



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:**

**ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NATURAL DE CIRCUITOS RC, RL, RLC.**

**AUTORES:**

**XAVIER FRANCISCO NAULA YANZA.**

**DAVID ISAÍAS REVELO LOZA.**

**DIRECTOR:**

**ING. DAVID HUMBERTO CARDENAS VILLACRