencia de carga (R_L) es igual en magnitud a la resistencia equivalente de Thevenin (R_{Th}), por lo que se afirma que la ecuación 46 es válida en este circuito.

Figura 116. **Circuito 1 problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Se pretende ahora calcular la potencia disipada por el resistor R_L mostrado en la figura 116, pero antes se definen algunas características del circuito mostrado.

$$I_T = I_{Th} = I_{R_L}$$

$$v_{R_L} = \frac{v_{Th} R_L}{R_L + R_{Th}}$$

$$I_{Th} = \frac{v_{Th}}{R_L + R_{Th}}$$

$$P_{R_L} = I_T * v_{R_L} = \frac{v_{Th}^2 R_L}{(R_L + R_{Th})^2}$$

Al asumir que la ecuación 46 es válida la potencia en R_L es:

$$P_{R_L} = \frac{v_{Th}^2}{4R_{Th}}$$

3.16.3. Problema 2

Obtener una expresión para la potencia máxima sobre un resistor de carga en términos de la resistencia equivalente de Norton.

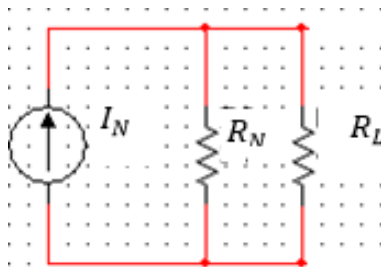
Solución

La potencia máxima se obtiene cuando la resistencia de carga (R_L) es igual en magnitud a la resistencia equivalente de Norton (R_N), por lo que se afirma que la ecuación 52 es válida en este circuito.

$$R_L = R_N$$

Ahora es necesario calcular la potencia disipada en la resistencia de carga (R_L) mostrada en la figura 117, pero antes es necesario definir algunas características de este circuito.

Figura 117. **Circuito 1 problema 2**



Fuente: elaboración propia.

$$v_{R_L} = I_N * R_T = \frac{I_N R_L R_N}{R_L + R_N}$$

$$v_{R_L} = v_N = v_T$$

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

$$P_{R_L} = I_{R_L} * v_T = \frac{I_N^2 R_L R_N^2}{(R_L + R_N)^2}$$

Al asumir que la ecuación 52 es válida la potencia en RI es:

$$P_{R_L} = \frac{I_N^2 R_N}{4}$$

Como se puede observar la ecuación anterior es una equivalencia de la ecuación 51.

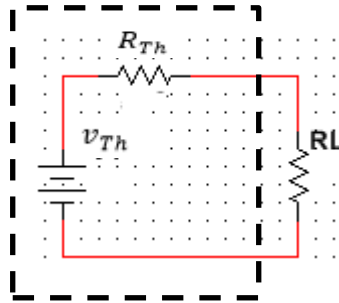
3.16.4. Problema 3

Asuma que en el circuito mostrado en la figura 118 la $R_{th}=9\Omega$, $V_{th}=60v$ y RI es variable desde cero hasta 18 Ohms. Grafique el comportamiento de la potencia en la resistencia de carga.

Solución

Primero hay que determinar la expresión que servirá para calcular la potencia disipada por la resistencia de carga, esta expresión está dada por la ecuación 50.

Figura 118. **Circuito 1 problema 3**

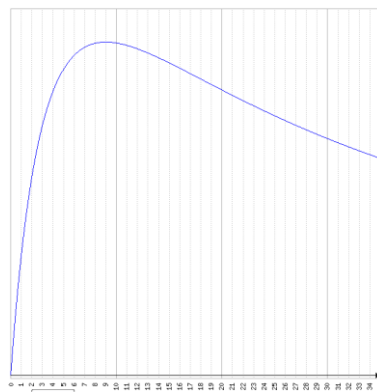


Fuente: elaboración propia.

$$P_{R_L} = \frac{60^2 R_L}{(R_L + 9)^2}$$

Como se puede observar en la figura 119 se alcanza un pico en la potencia justo cuando R_L es iguala R_{th} , para calcular el valor exacto de la potencia se utiliza la ecuación 51.

Figura 119. **Rth vrs R_L**



Fuente: elaboración propia.

$$P_{R_L} = \frac{v_{Th}^2}{4R_{Th}} = \frac{60^2}{4 * 9} = 100W$$

3.16.5. Laboratorio 1

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.16.5.1. Objetivo general

Verificar que el teorema de máxima transferencia de potencia es válido.

3.16.5.2. Objetivos específicos

Comprobar que se transfiere una máxima potencia cuando $R_L = R_{th}$.

3.16.5.3. Generalidades

La máxima transferencia de potencia es un teorema poco estudiado en los cursos de pregrado, pero muy utilizado en la generación de energía y análisis de audio, es primordial que el futuro profesional entienda que es muy importante en cualquier aplicación transferir la máxima potencia a la carga, de tal modo que se aproveche de forma efectiva la energía proporcionada por la fuente.

Instrucciones

- Armar el circuito mostrado en la figura 118 con $R_{th}=50\Omega$, $V_{th}=12$ y utilizar un potenciómetro de 100Ω como resistencia de carga.

- Utilizar componentes que soporten la corriente máxima que fluirá en la red, esto para no quemar ningún componente.
- Modificar al menos 20 veces la magnitud resistiva del potenciómetro y por cada modificación se deberá tomar una medición de voltaje y corriente sobre la RI.
- Construir una tabla donde se pueda tomar nota de las mediciones hechas de corriente, voltaje, potencia y resistencia sobre RI.
- Graficar los datos obtenidos para la potencia y determinar en qué momento se alcanza la potencia máxima sobre RI.
- Responder y concluir: ¿En qué momento sucede la máxima potencia sobre RI?, Cuando hay una máxima transferencia de potencia ¿La medición de corriente sobre RI es un valor máximo, un valor mínimo o un valor medio?, ¿La medición de voltaje sobre RI es un valor máximo, un valor mínimo o un valor medio?

Tabla VI. **Máxima transferencia de potencia**

Resistencia	Voltaje	Corriente	Potencia (v*i)

Fuente: elaboración propia.

3.16.6. Aplicaciones

Las consolas de audio son dispositivos muy utilizados en la industria de la música y eventos de pequeña y gran magnitud, lo que muy pocos saben es que estas consolas de audio utilizan filtros pasivos o activos de audio.

El teorema de máxima transferencia de potencia es indispensable para los filtros de audio ya sean pasivos o activos.

Un filtro de audio atenúa una señal cuando la caída de tensión en la RI es menor al 70% del voltaje de entrada y se dice que no atenúa una señal cuando la caída de tensión en la RI es igual o mayor que el 70% del voltaje de entrada.

Justo al 70% del voltaje de entrada se dice que el filtro ha encontrado su nivel de corte y es en este momento cuando se realiza la máxima transferencia de potencia hacia RI.

Cabe mencionar que la respuesta en voltaje de los filtros de audio depende de la frecuencia de oscilación que tenga la fuente que proporciona la energía, y aunque esta es una aplicación para fuente en AC el teorema de máxima transferencia de potencia sigue siendo válido en todo su esplendor.

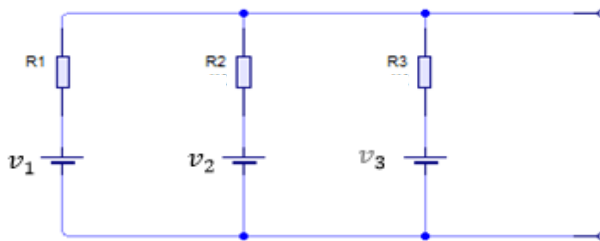
3.17. Teorema de Millman

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.17.1. Demostración del teorema de Millman utilizando el teorema de superposición y teorema de Thevenin

El teorema de Millman establece que cualquier número de fuentes de voltaje puestas en paralelo puede ser reducido por una sola fuente.

Figura 120. Circuito 1, teorema de Millman



Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la figura 120 es necesario reducir todas las resistencias a una sola y todas las fuentes a una sola. Se aplicará el teorema de superposición en este circuito y se determinará la resistencia equivalente vista desde las terminales.

Para determinar la resistencia equivalente vista desde las terminales es necesario igual a cero las fuentes de voltaje y esto implica sustituirlas por un corto circuito. Al momento de cortocircuitar las fuentes de voltaje todas las resistencias quedan en paralelo por lo que:

$$R_{Th} = \left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right)^{-1}$$

Para determinar el valor de la única fuente de voltaje equivalente es necesario analizar el efecto de cada una de las fuentes sobre toda la red, por lo que la primera fuente a analizar es la v_1 y $v_2=v_3=0$.

$$v'_{eq} = \frac{v_1(R_2||R_3)}{R_1 + R_2||R_3} = \frac{v_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Ahora se analizará la segunda fuente de voltaje.

$$v''_{eq} = \frac{v_2(R_1||R_3)}{R_2 + R_1||R_3} = \frac{v_2 R_1 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Y por último la tercera fuente de voltaje.

$$v'''_{eq} = \frac{v_3(R_1||R_2)}{R_3 + R_1||R_2} = \frac{v_3 R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Al utilizar el teorema de superposición se obtiene que:

$$v_{Th} = v'_{eq} + v''_{eq} + v'''_{eq}$$

$$v_{Th} = \frac{v_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} + \frac{v_2 R_1 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} + \frac{v_3 R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$v_{Th} = \frac{(v_1 R_2 R_3 + v_2 R_1 R_3 + v_3 R_1 R_2)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right) \left(\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \right)$$

$$v_{Th} = \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right) R_{Eq}$$

Asumiendo que desea analizar un arreglo con dos fuentes de voltaje, utilizando un análisis parecido al anterior, el voltaje equivalente quedaría como se muestra a continuación:

$$v_{Th} = \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right) R_{Eq}$$

Al analizar un arreglo con 4 fuentes:

$$v_{Th} = \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} + \frac{v_4}{R_4} \right) R_{Eq}$$

Al analizar un arreglo con 5 fuentes:

$$v_{Th} = \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} + \frac{v_4}{R_4} + \frac{v_5}{R_5} \right) R_{Eq}$$

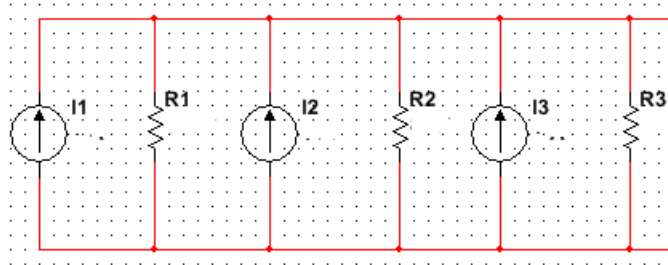
Esto implica que para n fuentes el valor de la fuente equivalente capaz de satisfacer el Teorema de Millman quedaría así:

$$v_{Th} = \left(\sum_{n=1}^N \frac{V_n}{R_n} \right) R_{Eq}$$

3.17.2. Demostración teorema de Millman con el teorema de Norton

Al analizar el circuito de la figura 120 es obvio que las fuentes predominantes son las fuentes de voltaje y para realizar el análisis con el Teorema de Norton lo ideal es convertir las fuentes de voltaje a fuentes de corriente, por lo que el nuevo circuito se muestra en la figura 121.

Figura 121. **Circuito 2, teorema de Millman**



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Donde } I_1 = \frac{v_1}{R_1}, I_2 = \frac{v_2}{R_2} \text{ e } I_3 = \frac{v_3}{R_3}$$

Se debe iniciar calculando la resistencia equivalente del sistema visto desde las terminales, para esto se deben igualar las fuentes de corriente a cero.

$$R_N = \left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right)^{-1}$$

Ahora se debe cortocircuitar las terminales y analizar el efecto que produce cada fuente por separado.

$$I_N' = I_1$$

$$I_N'' = I_2$$

$$I_N''' = I_3$$

$$I_N = I_N' + I_N'' + I_N''' = I_1 + I_2 + I_3$$

En la ecuación anterior se puede apreciar que la corriente total es igual a la suma de la n-ésima fuente de corriente, por lo que:

$$\sum_{n=1}^N I_n = \sum_{n=1}^N \frac{v_n}{R_n}$$

Y al aplicar la ley de ohm.

$$v_{eq} = I * R = \left(\sum_{n=1}^N \frac{v_n}{R_n} \right) * R_N$$

3.17.3. Laboratorio 1

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.17.3.1. Objetivo general

Comprobar la validez del Teorema de Millman.

3.17.3.2. Objetivos específicos

Comparar los resultados obtenidos con métodos teóricos y prácticos.

3.17.3.3. Generalidades

El teorema de Millman es un teorema utilizado comúnmente en el análisis de redes y reducción de circuitos, también es muy usual que este método solo se estudie teóricamente y nunca se compruebe si realmente se cumple en un circuito real.

Instrucciones

- Armar el circuito que se muestra en la figura 120, seleccionar cualquier valor de voltaje para cada fuente y cualquier valor de resistencia para R1, R2 y R3.
- Realizar los cálculos respectivos para determinar el valor de la resistencia equivalente y el valor de la fuente de voltaje que sustituirá al conjunto de fuentes original.
- Llenar una tabla con la información que se obtiene con los datos calculados.

Tabla VII. **Teorema de Millman**

Vth	Rth

Fuente: elaboración propia.

- Cortocircuitar las fuentes de voltaje y medir con un óhmetro la resistencia vista por las terminales, tomar nota de este valor.
- Sustituir los cortocircuitos por las respectivas fuentes de voltaje y medir el nivel de tensión que existe en las terminales del circuito mostrado en la figura 120. Anotar este valor.
- Comparar los resultados teóricos con los valores obtenidos con las mediciones.
- Responder y Concluir: ¿El valor de Rth teórico concuerda con la medición hecha en el circuito real?, ¿El valor de Vth teórico concuerda con la medición hecha en el circuito real?, ¿Existe una relación entre los análisis teóricos y prácticos?

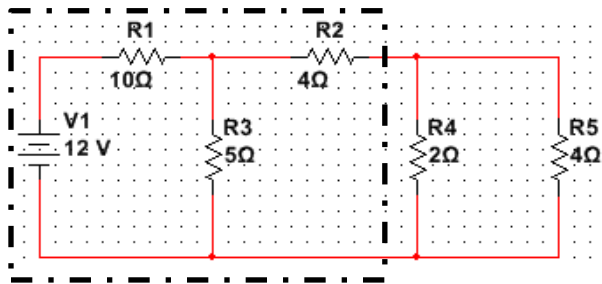
3.18. Teorema de sustitución

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.18.1. Problema 1

Demostrar que toda la red que está rodeada por una línea punteada en la figura 122 puede ser sustituida por una sola fuente de corriente.

Figura 122. Circuito 1 problema 1



Fuente: elaboración propia.

Se inicia reduciendo los resistores R4 y R5.

$$R_a = 1,333\Omega$$

Se reduce R_a con R2.

$$R_b = 5,333\Omega$$

Se reduce R_b con R3.

$$R_c = 2,58\Omega$$

Se reduce R1 y R_c

$$R_T = 12,58\Omega$$

Se calcula la corriente total

$$I_T = 0,95A$$

O bien, se calcula de una vez la caída de tensión en el resistor Rc por medio de un divisor de tensión.

$$v_{Rc} = 2.46V = v_{R3} = v_{Rb}$$

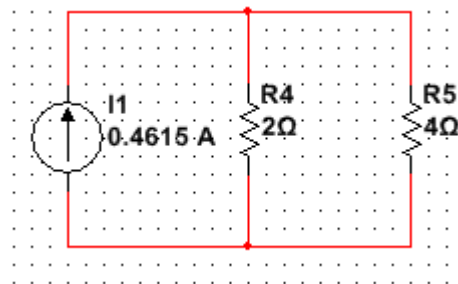
Ahora se calcula la corriente que atraviesa al resistor Rb.

$$I_{Rb} = \frac{v_{Rb}}{R_b} = 0,4615A$$

$$I_{Rb} = I_{RA} = I_{R2}$$

Debido a la ecuación anterior es posible sustituir todo el circuito encerrado por la línea punteada por una fuente de corriente de 0,4615 A y el efecto sobre los resistores R4 y R5 será el mismo.

Figura 123. **Circuito equivalente**



Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior se puede apreciar la sustitución y comprobar que en efecto es posible realizarla sin problema.

3.18.2. Laboratorio

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.18.2.1. Objetivo general

Comprobar que el teorema de sustitución es válido en circuitos reales.

3.18.2.2. Objetivos específicos

Comparar los resultados obtenidos con cálculos y sustituciones en un circuito real.

3.18.2.3. Generalidades

El teorema de Sustitución es un teorema utilizado comúnmente en el análisis de redes y reducción de circuitos, también es muy usual que este método solo se estudie teóricamente y nunca se compruebe si realmente se cumple en un circuito real.

Instrucciones

- Analizar matemáticamente el circuito mostrado en la figura 122 y determinar la tensión aplicada sobre R2, R4 y R5.

- Sustituir el conjunto V1, R1 y R3 por una sola fuente de voltaje, el valor debe ser igual al obtenido en los cálculos del paso anterior.
- Armar el circuito con la nueva fuente de voltaje.
- Medir caídas de tensión y corrientes sobre los resistores R2, R4 y R5 y comparar con los resultados obtenidos en el paso 1.
- Responder y Concluir.

3.19. Teorema de reciprocidad

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.19.1. Problema 1

Demuestre que la corriente I en los dos circuitos mostrados en la figura 124 son exactamente iguales.

Solución

Primero se analizará el primero de los dos circuitos mostrados en la imagen anterior.

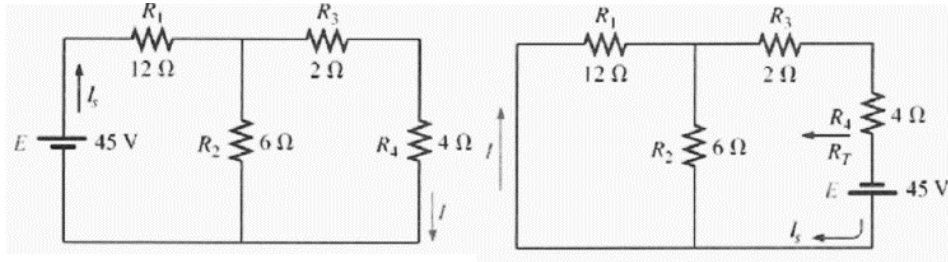
$$R_T = R_1 + R_2 || (R_3 + R_4) = 12 + \frac{6 * 6}{6 + 6} = 15\Omega$$

La corriente total es:

$$I_s = \frac{45V}{15\Omega} = 3A$$

$$I_{R1} = I_s = 3A$$

Figura 124. Teorema de reciprocidad



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 354

La corriente que atraviesa a R_1 se divide en la corriente que atraviesa a R_2 y a la suma de R_3 y R_4 , por lo que:

$$I_{R4} = \frac{I_s R_2}{R_2 + (R_3 + R_4)} = \frac{3 * 6}{12} = 1,5A$$

Ahora se analiza el segundo circuito.

$$R_T = R_4 + R_3 + R_2 || R_1 = 4 + 2 + \frac{6 * 12}{6 + 12} = 10\Omega$$

La corriente total es:

$$I_s = \frac{45V}{10\Omega} = 4,5A$$

$$I_{R3} = I_{R4} = I_s = 3A$$

La corriente que atraviesa a R_4 se divide en la corriente que atraviesa a R_2 y a R_1 , por lo que

$$I_{R4} = \frac{I_s R_2}{R_2 + R_1} = \frac{4,5 * 6}{12 + 6} = 1,5A$$

Por lo que se puede asegurar que el Teorema de Reciprocidad se cumple.

3.19.2. Laboratorio

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.19.2.1. Objetivo general

Comprobar la validez del Teorema de Reciprocidad.

3.19.2.2. Objetivos específicos

Comprobar que en efecto al intercambiar recíprocamente la fuente de voltaje con una corriente cualquiera los resultados son iguales.

3.19.2.3. Generalidades

El teorema de Reciprocidad no es un teorema para la simplificación de circuitos y solo es aplicable a redes de una sola fuente.

Instrucciones

- Encontrar matemáticamente la corriente I en los dos circuitos mostrados en la figura 124 cuando la fuente de voltaje es de 9 volts. Y las resistencias están multiplicados por un factor de 10.

- Armar el primer circuito mostrado en la figura 124 (con los valores dados en el paso anterior) y medir la corriente I con un amperímetro.
- Armar el segundo circuito mostrado en la figura 124 (con los valores dados en el paso 1) y medir la corriente I con un amperímetro.
- Comparar los resultados obtenidos.
- Responder y Concluir: ¿Son las dos corrientes de igual valor?, ¿Qué pasaría si la fuente de voltaje fuera puesta en otro lugar? ¿Las corrientes serían iguales?, Si no concuerdan los resultados explique ¿por qué?

3.20. Teorema de Tellegen

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.20.1. Problema 1

Calcular la potencia total generada por la fuente de voltaje y sumar las potencias individuales de cada resistor mostrado en la figura 125.

Solución

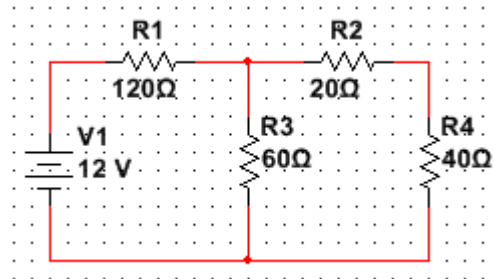
Lo primero es calcular la resistencia total equivalente del circuito.

$$R_T = R1 + R3 || (R2 + R4) = 150\Omega$$

Ahora se puede calcular la potencia total otorgada por la fuente.

$$P_T = \frac{V1^2}{R_T} = 0.96W$$

Figura 125. Circuito 1, teorema de Tellegen



Fuente: elaboración propia.

Luego se calcularán las potencias individuales consumidas por cada resistor.

$$v_{R1} = \frac{v_1 R1}{R1 + R3 || (R2 + R4)} = \frac{12 * 120}{150} = 9,60V$$

$$v_{R3 || (R2+R4)} = \frac{v_1 R3 || (R2 + R4)}{R1 + R3 || (R2 + R4)} = \frac{12 * 30}{150} = 2,4V$$

$$v_{R3 || (R2+R4)} = v_{R3} = v_{(R2+R4)}$$

$$v_{R2} = \frac{v_{(R2+R4)} R2}{(R2 + R4)} = \frac{2,4 * 20}{20 + 40} = 0,8V$$

$$v_{R4} = \frac{v_{(R2+R4)} R4}{(R2 + R4)} = \frac{2,4 * 40}{20 + 40} = 1,6V$$

Ahora que se conocen las caídas de tensión de cada uno de los resistores se procede a calcular las potencias individuales.

$$P_{R1} = \frac{v_{R1}^2}{R_1} = \frac{9,60^2}{120} = 0,768W$$

$$P_{R2} = \frac{v_{R2}^2}{R_2} = \frac{0,8^2}{20} = 0,032W$$

$$P_{R3} = \frac{v_{R3}^2}{R_3} = \frac{2,40^2}{60} = 0,096W$$

$$P_{R4} = \frac{v_{R4}^2}{R_4} = \frac{1,6^2}{40} = 0,064W$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} + P_{R4}$$

$$P_T = 0,768 + 0,032 + 0,096 + 0,064 = 0,96W$$

Como se puede observar la sumatoria de las potencias individuales consumida por cada resistor es igual a la potencia total suministrada por la fuente de voltaje, por lo que:

$$P_T = \sum_{n=1}^N V_n i_n$$

3.20.2. Laboratorio

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.20.2.1. Objetivo general

Comprobar la validez del teorema de Tellegen.

3.20.2.2. Objetivos específicos

Comprobar que la suma de potencias individuales es igual a la potencia total entregada por la fuente.

3.20.2.3. Generalidades

El teorema de Tellegen es un teorema que es válido siempre y cuando se cumplan las leyes de voltaje y corriente de Kirchhoff, es decir, es una consecuencia de las Leyes de Kirchhoff que debe ser cumplida.

Instrucciones

- Armar el circuito mostrado por la figura 125.
- Realizar todas las mediciones de corriente y voltaje, anotar los resultados en una tabla.
- Calcular la potencia individual de cada resistor y anotarla en una tabla
- Medir la resistencia de cada resistor.
- Sumar algebraicamente las potencias calculadas con los valores experimentales tomados con el amperímetro y el voltímetro.
- Comparar los resultados obtenidos con los resultados obtenidos con la sección 3.15.1.
- Responder y Concluir: ¿La potencia total entregada por la fuente es igual a la suma de las potencias individuales consumidas por todos los dispositivos de la red?, ¿Qué condiciones se deben cumplir para que el

teorema de Tellegen sea aplicable?, ¿El teorema de la conservación de la carga tiene algún efecto sobre el teorema de Tellegen?

Tabla VIII. Teorema de Tellegen

Dispositivo	Resistencia	Voltaje	Corriente	Potencia
R1				
R2				
R3				
R4				
Fuente de voltaje				

Fuente: elaboración propia.

3.21. Transitorios en redes capacitivas, fase de carga

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

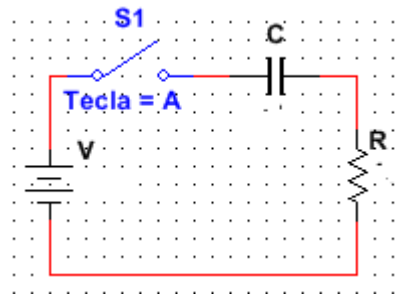
3.21.1. Ecuación de carga del capacitor en función del tiempo

Asumiendo que el capacitor C mostrado en la figura 126 inicialmente se encuentra descargado.

Cundo el interruptor S1 se cierra en el instante $T=0$ una corriente I empezará a fluir en el circuito RC.

Según la LVK la ecuación que modela el circuito mostrado en la imagen anterior es:

Figura 126. **Circuito 1, transitorios**



Fuente: elaboración propia.

$$V = IR + \frac{q}{C}$$

Donde q/C es la diferencia de potencial en un instante cualquiera en el capacitor.

En el instante en que $T=0$ el capacitor se encuentra totalmente descargado, por lo que se puede asegurar que la carga inicial del capacitor es cero ($q=0$), esto implica que:

$$V = IR \Rightarrow I = \frac{V}{R}$$

Esto implica que en el instante $T=0$, la caída de tensión en R es igual al voltaje proporcionado por la fuente de voltaje.

Al resolver la primera ecuación se tiene que:

$$V = \frac{dq}{dt}R + \frac{q}{C}$$

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC} + \frac{V}{R}$$

Después de aplicar un manipuleo algebraico.

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC} + \frac{VC}{RC}$$

Al sacar denominador común.

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q - VC}{RC}$$

Al despejar q de la ecuación.

$$\frac{dq}{q - VC} = -\frac{dt}{RC}$$

En el instante en que t es igual cero la carga q es igual a cero también, por lo que se integra.

$$\int_0^q \frac{dq}{q - VC} = \int_0^t -\frac{dt}{RC}$$

Luego de integrar y evaluar.

$$\ln\left(\frac{q - CV}{-CV}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Ahora es necesario sacar q de la expresión anterior, por lo que:

$$e^{\ln\left(\frac{q - CV}{-CV}\right)} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\frac{q - CV}{-CV} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

Y luego de un manipuleo algebraico:

$$q(t) = CV - CVe^{-\frac{t}{RC}} = CV\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

Al derivar q con respecto el tiempo se tiene que:

$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{V}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$$

3.21.2. Problema 1

Determinar el tiempo que la bobina del relé con 120 ohm estará encendida. El circuito se muestra en la figura 127.

Si se asume que el relé funciona, con al menos 5 volts, la diferencia de potencial entre la terminal positiva de la fuente de voltaje y la terminal positiva del capacitor debe ser de al menos 5 voltios.

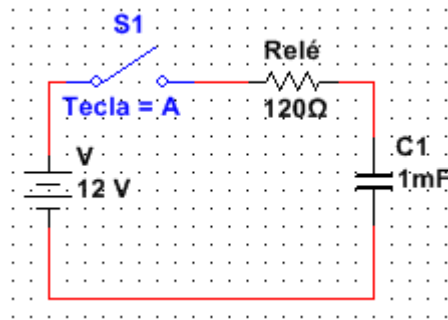
Utilizando una de las ecuaciones del problema anterior se tiene que:

$$q(t) = CV\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

Para que exista una diferencia de potencial entre la terminal positiva de la batería y la terminal positiva del capacitor el voltaje en el capacitor debe ser de 7 voltios.

$$\frac{q}{C} = 7V = 12 \left(1 - e^{-\frac{t}{120\Omega * 1000\mu f}} \right)$$

Figura 127. **Circuito 1, problema 1**



Fuente: elaboración propia.

$$\frac{7}{12} = \left(1 - e^{-\frac{t}{120\Omega * 1000\mu f}} \right)$$

$$0,5833 - 1 = -0,416667 = -e^{-\frac{t}{0,12}}$$

$$\ln(0,416667) = -\frac{t}{0,12}$$

$$t = -0,87547 * -0,12 = 0,105s$$

3.21.3. Laboratorio

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.21.3.1. Objetivo general

Utilizar el capacitor como elemento de control de tiempo.

3.21.3.2. Objetivos específicos

Utilizar la ecuación de carga del capacitor como ayuda para determinar tiempos específicos.

Calcular la capacitancia necesaria para poner en funcionamiento cualquier dispositivo óhmico.

3.21.3.3. Generalidades

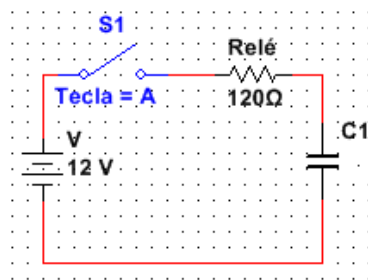
El capacitor ha sido usado desde antes de la invención del CI 555 como elemento controlador de tiempo en circuitos pasivos, en esta práctica se utilizará para mantener durante cierto tiempo activado un relé.

Instrucciones

- Analizar el circuito mostrado en la figura 128.
- Calcular el valor de la capacitancia necesaria para mantener encendido el relé de 120 ohm durante 5 segundos.
- Armar el circuito mostrado en la figura 128 utilizando el valor de capacitancia más cercano posible al valor calculado en el paso anterior.
- Medir el tiempo que el relé pasa encendido.
- Responder y Concluir: ¿el tiempo teórico calculado es igual al tiempo real medido necesario para mantener enclavado el relé?, Si no es igual explique cual o cuales fueron los motivos por lo que no se cumplió el

tiempo pronosticado. Mencione dos aplicaciones en las que se puede utilizar el análisis anterior. ¿De qué depende el tiempo de carga del capacitor?, ¿Qué elemento es el encargado de limitar la corriente que fluye por el circuito?

Figura 128. **Circuito 1, laboratorio 1**



Fuente: elaboración propia.

3.22. Transitorios en redes capacitivas, fase de descarga

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

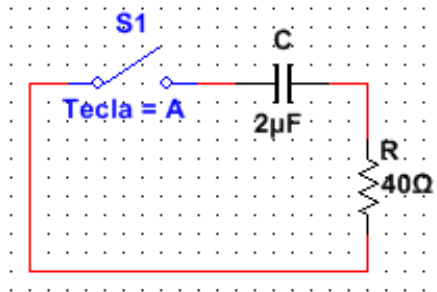
3.22.1. Ecuación de descarga del capacitor en función del tiempo

Ahora se debe asumir que el capacitor mostrado en la figura 129 está completamente cargado, incluso antes de que el *switch* S1 se cierre.

Según la Ley de Voltajes de Kirchhoff se tiene que la expresión para modelar el circuito anterior es:

$$\frac{q}{C} + IR = 0$$

Figura 129. **Circuito 1, fase de descarga**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la ecuación anterior no existe una fuente de voltaje externa por lo que el único potencial eléctrico que se encuentra al circuito es proporcionado por la carga del capacitor.

Al resolver la ecuación se tiene que:

$$\frac{q}{C} = -\frac{dq}{dt} R$$

$$\frac{dq}{q} = -\frac{dt}{RC}$$

Al integrar ambos lados sabiendo que en el instante $t=0$ la carga es máxima, $q=Q$.

$$\int_Q^q \frac{dq}{q} = \int_0^t -\frac{dt}{RC}$$

$$\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$e^{\ln\left(\frac{q}{Q}\right)} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

Luego de eliminar el logaritmo natural se tiene que:

$$q(t) = Qe^{-\frac{t}{RC}}$$

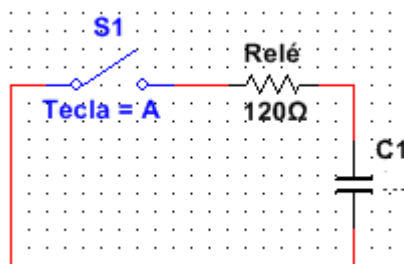
Al derivar q con respecto del tiempo se tiene que:

$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{Q}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}$$

3.22.2. Problema 1

Determinar el tiempo que la bobina del relé con 120 ohm estará encendida si el capacitor está completamente cargado con 12V y posee una capacitancia de 1mF. El circuito se muestra en la figura 130.

Figura 130. **Circuito 1, problema 1**



Fuente: elaboración propia.

Si se asume que el relé funciona con al menos 5 volts el voltaje en el capacitor debe ser de al menos 5 volts.

Utilizando la ecuación 77 se tiene que:

$$\frac{q(t)}{C} = \frac{Q}{C} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$5V = 12 \left(e^{-\frac{t}{120\Omega * 1mf}} \right)$$

$$\frac{5}{12} = \left(e^{-\frac{t}{120\Omega * 1mf}} \right)$$

$$0,416667 = -e^{-\frac{t}{0,12}}$$

$$\ln(0,416667) = -\frac{t}{0,12}$$

$$t = -0,87547 * -0,12 = 0,105s$$

3.22.3. Laboratorio

En las siguientes secciones se presentan las actividades, objetivos y conclusiones del laboratorio.

3.22.3.1. Objetivo general

Utilizar el capacitor como elemento de control de tiempo.

3.22.3.2. Objetivos específicos

Utilizar la ecuación de descarga del capacitor como ayuda para determinar tiempos específicos.

Calcular la capacitancia necesaria para poner en funcionamiento cualquier dispositivo óhmico.

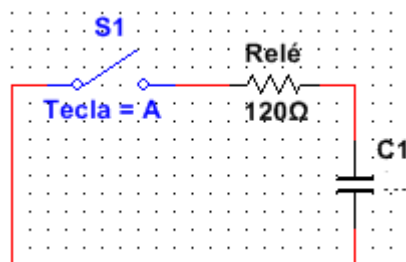
3.22.3.3. Generalidades

El capacitor ha sido usado desde antes de la invención del CI 555 como elemento controlador de tiempo en circuitos pasivos, en esta práctica se utilizará para mantener durante cierto tiempo activado un relé.

Instrucciones

- Analizar el circuito mostrado en la figura 131, si el capacitor está completamente cargado con 12 Volts.

Figura 131. **Circuito 1, laboratorio 1**



Fuente: elaboración propia.

- Calcular con la ayuda de la ecuación 77 el valor de la capacitancia necesaria para mantener encendido el relé de 120 ohm durante 5 segundos.
- Armar el circuito mostrado en la figura 131 utilizando el valor de capacitancia más cercano posible al valor calculado en el paso anterior.
- Medir el tiempo que el relé pasa encendido.
- Responder y concluir: ¿el tiempo teórico calculado es igual al tiempo real medido necesario para mantener enclavado el relé?, Si no es igual explique cual o cuales fueron los motivos por lo que no se cumplió el tiempo pronosticado. Mencione dos aplicaciones en las que se puede utilizar el análisis anterior. ¿De qué depende el tiempo de descarga del capacitor?, ¿Qué elemento es el encargado de limitar la corriente que fluye por el circuito?

3.23. Transitorios en redes inductivas, fase de carga

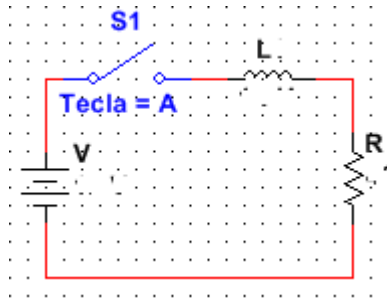
A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.23.1. Ecuación de carga del inductor en función del tiempo

Asumiendo que el inductor L mostrado en la figura 132 inicialmente se encuentra descargado.

Según la Ley de Voltajes de Kirchhoff, la expresión que modela el circuito mostrado en la figura 132 es:

Figura 132. Circuito RL, fase de carga



Fuente: elaboración propia.

$$V = iR + L \frac{di}{dt}$$

Al despejar i se tiene que:

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} - \frac{iR}{L}$$

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{iR - V}{L}$$

Luego de un manipuleo algebraico se tiene que:

$$\frac{di}{iR - V} = -\frac{dt}{L}$$

Al integrar sobre la corriente:

$$\int_0^I \frac{di}{iR - V} = \int_0^t -\frac{dt}{L}$$

$$\frac{1}{R} \ln(IR - V) - \frac{1}{R} \ln(-V) = \frac{1}{R} \ln\left(\frac{IR - V}{-V}\right)$$

Por lo que

$$\ln\left(\frac{IR - V}{-V}\right) = -\frac{Rt}{L}$$

$$e^{\ln\left(\frac{IR - V}{-V}\right)} = e^{-\frac{Rt}{L}}$$

$$\frac{IR - V}{-V} = e^{-\frac{Rt}{L}}$$

$$I(t) = \frac{V - Ve^{-\frac{Rt}{L}}}{R} = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right)$$

3.24. Transitorios en redes inductivas, fase de descarga

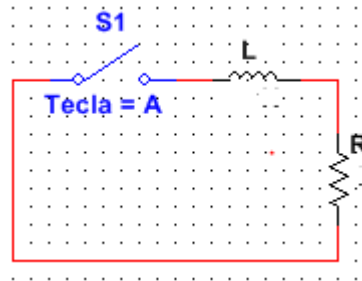
A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.24.1. Ecuación de descarga del inductor en función del tiempo

Ahora se debe asumir que el inductor mostrado en la figura 133 está completamente cargado, incluso antes de que el *switch* S1 se cierre.

Utilizando la Ley de Kirchhoff para Voltajes se determinará una expresión que modele el circuito mostrado en la figura 133.

Figura 133. Circuito RL, fase de descarga



Fuente: elaboración propia.

$$L \frac{di}{dt} = -IR$$

Después de despejar i:

$$\frac{di}{i} = -\frac{dtR}{L}$$

Al integrar, teniendo en cuenta que el inductor está completamente cargado cuando $t=0$:

$$\int_I^i \frac{di}{i} = \int_0^t -\frac{Rdt}{L}$$

El resultado de integrar es:

$$\ln\left(\frac{i}{I}\right) = -\frac{Rt}{L}$$

Al eliminar el logaritmo natural se tiene que:

$$e^{\ln\left(\frac{i}{I}\right)} = e^{-\frac{Rt}{L}}$$

La corriente en el inductor es:

$$i(t) = Ie^{-\frac{Rt}{L}}$$

3.25. Desfase

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.25.1. Problema 1

Encuentre la relación de fase entre las formas de onda de cada conjunto.

a) $v = 4 \sin(\omega t + 50^\circ)$, $i = 6 \sin(\omega t + 40^\circ)$

b) $v = 25 \sin(\omega t - 80^\circ)$, $i = 5 \times 10^{-3} \sin(\omega t - 10^\circ)$

Solución

•

Como se puede observar, la frecuencia de oscilación para v e i es la misma, la amplitud es diferente pero no es importante para el análisis.

El voltaje inicia 50 grados antes del origen, mientras que la corriente inicia 40 grados antes del origen, debido a eso es posible deducir que el desfase entre ambas señales es de 10 grados.

El voltaje tiene un adelanto de 10 grados con respecto de la corriente.

•

Como se puede ver la frecuencia de oscilación para v e i es la misma, la amplitud es diferente pero no es importante para el análisis.

El voltaje inicia 80 grados después del origen, mientras que la corriente inicia 10 grados después del origen, debido a eso es posible deducir que el desfase entre ambas señales es de 70 grados.

El voltaje tiene un atraso de 70 grados con respecto de la corriente.

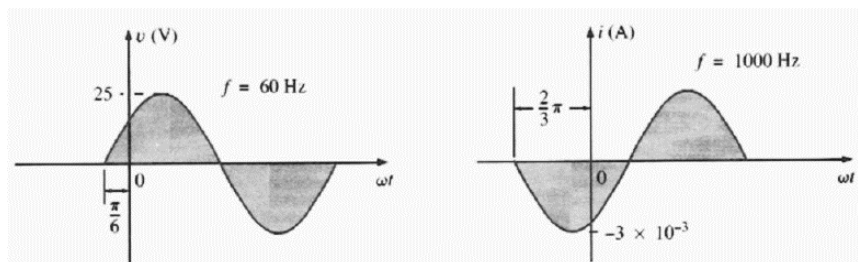
3.25.2. Problema 2

Determinar la expresión para las formas de onda de la figura 134 con el ángulo de fase en grados.

Solución

Primero se realizará la conversión de radianes a grados.

Figura 134. Fase, problema 2



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 387.

Para el voltaje:

$$30^\circ = \frac{\frac{\pi}{6} * 180^\circ}{\pi}$$

Para la corriente:

$$120^\circ = \frac{\frac{2\pi}{3} * 180^\circ}{\pi}$$

Para el voltaje:

$$v = 25 \sin(2 * \pi * 60t + 30^\circ) = 25 \sin(377t + 30^\circ)$$

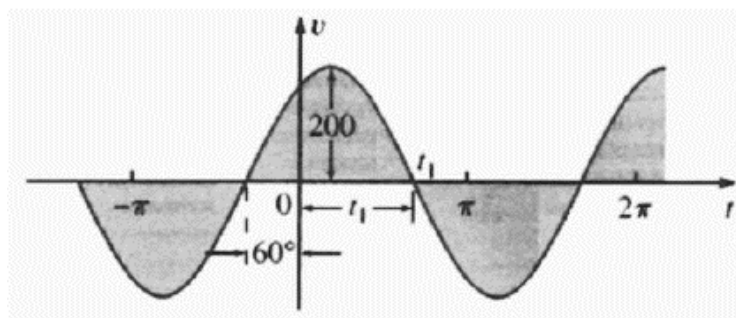
Para la corriente:

$$i = 3 \times 10^{-3} \sin(2 * \pi * 1Kt + 120) = 3 \times 10^{-3} \sin(6.28Kt + 120^\circ)$$

3.25.3. Problema 3

El voltaje sinusoidal $v=200 \sin(2\pi 1000t+60^\circ)$, determinar el tiempo t_1 que se muestra en la figura 135.

Figura 135. Fase, problema 3



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 388.

Solución

Una solución es asumir que en un segundo ocurren 1000 oscilaciones, y cada oscilación tiene 360° , por lo que:

$$1000 * 360 = 360000^\circ$$

Sabiendo también que la señal está 60° adelantada se puede afirmar que t_1 corresponde en grados a:

$$t_1 = 360 - 60 - 180 = 120^\circ$$

Ya que un ciclo tiene 360° , el semiciclo negativo tiene 180° y tiene 60° de adelanto.

Y al utilizar una regla de tres simple se tiene que:

$$\begin{array}{cc} 360000^\circ & 1s \\ 120^\circ & t_1 \end{array}$$

$$t_1 = \frac{360000^\circ * 1s}{120^\circ} = 0,0003333s$$

Otra forma es sabiendo que el tiempo que tarda cada ciclo en completarse es:

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 0,001s$$

Y que el ciclo tiene 360° , por lo que:

$$\begin{matrix} 0,001s & 360^\circ \\ t_1 & 120^\circ \end{matrix}$$

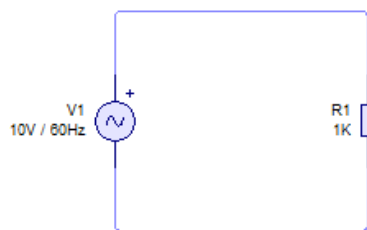
$$t_1 = \frac{120^\circ * 0,001s}{360^\circ} = 0,000333s$$

3.26. Respuesta en frecuencia del resistor

La característica básica y más importante del resistor es que pertenece a los materiales óhmicos, estos materiales tienen la característica (como ya se discutió anteriormente) que la corriente y el voltaje tienen una relación completamente lineal. Por tal razón un resistor no modifica en ninguna forma la corriente resultante de una señal de voltaje variante en el tiempo más que solo la magnitud, esto implica que el resistor no retrasa ni adelanta a la corriente.

En consecuencia, un resistor no posee característica alguna que provoque una modificación en la señal de entrada.

Figura 136. Respuesta en frecuencia del resistor



Fuente: elaboración propia.

Al tomar la ecuación para voltaje y al aplicar la ley de Ohm se obtiene que:

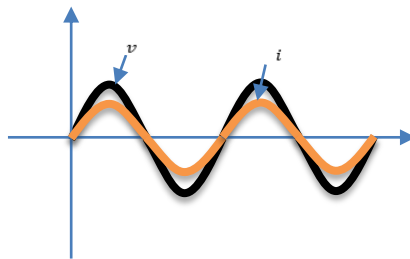
$$i = \frac{V_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t$$

Donde

$$I_m = \frac{V_m}{R}$$

Por lo que se podría decir que la resistencia es una constante de proporción y no produce un desfase entre la corriente y el voltaje.

Figura 137. **V vs I a través de R**



Fuente: elaboración propia.

3.27. Respuesta en frecuencia del capacitor

El capacitor es un dispositivo pasivo que es capaz de almacenar carga eléctrica por unidad de voltaje, es decir que puede almacenar energía en forma de campo eléctrico.

El capacitor consta de dos placas conductoras puestas en paralelo, separadas por un dieléctrico que puede ser el vacío, el aire o cualquier otro material.

Cada placa almacena carga eléctrica de una polaridad, mientras la carga se almacena se crea un campo eléctrico entre las mismas placas. El efecto que produce es llamado capacitancia y usualmente se mide en Faradios.

Al insertar una carga eléctrica cualquiera dentro de las placas se crea una fuerza sobre la carga y se produce un trabajo sobre la carga.

$$U = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = q \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$V = \frac{U}{q} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = E * l$$

Aplicando la ley de Gauss para campos eléctricos

$$\varphi = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{q}{A * \varepsilon}$$

Y sustituyendo algunas ecuaciones se tiene

$$V = \frac{q * l}{A * \varepsilon}$$

$$\frac{V}{q} = \frac{l}{A * \varepsilon} = C^{-1}$$

Después de un manipuleo algebraico se tiene que la capacitancia (C) es:

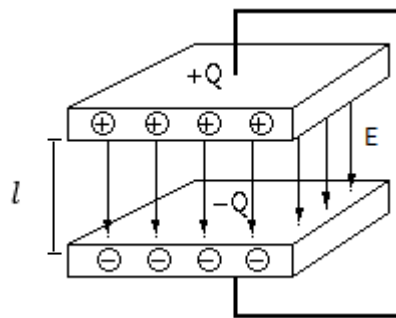
$$C = \frac{A * \epsilon}{l} = \frac{Q}{V}$$

Y

$$V_c = \frac{Q}{C}$$

Y como ya se ha explicado la corriente es la cantidad de carga que fluye en un tiempo determinado.

Figura 138. **Estructura de un capacitor**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 324.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$\int i dt = \int dq = Q$$

Por lo que el voltaje en el capacitor se presenta como:

$$V_c = \frac{\int i dt}{C}$$

Como ya conocemos, gracias a la ley de ohm, el voltaje en un dispositivo es:

$$V_c = I_c * R_c$$

Donde R_c corresponde a la resistencia que presenta un capacitor, en este caso cuando existe una fuente de voltaje variante en el tiempo la resistencia del capacitor se suele llamar reactancia capacitiva.

$$R_c = Z_c$$

Y se tiene, por tanto

$$V_c = I_c * Z_c$$

Al aplicar la transformada de Laplace a la ecuación anterior se obtiene que:

$$V_{(s)} = \frac{I_{(s)}}{sC} = \frac{I_{(s)}}{j\omega C} = \frac{I_{(s)}}{j2\pi fC}$$

Por lo que se obtiene que la reactancia capacitiva es:

$$Z_c = \left| \frac{1}{sC} \right| = \left| \frac{1}{j\omega C} \right| = \left| \frac{1}{j2\pi fC} \right| = \frac{1}{2\pi fC}$$

Y como se puede observar la reactancia capacitiva depende enteramente de la frecuencia angular, por lo que se puede decir que la reactancia solo existe con fuentes AC. Para circuitos DC el análisis se muestra en la sección 3.16 y 3-17.

Al graficar esta relación se obtiene la variación que tiene con forme la frecuencia.

La reactancia es variable y cuanto más grande sea la frecuencia de una señal más pequeña resulta la reactancia y viceversa.

Al analizar la ecuación del voltaje en el capacitor y al asumir que $i = A \sin(\omega t)$

$$V_c = \frac{\int A \sin(\omega t) dt}{C} = -\frac{A}{C\omega} \cos \omega t = \frac{A}{C\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Esto implica que el voltaje tiene un retraso de 90 grados con respecto de la corriente.

3.28. Respuesta en frecuencia del inductor

El inductor es un dispositivo pasivo que es capaz de almacenar energía en forma de campo magnético y, en consecuencia, se opone a los cambios de corriente.

El inductor consta de un alambre enrollado sobre un núcleo que puede ser de aire o de cualquier otro material (usualmente ferromagnéticos).

Cada espira almacena energía y al multiplicarse la cantidad de espiras también se multiplica la energía almacenada. El efecto que produce un inductor se conoce como inductancia (L) y se mide en Henrys.

Según la Ley de Faraday el voltaje producido por una variación de campo magnético en una espira es:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\varphi_B}{dt}$$

Al analizar esta ley para N espiras

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt}$$

El flujo magnético ϕ se calcula a través del producto punto entre el campo B y el vector normal del área que atraviesa.

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -NA \frac{dB}{dt}$$

Tomando en consideración la ley de Ampere que establece para un alambre que

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I$$

Y tomando en consideración que una bobina es un conjunto de N espiras de alambre por el que atraviesa una corriente, el campo B queda de la siguiente forma

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = N\mu I$$

$$B = \frac{N\mu I}{l}$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores

$$\varepsilon = -NA \frac{d\left(\frac{N\mu I}{l}\right)}{dt} = -\frac{N^2 A \mu}{l} \frac{dI}{dt}$$

Se define la inductancia como:

$$L = \left| -\frac{N^2 A \mu}{l} \right| = \frac{N^2 A \mu}{l}$$

Y la caída de tensión en un inductor es:

$$\varepsilon = V_L = L \frac{dI}{dt}$$

Al aplicar la transformada de Laplace

$$V_{(s)} = LI_{(s)}S = j\omega I_{(s)} = j2\pi f I_{(s)}$$

Como ya conocemos, gracias a la ley de ohm, el voltaje en un dispositivo es:

$$V_L = I_L * R_L$$

Donde R_L corresponde a la resistencia que presenta un inductor, en este caso cuando existe una fuente de voltaje variante en el tiempo se suele llamar reactancia inductiva.

$$R_L = Z_L$$

Y se tiene, por tanto

$$V_L = I_L * Z_L$$

Al comparar con ecuaciones anteriores se deduce que la reactancia inductiva queda

$$Z_L = |j2\pi fL| = 2\pi fL$$

Y como se puede observar, la reactancia inductiva depende enteramente de la frecuencia angular, por lo que se puede decir que la reactancia solo existe

con fuentes AC. Para circuitos DC el análisis se muestra en la sección 3.18 y 3.19.

La reactancia inductiva es variable y la relación entre frecuencia y reactancia es directamente proporcional.

Al analizar la ecuación 118 y al asumir que $i=A\sin(\omega t)$

$$V_L = LA \frac{d \sin \omega t}{dt} = LA\omega \cos \omega t = LA\omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Esto implica que el voltaje tiene un adelanto de 90 grados con respecto de la corriente o bien la corriente tiene un retraso de 90 grados con respecto del voltaje.

3.29. Circuito serie RC

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

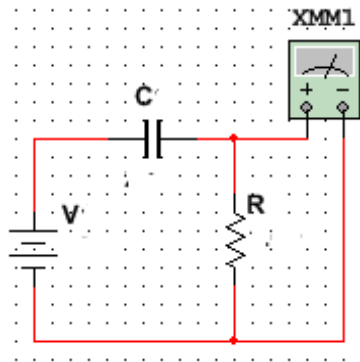
3.29.1. Caída de tensión en el resistor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 139 es necesario utilizar la ley de voltajes de Kirchhoff.

$$V = \frac{I}{j\omega C} + IR$$

Como se puede observar, la caída de tensión en el resistor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

Figura 139. **Circuito RC**



Fuente: elaboración propia.

Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_R = \frac{V * R}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

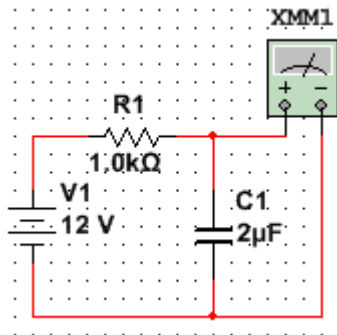
3.29.2. Caída de tensión en el capacitor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 140 es necesario utilizar la Ley de Voltajes de Kirchhoff.

$$V = \frac{I}{j\omega C} + IR$$

Como se puede observar la caída de tensión en el capacitor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

Figura 140. **Caída de tensión en el capacitor**



Fuente: elaboración propia.

Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_c = \frac{V * \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{V}{j\omega RC + 1}$$

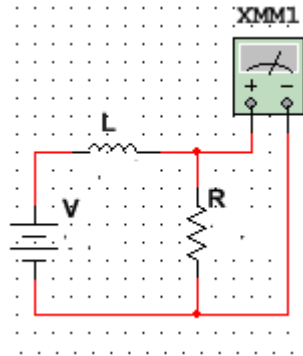
3.30. Circuito serie RL

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.30.1. Caída de tensión en el resistor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 141 es necesario utilizar la Ley de Voltajes de Kirchhoff.

Figura 141. Circuito RL, voltaje en R



Fuente: elaboración propia.

$$V = Ij\omega L + IR$$

Como se puede observar, la caída de tensión en el resistor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

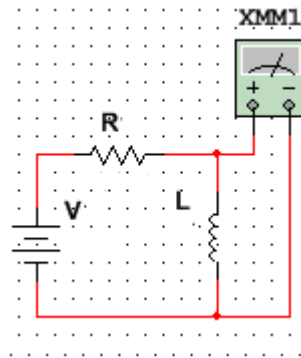
Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_R = \frac{V * R}{R + j\omega L}$$

3.30.2. Caída de tensión en el inductor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 142 es necesario utilizar la Ley de Voltajes de Kirchhoff.

Figura 142. Voltaje en L, circuito RL



Fuente: elaboración propia.

$$V = Ij\omega L + IR$$

Como se puede observar, la caída de tensión en el inductor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_L = \frac{V * j\omega L}{j\omega L + R} = \frac{V}{1 + \frac{R}{j\omega L}}$$

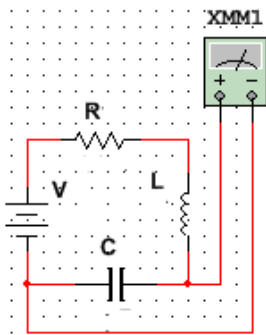
3.31. Circuito serie RLC

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.31.1. Caída de tensión en el capacitor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 143 es necesario utilizar la ley de voltajes de Kirchhoff.

Figura 143. Circuito rLC



Fuente: elaboración propia.

$$V = Ij\omega L + IR + \frac{I}{j\omega C}$$

La caída de tensión en el capacitor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

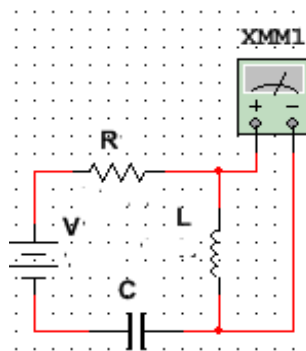
Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_C = \frac{V * \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{\frac{V}{j\omega C}}{\frac{-\omega^2 L + j\omega RC + 1}{j\omega C}} = \frac{V}{-\omega^2 LC + j\omega RC + 1}$$

3.31.2. Caída de tensión en el inductor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 144 es necesario utilizar la ley de voltajes de Kirchhoff.

Figura 144. Circuito rLc



Fuente: elaboración propia.

$$V = Ij\omega L + IR + \frac{I}{j\omega C}$$

La caída de tensión en el inductor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

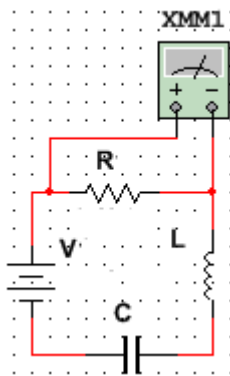
Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_c = \frac{V * j\omega L}{j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{V}{1 + \frac{R}{j\omega L} - \frac{1}{\omega^2 LC}}$$

3.31.3. Caída de tensión en el resistor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 145 es necesario utilizar la ley de voltajes de Kirchhoff.

Figura 145. Circuito Rlc



Fuente: elaboración propia.

$$V = Ij\omega L + IR + \frac{I}{j\omega C}$$

Como se puede observar la caída de tensión en el resistor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

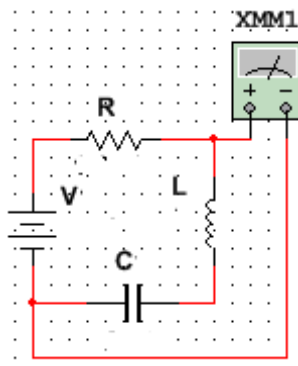
Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_C = \frac{V * R}{j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{VR}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

3.31.4. Caída de tensión en el capacitor e inductor

Para determinar la expresión que modela al circuito mostrado en la figura 146 es necesario utilizar la ley de voltajes de Kirchhoff.

Figura 146. Circuito rLC



Fuente: elaboración propia.

$$V = Ij\omega L + IR + \frac{I}{j\omega C}$$

La caída de tensión en el inductor y capacitor varía según varía también la frecuencia de oscilación.

Al determinar la caída de tensión utilizando un divisor de voltaje se obtiene que:

$$V_{L+C} = \frac{V * \left(j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \right)}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{\frac{V(-\omega^2 LC + 1)}{j\omega C}}{\frac{j\omega RC - \omega^2 LC + 1}{j\omega C}} = \frac{V(-\omega^2 LC + 1)}{j\omega RC - \omega^2 LC + 1}$$

3.32. Fasores

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.32.1. Problema 1

Expresar los siguientes voltajes y corrientes fasoriales como ondas sinusoidales si la frecuencia es de 60Hz.

- $I = 40 A \angle 20^\circ$

Solución: según la ecuación 104 se tiene que:

$$I = \sqrt{2} * 40 \sin(2 * \pi * 60 * t + 20^\circ) = 56.569 \sin(377t + 20^\circ)$$

- $I = 120V \angle 0^\circ$

Solución: según la ecuación 104 se tiene que:

$$V = \sqrt{2} * 120 \sin(2 * \pi * 60 * t + 0^\circ) = 169,8 \sin(377t)$$

- $I = 8 \times 10^{-3} A \angle 120^\circ$

Solución: según la ecuación 104 se tiene que:

$$I = \sqrt{2} * 8 \times 10^{-3} \sin(2 * \pi * 60 * t + 120^\circ) = 11.314 \times 10^{-3} \sin(377t + 120^\circ)$$

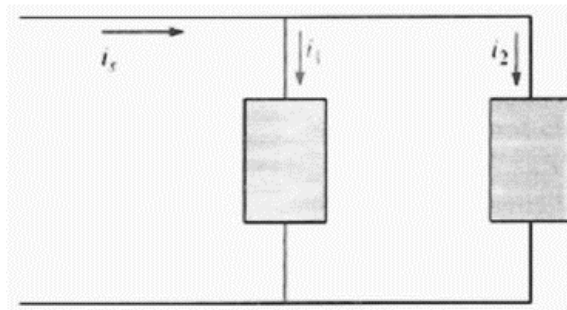
3.32.2. Problema 2

Para el sistema que se muestra en la figura 147, encontrar la expresión sinusoidal para la corriente desconocida i_1 si:

$$i_s = 20 \times 10^{-6} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$i_2 = 6 \times 10^{-6} \sin(\omega t - 60^\circ)$$

Figura 147. Fasores 1



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 425

Solución

Lo primero es convertir de la forma fasorial a la forma rectangular.

$$C = X + jY$$

Donde

$$X_s = i_s \cos \theta = 20 \times 10^{-6} \cos 90^\circ = 0$$

$$Y_s = i_s \sin \theta = 20 \times 10^{-6} \sin 90^\circ = 20 \times 10^{-6}$$

$$X_2 = i_2 \cos \theta = 6 \times 10^{-6} \cos(-60^\circ) = 3 \times 10^{-6}$$

$$Y_2 = i_2 \sin \theta = 6 \times 10^{-6} \sin(-60^\circ) = -5,196 \times 10^{-6}$$

Y como

$$i_s = i_1 + i_2$$

$$i_1 = i_s - i_2 = (0 + j20 \times 10^{-6}) - (3 \times 10^{-6} - j5,196 \times 10^{-6})$$

$$i_1 = -3 \times 10^{-6} + j25,2 \times 10^{-6}$$

$$Z_1 = \sqrt{(-3 \times 10^{-6})^2 + (25,196 \times 10^{-6})^2} = 25,38 \times 10^{-6}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{25,196 \times 10^{-6}}{-3 \times 10^{-6}} = -83,21^\circ$$

Debido a que el ángulo resultante es negativo y el punto en análisis se encuentra en el segundo cuadrante, por lo que:

$$\theta_1 = 180 - 83,21 = 96,79^\circ$$

$$i_1 = 25,38 \times 10^{-6} \sin(\omega t + 96,79^\circ)$$

3.32.3. Problema 3

Encontrar la expresión sinusoidal para la corriente i_s para el sistema de la figura 148 si:

$$i_1 = 6 \times 10^{-6} \sin(377t + 180^\circ)$$

$$i_2 = 8 \times 10^{-6} \sin(377t)$$

$$i_2 = 16 \times 10^{-6} \sin(377t)$$

Solución

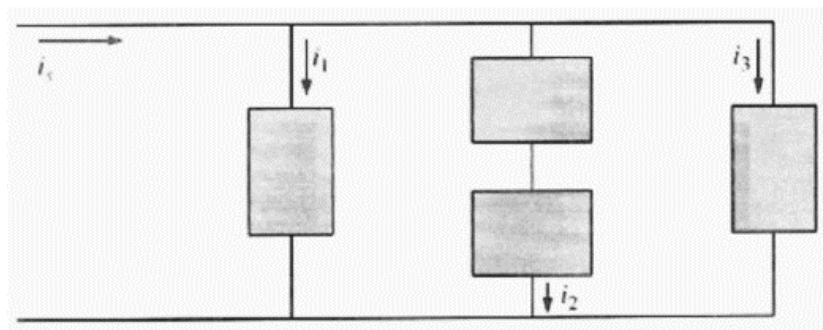
Lo primero es convertir de la forma fasorial a la forma rectangular.

$$C = X + jY$$

Donde

$$X_1 = i_1 \cos \theta = 6 \times 10^{-6} \cos 180^\circ = -6 \times 10^{-6}$$

Figura 148. **Fasores 2**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 427

$$Y_s = i_s \sin \theta = 20 \times 10^{-6} \sin 180^\circ = 0$$

$$X_2 = i_2 \cos \theta = 8 \times 10^{-6} \cos(0^\circ) = 8 \times 10^{-6}$$

$$Y_2 = i_2 \sin \theta = 8 \times 10^{-6} \sin(0^\circ) = 0$$

$$X_3 = i_3 \cos \theta = 16 \times 10^{-6} \cos(0^\circ) = 16 \times 10^{-6}$$

$$Y_3 = i_3 \sin \theta = 16 \times 10^{-6} \sin(0^\circ) = 0$$

Ahora se suman todas las corrientes.

$$i_s = i_1 + i_2 + i_3 = (-6 \times 10^{-6} + j0) + (8 \times 10^{-6} + j0) + (16 \times 10^{-6} + j0)$$

$$i_s = 8 \times 10^{-6} + j0$$

Y se determina el ángulo de fase.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0}{8 \times 10^{-6}} = 0^\circ$$

Por lo que la expresión es

$$i_s = 8 \times 10^{-6} \sin 377t$$

3.33. Impedancia y diagrama fasorial

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.33.1. Problema 1

Expresar las impedancias de la figura 149 tanto en forma polar como en rectangular.

Solución

- El resistor solo posee resistencia y no reactancia por lo que:

$$Z = 6.8\Omega \angle 0^\circ$$

$$Z = (6.8 + j0)\Omega$$

- El inductor tiene reactancia inductiva por lo que produce un desfase de 90° .

$$Z = 2\pi(60) * 2 \angle 90^\circ = 754\Omega \angle 90^\circ$$

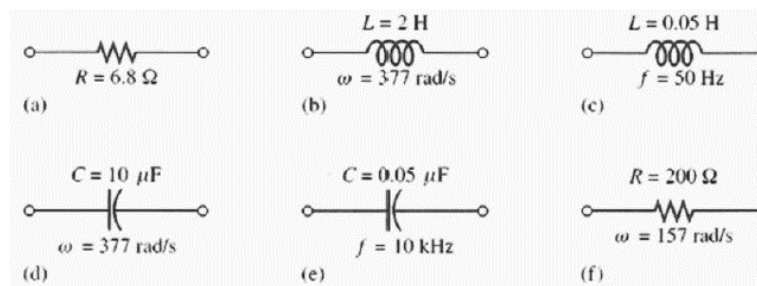
$$Z = (0 + j754)\Omega$$

- El inductor tiene reactancia inductiva por lo que produce un desfase de 90° .

$$Z = 2\pi(50) * 0,05 \angle 90^\circ = 15,71\Omega \angle 90^\circ$$

$$Z = (0 + j15,71)\Omega$$

Figura 149. **Reactancia**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 438.

- El capacitor tiene reactancia capacitiva por lo que produce un desfase de 90° .

$$Z = \frac{1}{2\pi(60) * 10 \times 10^{-6}} \Omega \angle - 90^\circ = 265,25\Omega \angle - 90^\circ$$

$$Z = (0 - j265,25) \Omega$$

- El capacitor tiene reactancia capacitiva por lo que produce un desfase de 90°.

$$Z = \frac{1}{2\pi(10000) * 0,05 \times 10^{-6}} \Omega \angle - 90^\circ = 318,31\Omega \angle - 90^\circ$$

$$Z = (0 - j318,31) \Omega$$

- El resistor solo posee resistencia y no reactancia por lo que:

$$Z = 200\Omega \angle 0^\circ$$

$$Z = (200 + j0) \Omega$$

3.33.2. Problema 2

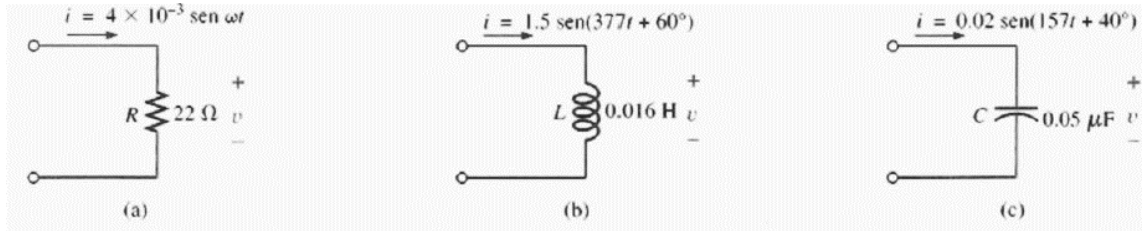
Encontrar el voltaje v para los elementos mostrados en la figura 150 utilizando algebra compleja.

Solución

- El resistor no produce desfase, por lo que utilizando la ley de ohm:

$$v = 4 \times 10^{-3} \sin(\omega t) * 22 = 88 \times 10^{-3} V \sin(\omega t)$$

Figura 150. **Desfase y reactancia**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 458

- El inductor es un dispositivo reactivo, al utilizar la ley de ohm se tiene que:

$$v = 1,5 \angle 60^\circ * (2 * \pi * 60 * 0,016) \angle 90^\circ = 1,5 \angle 60^\circ * 6,03 \angle 90^\circ$$

$$v = (1,5 * 6,03) \angle 60^\circ + 90^\circ = 9,045 \angle 150^\circ$$

$$v = 9,045 \sin(377t + 150^\circ)$$

- El capacitor es un dispositivo reactivo, al utilizar la ley de ohm se tiene que:

$$\omega = 2\pi f = 157$$

$$f = \frac{157}{2\pi} = 25 \text{ Hz}$$

$$v = 0,02 \angle 40^\circ * \frac{1}{(157 * 0,00000005)} \angle -90^\circ = 0,02 \angle 40^\circ * 127388,5 \angle -90^\circ$$

$$= (0,02 * 127388,5) \angle 40^\circ - 90^\circ = 2547,7 \angle -50^\circ$$

$$v = 2547,7\sin(157t - 50^\circ)$$

3.33.3. Problema 3

Calcular la impedancia total de los circuitos mostrados en la figura 151, expresar las respuestas en forma polar y rectangular.

Solución

•

$$Z = 3 + j(4 - 7) = 3 - j3$$

$$Z = \sqrt{(3)^2 + (-3)^2} \angle \tan^{-1} \frac{-3}{3}$$

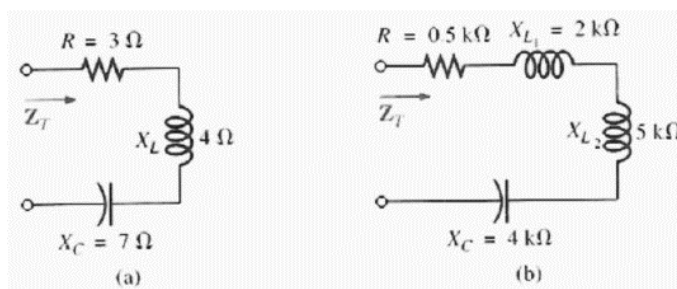
$$Z = 4,24\Omega \angle -45^\circ$$

•

$$Z = 0,5K + j(2K + 5K - 4K) = 0,5K + j3K$$

$$Z = \sqrt{(0,5K)^2 + (3K)^2} \angle \tan^{-1} \frac{3K}{0,5K}$$

Figura 151. **Circuitos reactivos**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 478.

$$Z = 3,04K\Omega \angle 80,53^\circ$$

3.34. El triángulo de potencia

3.34.1. Problema 1

Para el circuito (puramente resistivo) que se muestra en la figura 152:

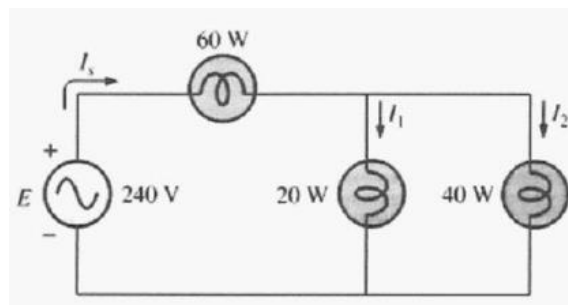
- Determinar la disipación de potencia total.
- Calcular la potencia aparente y potencia reactiva.
- Calcular la corriente de fuente I_s .

Solución

- Como se demostró con el teorema de Tellegen, la suma de todas las potencias individuales debe ser igual a la potencia suministrada por la fuente, por lo que:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 60W + 20W + 40W = 120W$$

Figura 152. Triángulo de potencia



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 425.

-

Como el circuito es puramente resistivo no existe potencia reactiva y toda la potencia aparente es igual a la potencia real.

$$Q = 0 \text{ VAR}$$

$$S = 120 \text{ VA}$$

-

La potencia se puede calcular al multiplicar el voltaje y la corriente proporcionados por la fuente, por lo que:

$$120 \text{ W} = 240 \text{ V} * I$$

$$I = \frac{120 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 0,5 \text{ A}$$

3.34.2. Problema 2

Para la red de la figura 153:

- Calcular la potencia promedio otorgada a cada elemento.
- Calcular la potencia reactiva otorgada a cada elemento.
- La potencia aparente otorgada a cada elemento.
- Calcular el número total de Watts, VAR y VA.
- Trazar el triángulo de potencia.

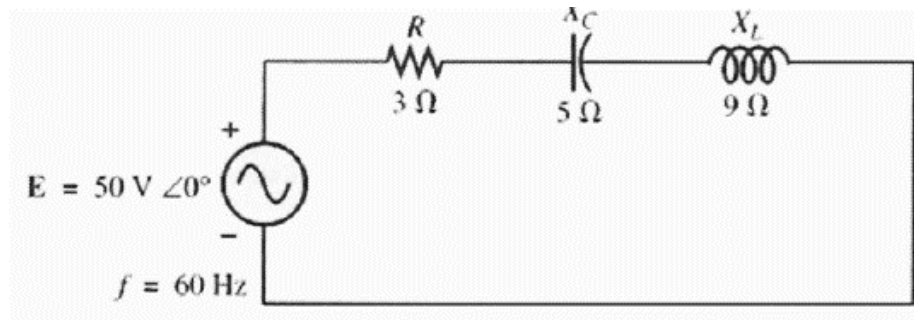
-

La potencia promedio para un elemento reactivo es igual a cero, por lo que

$$P_L = P_C = 0 \text{ W}$$

El ángulo de fase se determina al calcular la impedancia total del circuito.

Figura 153. **Potencia reactiva 1**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 428.

$$Z = 3 + j(9 - 5) \Omega = 3 + j4 \Omega$$

$$Z = 5 \Omega \angle 53,13^\circ$$

$$I = \frac{50 \text{ V } \angle 0^\circ}{5 \Omega \angle 53,13^\circ} = 10 \text{ A } \angle -53,13^\circ$$

Según la ecuación 119:

$$P_R = VI \cos \theta = 10 * 50 \cos 53,13^\circ = 500 * 0,6 = 300 \text{ W}$$

•

El resistor no posee parte reactiva, por lo que no consume potencia reactiva.

$$Q = I^2(X_C - X_L) = 500 \sin(-53,13) = -400 \text{ VAR}$$

$$Q_L = 10 * 9 = 900VAR$$

$$Q_C = 10 * 5 = -500VAR$$

•
La potencia aparente para cada elemento es:

$$S_R = 300VA$$

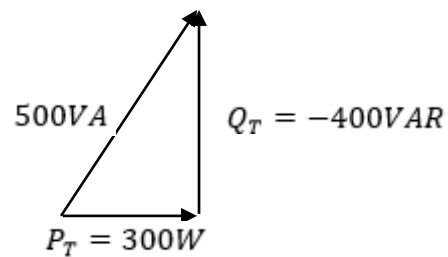
$$S_Q = 500VA$$

$$S_L = -900VA$$

•
$$P_T = 300W$$

$$Q_T = -400VAR$$

$$S_T = \sqrt{(300)^2 + (-400)^2} = 500VA$$

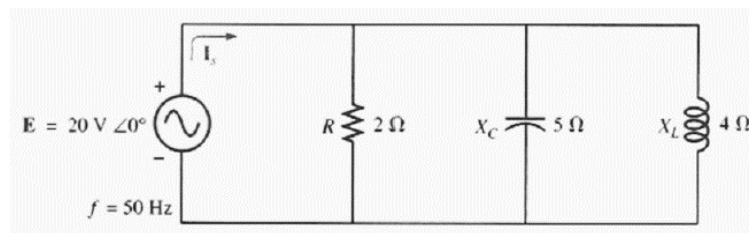


3.34.3. Problema 3

Para la red de la ilustración 154 determinar:

- La potencia promedio entregada a cada elemento.
- La potencia reactiva entregada a cada elemento.
- La potencia aparente entregada a cada elemento.
- Las potencias activas, reactivas y aparentes totales.
- Dibujar el triángulo de potencia.

Figura 154. **Potencia reactiva 2**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 425.

Solución

- Las potencias consumidas por los elementos reactivos no tienen potencia promedio, por lo que:

$$\overline{P}_C = \overline{P}_L = 0$$

$$Y_T = \frac{1}{2\Omega} \angle 0^\circ + \frac{1}{5\Omega} \angle 90^\circ + \frac{1}{4\Omega} \angle -90^\circ = 0,5S + j(0,2 - 0,25)S = 0,5 - j0,05 S$$

$$Z_T = \frac{1}{Y_T} = \frac{1}{0,502S \angle -5,71^\circ} = 1,99\Omega \angle 5,71^\circ$$

$$I_T = \frac{V}{Z} = \frac{20V \angle 0^\circ}{1,99\Omega \angle 5,71^\circ} = 10,05A \angle -5,71^\circ$$

$$\overline{P}_R = V * I \cos\theta = 20 * 10,05 \cos(-5,71^\circ) = 200W$$

-

La resistencia no consume una potencia reactiva por lo que:

$$Q_R = 0W$$

$$Q_C = V^2 * Y_C = 400 * 0,2 = 80VAR$$

$$Q_L = V^2 * Y_L = 400 * -0,25 = 100VAR$$

-

La potencia aparente de cada elemento es la suma de todas las potencias que disipa ese elemento.

$$S_R = 200VA$$

$$S_C = 80VA$$

$$S_L = 100VA$$

-

$$P_T = 200W$$

$$Q_T = 20VAR$$

$$S_T = \sqrt{(200)^2 + (20)^2} = 200,998VA$$

3.35. Factor de potencia

3.35.1. Problema 1

Para el circuito (puramente resistivo) que se muestra en la figura 152 (sección 3.34.1), encontrar el factor de potencia.

Solución

En el enunciado se afirma que el circuito es puramente resistivo y que no posee elementos reactivos, por lo que el ángulo de fase del circuito es de cero grados.

$$f_p = \cos(0^\circ) = 1$$

Esto indica que no hay pérdidas por potencia disipadas por dispositivos reactivos.

3.35.2. Problema 2

Encontrar el factor de potencia del problema mostrado en la sección 3.33.

Solución

Según la ecuación ya vista el factor de potencia queda:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Q}{P} = \tan^{-1} \frac{400}{300} = 53,13$$

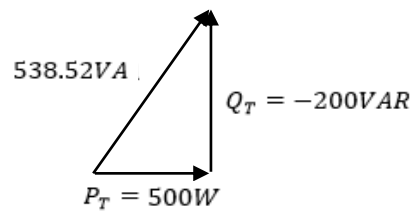
$$f_p = \cos 53,13^\circ = 0,6 \quad \textit{atrasado}$$

3.35.3. Problema 3

Para el sistema de la figura 155, calcular:

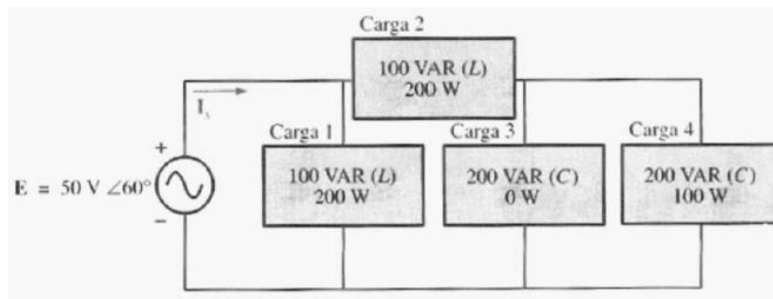
- P_T , Q_T y S_T .
- f_p
- el triángulo de potencia

Figura 155. **Potencia reactiva 3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 156. **circuito con cargas reactivas**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 457.

•

$$P_T = 100W + 200W + 200W = 500W$$

$$Q_T = +100VAR + 100VAR - 200VAR - 200VAR = -200VAR$$

$$S_T = \sqrt{(500)^2 + (-200)^2} = 538,52VA$$

•

$$\theta = \tan^{-1} \frac{200}{500} = 21,80$$

$$f_p = \cos 21,80^\circ = 0,928 \quad \textit{adelantado}$$

3.36. Corrección del factor de potencia

A continuación, se muestran los ejercicios, laboratorios y demostraciones relacionadas con el tema.

3.36.1. Problema 1

La carga sobre una alimentación de 120V, 60Hz es de 5KW (resistiva), 8KVAR (inductiva) y 2KVAR (capacitiva).

- Calcular lo KVA totales.
- Calcular el Fp
- Calcular la corriente extraída de la fuente.
- Calcular la capacitancia necesaria para establecer un Fp unitario.
- Calcular la corriente extraída de la fuente a un Fp unitario.

Solución

$$S_T = \sqrt{(5K)^2 + (8K - 2K)^2} = 7,81KVA$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{6K}{5K} = 50,19^\circ$$

$$f_p = \cos 50,19^\circ = 0,64 \quad \text{atrasado (L)}$$

$$I_s = \frac{S}{V} = \frac{7,81KW}{120V} = 65,08A$$

Para que el factor de corrección sea igual a 1 se debe eliminar la potencia reactiva del circuito, esto se logra modificando la reactancia capacitiva dejándola igual en magnitud que la reactancia inductiva,

$$Q_L = 120^2 / Z_L = 6KVAR$$

$$Z_L = \frac{120^2}{6KVAR} = 2,4\Omega$$

$$Z_L = Z_C$$

$$2,4\Omega = \frac{1}{2\pi * 60 * C} \Rightarrow C = \frac{1}{377 * 2,4} = 1,105mf$$

$$S_T = \sqrt{(5K)^2 + (8K - 2K - 6K)^2} = 5KVA$$

$$I_s = \frac{S}{V} = \frac{5KW}{120V} = 41,67A$$

3.36.2. Problema 2

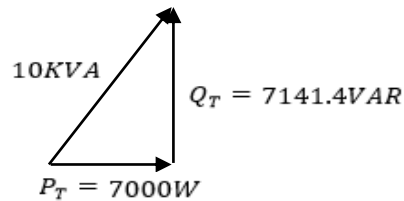
Las cargas del alumbrado y de los motores de una pequeña fábrica establecen una demanda de potencia de 10KVA a un factor de potencia de 0.7 atrasado sobre una alimentación de 208V, 60Hz.

- Establecer el triángulo de potencia para la carga,

$$10KVA = 10KVA * 0,7 + 10KVA \sin(\cos^{-1} 0,7) = 7000W + 7141,4VAR$$

$$I = \frac{10KVA}{208V} = 48,08A$$

Figura 157. Triángulo de potencia



Fuente: elaboración propia.

- Determinar el capacitor de factor de potencia que deberá colocarse en paralelo con la carga para elevar el factor de potencia a la unidad.

$$Q_L = 208^2 / Z_L = 7141,4VAR$$

$$Z_L = \frac{208^2}{7141,4VAR} = 6,06\Omega$$

$$Z_L = Z_C$$

$$6,06\Omega = \frac{1}{2\pi * 60 * C} \Rightarrow C = \frac{1}{377 * 6,06} = 0,438mf$$

$$S_T = \sqrt{(7000)^2 + (7141,4 - 7141,4)^2} = 7KVA$$

- Calcular la corriente con el factor de potencia unitario.

$$I = \frac{7KVA}{208V} = 33,65A$$

4. EVALUACIONES

4.1. Carga, corriente y voltaje

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.1.1. Problemas de corto alcance

- I. Calcular la corriente en amperes si 465 C de carga atraviesan un alambre en 2,5 minutos.
 - a. 150 A
 - b. 3,1 A**
 - c. 186 A
 - d. 4 A

- II. ¿Cuántos Coulomb atraviesan una lámpara en 2 min si la corriente es constante en 750mA?
 - a. 90 C**
 - b. 1500 C
 - c. 90000C
 - d. 1,5 C

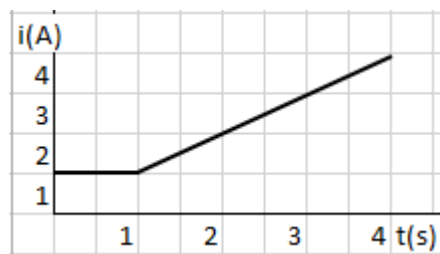
- III. ¿“estallará” un fusible con valor de 1 A si 86 C pasan a través de él durante 1,2 min?
 - a. Si estallará**
 - b. No estallará

- IV. Si la diferencia de potencial entre dos puntos de 42 V, ¿cuánto trabajo se requiere para llevar 6 C de un punto al otro?
- a. 42 Joules
 - b. 6 Joules
 - c. 252 Joules**
 - d. 300 Joules
- V. ¿Cuánta carga pasa a través de una batería de 225 V si la energía consumida es de 90J?
- a. 4 C
 - b. 0,4 C**
 - c. 40 C
 - d. 0,04 C
- VI. Una carga se encuentra fluyendo a través de un conductor a un ritmo de 420C/min, si 742 J de energía eléctrica se convierten en calor en 30 s, ¿Cuál es la caída de potencial a través del conductor?
- a. 5194 V
 - b. 1,766 V
 - c. 1 V
 - d. 3,533 V**
- VII. La diferencia de potencial entre dos puntos en un circuito eléctrico es de 24 V, si 0,4 J de energía se disipan en un periodo de 5 ms, ¿Cuál sería la corriente entre los dos puntos?
- a. 3,333 A**
 - b. 33,33 A
 - c. 0,33 A
 - d. Ninguna de las anteriores

- VIII. Si un amperímetro ofrece una lectura de 2,5 A durante un periodo de 4 min, determinar la carga que pasó a través del medidor.
- a. **600 C**
 - b. 10 C
 - c. 100 C
 - d. 0,1 C
- IX. Un voltaje en AC es toda aquella que varía en el tiempo.
- a. **Falso**
 - b. Cierto
- X. El voltaje eléctrico se define como el trabajo necesario para mover un amperio de corriente
- a. Cierto
 - b. **Falso**
- XI. La corriente eléctrica se crea con el movimiento de....
- a. Cargas eléctricas positivas
 - b. Cargas eléctricas negativas
 - c. **Cargas eléctricas positivas y/o negativas**
 - d. Cargas eléctricas neutras
- XII. ¿Cuánta carga representan 4600 electrones?
- a. $8,456 \times 10^{-17}$
 - b. $7,369 \times 10^{-16}$
 - c. $-7,369 \times 10^{16}$
 - d. **$-7,369 \times 10^{-16}$**

- XIII. Calcular la cantidad de carga representado por dos millones de protones.
- $5,789 \times 10^{-9}$
 - $3,204 \times 10^{-13}$**
 - $6,889 \times 10^{-7}$
 - $9,334 \times 10^{-20}$
- XIV. Obtener la corriente en un elemento cuando la carga que ha entrado al elemento es $q=12t$ Coulomb.
- 8,5 A
 - 12 A**
 - 0 A
 - No se sabe
- XV. Determinar la carga que ha entrado a la terminal de un elemento desde $t=0$ s hasta $t=3$ s cuando la corriente es como se muestra en la figura.

Figura 158. **Carga variante en el tiempo**



Fuente: elaboración propia.

- 10 C
- 7 C
- 5 C**
- No es posible determinarlo

- XVI. La carga total que ha ingresado al elemento de un circuito es $q(t)=4 \sin(3t)$ C cuando $t \geq 0$ y $q(t)=0$ cuando $t < 0$. Determinar la corriente en este elemento de circuito para $t > 0$.
- a. **12 cos(3t) A**
 - b. 4 cos(3t) A
 - c. 3 sin(3t) A
 - d. 12 sin(3t) A
- XVII. Para mover la carga del punto a al punto b se requieren -30 J. Halle la caída de tensión v_{ab} si $q=-6$ C.
- a. **5 V**
 - b. -10 V
 - c. -15 V
 - d. 180 V
- XVIII. Un rayo con 8 kA impacta un objeto durante 15 us. ¿Cuánta carga se deposita en el objeto?
- a. 533 MC
 - b. **0,12 C**
 - c. 112 C
 - d. 12 mC
- XIX. La corriente de seguridad permitida en un alambre de cobre del No. 12 de 0,08081 pulgadas de diámetro es de 23 A, ¿Cuántos coulomb de carga pasan por la sección transversal del alambre en 1 minuto?
- a. 1500 C
 - b. 1750 C
 - c. **1380 C**
 - d. 1000 C

4.1.2. Problemas de mayor alcance

- I. Una bombilla incandescente de 60 W opera a 120 V. ¿cuántos electrones y coulomb fluyen por esta en un día? (1 Watt (W) = 1 V * 1 A)
- II. Un rayo impacta un avión con 40 kA durante 1,7 ms. ¿cuántos coulomb de carga se depositan en el avión?
- III. Una corriente constante de 3 A durante cuatro horas se requiere para cargar una batería de automóvil. Si la tensión en las terminales es de $10 + t/2$ V, donde t está en horas, ¿cuánta carga se transporta como resultado de la carga?, ¿cuánta energía se consume?
- IV. En un alambre de cobre del No. 10 de 0,1019 de pulgada de diámetro, los electrones se mueven 1 pie cada minuto. ¿cuál es la magnitud de la corriente que circula por el alambre?
- V. La carga que ha ingresado a un elemento de circuito es $q(t) = 4(1 - e^{-5t})$ cuando $t \geq 0$ y $q(t) = 0$ cuando $t < 0$. Calcular la corriente en este elemento de circuito para $t \geq 0$. Respuesta $I(t) = 20e^{-5t}$ A.

4.2. Conductividad, resistividad, conductancia y resistencia

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.2.1. Problemas de corto alcance

- I. Es una característica propia del material, la cual nos indica que tan bueno es un material para dejar fluir cargas eléctricas a través de él.
 - a. Resistividad
 - b. Conductancia
 - c. Resistencia
 - d. Conductividad**

- II. Es una característica propia del material, la cual nos indica que tan malo es un material para dejar fluir cargas eléctricas a través de él.
 - a. Resistividad**
 - b. Conductancia
 - c. Resistencia
 - d. Conductividad

- III. Es la oposición que presenta un material al flujo de cargas eléctricas.
 - a. Resistividad
 - b. Conductancia
 - c. Resistencia**
 - d. Conductividad

- IV. Magnitud física que indica que tan bueno es un material para dejar fluir carga eléctrica.

- a. Resistividad
 - b. Conductancia**
 - c. Resistencia
 - d. Conductividad
- V. La resistividad depende de las características atómicas y de la forma física del material.
- a. Cierto
 - b. Falso**
- VI. En un conductor la corriente eléctrica se crea por el movimiento de cargas eléctricas...
- a. Positivas
 - b. Negativas**
- VII. La resistencia depende de las características atómicas y de la forma física del material
- a. Cierto**
 - b. Falso
- VIII. Calcular la resistencia de un conductor circular que tiene 2 mts de longitud, un radio de 2 cm y una resistividad de $0,5 \Omega \cdot \text{mt}$.
- a. $2,5 \Omega$**
 - b. 25Ω
 - c. $0,5 \Omega$
 - d. 5Ω
- IX. El recíproco de la resistencia es:
- a. Tensión
 - b. Corriente

c. Conductancia

d. Coulomb

X. Calcular la resistividad de un conductor que posee una sección transversal de $0,02 \text{ cm}^2$, 5 mts de longitud y $1,2 \Omega$ de resistencia.

a. $0,48 \mu \Omega \cdot \text{m}$

b. $0,48 \text{ m } \Omega \cdot \text{m}$

c. $4,8 \text{ m } \Omega \cdot \text{m}$

d. $48 \text{ m } \Omega \cdot \text{m}$

XI. Calcular la conductancia de un conductor circular que tiene 2 mts de longitud, un radio de 2 cm y una resistividad de $0,5 \Omega \cdot \text{mt}$.

a. 0,2 Siemens

b. 0,04 Siemens

c. 2 Siemens

d. 0,4 Siemens

4.2.2. Problemas de mayor alcance

I. Calcular la conductividad de un conductor que posee una sección transversal de $0,02 \text{ cm}^2$, 5 mts de longitud y $1,2 \Omega$ de resistencia.

a. $2,083 \cdot 10^6$ Siemens

b. $2,083 \cdot 10^3$ Siemens

c. 208,33 Siemens

d. 20,83 Siemens

II. Una barra de silicio es de 4 cm de largo con sección transversal circular. Si su resistencia es de 240Ω a

temperatura ambiente. ¿cuál es el radio de su sección transversal? $\rho=640 \Omega \cdot m$

- a. **18,43 cm**
- b. 10 cm
- c. 17,9 cm
- d. 8,09 cm

- III. Una barra colectora de cobre solido de 250 pies de longitud se usa para conectar una fuente de voltaje a un panel de distribución. Si la barra tiene una resistencia de $0,02 \Omega$ calcular la altura requerida de la barra.

4.3. Ley de Ohm

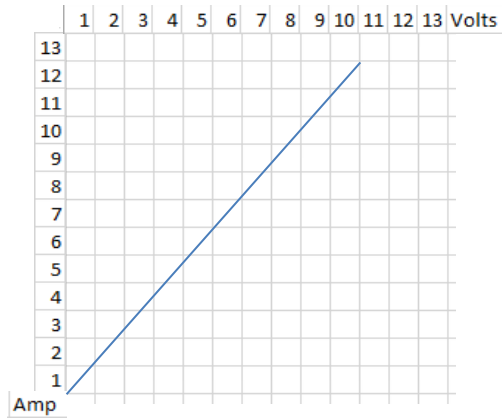
Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.3.1. Problemas de corto alcance

- I. La ley de ohm relaciona tres magnitudes físicas importantes en todo circuito eléctrico y electrónico, estas tres magnitudes son:
- a. Potencia, voltaje y carga
 - b. Voltaje, resistencia y corriente**
 - c. Voltaje, resistencia y carga
 - d. Potencia, energía y corriente
- II. El fenómeno por el cual un campo eléctrico empuja a través de un conductor cargas eléctricas negativas se conoce como:
- a. Efecto Joule

- b. Efecto Corona
 - c. Ley de Ohm**
 - d. Ley de Ampere
- III. La ley de ohm como todo fenómeno está conformada por una causa, un efecto y una oposición, la oposición es conocida como resistencia, ¿qué nombre recibe la causa y el efecto, respectivamente?
- a. Voltaje, Potencia eléctrica
 - b. Voltaje, Trabajo eléctrico
 - c. Corriente, Voltaje
 - d. Voltaje, Corriente**
 - e. Corriente, Potencia eléctrica.
- IV. En la ley de Ohm si la causa es reducida a cero ¿cómo es el efecto que se produce?
- a. El efecto se duplica
 - b. El efecto se mantiene
 - c. El efecto se reduce a cero**
 - d. El efecto se vuelve muy grande
- V. Un estudiante ha tomado nota de varias mediciones de voltaje y corriente hechas en un circuito con una sola resistencia, según la gráfica que se ha construido con la información proporcionada por el estudiante determinar el valor de la resistencia que se encuentra conectada en el circuito.

Figura 159. Ley de Ohm



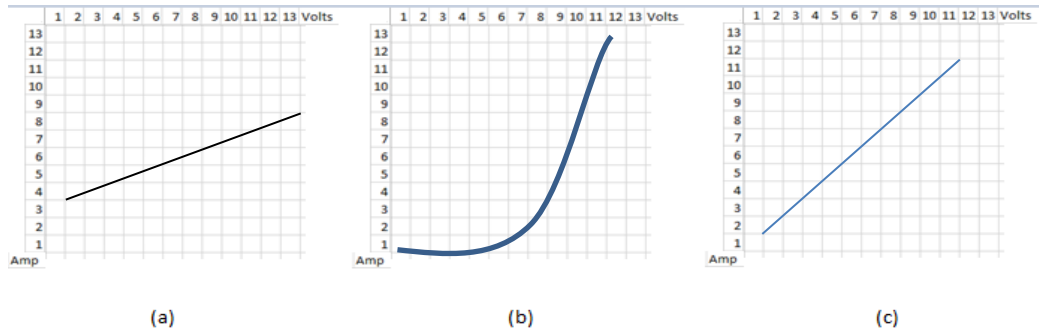
Fuente: elaboración propia.

- a. **0,83333 Ω**
- b. 1 Ω
- c. 1,83333 Ω
- d. 1,2 Ω

VI. A continuación, se muestran tres gráficas, determine cuál de las tres representa a una serie de mediciones hechas en un circuito resistivo.

- a. **(c)**
- b. (a)
- c. (b)
- d. (a) y (b)

Figura 160. **Circuito resistivo**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Si un calentador eléctrico extrae 9,5 A al estar conectado a una fuente de 120 V, ¿cuál es su resistencia interna?
- 10 Ω
 - 12,63 Ω**
 - 1,63 Ω
 - 1140 Ω
 - 79,19 m Ω
- VIII. La corriente de entrada a un transistor es de 20 μA , si el voltaje aplicado es de 24 mV, determinar la resistencia de entrada del transistor.
- 0 Ω
 - ∞ Ω
 - 1200 Ω**
 - 12 Ω
 - 120 Ω
- IX. A través de un conductor fluyen 6 C de carga eléctrica en 500 ms, este movimiento de cargas es producido al tener

una tensión eléctrica de 6 V, determinar el valor de la resistencia del conductor.

- a. 1 Ω
- b. 2 Ω**
- c. 3 Ω
- d. 4 Ω

X. En la figura 51 se muestra un circuito resistivo, asuma que el valor de R2 es muy grande y que en lugar de conectar un óhmetro se conecta una fuente de voltaje con 6 V, si el potenciómetro ha sido ajustado con 2K Ohms, ¿cuál es la corriente que circula por el circuito?

- a. 3 A
- b. 0,3 A
- c. 30 mA
- d. 3 mA**
- e. 300 μ A

XI. Un calefactor eléctrico toma 10 A de una línea de 120 V, la resistencia del calefactor es:

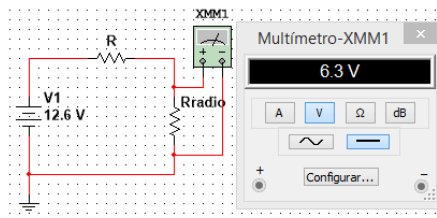
- a. 1200 Ω
- b. 120 Ω
- c. 12 Ω**
- d. 1,2 Ω

XII. La tensión en un resistor de 5 k Ω es de 16 V. Hallar la corriente que circula por el resistor.

- a. 5 mA
- b. 3,2 mA**
- c. 7,98 mA
- d. 3,2 μ A

- XIII. El componente esencial de un tostador es un resistor que convierte la energía eléctrica en energía térmica. ¿Cuánta corriente toma un tostador con resistencia de $12\ \Omega$ a $110\ \text{V}$?
- 9,167 A**
 - 12 A
 - 110 A
 - 3,667 A
- XIV. Una fuente de tensión de $20\ \text{sen}(\pi t)\ \text{V}$ está conectada a través de un resistor de $5\ \text{K}\Omega$, Hallar la corriente a través del resistor.
- $4\ \text{sen}(\pi t)\ \text{mA}$**
 - 5 A
 - $4\ \text{sen}(\pi t)\ \text{A}$
 - 5 mA
- XV. Un radio de automóvil que está diseñado para operar con un sistema de $6,3\ \text{V}$, usa $4,5\ \text{A}$ de corriente como se muestra en la siguiente figura, ¿cuál es la resistencia que debe colocarse en serie con este radio, si se usa con un sistema de $12,6\ \text{V}$?

Figura 161. **Divisor de tensión**



Fuente: elaboración propia.

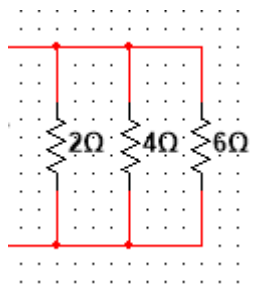
- a. 1,2 k Ω
- b. 1 k Ω**
- c. 2 k Ω

XVI. Tres resistores conectados en serie tienen valores de resistencia con una relación 1:1.5:3.3 y se combinan para dar una resistencia equivalente de 150 Ω , ¿cuál es el resistor de valor más pequeño? Respuesta 25,8621 Ω

XVII. Tres resistores conectados en serie tienen valores de resistencia 25,8621, 38,7932 y 85,345 respectivamente y se combinan para dar una resistencia equivalente de 150 Ω , los tres resistores en serie se colocan a través de una fuente de voltaje de 300 V de cd. ¿cuál es el voltaje que aparecería en el resistor de valor más grande? Respuesta 170,7 V

XVIII. Determine la resistencia equivalente de la combinación mostrada en la siguiente figura. Resp 1,09 Ω

Figura 162. **Resistencia equivalente**



Fuente: elaboración propia.

XIX. Una fuente de corriente I_f y un resistor R están conectados en serie, los elementos conectados en serie tienen la

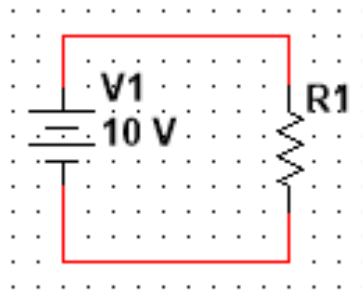
misma corriente, de modo que $I_f = I_R$. Suponga que $I_R = 3 \text{ mA}$ y $v = 24 \text{ V}$. calcular la resistencia R. Respuesta $8 \text{ k}\Omega$

- XX. Una fuente de voltaje V_f y un resistor R están conectados en paralelo, los elementos conectados en paralelo tienen el mismo voltaje, de modo que $V_f = 24 \text{ V}$ e $i = 2 \text{ A}$. Calcular la resistencia R. Respuesta 12Ω

4.3.2. Problemas de mayor alcance

- I. Especificar la resistencia R del siguiente circuito de modo que satisfaga las condiciones siguientes: $i > 40 \text{ mA}$ y que la potencia absorbida por el resistor sea menor a $0,5 \text{ W}$ ($1 \text{ W} = 1 \text{ V} * 1 \text{ A}$).

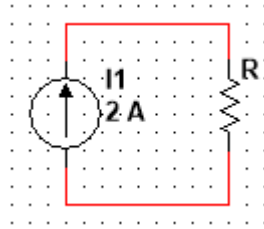
Figura 163. Potencia dependiendo de V



Fuente: elaboración propia.

- II. Especificar la resistencia R del siguiente circuito de modo que se satisfagan las condiciones siguientes: $v > 40 \text{ V}$ y la potencia absorbida por el resistor sea menor a 15 W ($1 \text{ W} = 1 \text{ V} * 1 \text{ A}$).

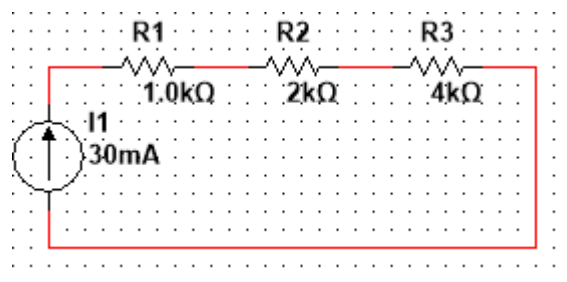
Figura 164. **Potencia dependiendo de I**



Fuente: elaboración propia.

- III. Los resistores vienen dados para una potencia nominal. Por ejemplo, se dispone de resistores a valores nominales de potencia de $1/8\text{ W}$, $1/4\text{ W}$, $1/2\text{ W}$ y 1 W . un resistor a $1/2\text{ W}$ de potencia, es capaz de disipar de manera segura $1/2\text{ W}$ indefinidamente. Los resistores con valores nominales de potencia son más costosos y voluminosos que los resistores para valores nominales de potencia bajos. Una buena práctica en ingeniería requiere que los valores nominales de potencia sean grandes, pero no más grandes de los requeridos. Considerar el circuito que se muestra a continuación. Especificar los valores nominales de potencia para cada uno de los resistores.

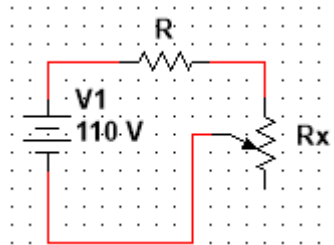
Figura 165. **Potencia disipada**



Fuente: elaboración propia.

- IV. El potenciómetro R_x del siguiente circuito debe diseñarse para ajustar la corriente i_x de 1 A a 10 A. calcular los valores de R y R_x para conseguir ese objetivo.

Figura 166. **Ley de Ohm**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Potencia eléctrica

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.4.1. Problemas de corto alcance

- I. ¿Qué representa la potencia eléctrica?
 - a. **El ritmo con que se consume energía eléctrica a través de una cantidad específica de tiempo.**
 - b. El ritmo a la que se mueven las cargas eléctricas a través de un material.
 - c. La cantidad de voltaje que se mueve por unidad de corriente.
 - d. La cantidad de corriente que fluye en una cantidad específica de tiempo.

- II. ¿Cuál de las siguientes expresiones es correcta para la potencia eléctrica?, donde P es potencia, W es trabajo, Q es carga, I es corriente, V es voltaje, T es tiempo
- a. **$P=(W*I)/Q$**
 - b. $P=(W*V)/Q$
 - c. $P=(W*I)/T$
 - d. $P=W/(Q*T)$
- III. Utilizando la ley de Ohm se pueden obtener otras expresiones matemáticas para calcular la potencia eléctrica, estas son ...
- a. $P=V/I$, $P=I/R^2$
 - b. **$P=V^2/R$, $P=I^2R$**
 - c. $P=I/R^2$, $P=V^2/R$
 - d. $P=I^2R$, $P=V/I$
- IV. Calcular la potencia consumida por el circuito mostrado en la figura 51 si R2 es muy grande y el potenciómetro ha sido ajustado en 2 Kohm, además se le conecta una fuente de voltaje de 10 V.
- a. **50 mW**
 - b. 500 mW
 - c. 5 mW
 - d. 5 W
- V. Calcular la potencia consumida por un circuito que realiza 50 J de trabajo por cada Coulomb de carga que mueve, además produce que 5 Coulomb fluyan en 500 ms.
- a. 125 KW
 - b. 125 W
 - c. **500 W**
 - d. 50 W

- VI. Una bombilla incandescente de 60 W opera a 120 V. ¿Cuántos electrones fluyen por esta en un día?
- a. **1,21 e⁻**
 - b. 2 Me⁻
 - c. 1 e⁻
 - d. 0 e⁻
- VII. Un calentador eléctrico de 1,8 kW tarda 15 min en hervir cierta cantidad de agua. Si esto se hace una vez al día y la energía eléctrica cuesta 10 centavos/kWh, ¿Cuál es el costo de operación del calentador durante 30 días?
- a. **Q 1,23**
 - b. Q 5,12
- VIII. Una lámpara incandescente de 30 W está conectada a una fuente de 120 V y se le deja encendida continuamente en una escalera a oscuras, determine la corriente a través de la lámpara.
- a. **250 mA**
 - b. 300 mA
 - c. 0,5 A
- IX. Una parrilla eléctrica tiene una corriente constante de 10 A que ingresa a la terminal positiva de su fuente de voltaje de 110 V, calcular la potencia absorbida por la parrilla.
- a. 10 W
 - b. 110 W
 - c. **1100 W**
 - d. 0,1 W

- X. La batería de una linterna genera 3 V y la corriente que fluye por el foco es de 200 mA. Determine la energía disipada durante 5 min.
- a. **180 J**
 - b. 3 J
 - c. 0,12 J
 - d. 0,002 J
- XI. Un reproductor portátil usa cuatro baterías AA en serie para proveerle un voltaje de 6 V al circuito del reproductor, las baterías almacenan 200 watt*s de energía, si el reproductor demanda una corriente de 200 mA constantes ¿Cuánto tiempo funcionará el reproductor portátil a la potencia normal?
- a. **166,667 s**
 - b. 1 hr
 - c. 30 m
 - d. 10 s
- XII. La corriente máxima que un resistor de 2 W y 80 kΩ pueden conducir con seguridad es:
- a. 160 kA
 - b. 40 kA
 - c. **5 mA**
 - d. 25 uA
- XIII. Un circuito tiene un elemento en el que la corriente de 5 A y el voltaje de 6 V son constantes, calcular la energía suministrada en el intervalo de 0 a T.
- a. 5T J
 - b. 6T J

- c. **30T J**
- d. 45T J

XIV. Un calentador eléctrico se conecta a una fuente de 250 V constantes, y absorbe 1000 W, después, se desconecta de la primera fuente y se conecta a otra fuente de 210 V. ¿qué potencia absorbe de la fuente de 210V?

- a. **705,6 W**
- b. 810 W
- c. 1250 W
- d. 500 W

XV. La caída de tensión de un tostador de 1,5 kW que toma una corriente de 12 A es:

- a. 18 kV
- b. **125 V**
- c. 120 V
- d. 10,42 V

XVI. Un automóvil se encuentra apagado con las luces encendidas, el acumulador es una fuente constante de 12 V, y el foco tiene una resistencia de 6 Ω , determinar la energía suministrada por el acumulador durante 4 hrs.

- a. **0,346 MJ**
- b. 1 J
- c. 0,5 MJ

XVII. En un hogar, una computadora personal de 120 W funciona durante 4 h/día, mientras que una bombilla de 60 W funciona durante 8 h/día. Si la compañía abastecedora de electricidad cobra Q0,12/kWh, calcular cuánto se pagará al año por la PC y la bombilla.

- a. Q0,24
- b. Q42,05**
- c. Q30,5

XVIII. Una fuente de energía fuerza una corriente constante de 2 A durante 10 s para que fluya por una bombilla eléctrica. Si 2,3 kJ se emiten en forma de luz y energía térmica, calcular la caída de tensión en la bombilla.

- a. 115 V**
- b. 100 V
- c. 125 V

XIX. ¿Cuánta energía consume una bombilla eléctrica de 100 W en dos horas?

- a. 720 kJ
- b. 200 Wh
- c. 500 Wh
- d. a y b son correctas**

XX. Un elemento de estufa eléctrica requiere 15 A cuando está conectado a una línea de 120 V. ¿Cuánto tiempo tarda en consumir 30 kJ?

- a. 16,667 s**
- b. 10,12 s
- c. 25,48 s

XXI. ¿Cuál es el máximo voltaje permitido a través de una resistencia de 1000 Ω y 0,5 watt de resistencia?

- a. 115 V
- b. 22,4 V**
- c. 7 V

4.4.2. Problemas de mayor alcance

- I. Un receptor de TV de 600 W permanece encendido durante 4 h sin que nadie lo vea. Si la electricidad cuesta 10 centavos/kWh, ¿cuánto dinero se desperdicia?
- II. El voltaje a través del elemento de un circuito es $v(t) = 20(1 - e^{-8t})$ V cuando $t \geq 0$ y $v(t) = 0$ cuando $t < 0$. La corriente en este elemento es $i(t) = 30 e^{-8t}$ mA cuando $t \geq 0$ e $i(t) = 0$ cuando $t < 0$. La corriente y el voltaje del elemento se apegan a la convención pasiva. Especificar la potencia que este dispositivo debe ser capaz de absorber de manera segura.
- III. La carga que entra a la terminal positiva de un elemento es $q = 5 \sin 4\pi t$ mC, mientras que la tensión a través del elemento es $v = 3 \sin 4\pi t$ V. Hallar la potencia suministrada al elemento en $t = 0,3$ s y calcular la energía suministrada al elemento entre 0 y 0,6 s.
- IV. Si un altavoz de 10Ω está conectado a un amplificador en serie toma una potencia de 12 W, determinar la potencia máxima que tomará un altavoz de 4Ω .

4.5. Circuitos serie-paralelo y reducción

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.5.1. Problemas de corto alcance

- I. ¿Qué es un nodo?
 - a. Es un punto en un circuito eléctrico.
 - b. Es una conexión donde dos o más dispositivos se unen en alguna de sus terminales.**

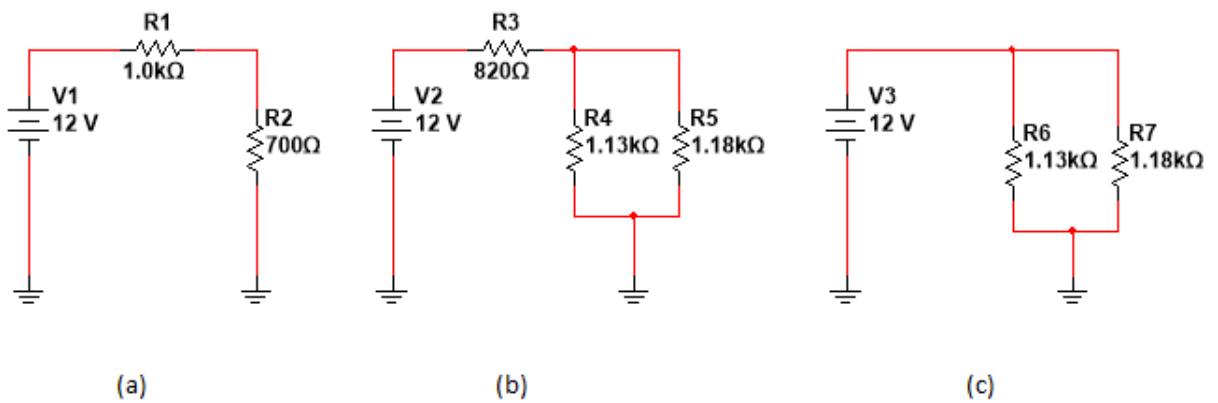
- c. Es cada punto de conexión que tiene un dispositivo eléctrico.
 - d. Es cada par de terminales de un dispositivo electrónico.
- II. En un dispositivo eléctrico o electrónico ¿qué es una terminal eléctrica?
 - a. Es un punto de un dispositivo.
 - b. Es cada punto de cada dispositivo en el circuito.
 - c. Es una conexión donde un dispositivo tiene contacto con los demás dispositivos del circuito.**
 - d. Es el retorno de la corriente.
- III. Un circuito donde se conecta un elemento a la vez a lo largo de una trayectoria se llama...
 - a. Arreglo Paralelo.
 - b. Arreglo Serie.**
 - c. Arreglo Serie-Paralelo.
 - d. Nodo
- IV. Un circuito donde todos los dispositivos conectados tienen dos puntos en común se llama...
 - a. Arreglo Paralelo.**
 - b. Arreglo Serie.
 - c. Arreglo Serie-Paralelo.
 - d. Nodo
- V. Un circuito donde ciertos dispositivos tienen dos puntos de conexión en común y otros están conectados uno a la vez se llama...
 - a. Arreglo Paralelo.
 - b. Arreglo Serie.

c. Arreglo Serie-Paralelo.

d. Nodo

VI. Utilizando los tres circuitos que se muestran en la siguiente figura ordenarlos en serie, paralelo y Serie-paralelo, respectivamente.

Figura 167. **Circuitos serie-paralelo**

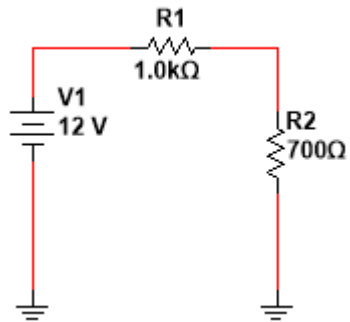


Fuente: elaboración propia.

- a. (a), (b) y (c)
- b. (c), (b) y (a)
- c. (a), (c) y (b)**
- d. (b), (c) y (a)

VII. Encuentre la potencia suministrada por la fuente de voltaje en el siguiente circuito:

Figura 168. Potencia en DC



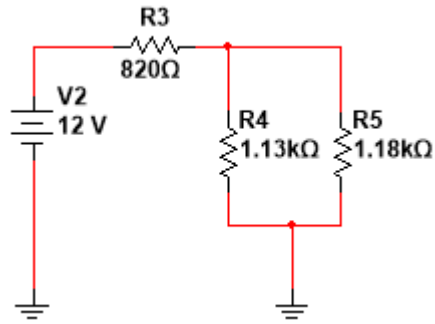
Fuente: elaboración propia.

- a. 20,4 W
- b. 2 W
- c. 84,7 mW**
- d. 8.47 W

VIII. Encuentre la corriente que fluye por la resistencia R4 en el siguiente circuito.

- a. 4,387 mA**
- b. 4,201 mA
- c. 43,87 mA
- d. 42,01 mA

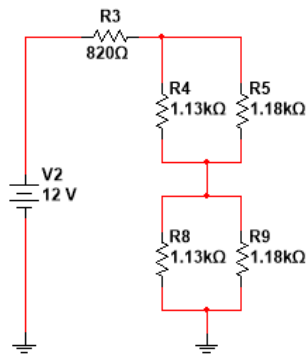
Figura 169. **Corriente en R4**



Fuente: elaboración propia.

- IX. Calcular la resistencia total del circuito que se muestra en la figura siguiente.

Figura 170. **Resistencia total equivalente**

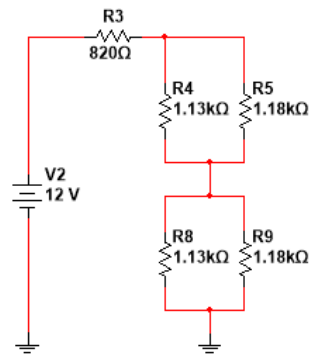


Fuente: elaboración propia.

- a. 5440 KΩ
- b. 2541 KΩ
- c. 1,974 KΩ**
- d. 19,74 KΩ

- X. El circuito que se muestra a continuación tiene una potencia total de 72,931 mW, ¿qué sucede con el valor de la potencia total si el valor de R3 aumenta?

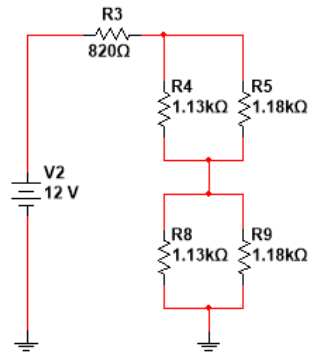
Figura 171. **Potencia sobre R3**



Fuente: elaboración propia.

- a. La potencia se mantiene igual
 - b. La potencia aumenta
 - c. La potencia desciende a cero
 - d. La potencia disminuye**
- XI. El circuito que se muestra a continuación tiene una potencia total de 72,931 mW, ¿qué sucede con el valor de la potencia total si el valor de R5 disminuye?
- a. La potencia se mantiene igual
 - b. La potencia aumenta**
 - c. La potencia desciende a cero
 - d. La potencia disminuye

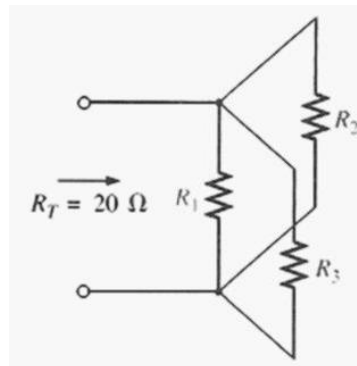
Figura 172. **Potencia sobre R5**



Fuente: elaboración propia.

XII. Determinar el valor de R_1 si $R_2=5R_1$ y $R_3=0,5R_1$

Figura 173. **Encontrar R_1**



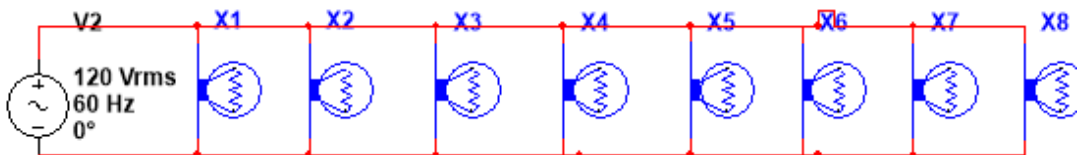
Fuente: elaboración propia.

- a. 32
- b. 64**
- c. 16
- d. 8

XIII. Ocho focos están conectados en paralelo como se muestra en la imagen, ¿si un foco se funde (se abre) como afectaría a la potencia individual de cada foco?

- a. **No afecta en nada a la potencia individual**
- b. La potencia individual disminuye
- c. La potencia individual aumenta
- d. La potencia se vuelve cero

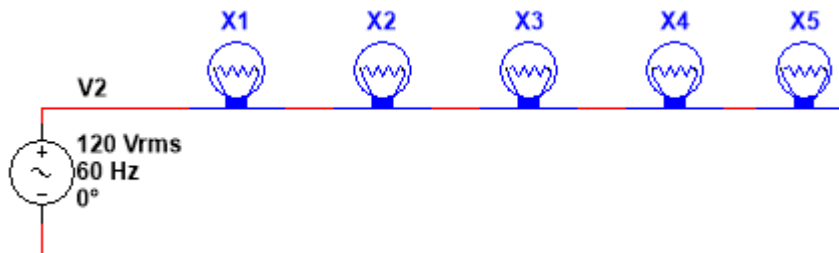
Figura 174. **Potencia individual**



Fuente: elaboración propia.

- XIV. Cinco focos están conectados en serie como se muestra en la imagen, ¿Si un foco se funde (se abre) cual es el valor de la resistencia total del circuito?

Figura 175. **Potencia en serie**

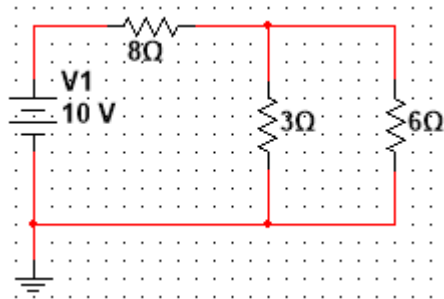


Fuente: elaboración propia.

- a. No sucede nada con la resistencia total
- b. La resistencia total disminuye un poco
- c. La resistencia total es igual a cero
- d. **La resistencia total se vuelve muy grande.**

- XV. Calcule la corriente total del circuito mostrado a continuación. Respuesta 1 A

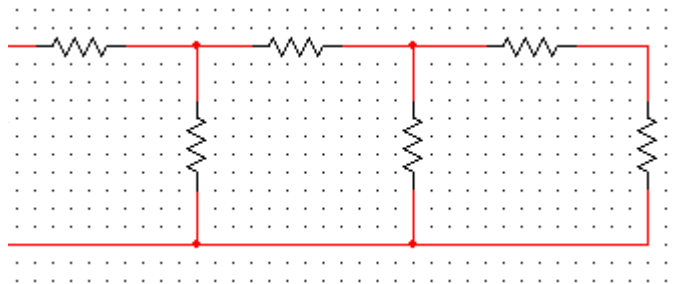
Figura 176. **Corriente total**



Fuente: elaboración propia.

- XVI. Hallar R_{eq} si todos los resistores son de 5Ω . Respuesta $8,125\Omega$

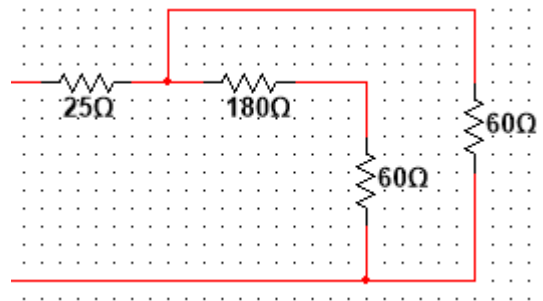
Figura 177. **Resistencia equivalente 1**



Fuente: elaboración propia.

- XVII. Hallar R_{eq} para el circuito que se muestra a continuación. Resp 73Ω

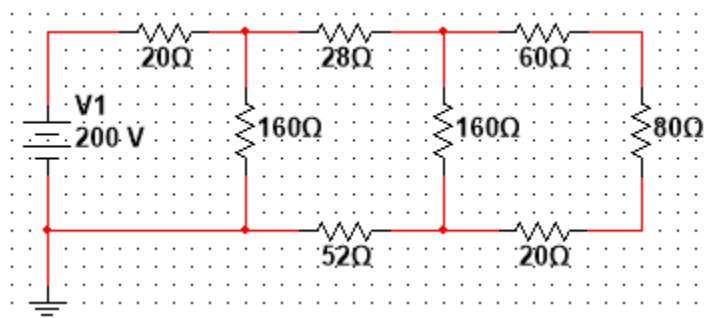
Figura 178. **Resistencia equivalente 2**



Fuente: elaboración propia.

- XVIII. Usando la combinación de resistencias en serie/paralelo, hallar la potencia total disipada en el siguiente circuito. Respuesta 400 W.

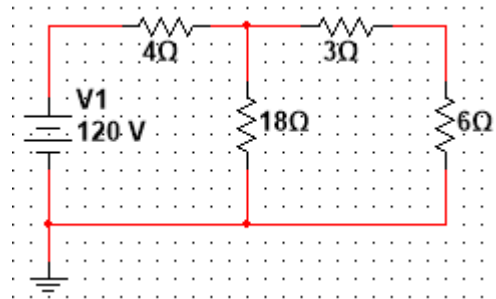
Figura 179. **Potencia disipada**



Fuente: elaboración propia.

- XIX. Calcular la corriente sobre la resistencia de $6\ \Omega$. Respuesta 8 A

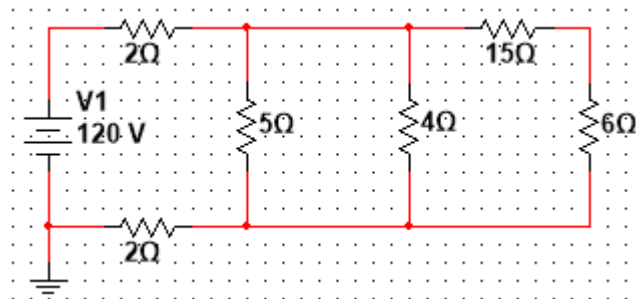
Figura 180. **Corriente individual**



Fuente: elaboración propia.

- XX. Encontrar el voltaje sobre la resistencia de 6 Ω. Respuesta 11,47 V.

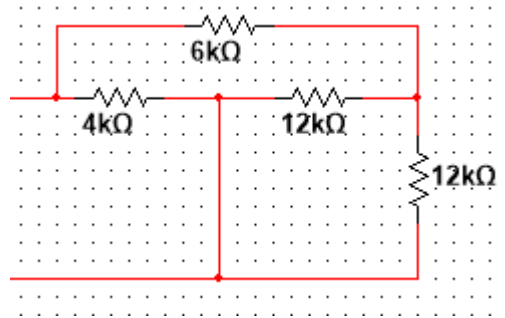
Figura 181. **Voltaje individual**



Fuente: elaboración propia.

- XXI. Encontrar R_{eq} en el siguiente circuito. Respuesta 3 kΩ.

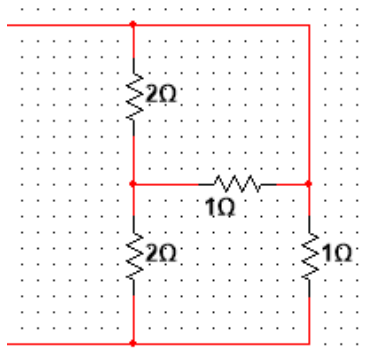
Figura 182. **Resistencia Equivalente, problema XXI**



Fuente: elaboración propia.

XXII. Encontrar R_{eq} en el siguiente circuito. Respuesta 0,727 Ω

Figura 183. **Resistencia equivalente, problema XXII**

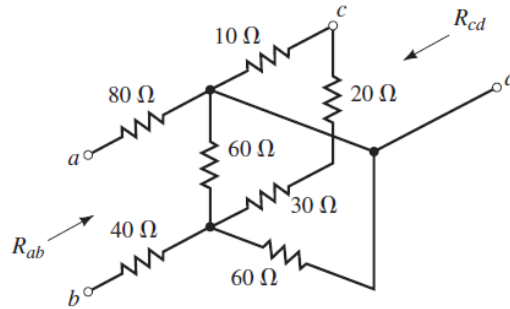


Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Problemas de mayor alcance

- I. Calcular la resistencia R_{ab} y R_{cd} en el siguiente circuito.

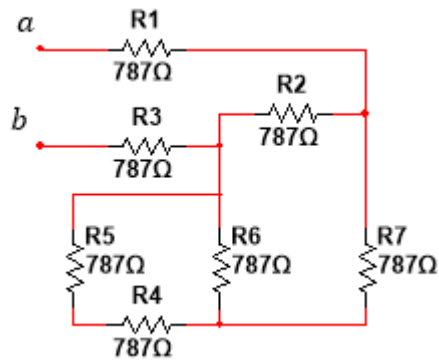
Figura 184. **Resistencia equivalente, problema I**



Fuente: FRAILE MORA, Jesús. *Circuitos Eléctricos*. p. 235.

II. Calcular la resistencia R_{ab} en el siguiente circuito.

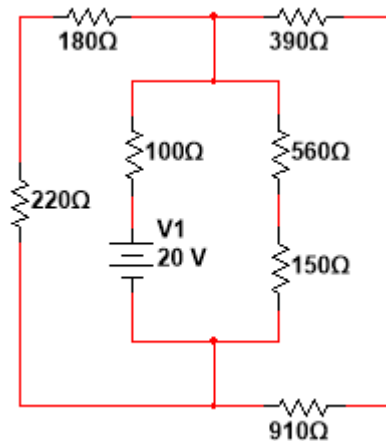
Figura 185. **Resistencia Equivalente, problema II**



Fuente: elaboración propia.

III. Analizar el siguiente circuito y encontrar R_T , I_T , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , V_{ab} y V_{bc} .

Figura 186. **Resistencias, corrientes y voltajes**



Fuente: elaboración propia.

4.6. **Leyes de Kirchhoff**

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.6.1. **Problemas de corto alcance**

- I. La Ley de Voltaje de Kirchhoff establece que la sumatoria de las subidas y bajadas de tensión en cualquier trayectoria debe ser igual a cero.
 - a. Cierto
 - b. Falso**

- II. La Ley de Voltajes de Kirchhoff establece que la suma de todas las subidas de tensión debe ser igual a la suma de todas las bajadas de tensión a través de una malla.

- a. **Cierto**
 - b. Falso

- III. La Ley de Corrientes de Kirchhoff establece que la suma algebraica de todas las corrientes que entran y salen a un nodo debe ser igual a cero.
 - a. Falso
 - b. **Cierto**

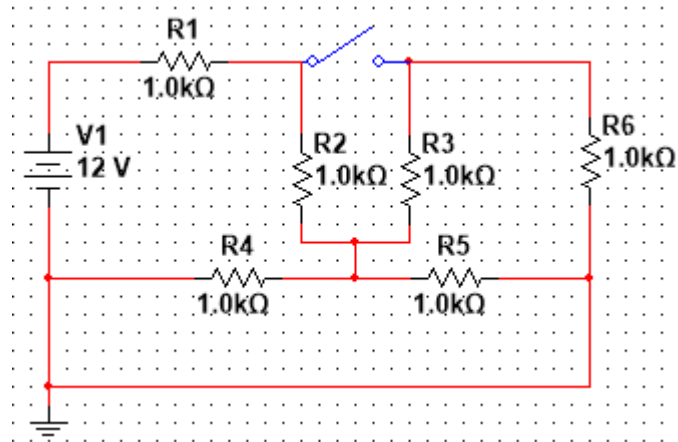
- IV. La Ley de Corrientes de Kirchhoff establece que se puede almacenar carga en un nodo cualquiera.
 - a. Cierto
 - b. **Falso**

- V. ¿De cuál ley se deriva la ley de Corrientes de Kirchhoff?
 - a. Ley de Ohm
 - b. Ley de la conservación de la Energía
 - c. **Ley de la Conservación de la Carga**
 - d. Ley de la Conservación de la Potencia
 - e. Ley de la Conservación de la Corriente

- VI. ¿De cuál ley se deriva la ley de voltajes de Kirchhoff?
 - a. Ley de Ohm
 - b. **Ley de la conservación de la Energía**
 - c. Ley de la Conservación de la Carga
 - d. Ley de la Conservación de la Potencia
 - e. Ley de la Conservación de la Corriente

- VII. ¿Cuántos lazos cerrados o mallas posee el siguiente circuito?

Figura 187. Lazos cerrados



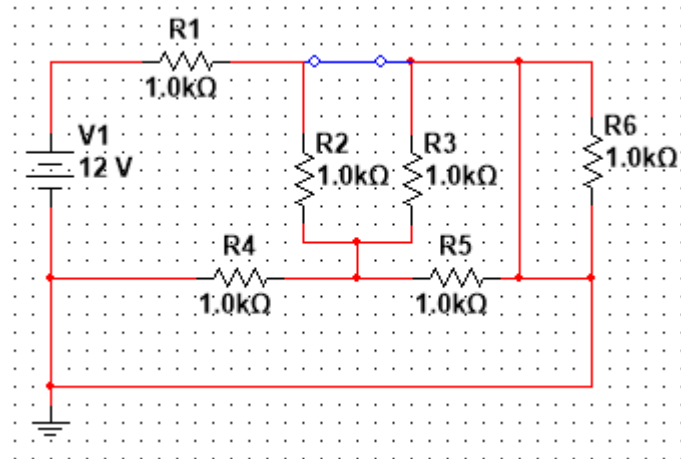
Fuente: elaboración propia.

- a. 2
- b. 3**
- c. 4
- d. 1

VIII. ¿Cuántos lazos cerrados o mallas posee el siguiente circuito?

- a. 2
- b. 3
- c. 4**
- d. 1

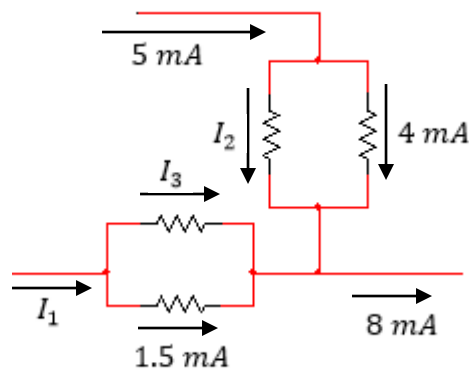
Figura 188. Lazos cerrados



Fuente: elaboración propia.

- IX. Utilizando la Ley de Corrientes de Kirchoff para determinar las corrientes desconocidas de la siguiente figura.

Figura 189. LCK



Fuente: elaboración propia

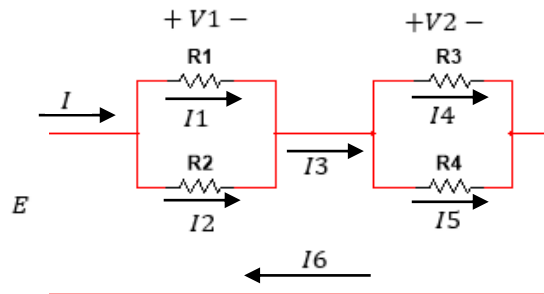
- a. $I_1=3 \text{ mA}$, $I_2=1 \text{ mA}$, $I_3=1,5 \text{ mA}$
- b. $I_1=1 \text{ mA}$, $I_2=1.5 \text{ mA}$, $I_3=1,5 \text{ mA}$
- c. $I_1=1 \text{ mA}$, $I_2=3 \text{ mA}$, $I_3=1,5 \text{ mA}$
- d. $I_1=1,5 \text{ mA}$, $I_2=1 \text{ mA}$, $I_3=3 \text{ mA}$

X. ¿Si en el siguiente circuito $I=I_3=I_6$ entonces $I_1+I_2=I_4+I_5$?

- a. **Cierto**
- b. Falso

XI. ¿Si $E=10 \text{ V}$ y $V_2=6 \text{ V}$, cuál es el valor de V_1 ?

Figura 190. LVK

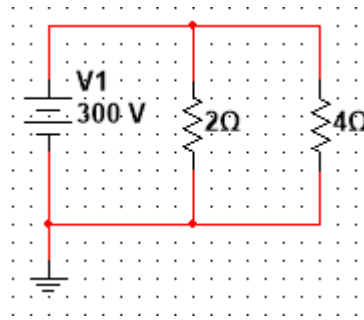


Fuente: elaboración propia.

- a. 5 V
- b. 6 V
- c. **4 V**
- d. 7 V

- XII. Identificar las trayectorias cerradas en el siguiente circuito.
Respuesta 3 trayectorias

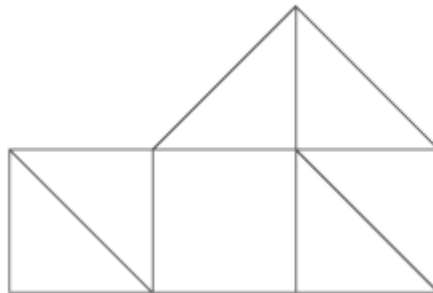
Figura 191. **Trayectorias**



Fuente: elaboración propia.

- XIII. Para la red mostrada en la siguiente figura hallar el número de nodos y lazos. Respuesta $n=9$, $l=7$ respectivamente.

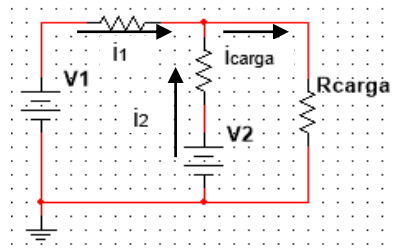
Figura 192. **Nodos y lazos**



Fuente: elaboración propia.

- XIV. Dos fuentes están conectadas a la misma carga, como se muestra en el siguiente circuito, la corriente de carga es de 12 A, y la primera fuente suministra 8 A. ¿Cuánta corriente suministra la segunda fuente? Respuesta 4 A

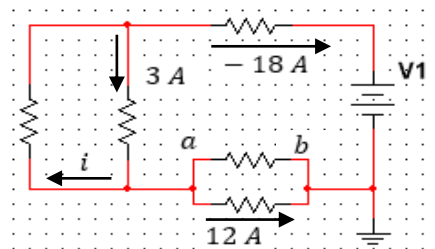
Figura 193. **Corriente suministrada**



Fuente: elaboración propia.

- XV. Usar la LCK para determinar i e i_{ab} en el siguiente circuito. Respuesta -15 A y 6 A respectivamente.

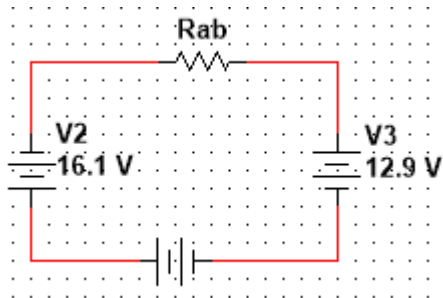
Figura 194. **LCK**



Fuente: elaboración propia.

- XVI. ¿Cuál es el voltaje de la fuente desconocida si $V_{ab} = 12,3$ V? Respuesta 41,3 V

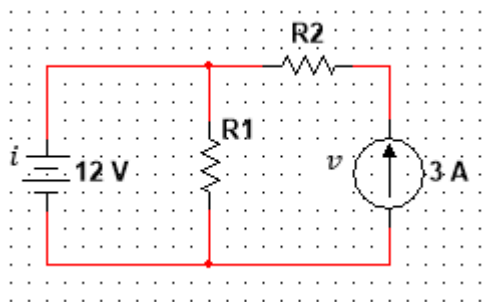
Figura 195. **Voltaje desconocido**



Fuente: elaboración propia.

- XVII. Suponer que $R1 = 6 \Omega$ y $R2 = 3 \Omega$, encontrar la corriente i y el voltaje v en cada una de las fuentes. Respuesta 21 V y 1 A

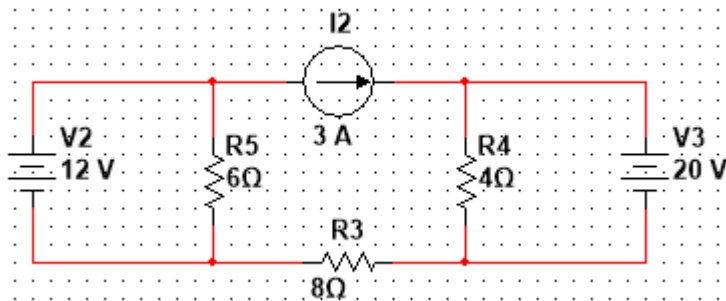
Figura 196. **Voltaje y corriente desconocidos**



Fuente: elaboración propia.

XVIII. Determinar la potencia absorbida por la resistencia de $4\ \Omega$ en el siguiente circuito. Respuesta $100\ W$

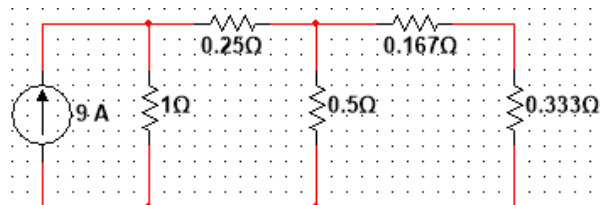
Figura 197. **Potencia absorbida**



Fuente: elaboración propia.

XIX. Calcule el voltaje en la resistencia de $1\ \text{Siemen}$ en el siguiente circuito.

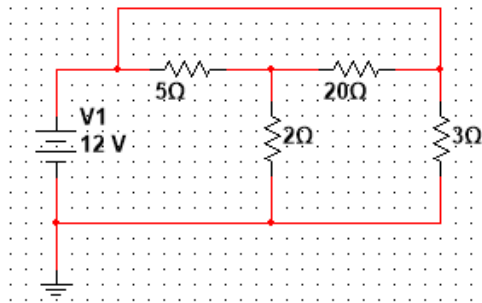
Figura 198. **Caída de tensión**



Fuente: elaboración propia.

- XX. Determinar el valor de la corriente sobre el resistor de $2\ \Omega$.
Respuesta $16\ \text{A}$

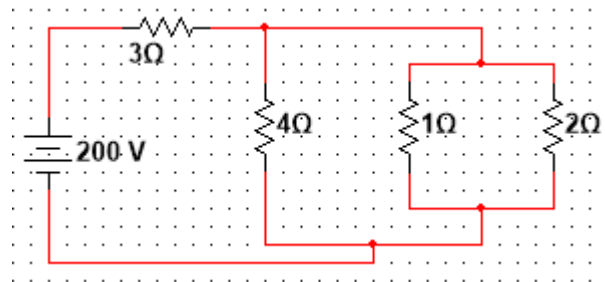
Figura 199. **Corriente en resistor**



Fuente: elaboración propia.

- XXI. Determinar el valor de la corriente que fluye a través de la resistencia de $2\ \Omega$.

Figura 200. **Corriente desconocida**

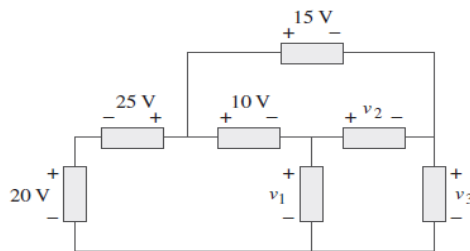


Fuente: elaboración propia.

4.6.2. Problemas de mayor alcance

- I. En el siguiente circuito los recuadros pueden ser cualquier dispositivo pasivo, obtener V_1 , V_2 y V_3 .

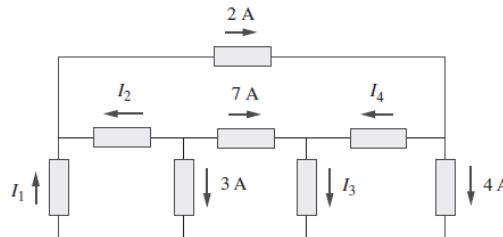
Figura 201. Voltajes desconocidos



Fuente: HAYT. William H. *Análisis de circuitos en Ingeniería*. p. 325

- II. En el siguiente circuito los recuadros pueden ser cualquier dispositivo pasivo o incluso raro, obtener las corrientes de las ramas I_1 a I_4 .

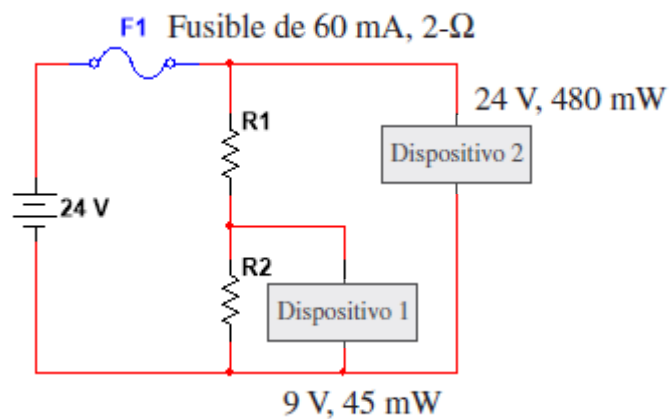
Figura 202. Corrientes desconocidas



Fuente: HAYT. William H. *Análisis de circuitos en Ingeniería*. p. 325.

- III. Dos dispositivos delicados se especifican como se indica en la siguiente imagen. Hallar los valores de los resistores R_1 y R_2 necesarios para alimentar los dispositivos con una batería de 24 V.

Figura 203. Problema de aplicación



Fuente: elaboración propia.

4.7. Divisor de tensión y corriente

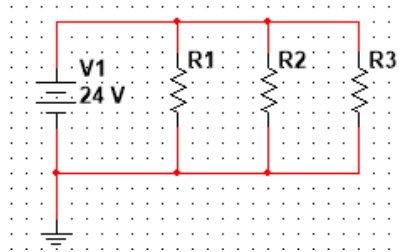
Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.7.1. Problemas de corto alcance

- I. El divisor de tensión es una herramienta que se utiliza para calcular una caída de tensión en un circuito...
 - a. Paralelo
 - b. Serie**
 - c. Serie-paralelo
 - d. ninguna

- II. El divisor de corriente es una herramienta que se utiliza para calcular la corriente a través de un ramal en un circuito
- a. **Paralelo**
 - b. Serie
 - c. Serie-paralelo
 - d. ninguna
- III. El divisor de tensión se utiliza para calcular una caída de tensión en un circuito cuando no se conoce ...
- a. El voltaje de entrada
 - b. **La corriente total de entrada**
 - c. La resistencia total del circuito
 - d. La resistencia individual
- IV. El divisor de corriente se utiliza para calcular la corriente en un ramal cuando no se conoce ...
- a. **El voltaje de entrada**
 - b. La corriente total de entrada
 - c. La resistencia total del circuito
 - d. La resistencia individual
- V. Diseñar el circuito que se muestra en la siguiente imagen de tal manera que $I_2=4I_1$ e $I_3=3I_2$. La corriente total es 68 mA.
- a. **$R_1=6\text{ K}\Omega$, $R_2=1,5\text{ K}\Omega$, $R_3=0,5\text{ K}\Omega$**
 - b. $R_1=0,5\text{ K}\Omega$, $R_2=0,125\text{ K}\Omega$, $R_3=41,6\ \Omega$
 - c. $R_1=12\text{ K}\Omega$, $R_2=1\text{ K}\Omega$, $R_3=0,333\text{ K}\Omega$
 - d. $R_1=6\text{ K}\Omega$, $R_2=6\text{ K}\Omega$, $R_3=0,5\text{ K}\Omega$

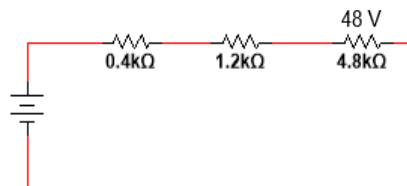
Figura 204. **Problema de diseño**



Fuente: elaboración propia.

- VI. Utilizando el divisor de tensión determinar el valor del voltaje aplicado por la fuente V1 en el siguiente circuito.
- a. 7,2 V
 - b. 64 V**
 - c. 32 V
 - d. 48 V

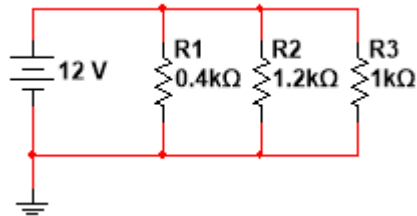
Figura 205. **Divisor de tensión 1**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Con la ayuda del divisor de corriente encontrar el valor de la corriente que fluye a través de R3.

Figura 206. **Divisor de tensión 2**

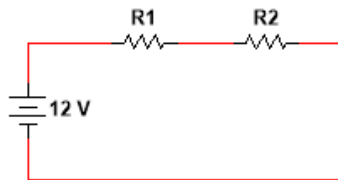


Fuente: elaboración propia.

- a. 32 mA
- b. 20 mA
- c. 12 mA**
- d. 40 mA

VIII. ¿Qué valor debe tener R2 para que tenga una diferencia de potencial de 3 V si $R1+R2=1000 \Omega$?

Figura 207. **Diferencia de potencial**

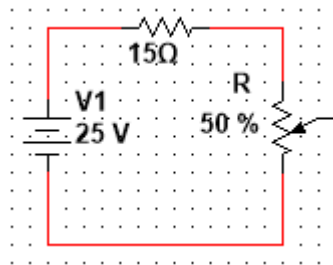


Fuente: elaboración propia.

- a. 200 Ω
- b. 250 Ω**
- c. 300 Ω
- d. 275 Ω

- IX. Para el circuito mostrado en la siguiente imagen, la flecha indica que el resistor R es variable; entonces, el voltaje a través de R , $V(R)$, dependerá del valor de R , como indica la notación. Determinar la función y graficar $V(R)$ para $0 < R < 40 \Omega$ y determine el valor de R con el cual se obtiene $5,5 \text{ V}$.

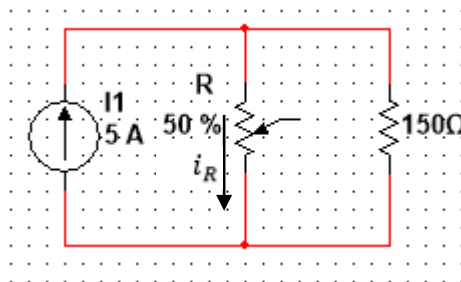
Figura 208. **Problema de análisis**



Fuente: elaboración propia.

- X. Para el circuito mostrado en la siguiente imagen determinar R si $i_R = 0,5 \text{ A}$. Respuesta 1350Ω

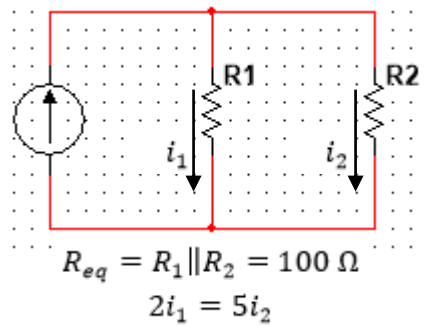
Figura 209. **Resistencia desconocida**



Fuente: elaboración propia.

- XI. Diseñar un divisor de corriente que tenga una resistencia equivalente de $100\ \Omega$ y dividir la corriente en una relación de 5:2.

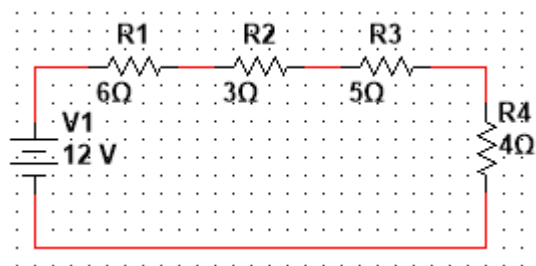
Figura 210. **Divisor de corriente**



Fuente: elaboración propia.

- XII. Usar la división de voltaje para determinar los voltajes V1, V2, V3 y V4, en el circuito siguiente.

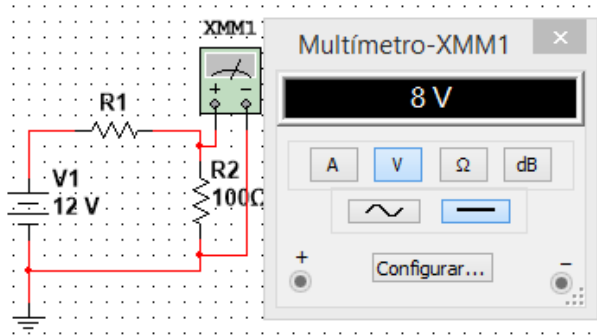
Figura 211. **División de voltaje**



Fuente: elaboración propia.

- XIII. El voltímetro ideal en el circuito que se muestra en la siguiente imagen mide el voltaje V . Suponer que $R_2 = 100 \Omega$, determinar el valor de R_1 . Resp 50Ω

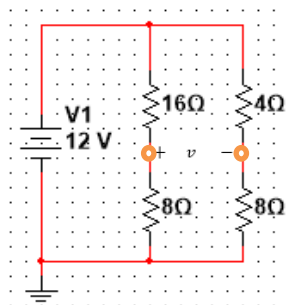
Figura 212. **Caída de tensión en R_1**



Fuente: elaboración propia.

- XIV. Calcular el voltaje v en el circuito que se muestra en la siguiente imagen. Respuesta $-4 V$

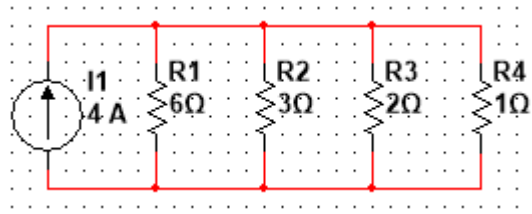
Figura 213. **Voltaje desconocido**



Fuente: elaboración propia.

- XV. Usar el divisor de corriente para determinar las corrientes i_1 , i_2 , i_3 e i_4 , en el circuito que se muestra a continuación.

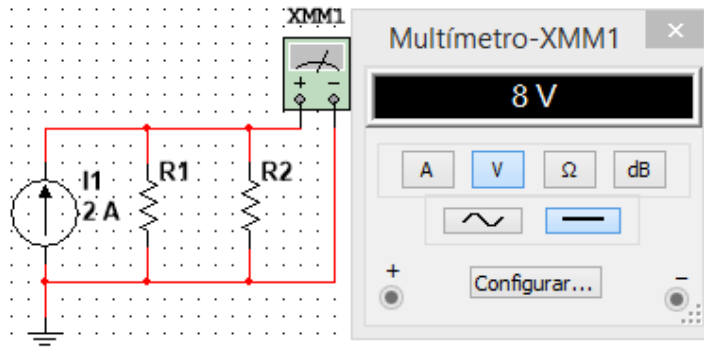
Figura 214. **Corrientes desconocidas**



Fuente: elaboración propia.

- XVI. El voltímetro ideal en el circuito que se muestra a continuación mide el voltaje v . suponer $R_2 = 12 \Omega$. Determinar el valor de R_1 y de la corriente i . Respuesta 6Ω y $1,33 \text{ A}$

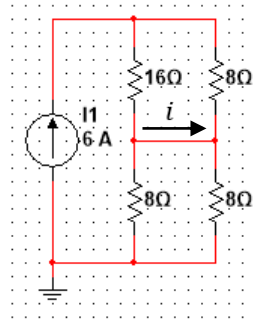
Figura 215. **Resistencia desconocida**



Fuente: elaboración propia.

- XVII. Determinar la corriente i en el siguiente circuito. Respuesta -1 A

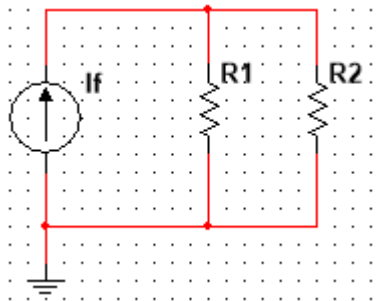
Figura 216. **Corriente desconocida**



Fuente: elaboración propia.

- XVIII. Considerar el circuito siguiente, cuando $4 \Omega \leq R1 \leq 6 \Omega$ y $R2 = 10 \Omega$, seleccionar la fuente i_f de modo que v_{R2} permanezca entre 9 y 13 V.

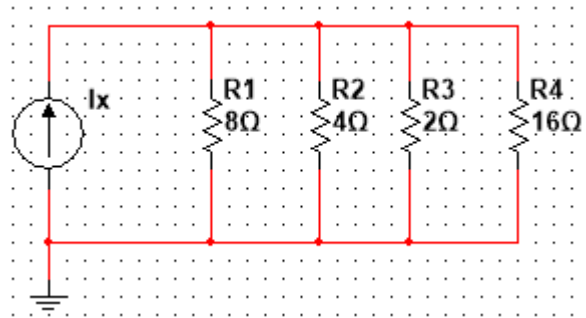
Figura 217. **Diseño de circuitos 1**



Fuente: elaboración propia.

- XIX. Para el circuito de la siguiente imagen $i_{R4} = 2 \text{ A}$, calcular i_x y la potencia total disipada por el circuito. Respuesta 30 A y 960 W.

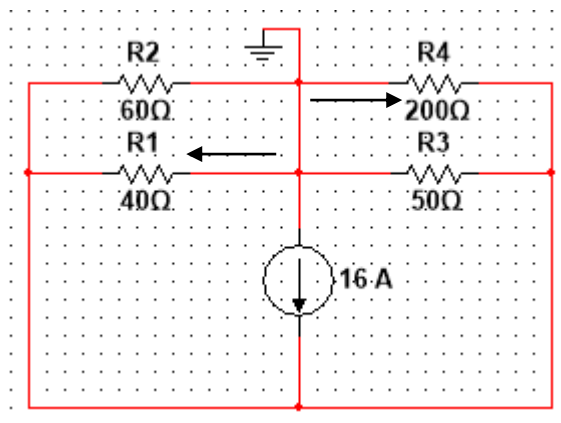
Figura 218. **Diseño de circuitos 2**



Fuente: elaboración propia.

- XX. Hallar i_1 e i_4 en el circuito de la imagen siguiente. Respuesta -6 A y -1,2 A respectivamente.

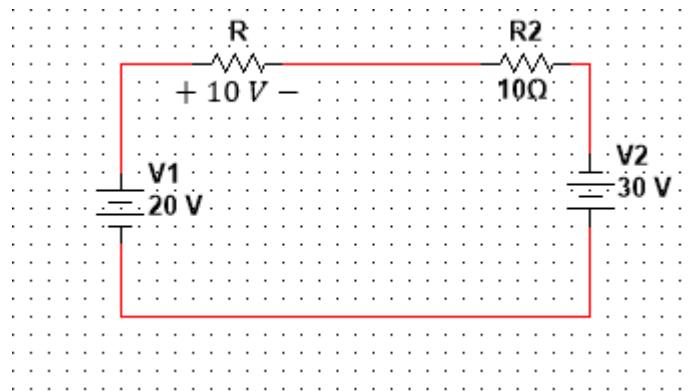
Figura 219. **Corrientes desconocidas**



Fuente: elaboración propia.

- XXI. Hallar R si $V_R = 10\text{ V}$ en el siguiente circuito. Respuesta $2,5\ \Omega$

Figura 220. Resistencia desconocida



Fuente: elaboración propia.

4.7.2. Problemas de mayor alcance

- I. Un amperímetro analógico está construido con un galvanómetro en paralelo con una resistencia R_1 , el galvanómetro está diseñado para soportar un máximo de 1 A y tiene una resistencia interna de $2\ \text{ohm}$, determinar el valor máximo de corriente que se debe inyectar al amperímetro si la resistencia R_1 es ajustada a $1\ \Omega$.
 - a. 1 A
 - b. 2 A
 - c. 3 A**
 - d. $2,5\text{ A}$

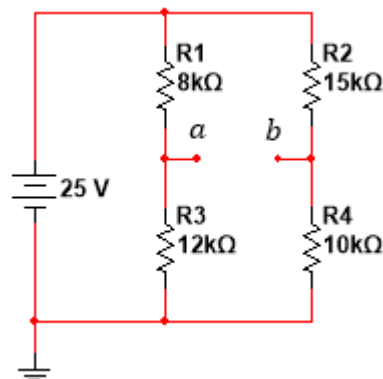
- II. Un voltímetro analógico está construido con una resistencia $R_1=30\ \text{K}\Omega$ en serie con un galvanómetro que posee $115\ \Omega$, si la potencia máxima que disipa el galvanómetro es de

0,1142 mW, determinar el voltaje máximo que se puede conectar al galvanómetro.

- a. 40 V
- b. 30 V**
- c. 35 V
- d. 45 V

- III. Considere el puente de Wheatstone que se muestra en el siguiente circuito, calcular V_{ab} , y luego calcular V_{ab} si la tierra física se encuentra en a.

Figura 221. **Puente de Wheatstone**

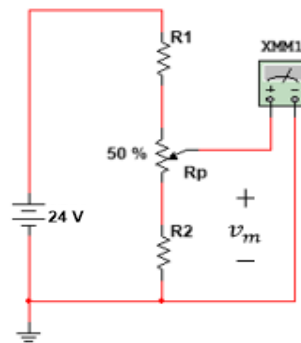


Fuente: elaboración propia.

- IV. En el siguiente circuito se usa un potenciómetro para producir un voltaje variable. El voltaje v_m cambia a medida que se gira la perilla que está conectada al cursor del potenciómetro. Especificar las resistencias R_1 y R_2 de modo que se cumplan los tres requerimientos siguientes.

1. El voltaje v_m varía desde 8 V hasta 12 V a medida que se mueve el cursor de un extremo el potenciómetro al otro.
2. La fuente de voltaje suministra menos de 0.5 W de potencia
3. Cada una de las resistencias R_1 , R_2 y R_p disipa menos de 0,25 W.

Figura 222. **Voltaje variable**



Fuente: elaboración propia.

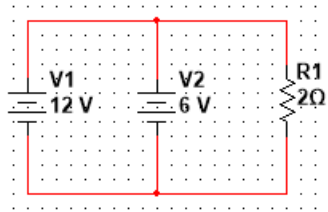
4.8. Análisis con fuentes de voltaje y corriente

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.8.1. Problemas de corto alcance

- I. Determinar si el siguiente arreglo entre fuentes es posible construirlo sin violar las leyes básicas de circuitos.
 - a. Si es posible
 - b. No es posible**

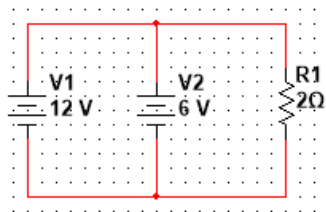
Figura 223. **Conexión entre fuentes de voltaje 1**



Fuente: elaboración propia.

- II. Determine qué ley o regla es violada en la construcción del siguiente circuito.

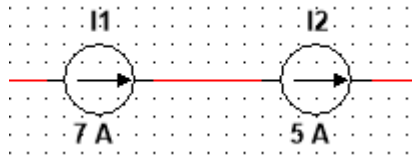
Figura 224. **Conexión entre fuentes de voltaje 2**



Fuente: elaboración propia.

- a. Ley de Corriente de Kirchhoff
b. Ley de Voltajes de Kirchhoff
c. Ley de Ohm
d. Regla del divisor de corriente
- III. Determinar si es posible construir el siguiente arreglo de fuentes sin violar las leyes básicas de circuitos.
- a. Si es posible
b. No es posible

Figura 225. **Conexión entre fuentes de corriente 1**

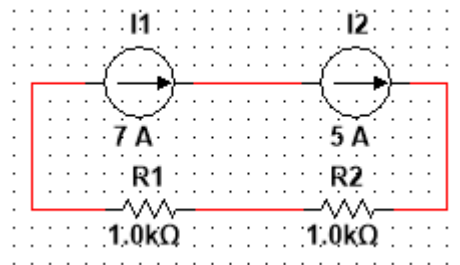


Fuente: elaboración propia.

IV. Determinar qué ley o regla es violada en la construcción del siguiente circuito.

- a. **Ley de Corriente de Kirchhoff**
- b. Ley de Voltajes de Kirchhoff
- c. Ley de Ohm
- d. Regla del divisor de corriente

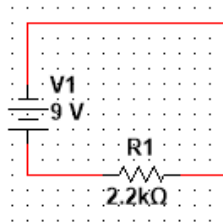
Figura 226. **Conexión entre fuentes de corriente 2**



Fuente: elaboración propia.

V. Han solicitado convertir la siguiente fuente de voltaje en fuente de corriente, Determinar el valor de la fuente de corriente necesaria para realizar la conversión.

Figura 227. Fuente de corriente

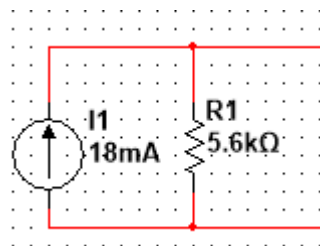


Fuente: elaboración propia.

- a. 9 A
- b. 4 A
- c. 9,09 mA
- d. 4,09 mA**

VI. Se ha solicitado convertir la siguiente fuente de corriente en fuente de voltaje, determinar el valor de la fuente de voltaje necesaria para realizar la conversión.

Figura 228. Conversión de fuentes



Fuente: elaboración propia.

- a. 100,8 V**
- b. 10,8 V
- c. 1,8 V

d. 18 V

VII. Si se convierten todas las fuentes de corriente del siguiente circuito a una sola fuente de voltaje, ¿cuál será la magnitud de esta fuente de voltaje?

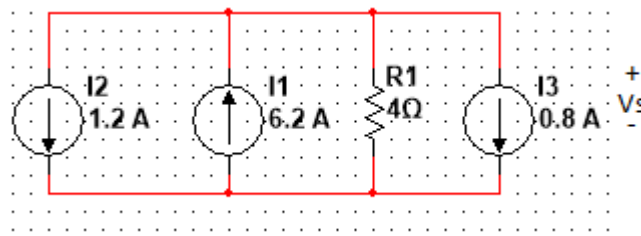
a. 32,8 V

b. 16,8 V

c. 23,2 V

d. 11,2 V

Figura 229. **Conversión entre fuentes de corriente**



Fuente: elaboración propia.

VIII. Determinar el voltaje V_{ab} en el siguiente circuito.

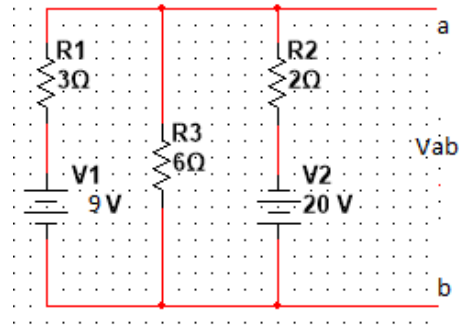
a. 13 V

b. 7 V

c. -13 V

d. -7 V

Figura 230. **Voltaje entre a y b**

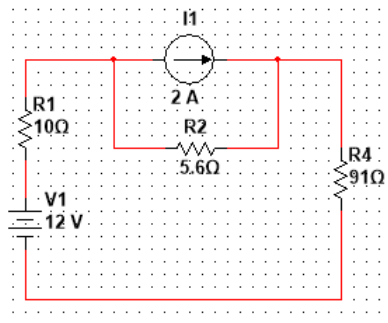


Fuente: elaboración propia.

IX. Determinar la magnitud de la corriente que fluye a través de R2 en el siguiente circuito.

- a. 1,78 A
- b. 2,22 A
- c. 4,78 A
- d. 1,7 A

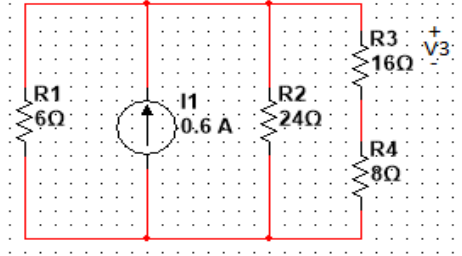
Figura 231. **Corriente en el resistor**



Fuente: elaboración propia.

X. Determinar el voltaje en R3 del siguiente circuito.

Figura 232. Caída de tensión en R3, problema X

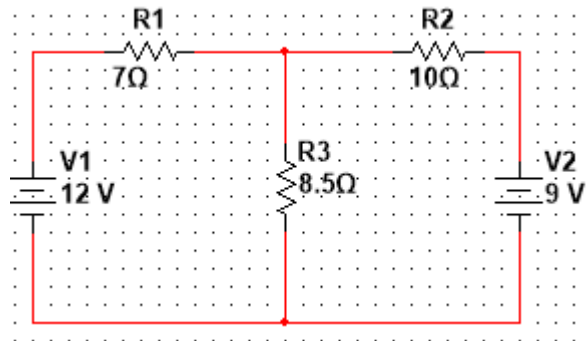


Fuente: elaboración propia.

- a. 1,6 V
- b. 0,8 V
- c. 2,4 V
- d. 3,2 V

XI. Determine el voltaje en R3. Respuesta 7,25

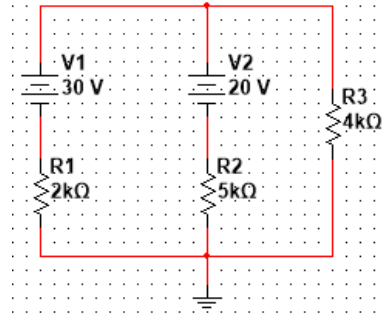
Figura 233. Caída de tensión en R3, problema XI



Fuente: elaboración propia.

XII. Obtener el voltaje en el resistor de 4 k Ω . Respuesta 20 V

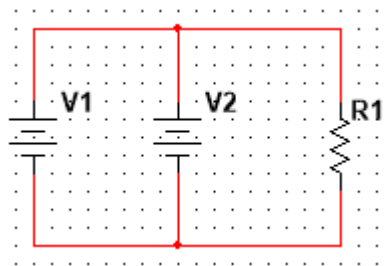
Figura 234. **Caída de tensión en R, problema XII**



Fuente: elaboración propia.

XIII. Indicar con que valores de V, I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

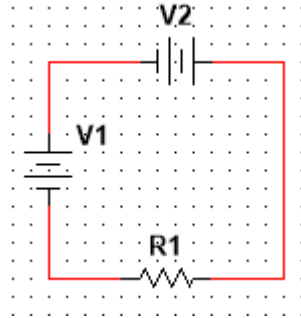
Figura 235. **Diseño de circuitos, problema XIII**



Fuente: elaboración propia.

XIV. Indicar con que valores de V, I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

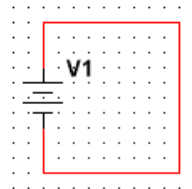
Figura 236. **Diseño de circuitos, problema XIV**



Fuente: elaboración propia.

- XV. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

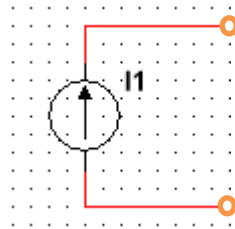
Figura 237. **Diseño de circuitos, problema XV**



Fuente: elaboración propia.

- XVI. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

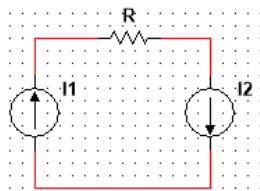
Figura 238. **Diseño de circuitos, problema XVI**



Fuente: elaboración propia.

XVII. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

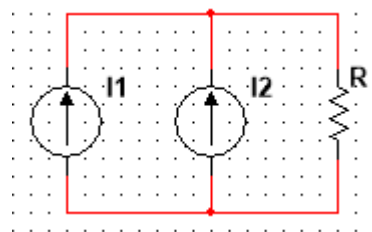
Figura 239. **Diseño de circuitos, problema XVII**



Fuente: elaboración propia.

XVIII. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

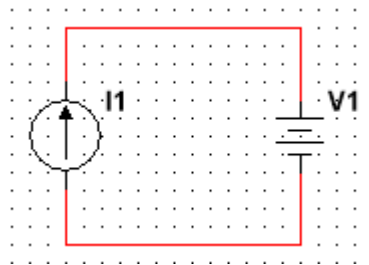
Figura 240. **Diseño de circuitos, problema XVIII**



Fuente: elaboración propia.

- XIX. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

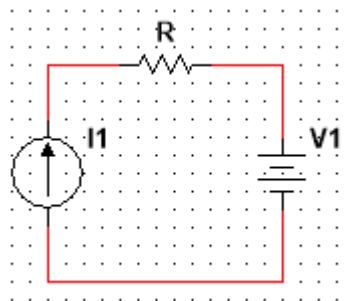
Figura 241. **Diseño de circuitos, problema XIX**



Fuente: elaboración propia.

- XX. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

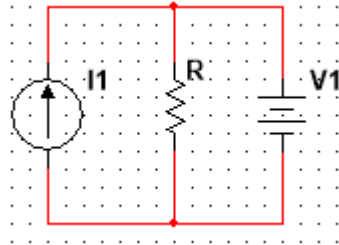
Figura 242. **Diseño de circuitos, problema XX**



Fuente: elaboración propia.

- XXI. Indicar con que valores de V , I y R es posible construir el siguiente circuito y si no es posible indique el motivo.

Figura 243. **Diseño de circuitos, problema XXI**

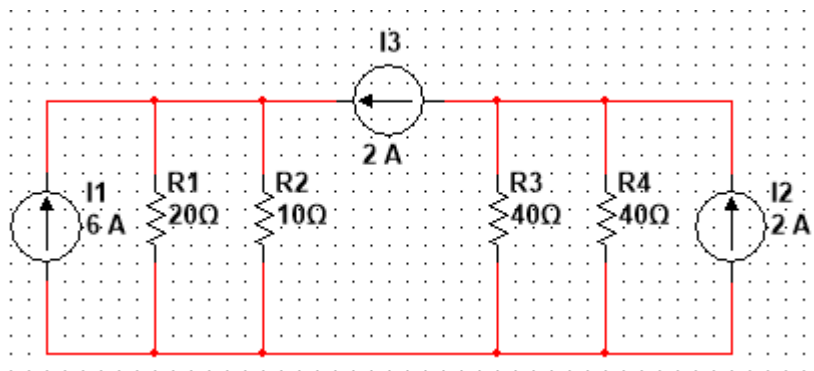


Fuente: elaboración propia.

4.8.2. Problemas de mayor alcance

- I. Dado el circuito mostrado en la siguiente imagen calcular i_{R_2} e i_{R_3} . Respuesta 5,33 A y 0 A respectivamente.

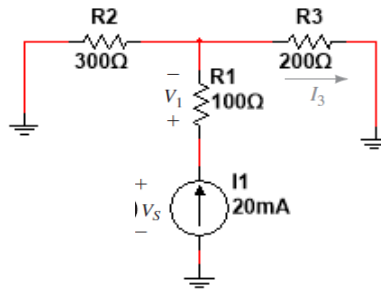
Figura 244. **Corrientes desconocidas**



Fuente: elaboración propia.

- II. Dado el siguiente circuito, encontrar I_3 , V_s y V_1 .

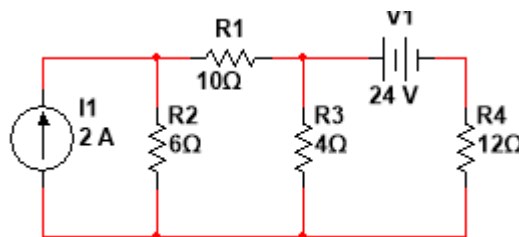
Figura 245. **Valores desconocidos**



Fuente: elaboración propia.

III. Determinar el voltaje y la corriente en el resistor de 4 Ω.

Figura 246. **Voltaje y corrientes desconocidos**



Fuente: elaboración propia.

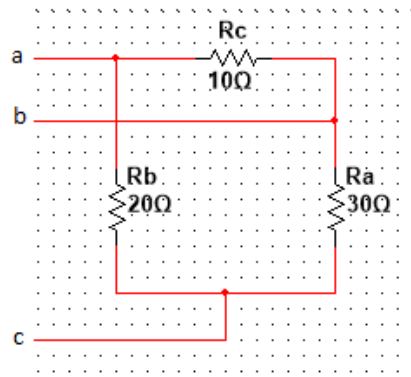
4.9. Conversión ΔY

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.9.1. Problemas de corto alcance

I. Convertir la Δ del siguiente circuito en una Y

Figura 247. **Conversión delta-estrella, problema I**

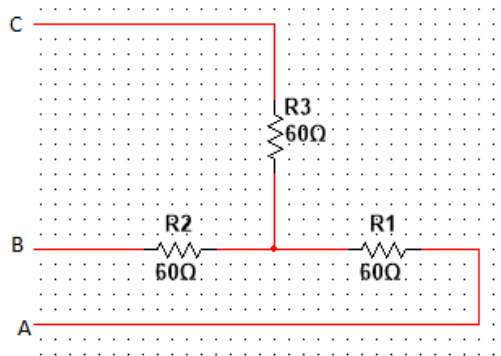


Fuente: elaboración propia.

- a. $R_1=3,33333$, $R_2=10$, $R_3=5 \Omega$
- b. $R_1=3,33333$, $R_2=5$, $R_3=10 \Omega$**
- c. $R_1=5$, $R_2=5$, $R_3=10 \Omega$
- d. $R_1=5$, $R_2=10$, $R_3=10 \Omega$

II. Convertir la Y del siguiente circuito en una Δ .

Figura 248. **Conversión estrella-delta, problema II**



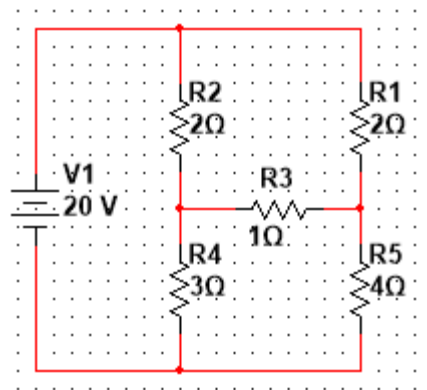
Fuente: elaboración propia.

- a. $R_a=R_b=R_c=120\ \Omega$
- b. $R_a=120, R_b=150, R_c=180\ \Omega$
- c. $R_a=R_b=R_c=180\ \Omega$**
- d. $R_a=180, R_b=150, R_c=120$

III. Determinar la corriente total que fluye por el siguiente circuito.

- a. 5 A
- b. 2.5 A
- c. 7,358 A**
- d. 5,358 A

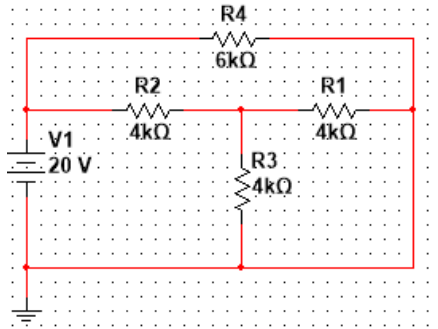
Figura 249. Corriente desconocida



Fuente: elaboración propia.

IV. Determinar el valor de la corriente que circula por el siguiente circuito sin tener que realizar una conversión Δ -Y.

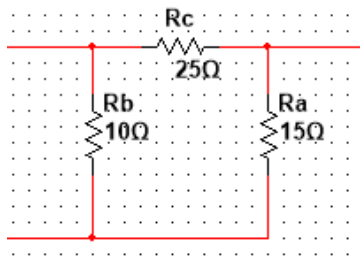
Figura 250. **Conversión delta-estrella, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

- a. Imposible determinarlo sin conversión Δ -Y.
 - b. 500 mA
 - c. 133,33 mA**
 - d. 350 mA
 - e. 53,55 mA
- V. Convierta la red delta siguiente en una red Y equivalente.
 Respuesta $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 7,5 \Omega$ y $R_3 = 3 \Omega$

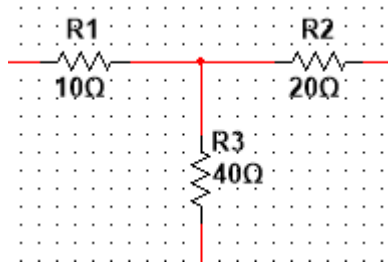
Figura 251. **Conversión delta-estrella, problema V**



Fuente: elaboración propia.

- VI. Convertir la red en estrella siguiente en una red delta equivalente. Respuesta $R_a = 140 \Omega$, $R_b = 70 \Omega$ y $R_c = 35 \Omega$.

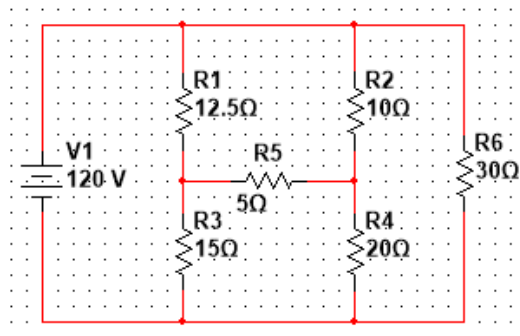
Figura 252. **Conversión estrella-delta, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Hallar la corriente total del circuito utilizando la conversión Δ -Y o viceversa. Respuesta 12,458 A

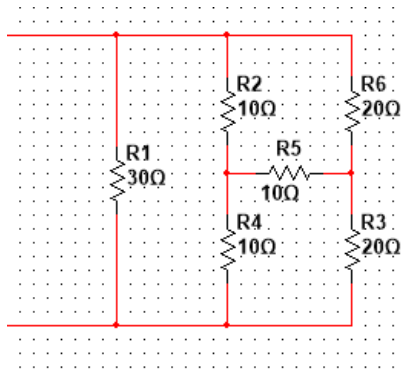
Figura 253. **Conversión delta-estrella, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Obtener la resistencia equivalente en las terminales del siguiente circuito. Respuesta $9,231 \Omega$

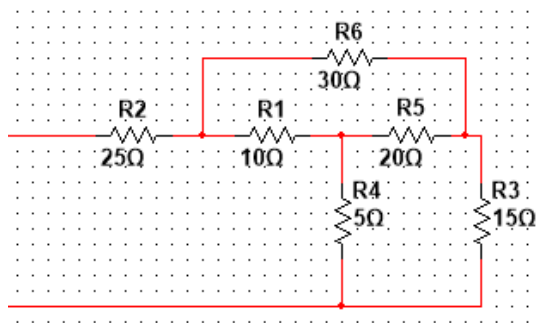
Figura 254. **Resistencia equivalente, problema VIII**



Fuente: elaboración propia.

- IX. Obtener la resistencia equivalente en las terminales del siguiente circuito. Respuesta $36,25 \Omega$

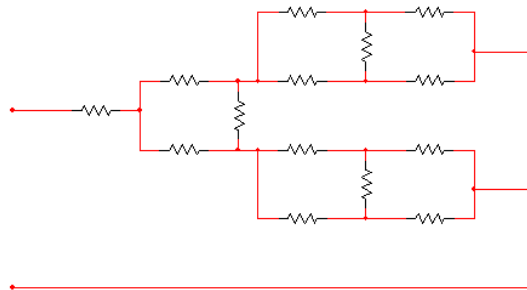
Figura 255. **Resistencia equivalente, problema IX**



Fuente: elaboración propia.

- X. Hallar R_{ab} en el circuito siguiente, suponga que cada elemento es de 1Ω .

Figura 256. Resistencia total, problema X

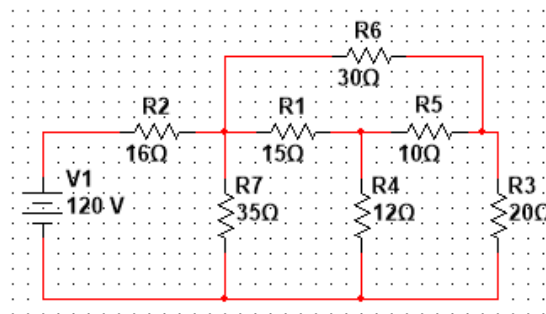


Fuente: elaboración propia.

4.9.2. Problemas de mayor alcance

- I. Determinar el voltaje sobre la resistencia de 35Ω .
Respuesta $50,62 \text{ V}$

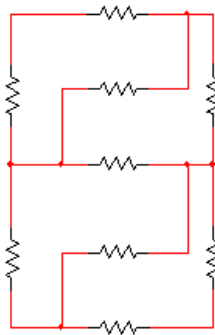
Figura 257. Análisis de circuitos



Fuente: elaboración propia.

- II. Hallar la resistencia equivalente entre las esquinas del lado izquierdo, todas las resistencias son de $1\ \Omega$.

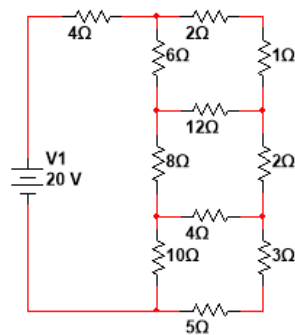
Figura 258. **Resistencia total, problema II**



Fuente: elaboración propia.

- III. Hallar la resistencia total y la corriente total en el siguiente circuito.

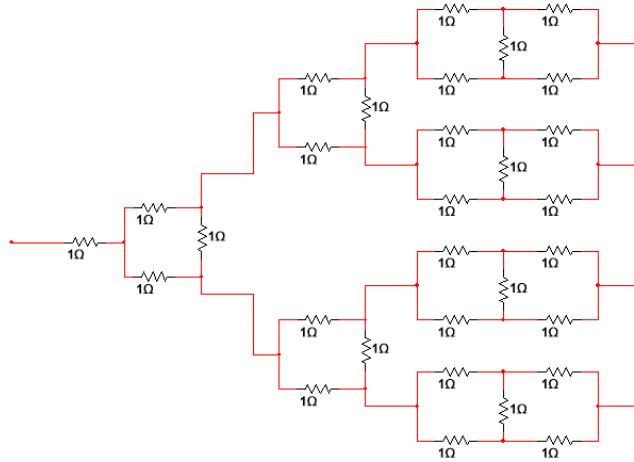
Figura 259. **Resistencia total**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Calcular la resistencia equivalente en el siguiente circuito.

Figura 260. Resistencia equivalente, problema IV



Fuente: elaboración propia.

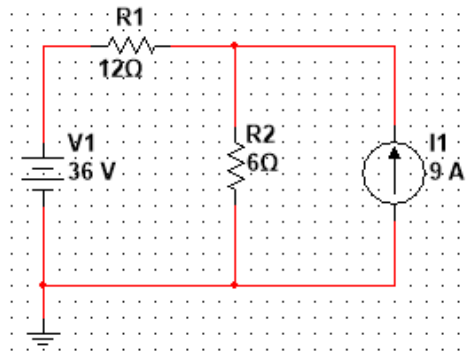
4.10. Teorema de Superposición

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.10.1. Problemas de corto alcance

- I. Determinar el valor de la corriente que fluye a través del resistor R2 utilizando el Teorema de Superposición.
 - a. 2 A
 - b. 6 A
 - c. 8 A**
 - d. 10 A

Figura 261. Teorema de superposición, problema I

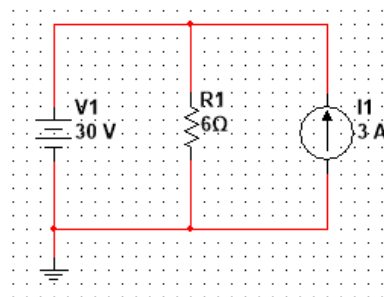


Fuente: elaboración propia.

II. Determinar el valor de la corriente que fluye a través de R1 utilizando el Teorema de Superposición.

- a. 0 A
- b. 5 A**
- c. 2 A
- d. 6 A

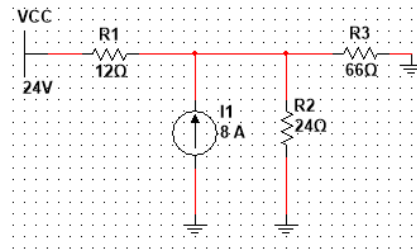
Figura 262. Teorema de superposición, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Utilizar el teorema de Superposición para determinar la corriente que fluye a través de R3.

Figura 263. **Teorema de superposición, problema III**

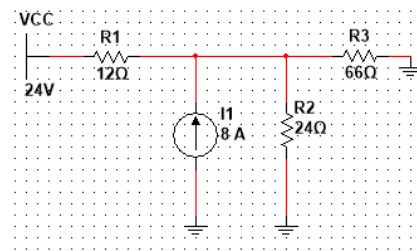


Fuente: elaboración propia.

- a. 1,56 A
- b. 1,081 A**
- c. 1,25 A
- d. 0,78 A

- IV. Utilizando el Teorema de Superposición determinar el valor de la corriente suministrada por la fuente de corriente sobre R3.

Figura 264. **Corriente desconocida teorema de superposición**



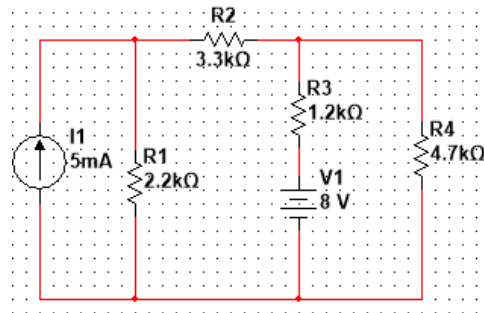
Fuente: elaboración propia.

- a. 216,216 mA
- b. 909,914 mA
- c. 864,866 mA**
- d. 1,081 A

V. Utilizar el teorema de Superposición para determinar la corriente que fluye a través de R1.

- a. 4,28 A
- b. 987 μ A
- c. 4,28 mA**
- d. 3,3 mA

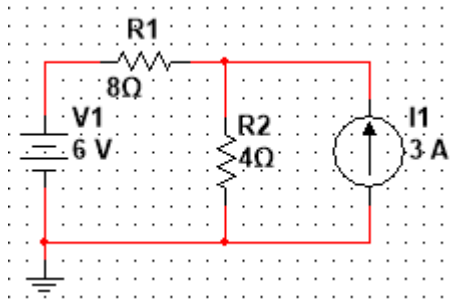
Figura 265. Teorema de superposición, problema V



Fuente: elaboración propia.

VI. Aplicar el teorema de Superposición para hallar el voltaje en R2 en el siguiente circuito. Respuesta 10 V

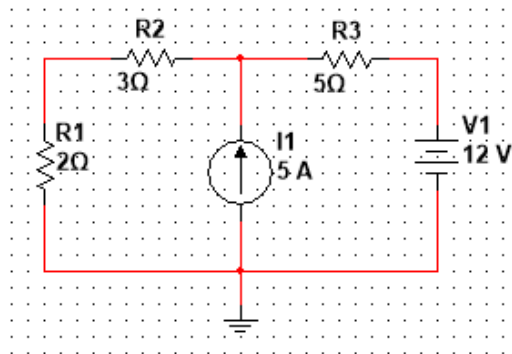
Figura 266. **Teorema de superposición, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Aplicar el teorema de superposición para hallar el voltaje en R1. Respuesta 7,4 V

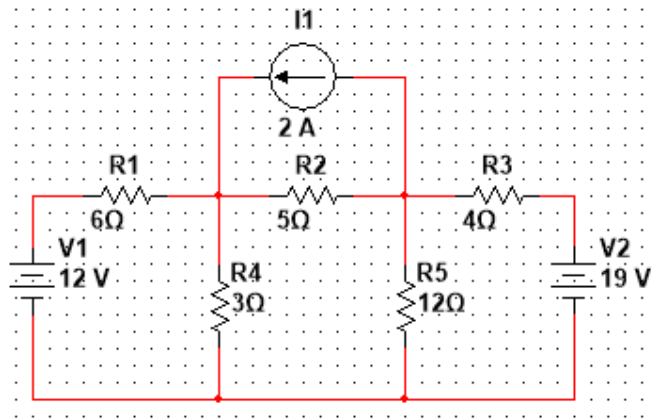
Figura 267. **Teorema de superposición, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Determinar el voltaje sobre el resistor de 5 Ω aplicando el teorema de Superposición.

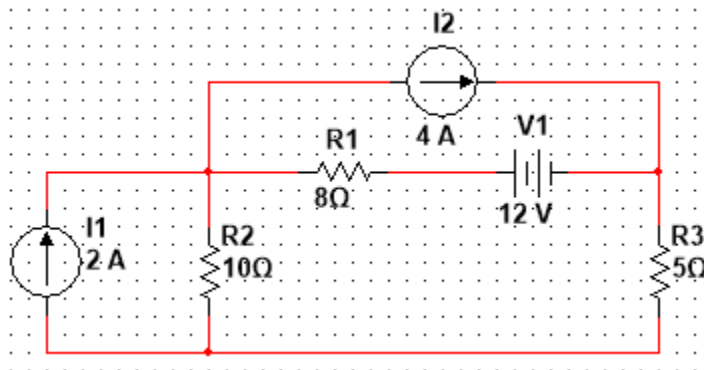
Figura 268. Teorema de superposición, problema VIII



Fuente: elaboración propia.

- IX. Determinar el voltaje sobre el resistor de $5\ \Omega$ aplicando el teorema de Superposición. Respuesta $8,696\ \text{V}$

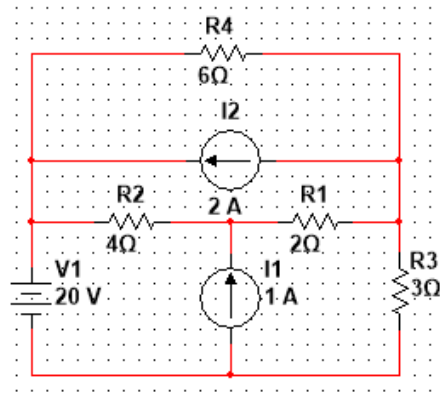
Figura 269. Teorema de superposición, problema IX



Fuente: elaboración propia.

- X. Usar el teorema de superposición para hallar el voltaje en R3. Respuesta 8 V.

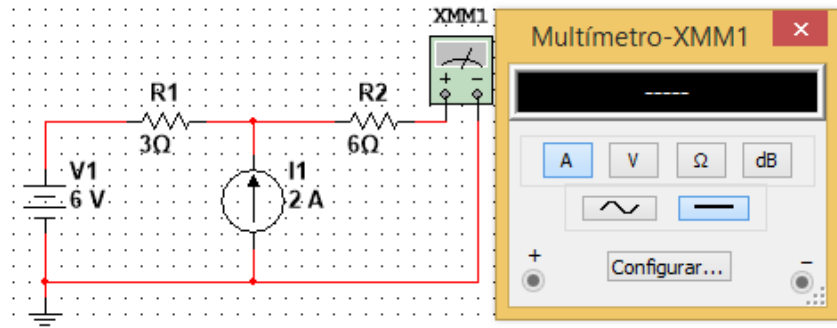
Figura 270. Teorema de superposición, problema X



Fuente: elaboración propia.

- XI. Encontrar la corriente medida por el amperímetro en el siguiente circuito. Respuesta 1,333 A

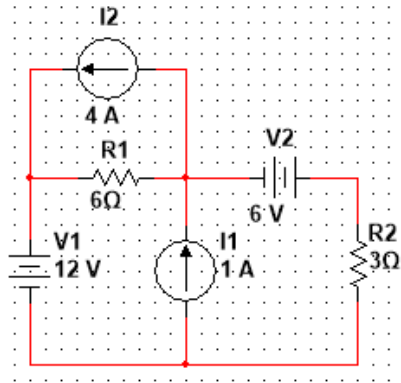
Figura 271. Teorema de superposición, problema XI



Fuente: elaboración propia.

- XII. Use la superposición para calcular I en el circuito que se muestra a continuación. Respuesta 1 A.

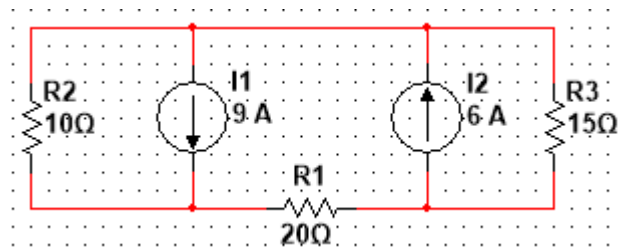
Figura 272. Teorema de superposición, problema XII



Fuente: elaboración propia.

- XIII. Usar el teorema de Superposición para determinar el voltaje sobre la resistencia de 20 Ω.

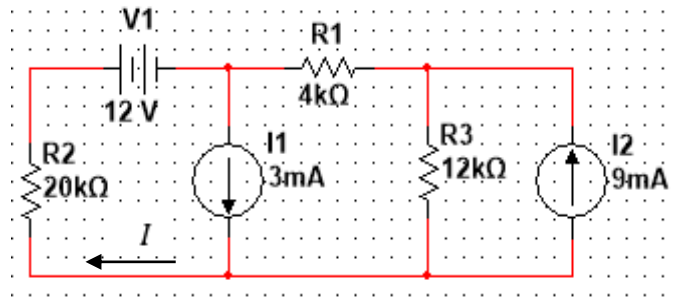
Figura 273. Teorema de superposición, problema XIII



Fuente: elaboración propia.

XIV. Usar el teorema de Superposición para determinar la corriente I en el siguiente circuito. Respuesta -2 mA

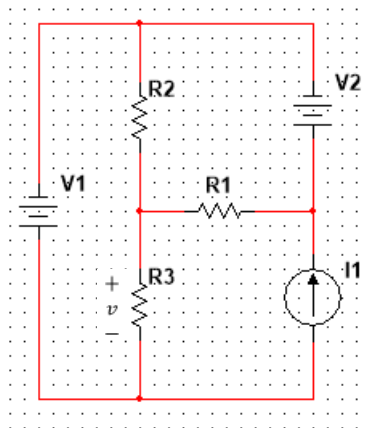
Figura 274. Teorema de superposición, problema XIV



Fuente: elaboración propia.

XV. Usar el teorema de Superposición para determinar v en términos de los valores de las R y de las fuentes.

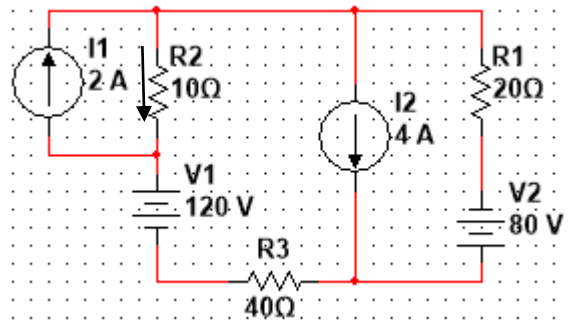
Figura 275. Teorema de superposición, problema XV



Fuente: elaboración propia.

- XVI. Calcular la corriente que fluye a través del resistor de $10\ \Omega$, usar el teorema de superposición. Respuesta $-2,286\ \text{A}$

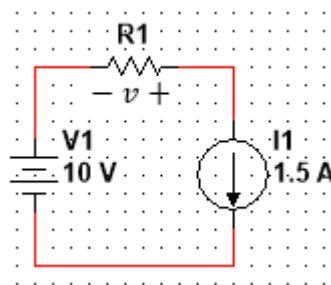
Figura 276. Teorema de superposición, problema XVI



Fuente: elaboración propia.

- XVII. Calcular el voltaje sobre el resistor que se muestra en el circuito siguiente. Respuesta $-12\ \text{V}$

Figura 277. Teorema de superposición, problema XVII

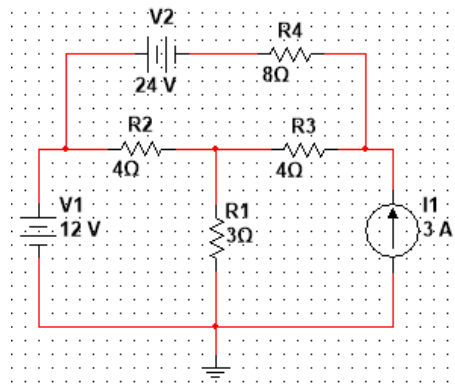


Fuente: elaboración propia.

4.10.2. Problemas de mayor alcance

- I. Aplicar el teorema de superposición para hallar i sobre $R1$.
Respuesta 2 A

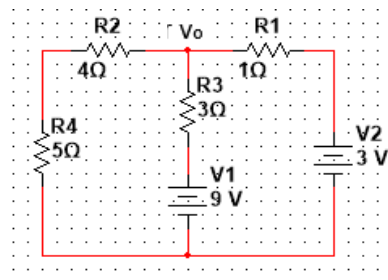
Figura 278. Teorema de superposición, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Usando la superposición hallar v_o en el circuito que se muestra a continuación.

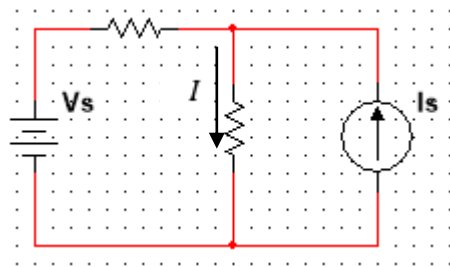
Figura 279. Teorema de superposición, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Dado que $I = 4 \text{ A}$ cuando $V_s = 40 \text{ V}$ e $I_s = 4 \text{ A}$, con $I = 1 \text{ A}$ cuando $V_s = 20 \text{ V}$ e $I_s = 0 \text{ A}$, usar el principio de superposición y linealidad para determinar el valor de I cuando $V_s = 60 \text{ V}$ e $I_s = -2 \text{ A}$. Respuesta 2 A

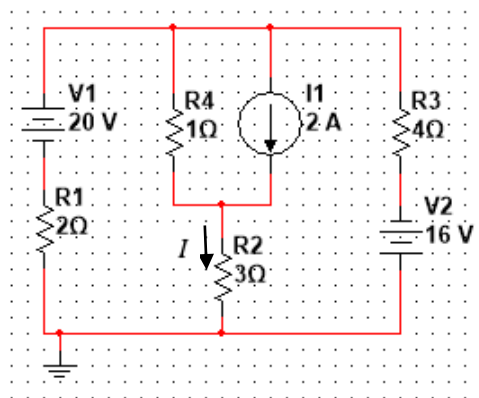
Figura 280. Teorema de superposición, problema III



Fuente: elaboración propia.

- IV. Usar el teorema de superposición para hallar I . Respuesta $1,875 \text{ A}$

Figura 281. Teorema de superposición, problema IV



Fuente: elaboración propia.

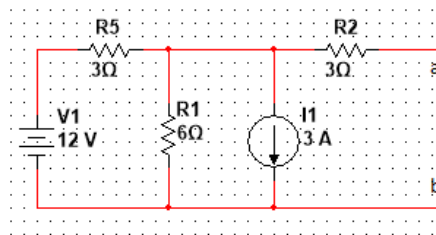
4.11. Teorema de Thevenin

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.11.1. Problemas de corto alcance

- I. Determinar la resistencia equivalente de Thevenin para el siguiente circuito.
 - a. 3Ω
 - b. 9Ω
 - c. 5Ω**
 - d. 14Ω

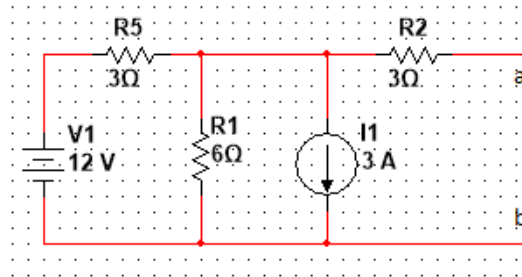
Figura 282. Teorema de Thevenin, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Determinar el voltaje de Thevenin en las terminales a y b en el siguiente circuito.
 - a. 14 V
 - b. 8 V
 - c. 6 V
 - d. 2 V**

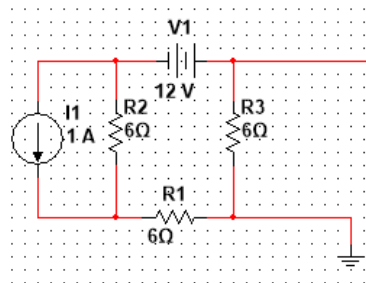
Figura 283. Voltaje de Thevenin, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. En el siguiente circuito si no se toma en cuenta la fuente de voltaje de 12 V la $R_{th}=4 \Omega$ y el $V_{th}=-2 V$, ¿Cómo variará R_{th} y V_{th} si se toma en consideración la fuente de voltaje?

Figura 284. Resistencia de Thevenin, problema III

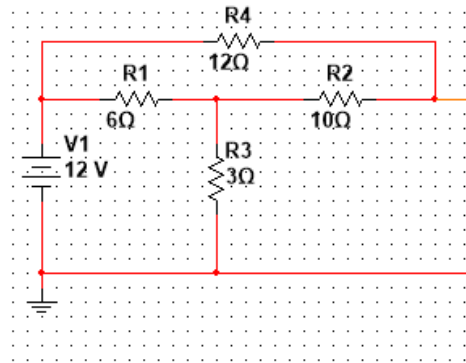


Fuente: elaboración propia.

- a. $R_{th}=3 \Omega$, $V_{th}=2 V$
- b. $R_{th}=4 \Omega$, $V_{th}=2 V$**
- c. $R_{th}=4 \Omega$, $V_{th}=-2 V$
- d. $R_{th}=6 \Omega$, $V_{th}=-2 V$

IV. Encuentre el V_{th} en el siguiente circuito

Figura 285. Voltaje de Thevenin, problema IV



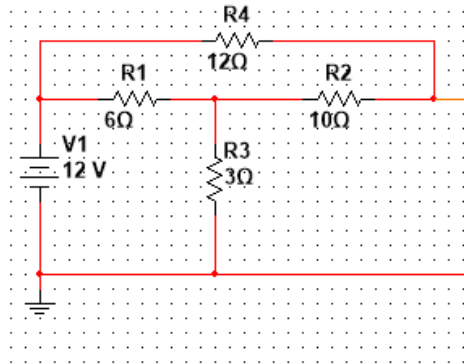
Fuente: elaboración propia.

- a. 9 V
- b. 8 V**
- c. 7 V
- d. 10 V

V. En el siguiente circuito encontrar la R_{th}

- a. 6 Ω**
- b. 9 Ω
- c. 3 Ω
- d. 7 Ω

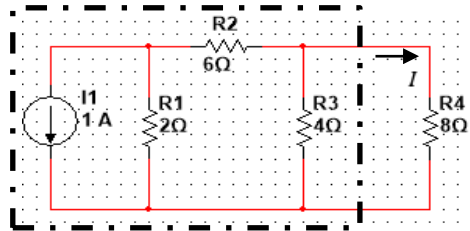
Figura 286. **Resistencia equivalente de Thevenin**



Fuente: elaboración propia.

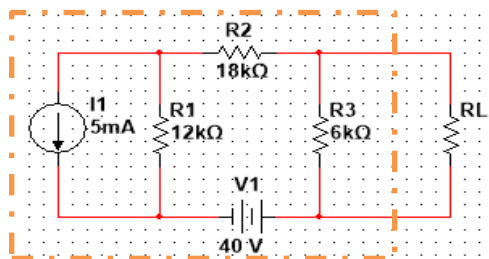
- VI. El Teorema que propone que un circuito con cualquier cantidad de fuentes y resistores puede ser sustituido por una sola fuente de voltaje y una resistencia equivalentes es:
- a. Teorema de Sustitución
 - b. Teorema de Reciprocidad
 - c. Teorema de Superposición
 - d. Teorema de Thevenin**
- VII. Determinar el circuito equivalente de Thévenin para el circuito de la figura 287 y determine la corriente I .
- VIII. Encontrar el circuito equivalente de Thévenin del circuito de la figura 288.
- IX. ¿Qué valor de I_s reduce el circuito siguiente a un solo resistor visto por las terminales de salida? figura 289. Respuesta Cualquier valor de I_s .

Figura 287. **Circuito equivalente de Thevenin, problema VII**



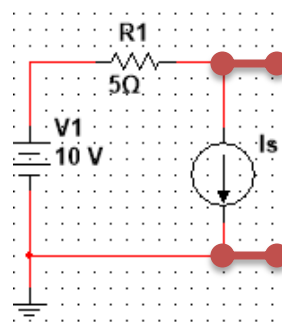
Fuente: elaboración propia.

Figura 288. **Circuito equivalente de Thevenin, problema VIII**



Fuente: elaboración propia.

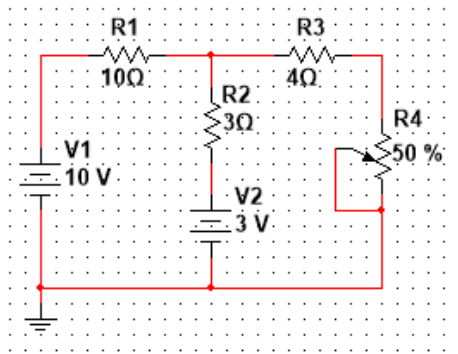
Figura 289. **Circuito equivalente de Thevenin, problema IX**



Fuente: elaboración propia.

- X. Usando el circuito equivalente de Thévenin determinar $R_4=R_L$ en el siguiente circuito tal que $i = 0.5 \text{ A}$. Respuesta 2.924Ω

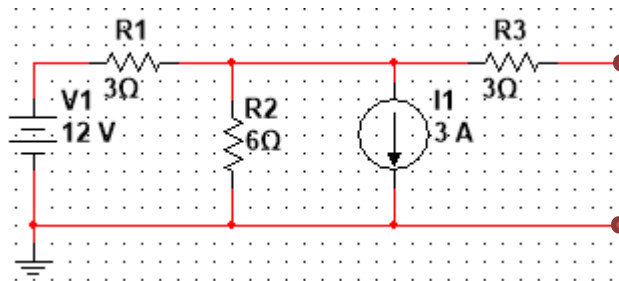
Figura 290. **Circuito equivalente de Thevenin, problema X**



Fuente: elaboración propia.

- XI. Determinar los valores de R_{th} y V_{th} del siguiente circuito. Respuesta 5Ω , 2 V respectivamente.

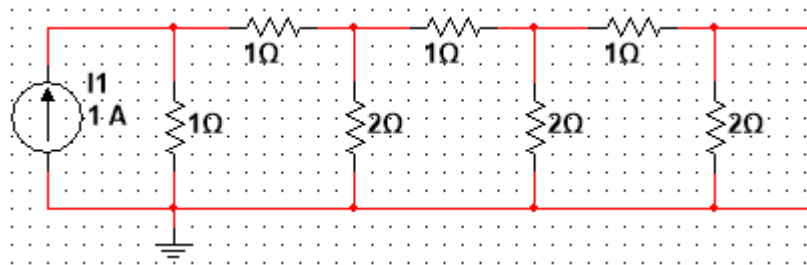
Figura 291. **Resistencia de Thevenin**



Fuente: elaboración propia.

- XII. Indicar el equivalente de Thevenin entre las terminales abiertas. Respuesta $1\ \Omega$ y $125\ \text{mV}$

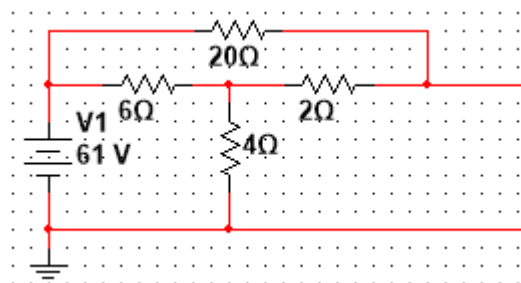
Figura 292. **Circuito equivalente de Thevenin, problema XII**



Fuente: elaboración propia.

- XIII. Obtener el circuito equivalente de Thévenin entre las terminales abiertas. Respuesta $31\ \text{V}$ y $3,607\ \Omega$

Figura 293. **Circuito equivalente de Thevenin, problema XIII**

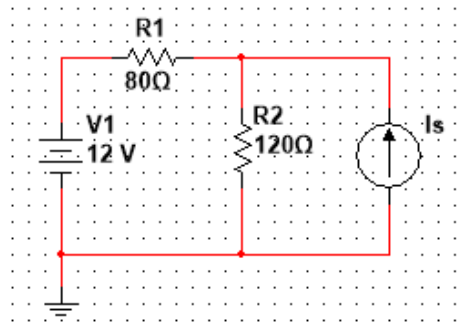


Fuente: elaboración propia.

4.11.2. Problemas de mayor alcance

- I. El arrancador de un automóvil demanda 75 A de corriente en el arranque, lo cual hace bajar el voltaje de la batería de 12,6 V a 9,1 V. ¿Cuál sería el voltaje de la batería si estuviera cargada a 30 A? Respuesta 5,04 V
- II. Para el siguiente circuito determinar I_s de tal manera que la corriente en la resistencia de $120\ \Omega$ sea cero. Respuesta - 0,150 A

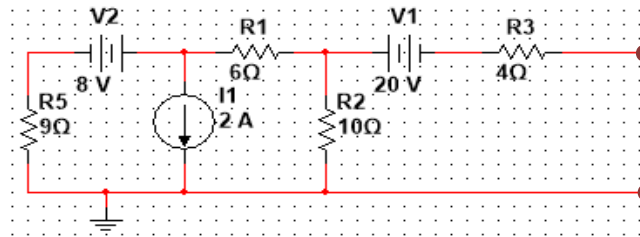
Figura 294. Teorema de Thevenin, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Un estudiante prueba un circuito que contiene baterías y resistores. El voltaje de salida es de 6,26 V cuando se mide con un buen voltímetro, pero mide 6,05 V cuando conecta un resistor de $600\ \Omega$ en las terminales de salida. ¿Qué corriente resultaría si la salida se pusiera en corto? Respuesta 0,301 A.
- IV. Determinar el equivalente de Thévenin del circuito siguiente. Respuesta $10\ \Omega$ y -24 V

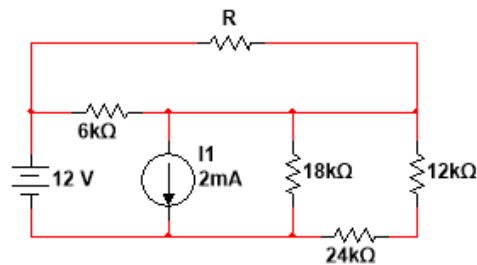
Figura 295. **Circuito equivalente de Thevenin, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

- V. Demostrar utilizando el Teorema de Thevenin los datos mostrados en la siguiente tabla que corresponden a mediciones realizadas en el siguiente circuito.

Figura 296. **Teorema de Thevenin, problema V**



Fuente: elaboración propia.

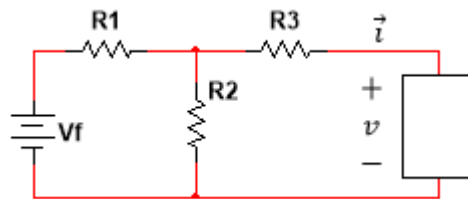
Tabla IX. **Teorema de Thevenin**

R	i	v
Abierto	0 mA	12 V
10 kΩ	0,857 mA	8,57 V
corto	3 mA	0 V

Fuente: elaboración propia.

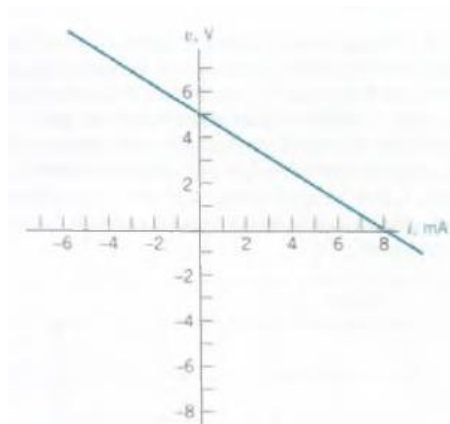
- VI. El siguiente circuito tiene cuatro parámetros sin especificar, v_f , R_1 , R_2 y R_3 . Para diseñar este circuito se deben especificar los valores de estos cuatro parámetros. La gráfica que se muestra en la siguiente imagen describe la relación entre la corriente i y el voltaje v . Especificar los valores de v_f , R_1 , R_2 y R_3 que hagan que la corriente i y el voltaje v que satisfaga la relación descrita mediante la gráfica en la siguiente imagen. Utilizar el Teorema de Thevenin

Figura 297. **Teorema de Thevenin, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

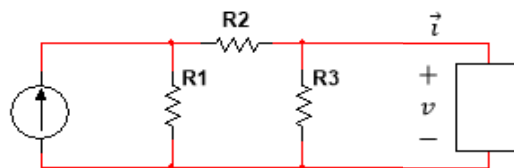
Figura 298. **Gráfica problema VI, teorema de Thevenin**



Fuente: elaboración propia.

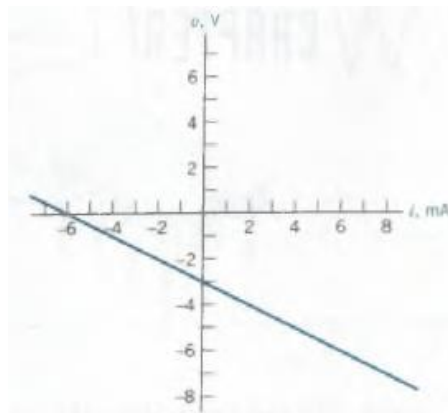
VII. El siguiente circuito tiene cuatro parámetros sin especificar, v_f , R_1 , R_2 y R_3 . Para diseñar este circuito se deben especificar los valores de estos cuatro parámetros. La gráfica que se muestra en la siguiente imagen describe la relación entre la corriente i y el voltaje v . Especificar los valores de v_f , R_1 , R_2 y R_3 que hagan que la corriente i y el voltaje v que satisfaga la relación descrita mediante la gráfica en la siguiente imagen. Utilizar el Teorema de Thevenin.

Figura 299. **Teorema de Thevenin, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

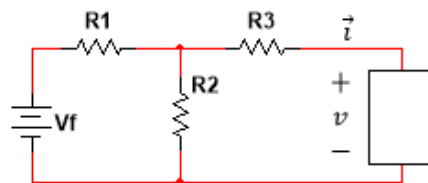
Figura 300. **Gráfica problema VII, teorema de Thevenin**



Fuente: elaboración propia.

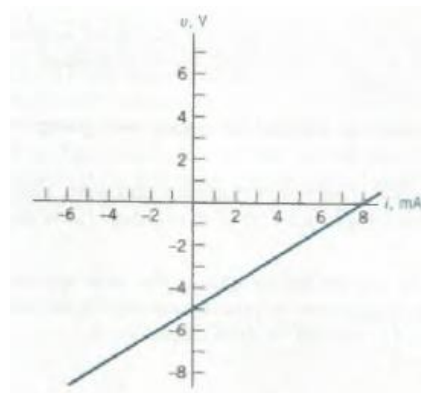
VIII. El siguiente circuito tiene cuatro parámetros sin especificar, v_f , R_1 , R_2 y R_3 . Para diseñar este circuito se deben especificar los valores de estos cuatro parámetros. La gráfica que se muestra en la siguiente imagen describe la relación entre la corriente i y el voltaje v . Especificar los valores de v_f , R_1 , R_2 y R_3 que hagan que la corriente i y el voltaje v que satisfaga la relación descrita mediante la gráfica en la siguiente imagen. Utilizar el teorema de Thevenin.

Figura 301. **Teorema de Thevenin, problema VIII**



Fuente: elaboración propia.

Figura 302. **Gráfica problema VIII, teorema de Thevenin**



Fuente: elaboración propia.

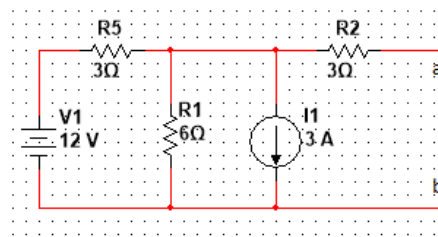
4.12. Teorema de Norton

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.12.1. Problemas de corto alcance

- I. Encuentre I_N y R_N del circuito mostrado a continuación.

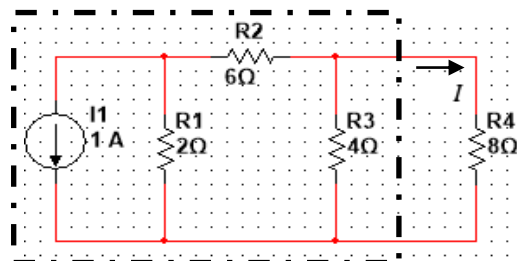
Figura 303. Teorema de Norton, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Determinar el circuito equivalente de Norton para el siguiente circuito y determine la corriente I .

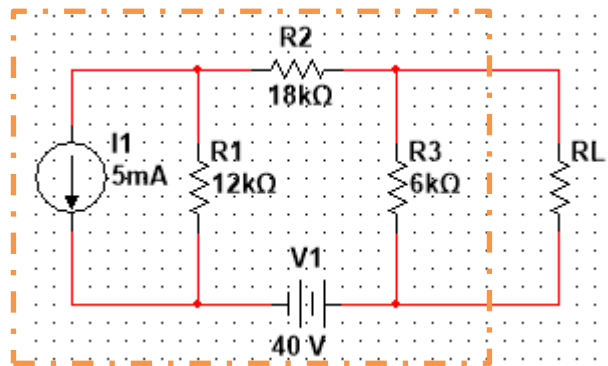
Figura 304. Circuito equivalente de Norton, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Encontrar el circuito equivalente de Norton del siguiente circuito.

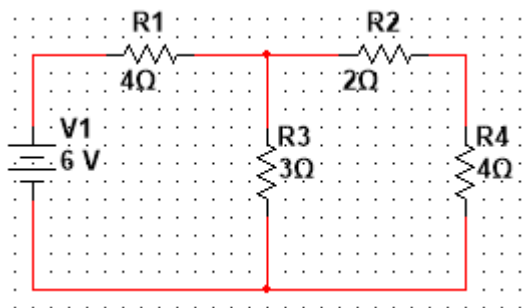
Figura 305. **Circuito equivalente de Norton, problema III**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Utilizando el teorema de Norton, calcular la corriente que fluye a través del resistor de $3\ \Omega$. Respuesta $666,67\ \text{mA}$

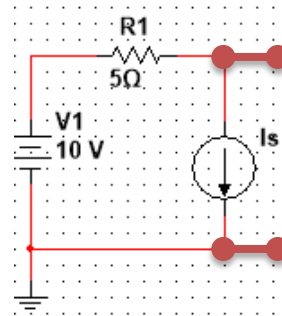
Figura 306. **Corriente, Teorema de Norton**



Fuente: elaboración propia.

- V. ¿Qué valor de I_s reduce el circuito siguiente a un solo resistor visto por las terminales de salida? Utilizar Norton. Respuesta Cualquier valor de I_s .

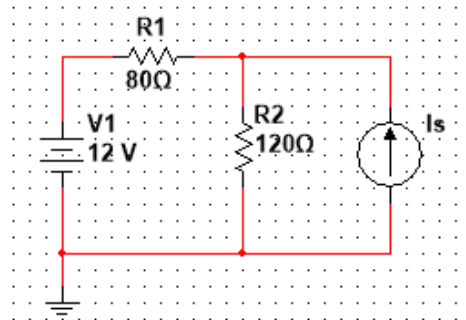
Figura 307. Teorema de Norton, problema V



Fuente: elaboración propia.

- VI. Para el siguiente circuito determinar I_s de tal manera que la corriente en la resistencia de $120\ \Omega$ sea cero. Utilizar Norton. Respuesta $-0,150\ \text{A}$

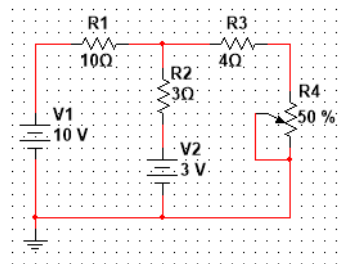
Figura 308. Teorema de Norton, problema VI



Fuente: elaboración propia.

- VII. Usando el circuito equivalente de Norton, determinar R en el siguiente circuito tal que $i = 0,5 \text{ A}$. Respuesta $2,924 \Omega$

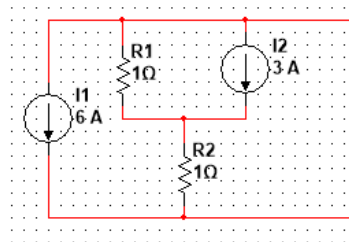
Figura 309. **Teorema de Norton, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Un estudiante prueba un circuito que contiene baterías y resistores. El voltaje de salida es de $6,26 \text{ V}$, luego se mide con un buen voltímetro pero este mide $6,05 \text{ V}$ cuando conecta un resistor de 600Ω en las terminales de salida. ¿Qué corriente resultaría si la salida se pusiera en corto? Utilizar Norton. Respuesta $0,301 \text{ A}$.
- IX. Determinar el equivalente de Norton para el circuito que se muestra a continuación. Respuesta 2Ω y $-7,5 \text{ A}$

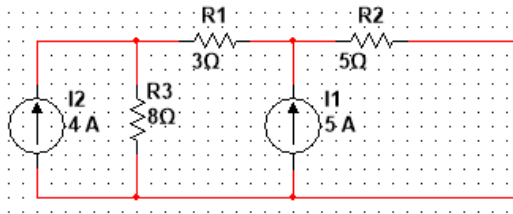
Figura 310. **Teorema de Norton, problema IX**



Fuente: elaboración propia.

- X. Determinar el equivalente de Norton para el siguiente circuito. Respuesta 5,44 A y 16Ω

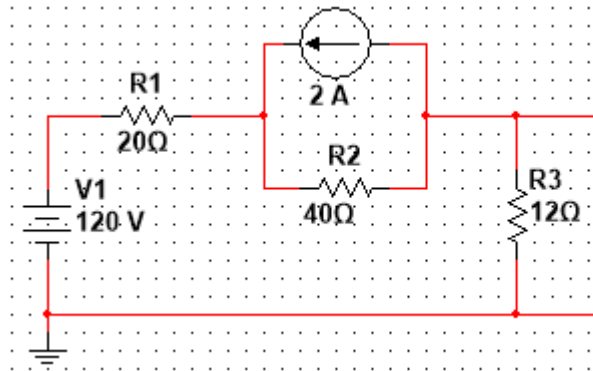
Figura 311. Teorema de Norton, problema X



Fuente: elaboración propia.

- XI. Hallar el equivalente de Norton respecto a las terminales abiertas en el siguiente circuito. Respuesta 10Ω y 666,7 mA

Figura 312. Circuito equivalente de Norton, problema XI

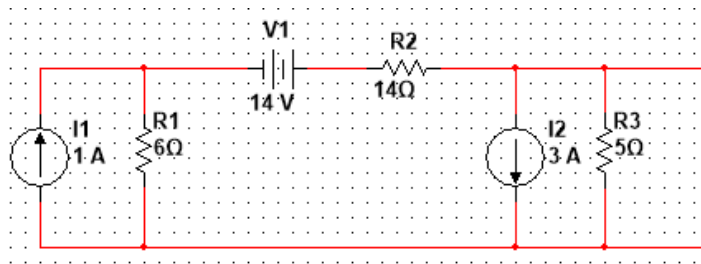


Fuente: elaboración propia.

4.12.2. Problemas de mayor alcance

- I. Hallar el equivalente de Norton respecto a las terminales abiertas del siguiente circuito. Respuesta 4Ω y -2 A

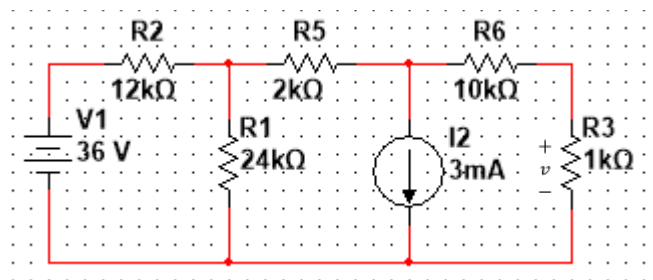
Figura 313. Circuito equivalente de Norton, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Usar el teorema de Norton para hallar el voltaje sobre el resistor de $1 \text{ k}\Omega$. Respuesta $-285,714 \text{ mV}$

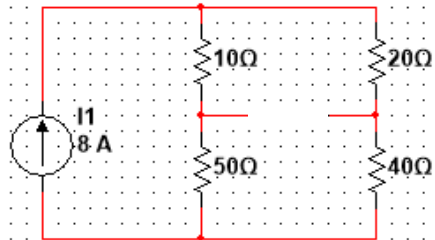
Figura 314. Teorema de Norton, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Determinar el circuito equivalente de Norton con respecto a las terminales abiertas. Respuesta $22,5 \Omega$ y $1,7778 \text{ A}$

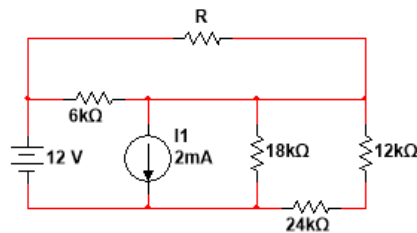
Figura 315. **Circuito equivalente de Norton**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Demostrar utilizando el Teorema de Thevenin los datos mostrados en la siguiente tabla que corresponden a mediciones realizadas en el siguiente circuito.

Figura 316. **Teorema de Thevenin, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

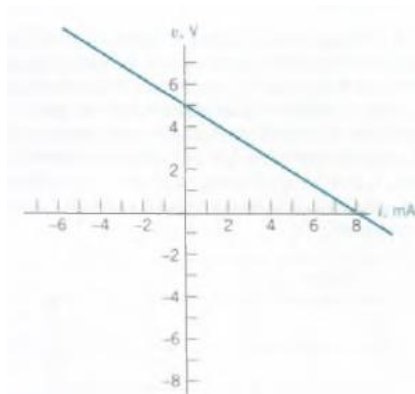
Tabla X. **Mediciones problema IV**

R	i	v
Abierto	0 mA	12 V
10 kΩ	0,857 mA	8,57 V
corto	3 mA	0 V

Fuente: elaboración propia.

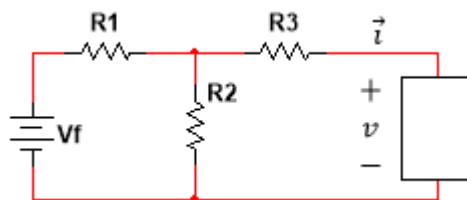
- V. El siguiente circuito tiene cuatro parámetros sin especificar, v_f , R_1 , R_2 y R_3 . Para diseñar este circuito se deben especificar los valores de estos cuatro parámetros. La gráfica que se muestra en la siguiente imagen describe la relación entre la corriente i y el voltaje v . Especificar los valores de v_f , R_1 , R_2 y R_3 que hagan que la corriente i y el voltaje v que satisfaga la relación descrita mediante la gráfica en la siguiente imagen. Utilizar el teorema de Norton.

Figura 317. **Gráfica problema V, teorema de Norton**



Fuente: elaboración propia.

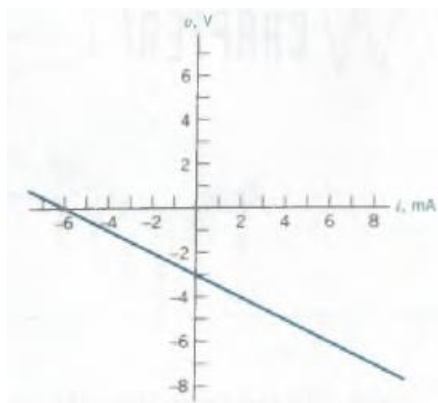
Figura 318. **Teorema de Norton, problema V**



Fuente: elaboración propia.

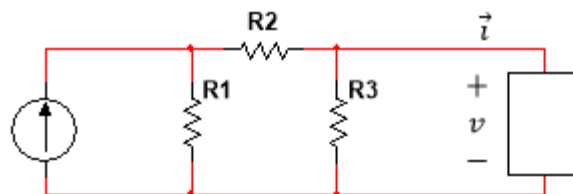
VI. El siguiente circuito tiene cuatro parámetros sin especificar, v_f , R_1 , R_2 y R_3 . Para diseñar este circuito se deben especificar los valores de estos cuatro parámetros. La gráfica que se muestra en la siguiente imagen describe la relación entre la corriente i y el voltaje v . Especificar los valores de v_f , R_1 , R_2 y R_3 que hagan que la corriente i y el voltaje v que satisfaga la relación descrita mediante la gráfica en la siguiente imagen. Utilizar el teorema de Norton.

Figura 319. **Gráfica problema VI, teorema de Norton**



Fuente: elaboración propia.

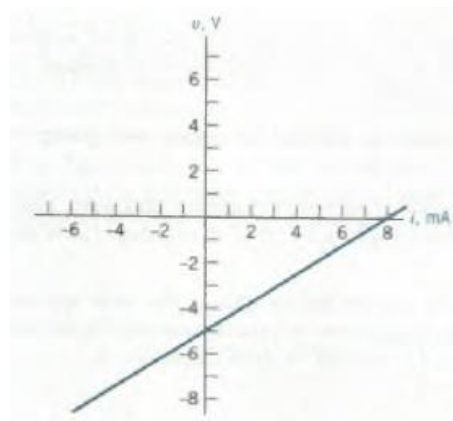
Figura 320. **Teorema de Norton, problema VI**



Fuente: Elaboración propia

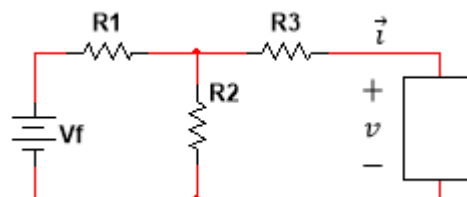
- VII. El siguiente circuito tiene cuatro parámetros sin especificar, v_f , R_1 , R_2 y R_3 . Para diseñar este circuito se deben especificar los valores de estos cuatro parámetros. La gráfica que se muestra en la siguiente imagen describe la relación entre la corriente i y el voltaje v . Especificar los valores de v_f , R_1 , R_2 y R_3 que hagan que la corriente i y el voltaje v que satisfaga la relación descrita mediante la gráfica en la siguiente imagen. Utilizar el teorema de Norton.

Figura 321. **Gráfica problema VII, teorema de Norton**



Fuente: elaboración propia.

Figura 322. **Teorema de Norton, problema VII**



Fuente: elaboración propia

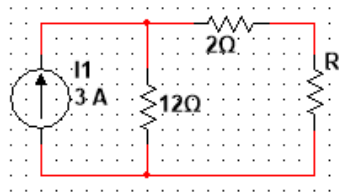
4.13. Teorema de máxima transferencia de potencia

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.13.1. Problemas de corto alcance

- I. Para el siguiente circuito encuentre el valor de R que cumpla con la máxima transferencia de potencia hacia R y determinar la potencia máxima a R . Respuesta 14Ω y $23,14 \text{ W}$

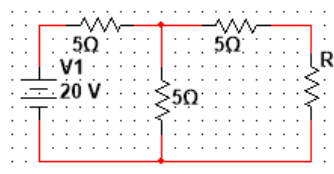
Figura 323. **Máxima transferencia de potencia, problema I**



Fuente: elaboración propia.

- II. Para el siguiente circuito encuentre el valor de R que cumpla con la máxima transferencia de potencia hacia R y determinar la potencia máxima a R . Respuesta $7,5 \Omega$ y $3,33 \text{ W}$

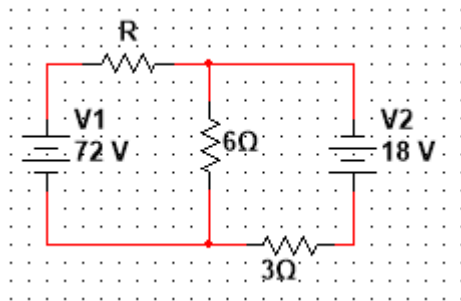
Figura 324. **Resistencia máxima transferencia de potencia, problema II**



Fuente: elaboración propia.

- III. Para el siguiente circuito encuentre el valor de R que cumpla con la máxima transferencia de potencia hacia R y determinar la potencia máxima a R .

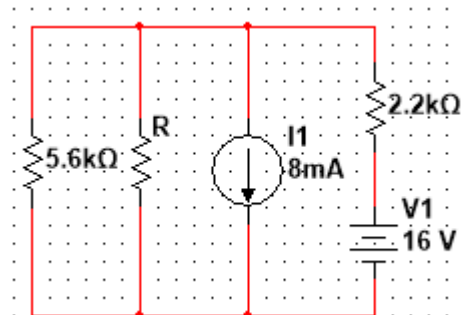
Figura 325. **Máxima transferencia de potencia, problema III**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Para el siguiente circuito encuentre el valor de R que cumpla con la máxima transferencia de potencia hacia R y determinar la potencia máxima a R .

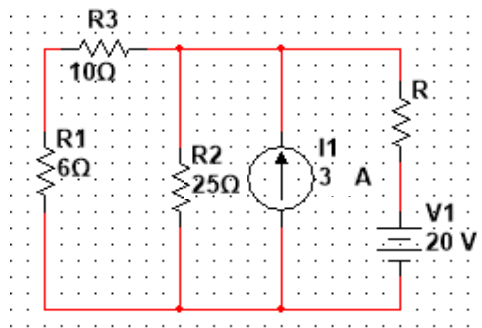
Figura 326. **Máxima transferencia de potencia, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

- V. Para el siguiente circuito encuentre el valor de R que cumpla con la máxima transferencia de potencia hacia R y determinar la potencia máxima a R . Respuesta $9,756 \Omega$ y $2,2 \text{ W}$

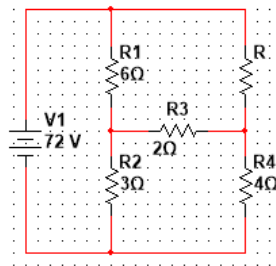
Figura 327. **Máxima transferencia de potencia, problema V**



Fuente: elaboración propia.

- VI. Para el siguiente circuito encuentre el valor de R que cumpla con la máxima transferencia de potencia hacia R y determinar la potencia máxima a R . Respuesta 2Ω y 450 W .

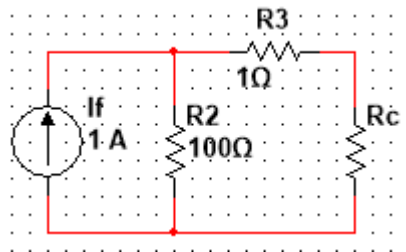
Figura 328. **Máxima transferencia de potencia, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. En la siguiente imagen se muestra el modelo del circuito de una celda fotovoltaica, calcular la máxima transferencia de potencia.

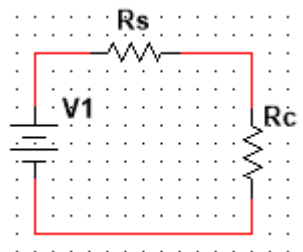
Figura 329. **Máxima transferencia de potencia, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Demostrar que, si R_s es variable y R_c fija, la potencia disipada en R_c es máxima cuando $R_s = 0$.

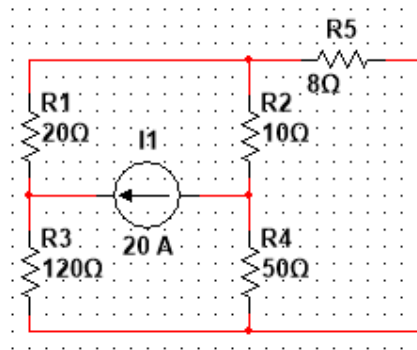
Figura 330. **Potencia máxima**



Fuente: elaboración propia.

- IX. Determinar el valor de R para una máxima transferencia de potencia sobre R . Respuesta $50\ \Omega$

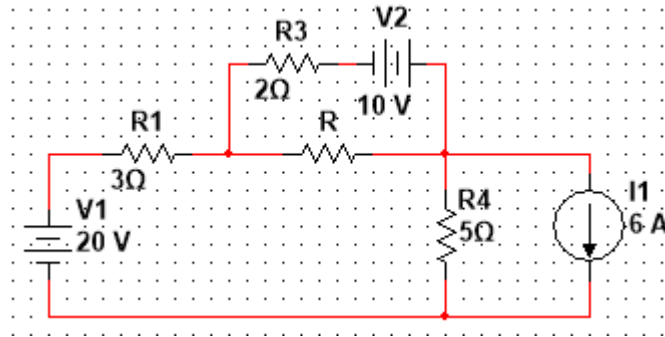
Figura 331. **Máxima transferencia de potencia, problema IX**



Fuente: elaboración propia.

- X. En un laboratorio hay una misteriosa caja negra. Se ha medido y en su salida hay 6,3 V y 126 A (al cortocircuitar la salida), determinar ¿cuánta potencia se puede obtener de la caja si un resistor variable se conecta a sus terminales y se ajusta a la máxima potencia? Respuesta 198,45 W
- XI. Un circuito tiene una carga variable, R . el medidor muestra que la potencia en R es máxima en 100 W con $R = 6 \Omega$. ¿qué corriente fluirá si R se reemplaza por un resistor de 3Ω ?
- XII. Demostrar que la potencia disponible de un circuito es igual al producto de un medio del voltaje de Thévenin por un medio de la corriente de Norton. Expresar la impedancia de salida en términos de la potencia disponible y el voltaje a circuito abierto.
- XIII. Hallar la máxima potencia que puede suministrarse al resistor R en el circuito siguiente.

Figura 332. **Máxima potencia en R**

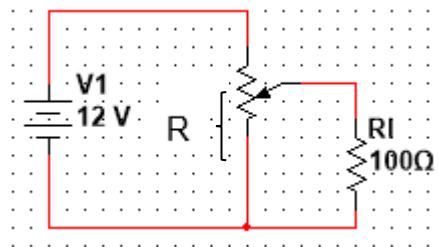


Fuente: elaboración propia.

4.13.2. Problemas de mayor alcance

- I. Para el siguiente circuito, determinar el valor de R que asegurará la potencia máxima al resistor de 100 Ω. El potenciómetro tiene un valor máximo de 500 Ω.

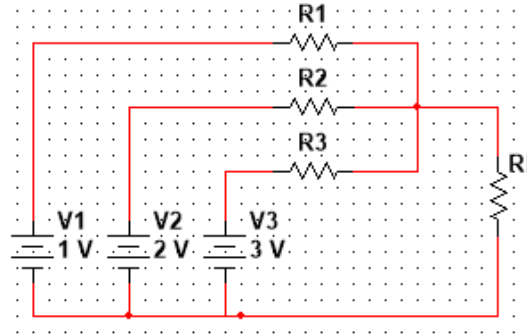
Figura 333. **Máxima potencia en resistor variable**



Fuente: elaboración propia.

- II. Para el circuito siguiente determinar el valor de $R_1=R_2=R_3$ de manera que la máxima transferencia de potencia suministrada a la carga sea de 3 mW. Respuesta 1 kΩ

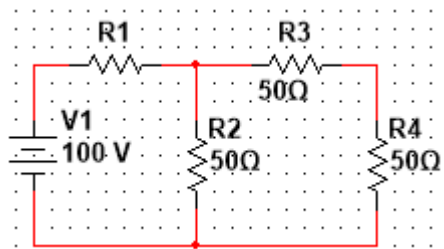
Figura 334. **Máxima transferencia de potencia en RL**



Fuente: elaboración propia.

- III. Encontrar la resistencia R_1 tal que el resistor R_4 reciba la potencia máxima. Respuesta 0 ohm

Figura 335. **Máxima transferencia de potencia, problema III**



Fuente: elaboración propia.

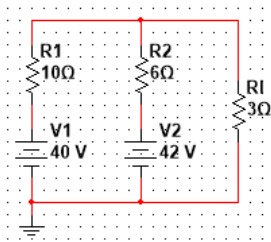
4.14. Teorema de Millman

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.14.1. Problemas de corto alcance

- I. Encontrar la corriente y el voltaje en el resistor R_I usando el teorema de Millman. Respuesta 18,33 V, 6,11 A

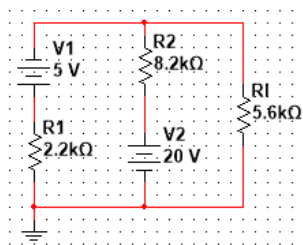
Figura 336. Teorema de Millman, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Encontrar la corriente y el voltaje en el resistor R_I usando el teorema de Millman. Respuesta 220,24 mV, 39,33 μ A

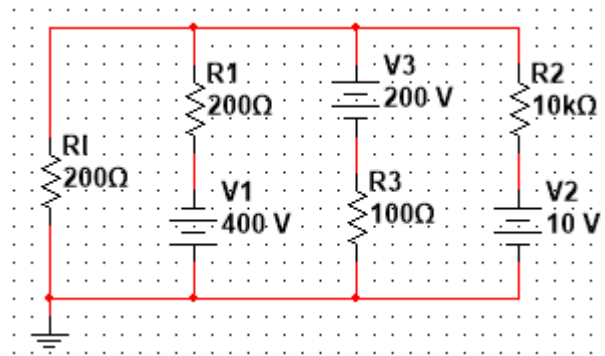
Figura 337. Teorema de Millman, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Encontrar la corriente y el voltaje en el resistor R_1 usando el teorema de Millman.

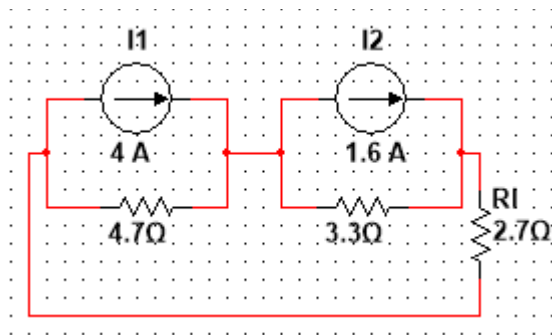
Figura 338. Teorema de Millman, problema III



Fuente: elaboración propia.

- IV. Encontrar el voltaje en el resistor R_1 , usando el teorema de Millman. Respuesta 6,076 V

Figura 339. Teorema de Millman, problema IV

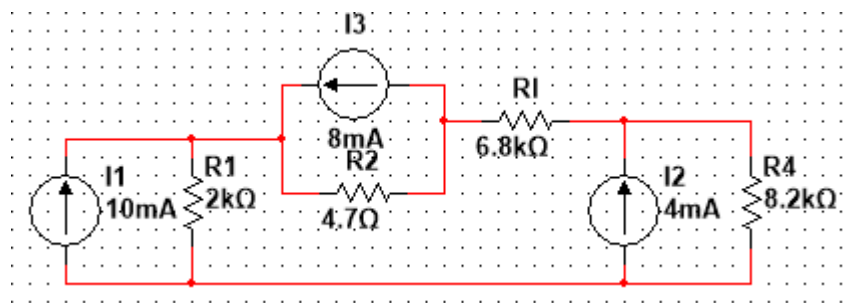


Fuente: elaboración propia.

4.14.2. Problemas de mayor alcance

- I. Encontrar el voltaje en el resistor R_L , usando el teorema de Millman.

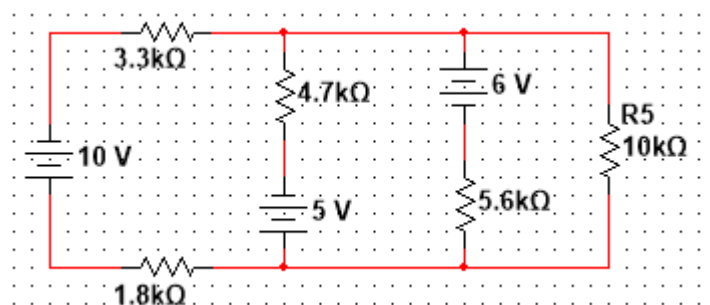
Figura 340. Voltaje en R_L , teorema de Millman



Fuente: elaboración propia.

- II. Encontrar la potencia disipada por R_L

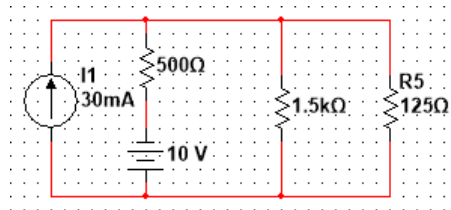
Figura 341. Potencia disipada en R_L



Fuente: elaboración propia.

III. Encontrar la potencia disipada por R_1

Figura 342. **Potencia disipada en R_L , Teorema de millman**



Fuente: elaboración propia.

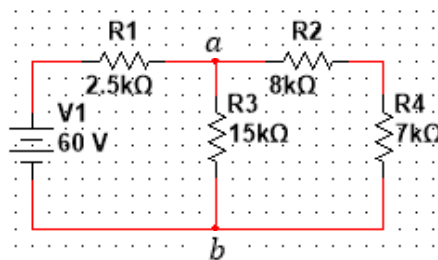
4.15. Teorema de sustitución

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.15.1. Problemas de corto alcance

- I. Usando el teorema de sustitución, dibujar tres ramas equivalentes para la rama a-b de la red siguiente.

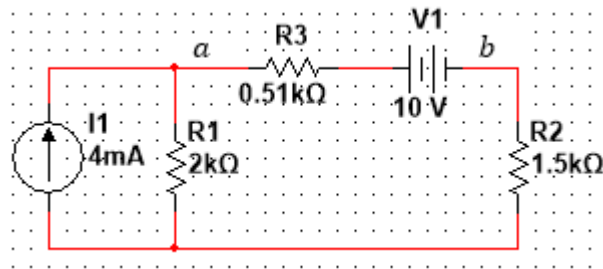
Figura 343. **Teorema de sustitución, problema I**



Fuente: elaboración propia.

- II. Usando el teorema de sustitución, dibujar tres ramas equivalentes para la rama a-b de la red siguiente.

Figura 344. Teorema de sustitución, problema II

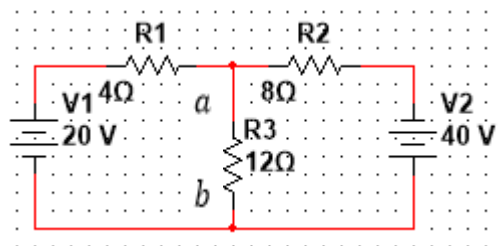


Fuente: elaboración propia.

4.15.2. Problemas de mayor alcance

- I. Usando el teorema de sustitución, dibujar tres ramas equivalentes para la rama a-b de la red siguiente.

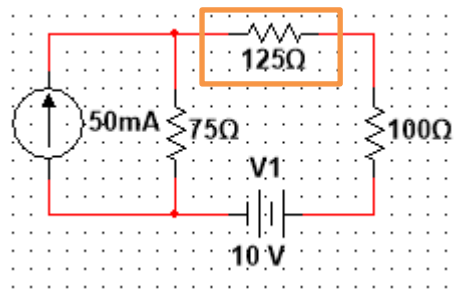
Figura 345. Teorema de sustitución, problema I



Fuente: elaboración propia.

- III. Si la porción indicada en el siguiente circuito se reemplaza con una fuente de voltaje y un resistor en serie de $50\ \Omega$, determinar la magnitud y la polaridad de la fuente de voltaje resultante.

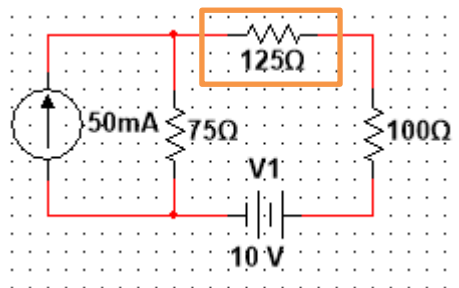
Figura 346. Teorema de sustitución, problema III



Fuente: elaboración propia.

- IV. Si la porción indicada en el siguiente circuito se reemplaza con una fuente de voltaje y un resistor en paralelo de $200\ \Omega$, determinar la magnitud y la polaridad de la fuente de corriente resultante.

Figura 347. Teorema de sustitución, problema IV



Fuente: elaboración propia.

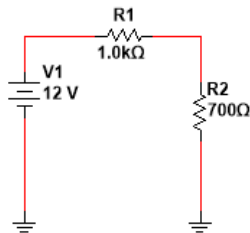
4.16. Teorema de Tellegen

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.16.1. Problemas de corto alcance

- I. Demostrar que la potencia suministrada por la fuente es igual a la suma de las potencias individuales de cada resistor. Respuesta 84,7 mW

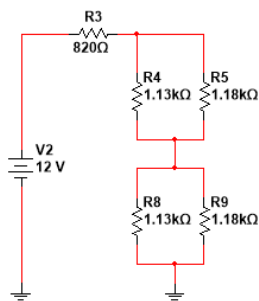
Figura 348. Teorema de Tellegen



Fuente: elaboración propia.

- II. Demostrar el teorema de Tellegen en el siguiente circuito.

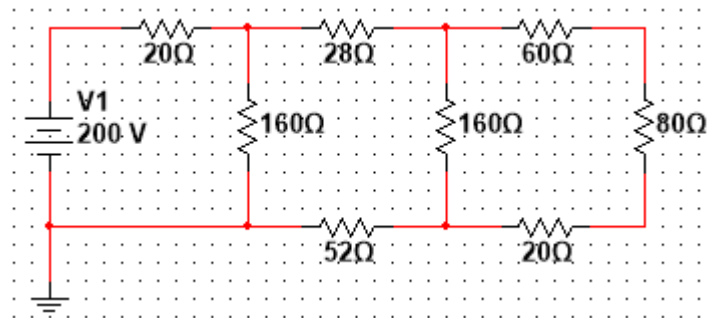
Figura 349. Demostración teorema de Tellegen, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Demostrar el teorema de Tellegen usando el siguiente circuito.

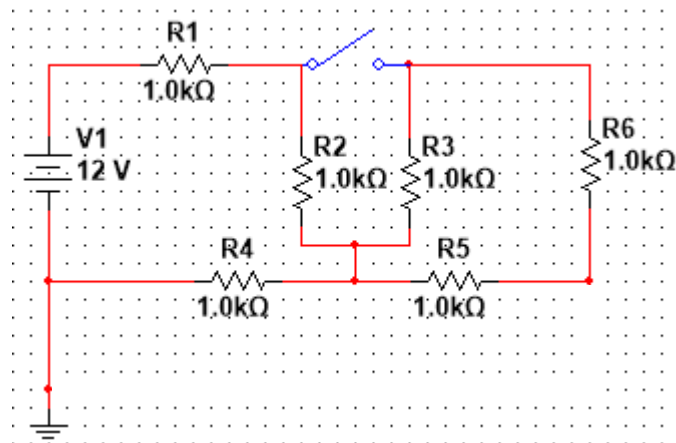
Figura 350. Demostración teorema de Tellegen, problema III



Fuente: elaboración propia.

- IV. Demostrar que el teorema de Tellegen es valido en el siguiente circuito, si no lo es explique el motivo.

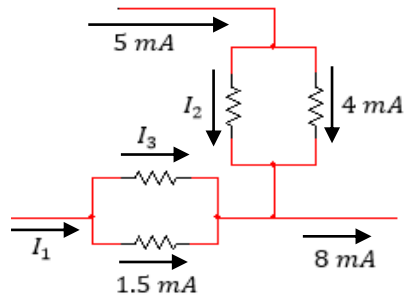
Figura 351. Teorema de Tellegen, problema IV



Fuente: elaboración propia.

- V. Explicar el motivo por el cual el siguiente circuito puede o no ser analizado con el teorema de Tellegen.

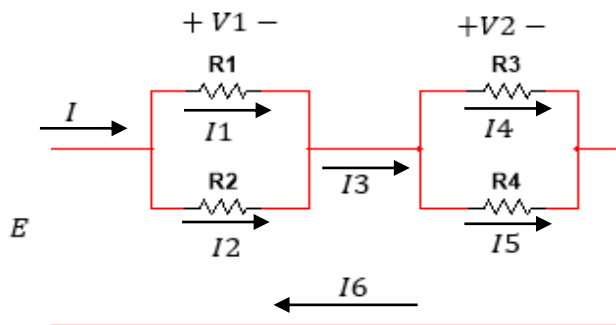
Figura 352. **Análisis teorema de Tellegen, problema V**



Fuente: elaboración propia.

- VI. Explicar el motivo por el cual el siguiente circuito puede o no ser analizado con el Teorema de Tellegen.

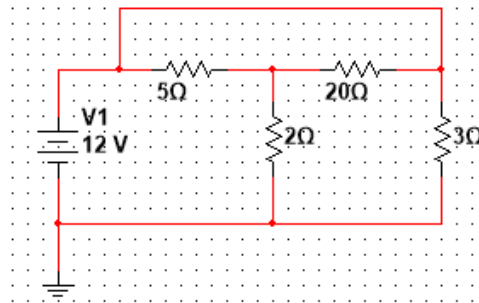
Figura 353. **Análisis teorema de Tellegen, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Demostrar que el teorema Tellegen se cumple en el siguiente circuito.

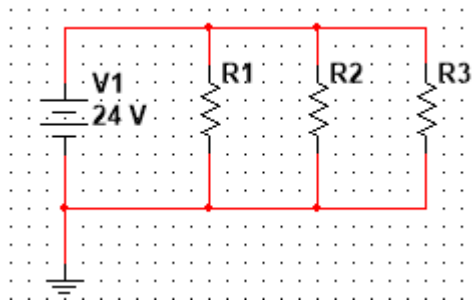
Figura 354. **Demostración teorema de Tellegen, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

VIII. Demostrar que el teorema Tellegen se cumple en el siguiente circuito.

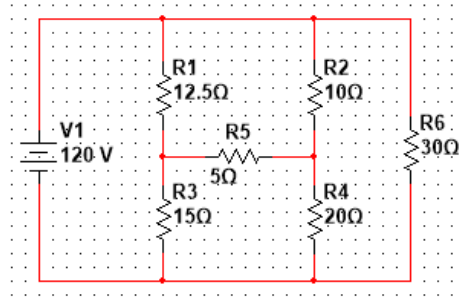
Figura 355. **Demostración teorema de Tellegen, problema VIII**



Fuente: elaboración propia.

IX. Demostrar que el teorema Tellegen se cumple en el siguiente circuito.

Figura 356. **Demostración teorema de Tellegen, problema IV**

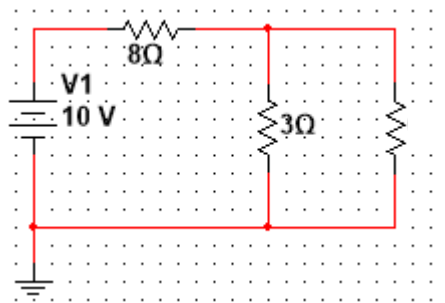


Fuente: elaboración propia.

4.16.2. Problemas de mayor alcance

- I. Demostrar el teorema de Tellegen en el siguiente circuito, sabiendo que la caída de tensión sobre el resistor de $3\ \Omega$ es de $2\ \text{V}$.

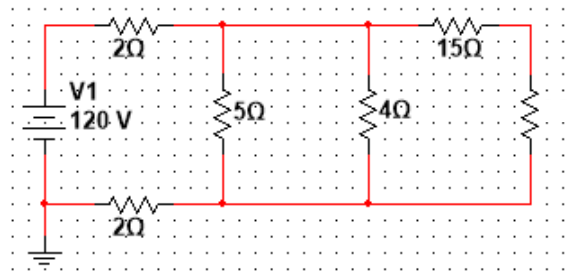
Figura 357. **Demostración teorema de Tellegen, problema I**



Fuente: elaboración propia.

- II. Demostrar el teorema de Tellegen en el siguiente circuito, sabiendo que la corriente a través del resistor de $15\ \Omega$ es de $1,911\ \text{A}$

Figura 358. **Teorema de Tellegen, problema II**



Fuente: elaboración propia.

- III. Demuestre que cuando se cumple el teorema de Máxima transferencia de potencia también se cumple el teorema de Tellegen.

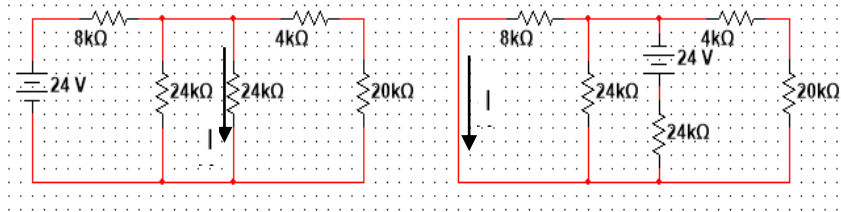
4.17. Teorema de reciprocidad

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.17.1. Problemas de corto alcance

- I. Determinar la corriente I en cada uno de los circuitos mostrados a continuación y determinar si se cumple el teorema de reciprocidad.

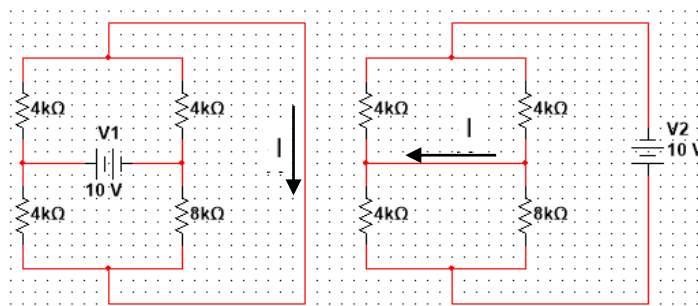
Figura 359. Teorema de reciprocidad, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Determinar la corriente I en cada uno de los circuitos mostrados a continuación y determinar si se cumple el teorema de reciprocidad.

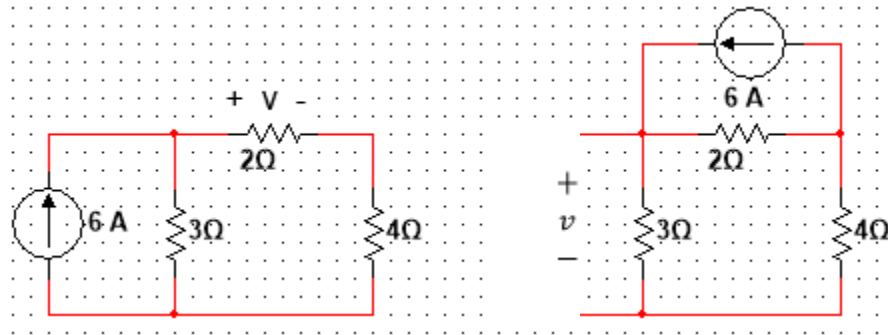
Figura 360. Teorema de reciprocidad, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Determinar la corriente I en cada uno de los circuitos mostrados a continuación y determinar si se cumple el teorema de reciprocidad.

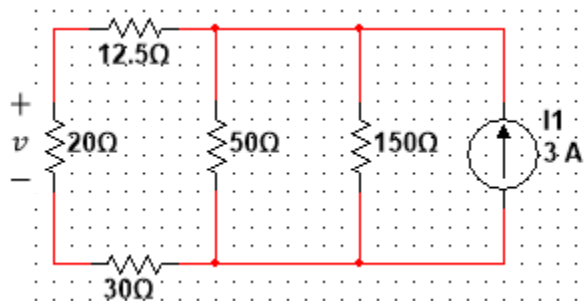
Figura 361. **Teorema de reciprocidad, problema III**



Fuente: elaboración propia.

IV. Demostrar que la reciprocidad se aplica al circuito siguiente.

Figura 362. **Demostración teorema de reciprocidad**

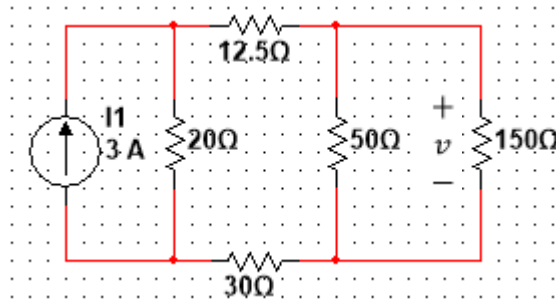


Fuente: elaboración propia.

4.17.2. Problemas de mayor alcance

I. Demostrar que la reciprocidad se aplica al circuito siguiente.

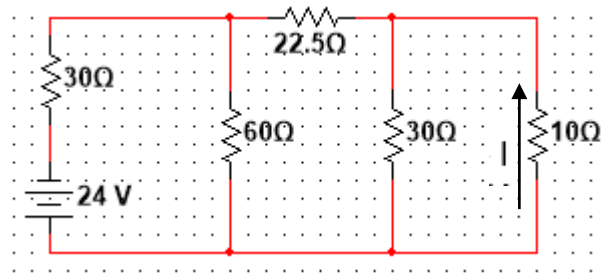
Figura 363. **Teorema de reciprocidad, problema I**



Fuente: elaboración propia.

II. Desmostar que la reciprocidad se aplica al circuito dado.

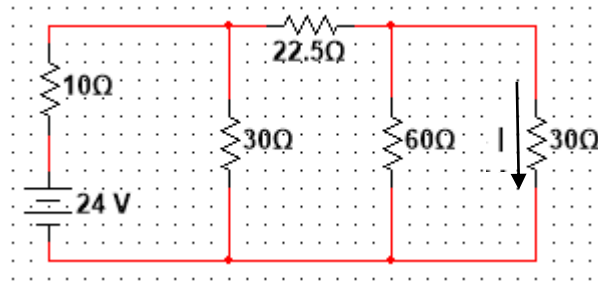
Figura 364. **Teorema de reciprocidad, problema II**



Fuente: elaboración propia.

III. Desmostar que la reciprocidad se aplica al circuito dado.

Figura 365. **Teorema de reciprocidad, problema III**



Fuente: elaboración propia.

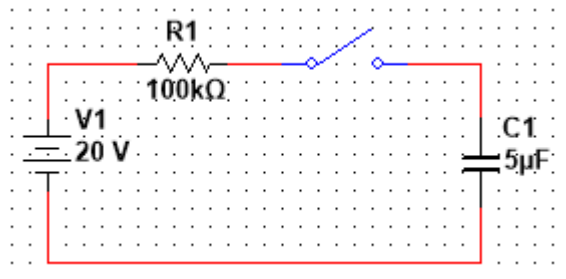
4.18. Redes capacitivas

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.18.1. Problemas de corto alcance

- I. Determinar la constante de tiempo para el circuito siguiente.

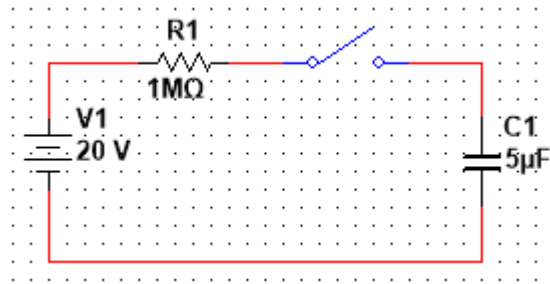
Figura 366. **Constante de tiempo, problema I**



Fuente: elaboración propia.

- II. Determinar la constante de tiempo para el circuito siguiente.

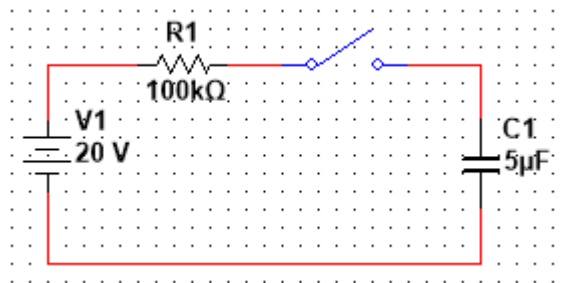
Figura 367. **Constante de tiempo, problema II**



Fuente: elaboración propia.

- III. Determinar el voltaje después de 5 constantes de tiempo.

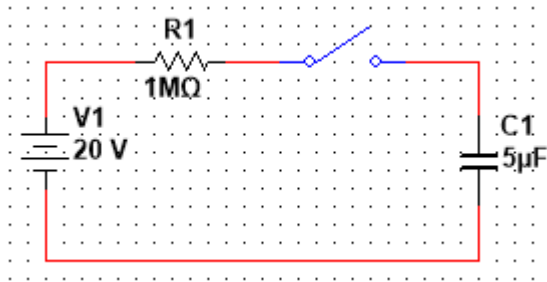
Figura 368. **5 constantes de tiempo**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Determinar el voltaje después de 3 constantes de tiempo.

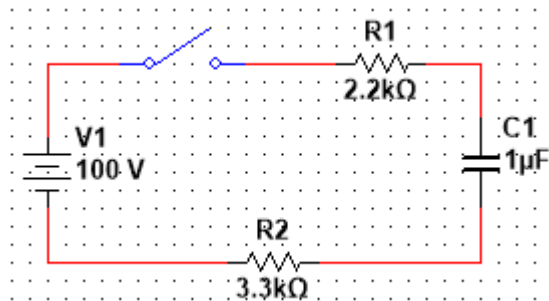
Figura 369. **3 constantes de tiempo, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

- V. Determinar la constante de tiempo y el voltaje después de 3 constantes de tiempo.

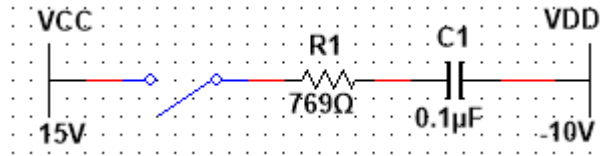
Figura 370. **Determinar constante de tiempo, problema V**



Fuente: elaboración propia.

- VI. Determinar la constante de tiempo para el siguiente circuito.

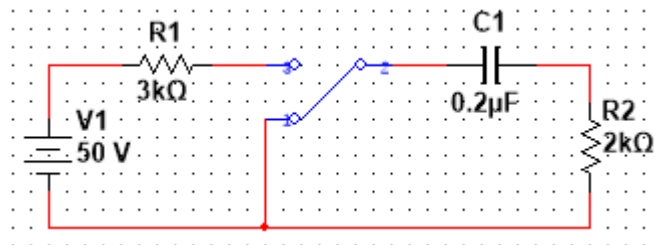
Figura 371. **Determinar constante de tiempo, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Determinar la constante de tiempo cuando el interruptor se coloca en la posición 3. Determinar el voltaje y corriente cuando el interruptor se coloca en la posición 2 en $t = 200$ ms.

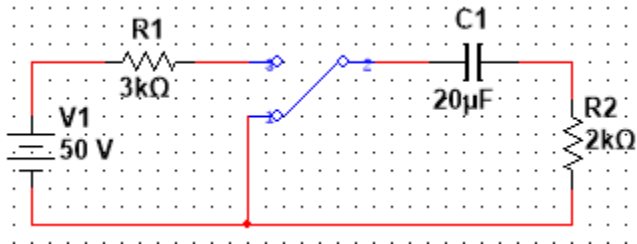
Figura 372. **Determinar constante de tiempo, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Determinar la constante de tiempo cuando el interruptor se coloca en la posición 3. Determinar el voltaje y corriente cuando el interruptor se coloca en la posición 2 en $t = 200$ ms.

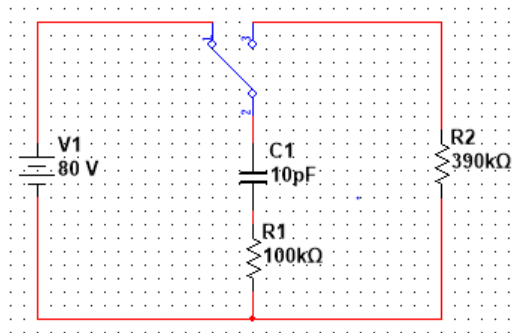
Figura 373. **Constante de tiempo en circuito RC**



Fuente: elaboración propia.

- IX. Encontrar la expresión matemática para el voltaje y la corriente en el capacitor después que el interruptor se coloca en la posición 1.

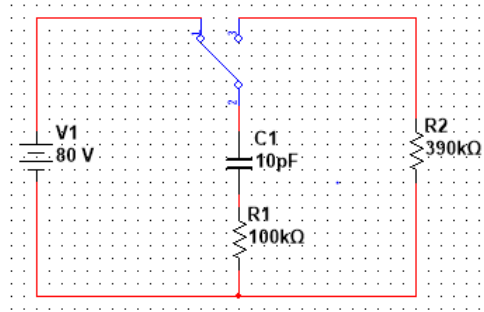
Figura 374. **Determinar expresión matemática, problema IX**



Fuente: elaboración propia.

- X. Encontrar la expresión matemática para el voltaje y la corriente en el capacitor después que el interruptor se coloca en la posición 2.

Figura 375. **Determinar expresión matemática, problema X**



Fuente: elaboración propia.

- XI. El capacitor del siguiente circuito inicialmente se encuentra cargado a 40 V antes de que se cierre el interruptor. Encontrar la expresión matemática para el voltaje y la corriente en el capacitor en la fase de descarga.

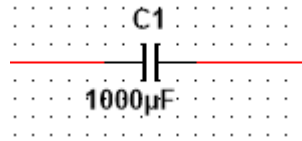
Figura 376. **Determinar expresión matemática, problema XI**



Fuente: elaboración propia.

- XII. El capacitor de 1000 uF está cargado a 6 V, para descargarlo antes de usarlo, se coloca un cable con resistencia de 0,002 Ω en paralelo al mismo. ¿cuánto tiempo le tomará descargarse el capacitor?, ¿cuál es el valor pico de la corriente?

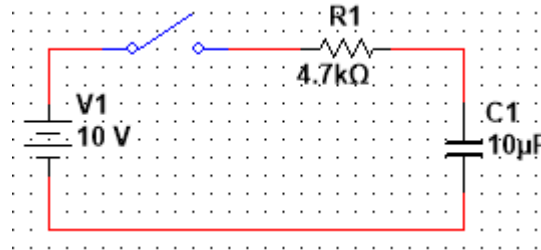
Figura 377. **Tiempo de descarga**



Fuente: elaboración propia.

- XIII. El capacitor que se muestra en el circuito inicialmente se encuentra cargado con -3 V . Encontrar las expresiones matemáticas para el voltaje y la corriente cuando se cierra el interruptor.

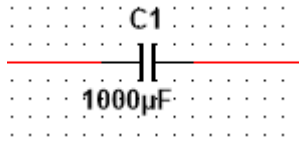
Figura 378. **Determinar expresión matemática**



Fuente: elaboración propia.

- XIV. El capacitor de 1000 uF está cargado a 6 V , para descargarlo antes de usarlo, se coloca un cable con resistencia de $0,002\text{ }\Omega$ en paralelo al mismo. Determinar cuándo la corriente de descarga es la mitad de su valor máximo si el contacto se realiza en $t = 0\text{ s}$.

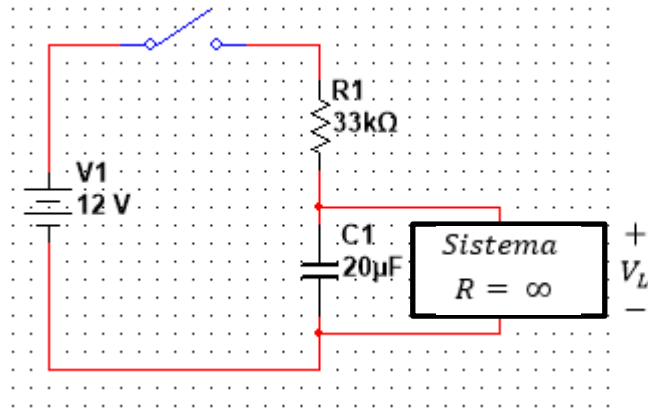
Figura 379. **Corriente durante descarga**



Fuente: elaboración propia.

- XV. Para el siguiente circuito V_L debe ser igual a 8 V antes de que el sistema pueda ser activado. Si el interruptor se cierra en $t = 0$ s, ¿cuánto tiempo tomará para que el sistema sea activado?

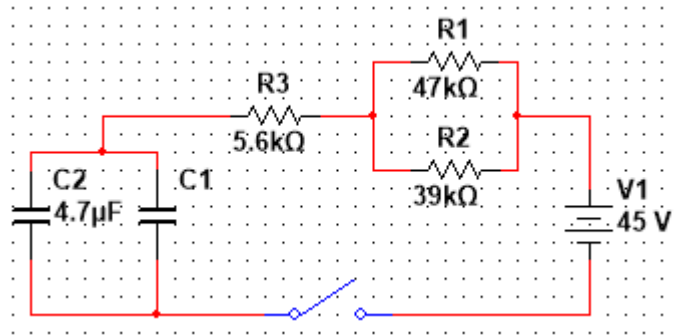
Figura 380. **Tiempo de activación**



Fuente: elaboración propia.

- XVI. Los capacitores en el siguiente circuito se encuentran descargados. El interruptor se cierra en $t = 0$ s, calcular el voltaje en el capacitor a una constante de tiempo. El conjunto de capacitores mide 4,7 uF.

Figura 381. Voltaje en el capacitor

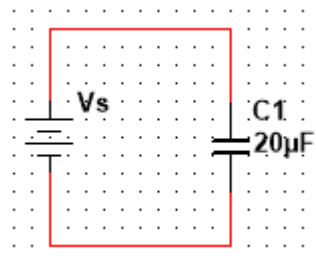


Fuente: elaboración propia.

- XVII. El siguiente circuito muestra un capacitor de 20 uF que tiene un voltaje como se muestra adelante, ¿en cuánto tiempo la energía en el capacitor es de 50 mJ?

$$\begin{aligned}
 v_s(t) &= 0, & t < 0 \\
 v_s(t) &= 10^4 t^2 & 0 < t < 0,1 \text{ s} \\
 v_s(t) &= 100 & t > 0,1 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Figura 382. Energía en el capacitor

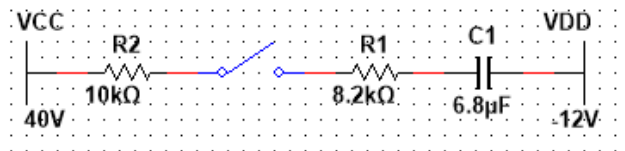


Fuente: elaboración propia.

4.18.2. Problemas de mayor alcance

- I. El capacitor que se muestra en el circuito se encuentra inicialmente cargado a 12 V. Encontrar las expresiones matemáticas para el voltaje y la corriente sobre el capacitor.

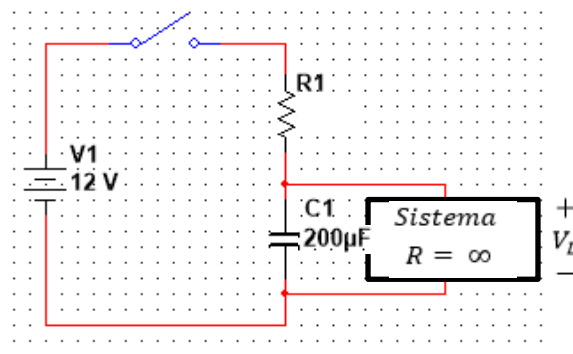
Figura 383. **Determinar la expresión matemática**



Fuente: elaboración propia.

- II. Diseñe la siguiente red de forma que el sistema se encienda en 10 s después de que el interruptor se cierre. $V_L = 12$ V.

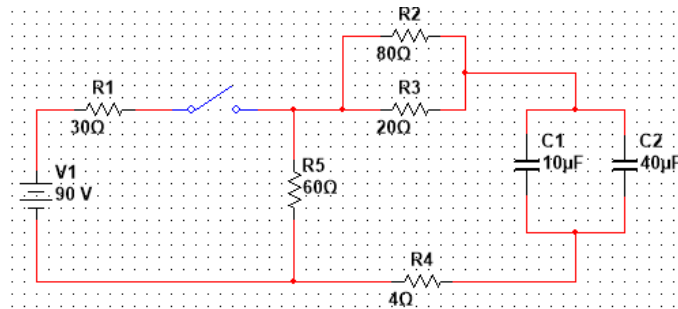
Figura 384. **Diseño de sistema RC**



Fuente: elaboración propia.

- III. Para el siguiente circuito, si el interruptor se cierra en $t = 0$ s, determinar las ecuaciones matemáticas para el voltaje y la corriente en el capacitor.

Figura 385. **Determinar expresión matemática**



Fuente: elaboración propia.

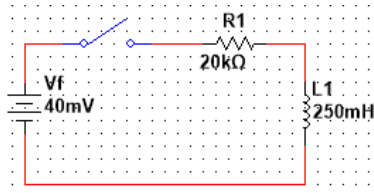
4.19. Redes inductivas

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.19.1. Problemas de corto alcance

- I. Encontrar la constante de tiempo para el siguiente circuito.

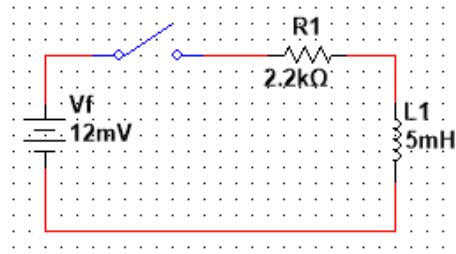
Figura 386. **Constante de tiempo circuito RL**



Fuente: elaboración propia.

- II. Encontrar la constante de tiempo para el siguiente circuito.

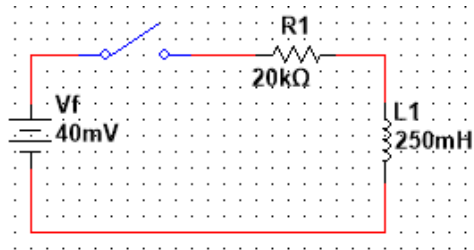
Figura 387. **Constante de tiempo circuito RL**



Fuente: elaboración propia.

- III. Determinar la corriente sobre el inductor después de 5 constantes de tiempo.

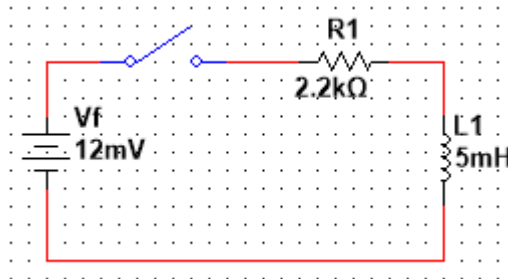
Figura 388. **Corriente en el inductor, problema III**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Determinar la corriente sobre el inductor después de 3 constantes de tiempo.

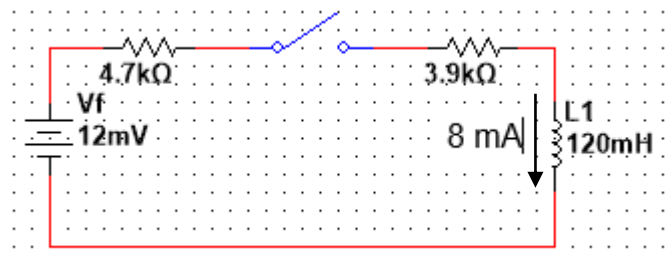
Figura 389. Corriente en el inductor, problema IV



Fuente: elaboración propia.

- V. Escribir las expresiones matemáticas para la corriente y el voltaje en el inductor, tomar en consideración la corriente inicial de 8 mA.

Figura 390. Determinar expresión matemática, problema V

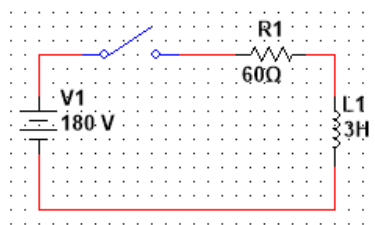


Fuente: elaboración propia.

- VI. ¿A qué se parece un inductor que no induce corriente en el instante que se acciona el interruptor?
- Un Resistor
 - Un cortocircuito
 - Un circuito abierto**
 - Una fuente de corriente

- VII. Si $I_L = 8(1 - e^{-500t})$, ¿Cuál es la corriente en $t = 6 \text{ ms}$?, si $V_L = 125e^{-500t}$, ¿cuál es el voltaje en $t = 5 \text{ ms}$?
- VIII. El interruptor en el circuito siguiente está cerrado en $t = 0 \text{ s}$. ¿cuál es la constante de tiempo?, ¿cuánto tiempo pasa hasta que la corriente alcanza su valor estable?

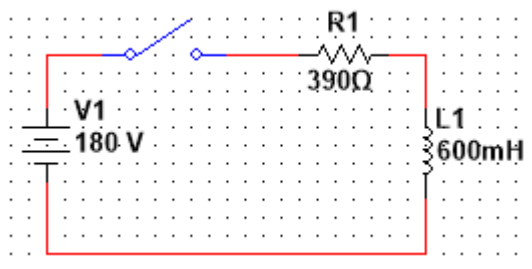
Figura 391. **Constante de tiempo**



Fuente: elaboración propia.

- IX. Para el circuito siguiente, si el interruptor se cierra en $t = 0 \text{ s}$, determinar las ecuaciones para el voltaje y la corriente sobre el inductor.

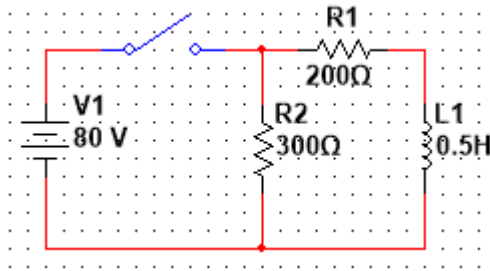
Figura 392. **Determinar ecuación**



Fuente: elaboración propia.

- X. Cuando el interruptor se cierra, ¿cuánto tiempo se necesita para que i_L alcance el estado estable? ¿cuál es su estado estable?, Cuando el interruptor se abre, ¿cuánto tiempo se necesita para que i_L alcance el estado estable? ¿cuál es su estado estable?

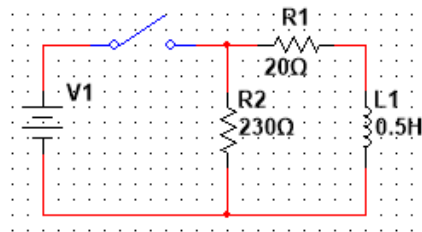
Figura 393. Estado estable



Fuente: elaboración propia.

- XI. En el siguiente circuito, la corriente del inductor ha alcanzado un valor estable de 5 A con el interruptor cerrado. En $t = 0$ s, el interruptor se abre, ¿cuál es la constante de tiempo en la fase de descarga?, determinar las ecuaciones matemáticas para el voltaje y la corriente.

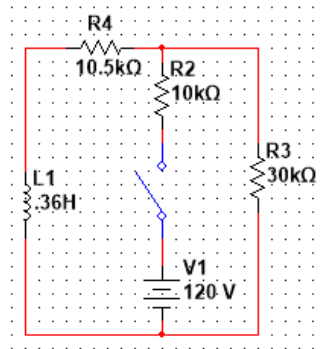
Figura 394. Constante de tiempo, problema XI



Fuente: elaboración propia.

- XII. El circuito ha alcanzado el estado estable, con el interruptor cerrado, ahora se abre el interruptor, determinar la constante de tiempo del circuito desenergizado y determinar las expresiones matemáticas para la corriente y el voltaje en el inductor.

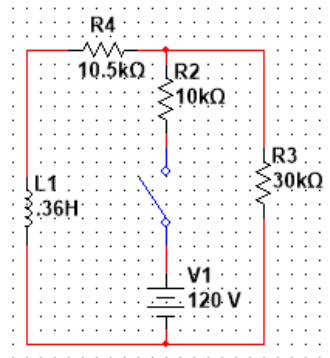
Figura 395. **Estado estable, problema XII**



Fuente: elaboración propia.

- XIII. ¿Cuál es la constante de tiempo del circuito energizado? ¿cuál es el voltaje en el inductor y la corriente a través de el en $t = 20 \mu\text{s}$?

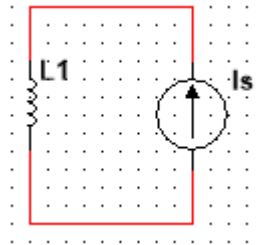
Figura 396. **Constante de tiempo, problema XIII**



Fuente: elaboración propia.

- XIV. Un inductor de 50 mH tiene una corriente de $i_s(t) = 0$, para $t < 0$, e $i_s(t) = 150t^3$ A, para $t > 0$. Calcular el voltaje a través del inductor, $V_L(t)$, con la polaridad mostrada en el circuito siguiente.

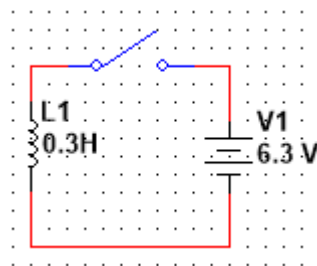
Figura 397. **Voltaje en el inductor**



Fuente: elaboración propia.

- XV. Calcular la corriente como una función del tiempo después de que el interruptor se ha cerrado. ¿En cuánto tiempo la energía almacenada alcanza 10 J?

Figura 398. **Energía en el inductor**

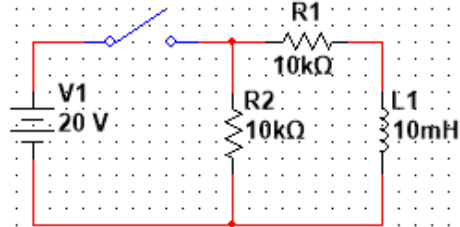


Fuente: elaboración propia.

4.19.2. Problemas de mayor alcance

- I. Determinar las expresiones matemáticas para la corriente y el voltaje sobre el inductor cuando el interruptor está cerrado. Determinar el valor instantáneo del voltaje y la corriente después de 5 constantes de tiempo.

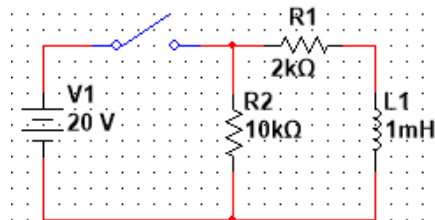
Figura 399. **Determinar expresión matemática**



Fuente: elaboración propia.

- II. Determinar las expresiones matemáticas para la corriente y el voltaje sobre el inductor cuando el interruptor se abre después de 1 us de haberse cerrado.

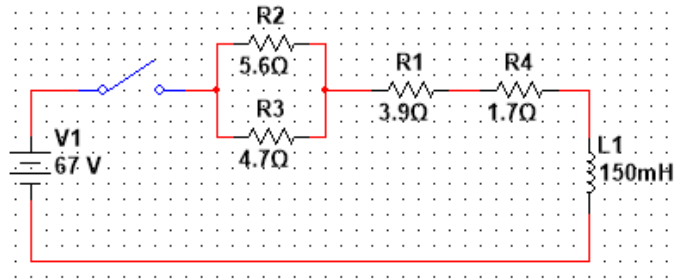
Figura 400. **Voltaje sobre el inductor**



Fuente: elaboración propia.

- III. Determinar la corriente en el inductor en $t = 18,4 \text{ ms}$.

Figura 401. Corriente en el inductor



Fuente: elaboración propia.

4.20. Señales variantes en el tiempo (AC), fasores y circuitos resistivos

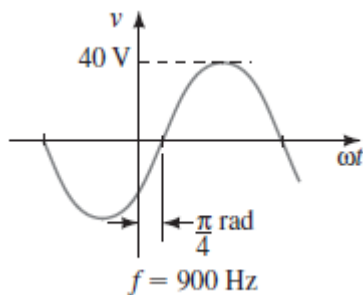
Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.20.1. Problemas de corto alcance

- I. ¿Cuáles de los siguientes enunciados no es una manera correcta de expresar la senoide $A \cos \omega t$?
- a. $A \cos 2\pi ft$
 - b. $A \cos(2\pi t/T)$
 - c. $A \cos \omega(t - T)$
 - d. $A \sin(\omega t - 90^\circ)$**
- II. Se dice que una función que se repite después de intervalos fijos es:
- a. Un fasor
 - b. Periódica**

- c. Armónica
 - d. Reactiva
- III. Si $v_1 = 30 \text{ sen}(\omega t + 10^\circ)$ y $v_2 = 20 \text{ sen}(\omega t + 50^\circ)$, ¿cuáles de los siguientes enunciados son ciertos?
- a. V1 se adelanta a v2
 - b. V2 se adelanta a v1**
 - c. V2 se atrasa de v1
 - d. V1 se atrasa de v2**
 - e. V1 y v2 están en fase
- IV. Determinar el periodo de: 100 Hz, 40 kHz y 200 MHz
- V. Para una onda triangular, $f = 1,25 \text{ MHz}$. ¿Cuál es su periodo? ¿cuánto tiempo le toma pasar 8×10^7 ciclos?
- VI. Dado el voltaje $v = V_m \text{ sen } a$. si $V_m = 240$, ¿qué valor tiene v cuando $a = 37^\circ$?
- VII. Escriba la ecuación para la siguiente forma de onda.

Figura 402. **Forma de onda**



Fuente: elaboración propia.

VIII. Dada la tensión senoidal $v(t) = 50 \cos(30t + 10^\circ)$ V, hallar: la amplitud V_m , el periodo T, la frecuencia f y $v(t)$ en $t = 10$ ms. Respuesta 50 V, 209,4 ms, 4,775 Hz, 44,48 V.

IX. Una fuente de corriente en un circuito lineal tiene $i_s(t) = 15 \cos(25\pi t + 25^\circ)$ A, ¿Cuál es la amplitud de la corriente?, ¿Cuál es la frecuencia angular?, hallar la frecuencia de la corriente.

X. Determinar cuál se adelanta y en cuanto.

$$v(t) = 10 \cos(4t - 60^\circ) \text{ V} \quad e \quad i(t) = \sin(4t - 50^\circ)$$

XI. Calcular este número complejo y expresar el resultado en forma rectangular

$$\frac{60 \angle 45^\circ}{7,5 - j10} + j2$$

XII. Calcular este número complejo y expresar el resultado en forma rectangular

$$\frac{32 \angle -20^\circ}{(6 + j8)(4 + j2)} + \frac{20}{-10 + j24}$$

XIII. Evaluar el siguiente número complejo y expresar el resultado en forma polar. Respuesta $50,88 \angle -15,52^\circ$

$$5 \angle 30^\circ \left(6 - j8 + \frac{3 \angle 60^\circ}{2 + j} \right)$$

XIV. Hallar los fasores correspondientes a las siguientes señales. Respuesta $21 \angle -15^\circ$ V, $8 \angle 160^\circ$ mA, $120 \angle -140$ V.

- $V(t) = 21 \cos(4t - 15^\circ) \text{ V}$
- $I(t) = -8 \sin(10t + 70^\circ) \text{ mA}$
- $V(t) = 120 \sin(10t - 50^\circ) \text{ V}$

XV. Transformar las siguientes senoides en fasores

- $-20 \cos(4t+135^\circ)$
- $8 \sin(20t + 30^\circ)$
- $20 \cos(2t) + 15 \sin(2t)$

XVI. Obtener las senoides, V_{rms} y I_{prom} correspondientes a cada uno de los siguientes fasores:

- $V_1 = 60 \angle 15^\circ \text{ V}, \omega = 1$
- $V_2 = 6 + j8 \text{ V}, \omega = 40$
- $I_1 = 2,8e^{-j\pi/3} \text{ A}, \omega = 377$

XVII. Determinar la corriente que fluye a través de un resistor de 8Ω conectado a una fuente de tensión $v_s = 110 \cos 377t \text{ V}$.
Respuesta $13,75 \cos 377t$

XVIII. ¿Cuál es el valor promedio para cada uno de los siguientes casos?

- $i = 5 \sin \omega t$
- $i = 40 \cos \omega t$
- $v = 400 \sin(\omega t + 30^\circ)$

XIX. Determinar los valores efectivos para cada uno de los siguientes casos:

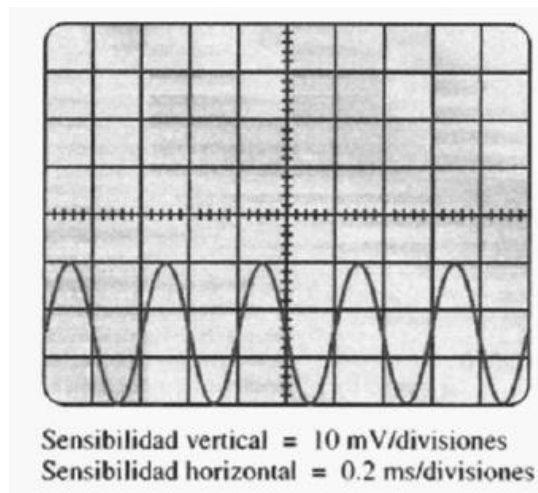
- $V = 100 \sin \omega t \text{ V}$
- $I = 8 \sin 377t \text{ A}$
- $V = 40 \sin (\omega t + 40^\circ)$

XX. Encontrar la relación de fase entre las formas de onda de cada conjunto.

- $V = 4 \text{ sen}(wt + 50^\circ)$; $I = 6 \text{ sen}(wt + 40^\circ)$
- $V = 25 \text{ sen}(wt - 80^\circ)$; $I = 5 \times 10^{-3} \text{ sen}(wt - 10^\circ)$

XXI. Determinar el periodo, la frecuencia y el valor promedio de la señal que se muestra.

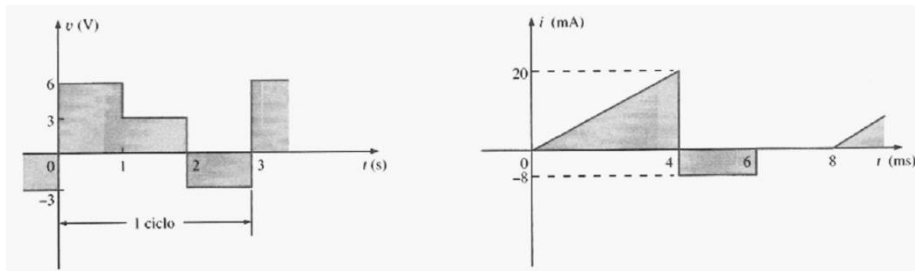
Figura 403. **Periodo, frecuencia y valor promedio**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 525.

XXII. Encontrar el valor promedio de las formas de onda siguientes.

Figura 404. Valor promedio



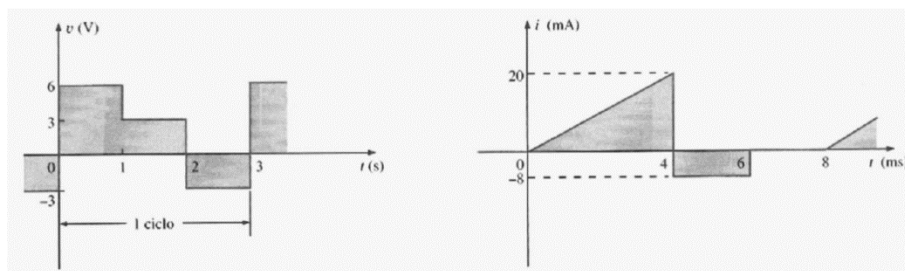
Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 525.

XXIII. Encontrar los valores RMS de las siguiente formas de onda senoidales:

- 1) $V = 20 \text{ sen } 754t$
- 2) $V = 7,07 \text{ sen } 377t$
- 3) $I = 0,006 \text{ sen}(400t + 20^\circ)$

XXIV. Encontrar el valor RMS de las siguientes formas de onda.

Figura 405. Valor RMS



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 525.

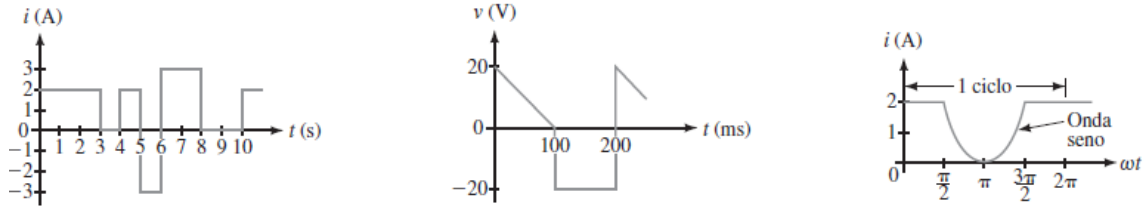
4.20.2. Problemas de mayor alcance

- I. Dadas $v_1 = 45 \sin(\omega t + 30^\circ)$ V y $v_2 = 50 \cos(\omega t - 30^\circ)$ determinar el ángulo de fase entre las dos senoides y cual se atrasa respecto a la otra. Respuesta 30° , v_1 se atrasa v_2 .
- II. Si $f(\varphi) = \cos\varphi + j\sin\varphi$, demuestre que $f(\varphi) = e^{j\varphi}$
- III. Evaluar el siguiente número complejo y expresar el resultado en forma polar. Respuesta $60,02\angle-110,96$

$$\frac{(10\angle 60^\circ)(35\angle -50^\circ)}{(2 + j6) - (5 + j)}$$

- IV. Dos tensiones v_1 y v_2 aparecen en serie, de modo que su suma es $v = v_1 + v_2$. Si $v_1 = 10 \cos(50t - \pi/3)$ V y $v_2 = 12 \cos(50t + 30^\circ)$, hallar v . Respuesta $15,62 \cos(50t - 9.8^\circ)$ V.
- V. Una red lineal tiene una entrada de corriente $7,5 \cos(10t + 30^\circ)$ A y una salida de tensión $120 \cos(10t + 75^\circ)$ V. Determinar la impedancia asociada, la corriente promedio y el voltaje efectivo.
- VI. Calcular I_{prom} o V_{prom} para las formas de onda que se muestran en la siguiente imagen.

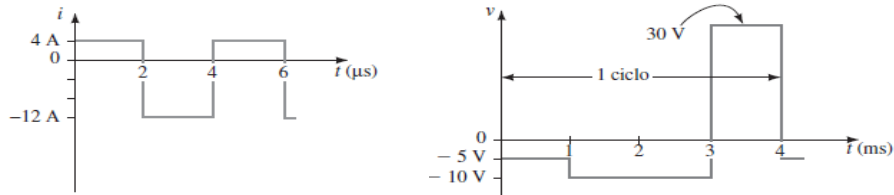
Figura 406. Corriente y voltaje promedio



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 530.

- VII. Calcular los valores rms para las formas de onda de la siguiente imagen.

Figura 407. Valor RMS



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 525.

4.21. Impedancia y reactancia

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.21.1. Problemas de corto alcance

- I. La tensión a través de un inductor se adelanta a la corriente a través de el en 90° .

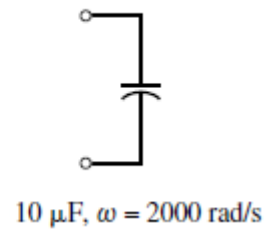
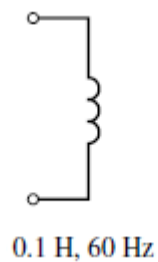
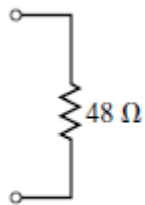
- a. Falso
- b. Verdadero**

II. La parte imaginaria de la impedancia se llama:

- a. Resistencia
- b. Admitancia
- c. Susceptancia
- d. Conductancia
- e. Reactancia**

III. Determinar la impedancia de cada elemento de circuito mostrado en la siguiente imagen.

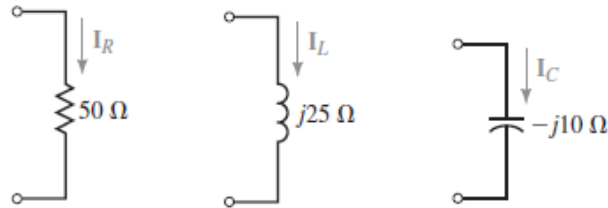
Figura 408. **Impedancia**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 534.

IV. Si $V = 100 \text{ V} \angle 0^\circ$ se aplica en cada uno de los elementos de la siguiente imagen, determinar cada corriente en forma fasorial y en el dominio del tiempo.

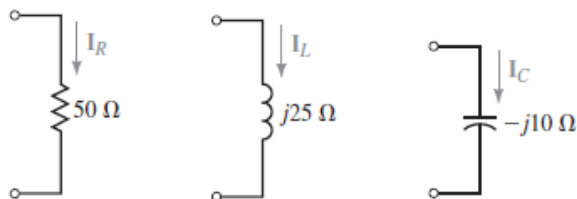
Figura 409. **Corriente fasorial, problema IV**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 526.

- V. Si la corriente a través de cada elemento de circuito de la siguiente imagen es $0,5 \text{ A} \angle 0^\circ$.

Figura 410. **Corriente fasorial, problema V**



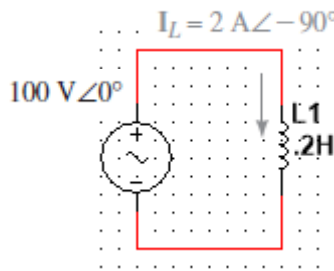
Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 526.

- VI. Para cada inciso, determine la impedancia del elemento de circuito y establezca si es resistivo, inductivo o capacitivo.

- $V = 240 \text{ V} \angle -30^\circ$, $I = 4 \text{ A} \angle -30^\circ$
- $V = 40 \text{ V} \angle 30^\circ$, $I = 4 \text{ A} \angle -60^\circ$
- $V = 60 \text{ V} \angle -30^\circ$, $I = 4 \text{ A} \angle 60^\circ$

- VII. Determinar la frecuencia de la fuente de voltaje en el siguiente circuito.

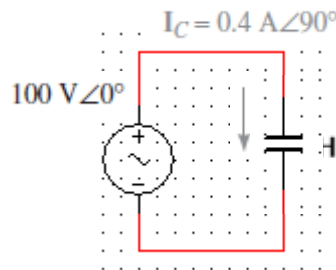
Figura 411. **Frecuencia de la fuente de voltaje**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Determinar la capacitancia en el siguiente circuito.

Figura 412. **Capacitancia fasorial**



Fuente: elaboración propia.

- IX. El voltaje en un resistor de $5\ \Omega$ es como se indica a continuación. Encontrar la expresión senoidal para la corriente.

- 1) $150 \sin 377t$
- 2) $30 \sin(377t + 20^\circ)$
- 3) $40 \cos(\omega t + 10^\circ)$

X. Determinar la reactancia inductiva de una bobina de 2 H para 0 Hz, 25 Hz, 60 Hz, 2000 Hz y 100 kHz.

XI. Determinar la inductancia de una bobina que tiene una reactancia de:

- 1) 20Ω en 2 Hz
- 2) 1000Ω en 60 Hz
- 3) 5280Ω en 1000 Hz

XII. La corriente a través de una reactancia inductiva de 20Ω es $i = 0,4 \sin(\omega t + 60^\circ)$, ¿cuál es la expresión senoidal para el voltaje?

XIII. El voltaje en una reactancia inductiva de 50Ω es $30 \sin(\omega t + 20^\circ)$, cual es la expresión para la corriente.

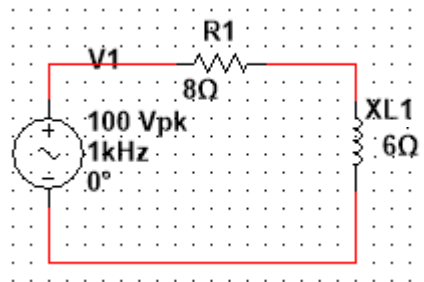
XIV. Determinar la reactancia capacitiva de un capacitor de 5 μF para 0 Hz, 60 Hz, 120 Hz, 1800 Hz y 24000 Hz.

XV. Determinar la capacitancia en μF si un capacitor tiene una reactancia de:

- 1) 250Ω en 60 Hz
- 2) 55Ω en 312 Hz
- 3) 10Ω en 25 Hz

- XVI. Determinar la frecuencia a la que un capacitor de 50 μF presenta las siguientes reactancias capacitivas: 342 Ω , 684 Ω , 171 Ω y 2000 Ω .
- XVII. El voltaje en una reactancia capacitiva de 2,5 Ω es $v = -70 \sin(\omega t + 40^\circ)$, ¿Cuál es la expresión senoidal para la corriente?
- XVIII. La corriente a través de una reactancia capacitiva de 10 Ω es $i = -6 \sin(\omega t - 30^\circ)$, escribir la expresión senoidal para el voltaje.
- XIX. ¿En qué frecuencia la reactancia de un capacitor de 1 μF será igual a la resistencia de un resistor de 2 $\text{k}\Omega$?
- XX. La reactancia de una bobina es igual a la resistencia de un resistor de 10 $\text{k}\Omega$ en una frecuencia de 5 kHz , determinar la inductancia.
- XXI. Determinar la capacitancia requerida para establecer una reactancia capacitiva que coincida con la de una bobina de 2 mH en una frecuencia de 50 kHz .
- XXII. Encontrar la impedancia total en forma polar y la corriente que fluye a través del circuito.

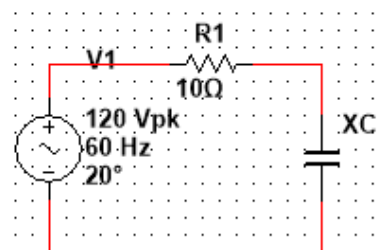
Figura 413. **Impedancia total, problema XXII**



Fuente: elaboración propia.

XXIII. Encontrar la impedancia total en forma polar, la corriente que fluye a través del circuito y el valor de capacitancia.

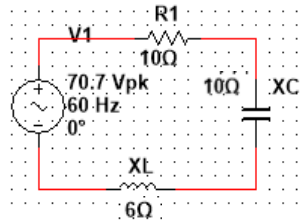
Figura 414. **Impedancia total, problema XXIII**



Fuente: elaboración propia.

XXIV. Encontrar la impedancia total en forma polar, la corriente que fluye a través del circuito y el valor de capacitancia e inductancia en el circuito.

Figura 415. Impedancia total, problema XXIV



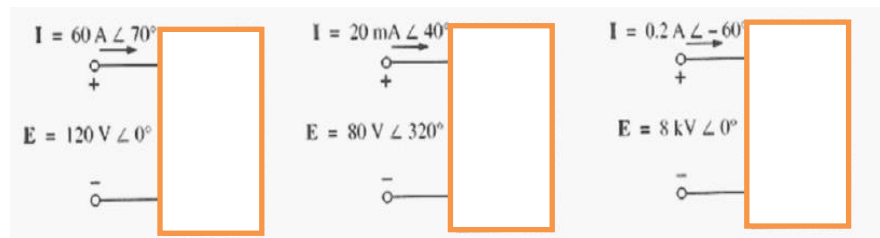
Fuente: elaboración propia.

4.21.2. Problemas de mayor alcance

- I. Para los siguientes pares de voltaje y corriente, indicar si el elemento involucrado es un capacitor, un inductor o un resistor, y encontrar el valor de C, L o R.
 - $V = 2000 \text{ sen } wt$, $I = 5 \text{ cos } wt$
 - $V = 80 \text{ sen}(157t + 150^\circ)$, $I = 2 \text{ sen}(157t + 60^\circ)$
 - $V = 35 \text{ sen}(wt - 20^\circ)$, $I = 7 \text{ cos}(wt - 110^\circ)$

- II. Encuentre el tipo y la impedancia en Ohm de los elementos del circuito en serie que deberán encontrarse dentro del contenedor cerrado para que se presenten los voltajes y corrientes indicados en las terminales de entrada.

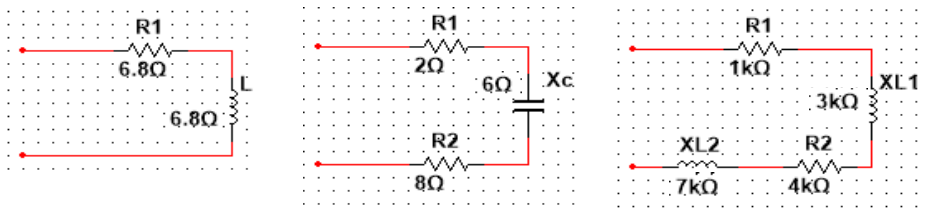
Figura 416. Impedancia



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 535.

- III. Calcular la impedancia total de los circuitos que se muestran en la siguiente imagen, expresar las respuestas en forma rectangular y polar, y trazar el diagrama de impedancia.

Figura 417. Impedancia total



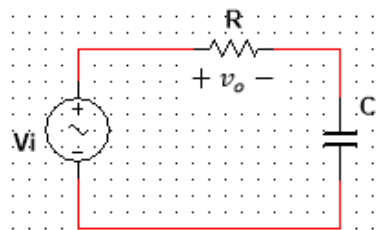
Fuente: elaboración propia.

4.22. Respuesta en frecuencia redes R, C y L

4.22.1. Problemas de corto alcance

- I. Determinar la función de transferencia V_o/V_i del circuito RC de la siguiente imagen.

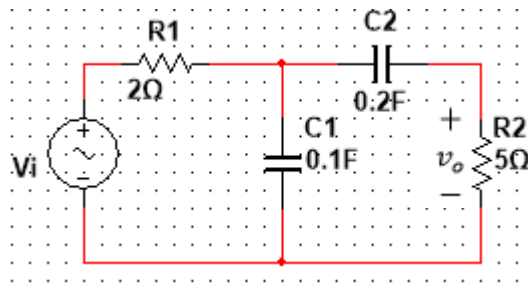
Figura 418. Función de transferencia, problema I



Fuente: elaboración propia.

- II. Determinar la función de transferencia V_o/V_i del circuito RC de la siguiente imagen.

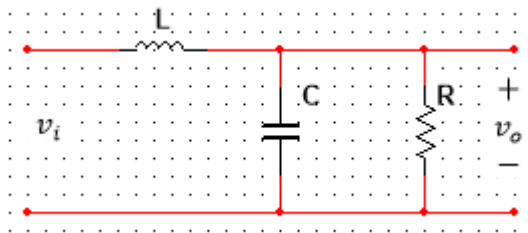
Figura 419. **Función de transferencia, problema II**



Fuente: elaboración propia.

- III. Encontrar la función de transferencia del siguiente circuito.

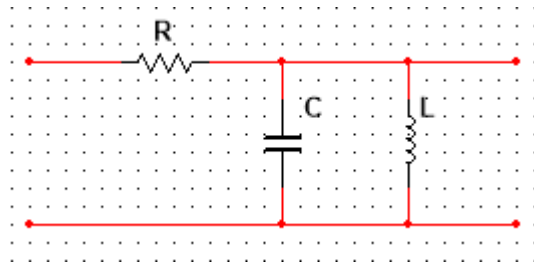
Figura 420. **Función de transferencia, problema III**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Encontrar la función de transferencia.

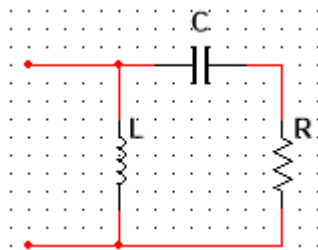
Figura 421. **Función de transferencia, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

- V. Una red RLC en serie tiene $R = 2 \text{ k}\Omega$, $L = 40 \text{ mH}$ y $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$. Calcular la impedancia de la resonancia y a un cuarto de la frecuencia de resonancia.
- VI. Encontrar la frecuencia de resonancia del siguiente circuito.

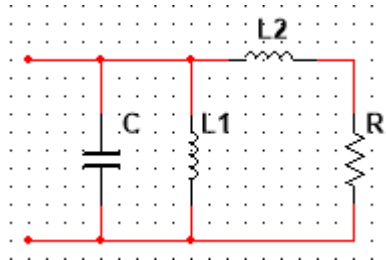
Figura 422. **Frecuencia de resonancia, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Encontrar la frecuencia de resonancia del siguiente circuito.

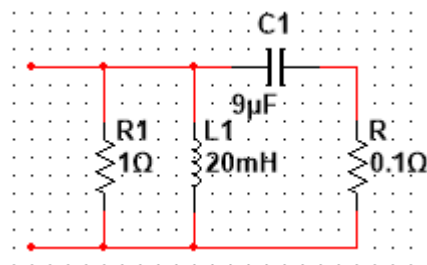
Figura 423. **Frecuencia de resonancia, problema VII**



Fuente: elaboración propia.

VIII. Encontrar la frecuencia de resonancia en el siguiente circuito.

Figura 424. **Frecuencia de resonancia, problema VIII**

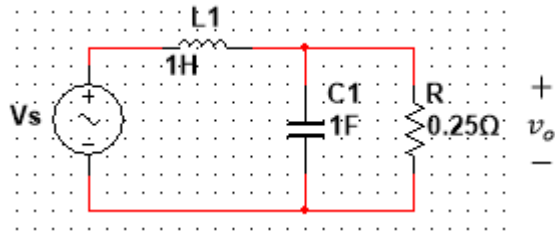


Fuente: elaboración propia.

IX. Demostrar que un circuito LR en serie es un filtro pasabajos si se toma la salida en la resistencia.

X. Demostrar que el siguiente circuito es un flitro pasabajos.

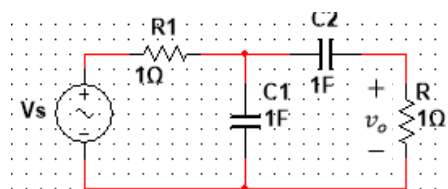
Figura 425. **Filtro pasabajos**



Fuente: elaboración propia.

- XI. Diseñar un filtro RI pasabajas que utilice una bobina de 40 mH y tenga una frecuencia de corte de 5 kHz.
- XII. Determinar el rango de frecuencias que dejará pasar un filtro pasabanda RLC en serie con $R = 10 \Omega$, $L = 25 \text{ mH}$ y $C = 0,4 \mu\text{F}$.
- XIII. Determinar la frecuencia central y el ancho de banda del siguiente filtro.

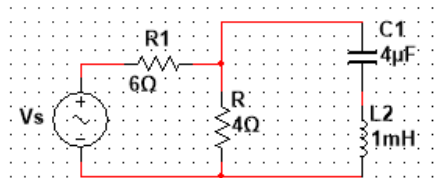
Figura 426. **Frecuencia central y ancho de banda**



Fuente: elaboración propia.

- XIV. Los parámetros de un circuito para un filtro rechazabanda RLC en serie con $R = 2 \text{ k}\Omega$, $L = 0,1 \text{ H}$ y $C = 40 \text{ pF}$. Calcular la frecuencia central.
- XV. Encontrar el ancho de banda y la frecuencia central del filtro rechazabanda del siguiente circuito.

Figura 427. **Ancho de banda**

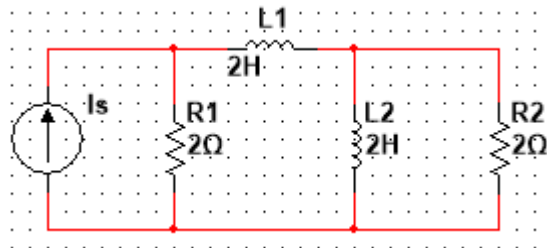


Fuente: elaboración propia.

4.22.2. Problemas de mayor alcance

- I. Encontrar la función de transferencia $H(s) = I_o/I_s$, donde I_o es la corriente sobre R_2 .

Figura 428. **Función de transferencia**



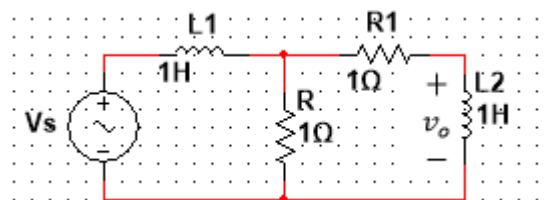
Fuente: elaboración propia.

- II. Un circuito que consiste en una bobina con inductancia de 10 mH y resistencia de 20Ω está conectada en serie con un capacitor y un generador con un voltaje de 120 V rms. Encontrar el valor de la capacitancia que provocará que el circuito entre en resonancia a 15 kHz.

- III. Diseñar un filtro pasabanda tipo RLC en serie con frecuencias de corte de 10 kHz y 11 kHz. Suponiendo que $C = 80 \text{ pF}$, encontrar R y L.

- IV. Determinar la frecuencia central y el ancho de banda del siguiente filtro.

Figura 429. **Ancho de banda**



Fuente: elaboración propia.

4.23. Potencia en AC

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

4.23.1. Problemas de corto alcance

- I. La potencia promedio absorbida por un inductor es cero.

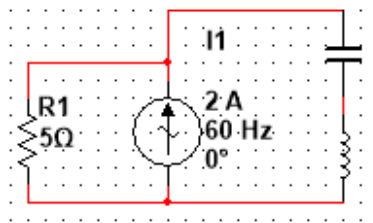
- a) **Cierto**
- b) Falso

II. La potencia reactiva se mide en:

- a) Watts
- b) VA
- c) **VAR**
- d) Ninguno es correcto

III. Dado el circuito siguiente hallar la potencia promedio suministrada o absorbida por cada elemento. $X_L = 1 \Omega$ y $X_C = 4 \Omega$.

Figura 430. **Potencia promedio, problema III**

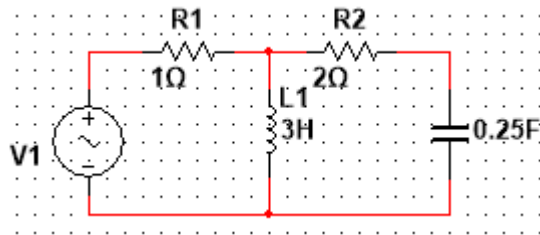


Fuente: elaboración propia.

IV. Una carga consta de un resistor de 60Ω en paralelo con un capacitor de $90 \mu\text{F}$. Si la carga está conectada a una fuente de tensión $V_s(t) = 160 \cos 2000t$, hallar la potencia promedio suministrada a la carga.

V. Suponiendo que $V_s = 8 \cos(2t - 40^\circ) \text{ V}$ en el siguiente circuito, hallar la potencia promedio provista a cada uno de los elementos pasivos.

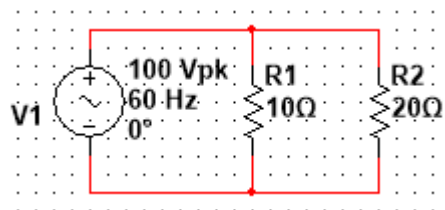
Figura 431. **Potencia promedio, problema V**



Fuente: elaboración propia.

- VI. En el siguiente circuito se muestra un par de elementos eléctricos de calefacción. Determinar la potencia reactiva y activa para cada uno y determinar la potencia activa y reactiva suministrada por la fuente.

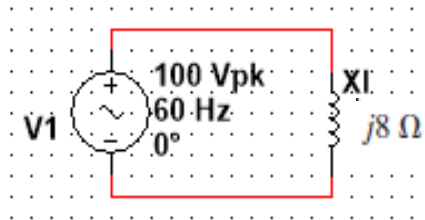
Figura 432. **Potencia reactiva, problema VI**



Fuente: elaboración propia.

- VII. Para el siguiente circuito, determinar la potencia activa y reactiva del inductor.

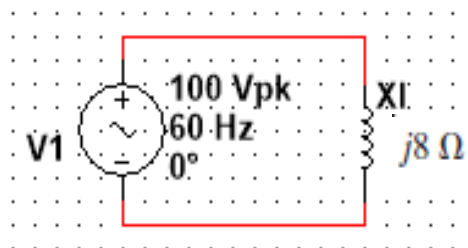
Figura 433. **Potencia activa y reactiva**



Fuente: elaboración propia.

- VIII. Si el inductor del siguiente circuito es sustituido por un capacitor de 40 μF , ¿cuánto vale la potencia reactiva capacitiva?

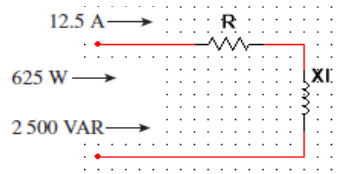
Figura 434. **Potencia reactiva, problema VIII**



Fuente: elaboración propia.

- IX. Encontrar R y X_L , y dibujar el triángulo de potencia.

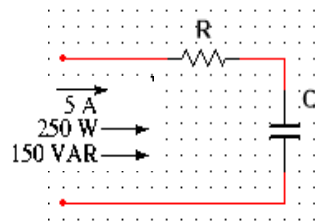
Figura 435. **Triángulo de potencia, problema IX**



Fuente: elaboración propia.

- X. Encontrar R , X_c y C en el siguiente circuito si $f = 100$ Hz.

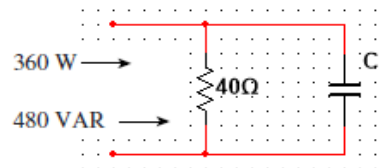
Figura 436. **Reactancia capacitiva**



Fuente: elaboración propia.

- XI. Encontrar X_c y dibujar el triángulo de potencia.

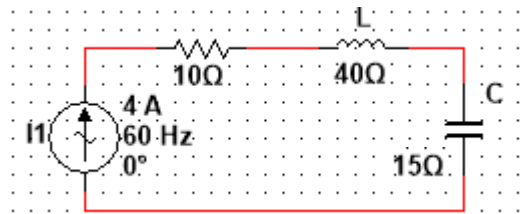
Figura 437. **Triángulo de potencia, problema XI**



Fuente: elaboración propia.

- XII. Encontrar la potencia promedio total y la potencia reactiva total suministrada por la fuente en el siguiente circuito.

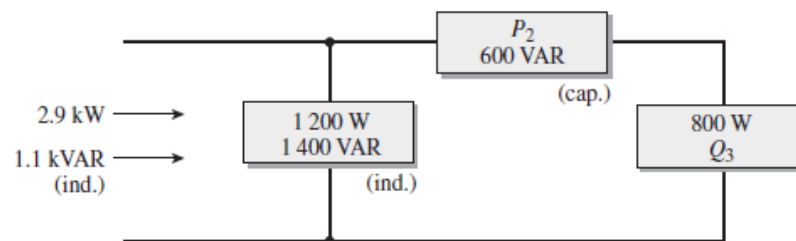
Figura 438. **Potencia promedio, problema XII**



Fuente: elaboración propia.

- XIII. Encontrar P_2 y Q_3 . El elemento en la carga 3 ¿es inductivo o capacitivo?, dibujar el triángulo de potencia.

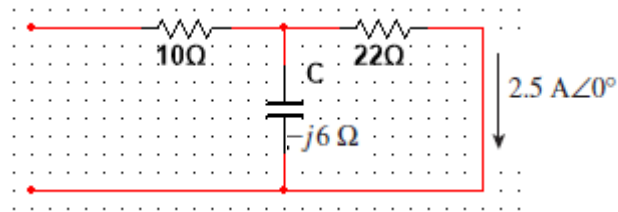
Figura 439. **Potencia reactiva, problema XIII**



Fuente: BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos*. p. 541.

- XIV. Determinar P_T y Q_T y dibujar el triángulo de potencia.

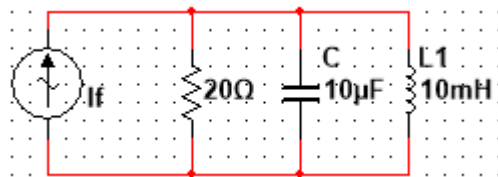
Figura 440. **Potencia reactiva, problema XIV**



Fuente: elaboración propia.

- XV. En el siguiente circuito se muestra un circuito RLC. Determinar la potencia instantánea entregada al inductor cuando $i_f = \cos \omega t$ A y $\omega = 6283$ rad/s.

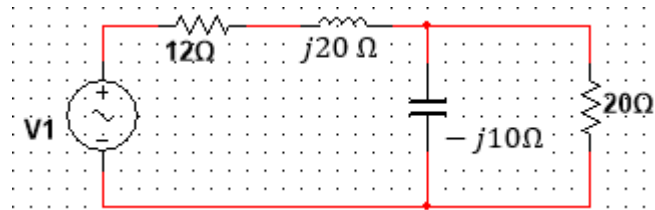
Figura 441. **Potencia instantánea, problema XV**



Fuente: elaboración propia.

- XVI. Para el siguiente circuito, determinar la corriente total y la potencia S entregada por la fuente cuando $V = 50 \angle 120^\circ$ V. Respuesta $100 + j75$ VA

Figura 442. **Potencia**

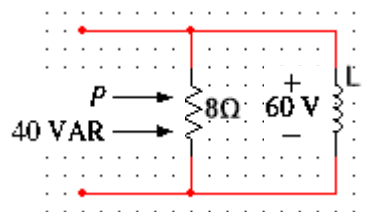


Fuente: elaboración propia.

4.23.2. Problemas de mayor alcance

- I. Si $v(t) = 160 \cos 50t$ V e $i(t) = -33 \sin(50t - 30^\circ)$ A. calcular la potencia promedio.
- II. Para el siguiente circuito encontrar P , X_L y L , si $f = 10$ Hz.

Figura 443. **Potencia y reactancia, problema II**

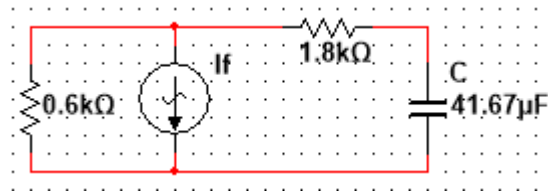


Fuente: elaboración propia.

- III. Determinar la potencia promedio absorbida por el resistor de $0,6 \text{ k}\Omega$ y la potencia promedio suministrada por la fuente de corriente en el circuito siguiente. $I_f = 4\sqrt{5} \cos 10^4 t$ mA.

- IV. Una bobina se representa por un modelo que se compone de una inductancia L en serie con una resistencia R . La lectura de un voltímetro es de 26 V cuando se suministra a la bobina una corriente de 2 A. Un Vatímetro indica que la potencia promedio entregada a la bobina es de 20 W. determinar R y L cuando $\omega = 377$. Respuesta $R = 5 \Omega$, $L = 31,8 \text{ mH}$.

Figura 444. Potencia promedio, problema IV



Fuente: elaboración propia.

4.24. Factor de potencia y corrección del factor de potencia

Se presentan problemas de corto y largo alcance.

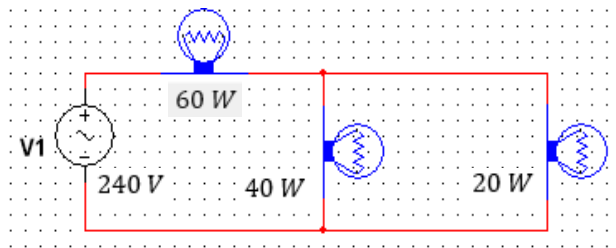
4.24.1. Problemas de corto alcance

- I. Encontrar el factor de potencia para cada uno de los circuitos cuya corriente y voltaje de entrada son de la siguiente forma:

- $V = 60 \text{ sen}(\omega t + 30^\circ)$, $I = 15 \text{ sen}(\omega t + 60^\circ)$
- $V = -50 \text{ sen}(\omega t - 20^\circ)$, $I = -2 \text{ sen}(\omega t + 40^\circ)$
- $V = 50 \text{ sen}(\omega t + 80^\circ)$, $I = 3 \text{ cos}(\omega t + 20^\circ)$
- $V = 75 \text{ sen}(\omega t - 5^\circ)$, $I = 0,08 \text{ sen}(\omega t - 35^\circ)$

- II. Un circuito disipa 100 W (potencia promedio) con 150 V (voltaje efectivo de entrada) y 2 A (corriente efectiva de entrada), ¿cuál es el factor de potencia?
- III. Determinar la disipación de potencia total, las potencias aparentes y reactivas totales, calcular la resistencia de cada foco para las condiciones dadas.

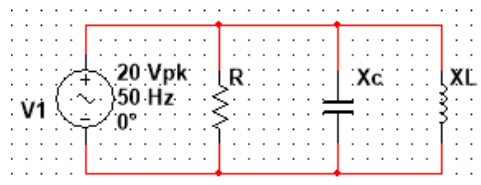
Figura 445. **Potencia aparente, problema III**



Fuente: elaboración propia.

- IV. Si $R = 2 \Omega$, $X_c = 5 \Omega$, $X_L = 4 \Omega$, obtener las potencias promedio, reactiva y aparente de cada elemento, obtener P_T , Q_T , S_T y el factor de potencia, dibujar el triángulo de potencia.

Figura 446. **Triángulo de potencia, problema IV**



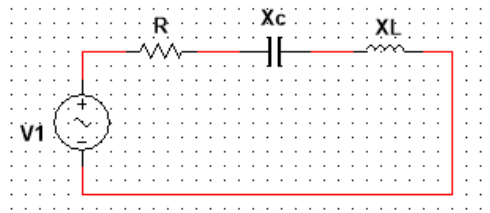
Fuente: elaboración propia.

- V. Un sistema eléctrico está especificado como de 10 KVA, 200 V con un factor de potencia adelantado de 0,5. determinar la impedancia total del circuito, obtener la potencia promedio entregada al sistema.
- VI. Un sistema eléctrico está especificado como de 5 kVA, 120 V con un factor de potencia atrasado de 0,8. Determinar la impedancia del sistema, obtener la potencia promedio entregada al sistema.
- VII. La carga sobre una alimentación de 120 V, 60 Hz es de 5 kW (resistiva), 8 kVAR (inductiva) y 2 kVAR (capacitiva). Obtener los KVA totales, determinar el factor de potencia para las cargas combinadas, obtener la corriente extraída de la fuente y calcular la capacitancia necesaria para establecer un factor de potencia unitario.
- VIII. La carga de una fábrica sobre una alimentación 1000 V, 60 Hz es de 20 kW (factor de potencia unitario), motores de inducción de 10 kW (factor de potencia 0,7 atrasado) y alumbrado de 5 kW (factor de potencia de 0,85 atrasado). Determinar el triángulo de potencia para la carga total sobre la alimentación, determinar el capacitor de factor de potencia requerido para elevar el factor de potencia a la unida.
- IX. Una alimentación de 240 V rms a 60 Hz abastece a una carga de 10 kW (resistiva), 15 kVAR (capacitiva) y 22 kVAR (inductiva), hallar la potencia aparente, hallar la capacitancia requerida para mejorar el factor de potencia a atrasado de 0.96.

4.24.2. Problemas de mayor alcance

- I. El factor de potencia de un circuito es de 0,5 atrasado. La potencia entregada en watts es de 500. Si el voltaje de entrada es de $50 \sin(\omega t + 10^\circ)$, encuentre la expresión senoidal para la corriente de entrada.
- II. Si $V_1 = 50 \text{ V} \angle 0^\circ$, $R = 3 \Omega$, $X_c = 5 \Omega$, $X_L = 9 \Omega$ y $f = 60 \text{ Hz}$ obtener las potencias promedio, reactiva y aparente para cada elemento, obtener el factor de potencia y dibujar el triángulo de potencia.

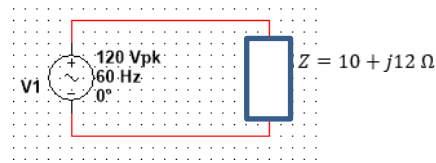
Figura 447. Factor de potencia, problema II



Fuente: elaboración propia.

- III. Las cargas del alumbrado y de los motores de una pequeña fábrica establecen una demanda de potencia de 10 kVA a un factor de potencia de 0,7 atrasado sobre una alimentación de 208 V, 60 Hz. Dibujar el triángulo de potencia, determinar el capacitor de factor de potencia que deberá colocarse en paralelo con la carga para elevar el factor de potencia a la unidad.
- IV. En el siguiente circuito, ¿cuál es el factor de potencia?, ¿cuál es el valor de la capacitancia que dará por resultado un factor de potencia unitario al conectarse a la carga?

Figura 448. **Factor de potencia, problema IV**



Fuente: elaboración propia.

- V. Tres cargas se conectan en paralelo con una fuente $120\angle 0^\circ$ V rms. La carga 1 absorbe 60 kVAR con fp atrasado = 0,85, la carga 2 absorbe 90 kW y 50 kVAR adelantada y la carga 3 absorbe 100 kW con fp = 1. Hallar la impedancia equivalente, calcular el factor de potencia total, determinar el elemento en paralelo requerido para corregir el fp .
- VI. Dos cargas conectadas en paralelo toman un total de 2,4 kW, con fp atrasado de 0,8. de una línea a 120 V rms y 60 Hz. Una de las cargas absorbe 1,5 kW con fp atrasado de 0.707. determinar el fp de la segunda carga, el elemento en paralelo requerido para corregir el fp de las dos cargas y convertirlo en atrasado de 0,9.

CONCLUSIONES

5. Los modelos de enseñanza y aprendizaje deben evolucionar con el pasar del tiempo ya que se deben de ir adaptado a las tecnologías actuales.
6. El modelo constructivista se basa en las experiencias anteriores para construir sobre ellas nuevo conocimiento.
7. El ahorro en tiempo, al implementar las ideas propuestas en el desarrollo de la clase, permite aprovechar de mejor manera el tiempo destinado a la clase magistral.
8. La efectividad en el aprovechamiento de la información propuesta dependerá directamente de la estrategia que utilice el catedrático para que el estudiante utilice este trabajo como una herramienta de aprendizaje.
9. Las evaluaciones presentadas son una herramienta que facilitará el trabajo realizado por los catedráticos.
10. El uso de este contenido en conjunto con la aplicación Usumma permitirá que el estudiante pueda acceder a la información desde cualquier lugar en cualquier momento.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar esta información como una herramienta para el fácil acceso al contenido del curso de Circuitos Eléctricos 1.
2. Implementar los videos en la plataforma Usumma, ya que es la plataforma oficial de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Los laboratorios que se han propuesto pueden ser desarrollados en forma virtual o bien en un laboratorio, ya que han sido concebidos para realizarse de ambas formas.
4. Proponer al estudiante estudiar el contenido del curso en línea y aprovechar la clase presencial para discutir dudas y desarrollar ejemplos.
5. Realizar exámenes cortos en línea con no más de 5 preguntas de corto alcance de selección múltiple en no más de 5 minutos.
6. Las preguntas de largo alcance pueden ser usadas en exámenes parciales.
7. Desarrollar los laboratorios de forma física (preferentemente) en casa y no desarrollarlos en clase.
8. Discutir los laboratorios en clase con el catedrático.

BIBLIOGRAFÍA

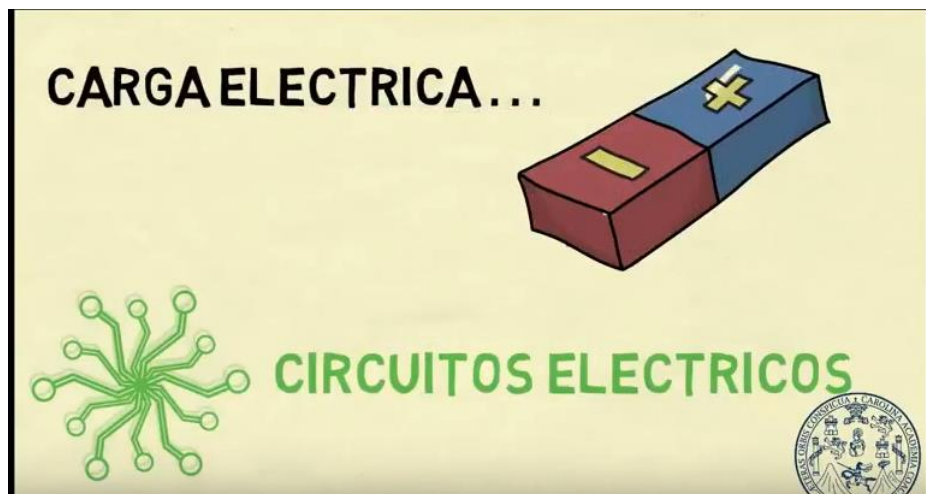
1. BOYLESTAD, Robert L., *Introducción al Análisis de Circuitos*. 10^a ed. S.A. México: Pearson Educación, 2004. 1212 p.
2. FLOYD, Thomas I., *Principios de Circuitos Eléctricos*. 8^a ed. México: Pearson Educación, 2007. 968 p.
3. FRAILE MORA, Jesús. *Circuitos Eléctricos*. 1^a ed. España: Pearson Educación, S.A., 2012. 576 p.
4. HAYT. JR, William H. *Análisis de circuitos en Ingeniería*. 6^a ed. España: McGraw-Hill, 2007. 884 p.
5. NILSSON, James W., *Circuitos Eléctricos*. 7^a ed. España: Pearson Prentice Hill. 2005.1015 p.
6. SVOBODA, James A., *Introduction to Electric Circuits*. 9th ed. Estados Unidos: Editorial Wiley. 2014. 930 p.
7. SADIKU, Matthew N., *Fundamentos de Circuitos Eléctricos*. 3^a ed. México: McGraw-Gill. 2006. 865 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Presentación del video

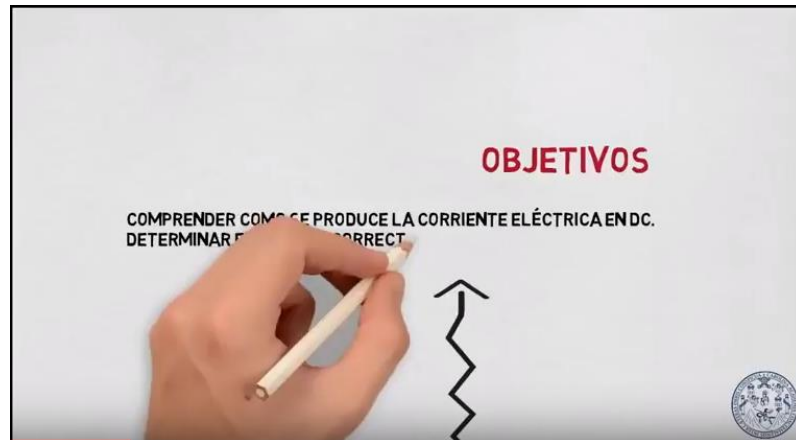


Fuente: elaboración propia.

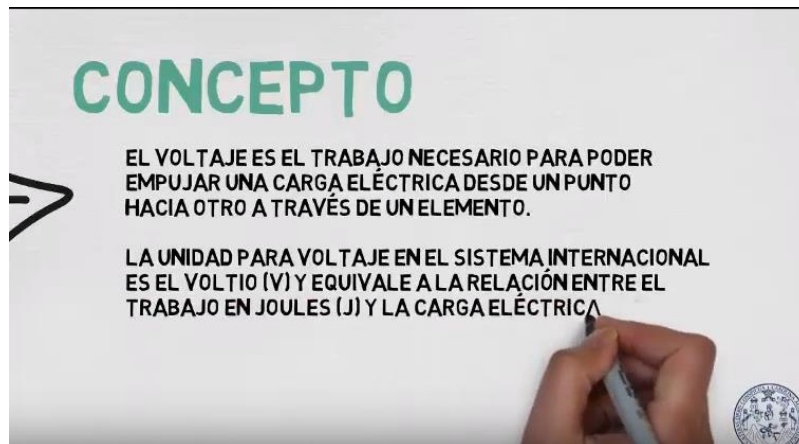


Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

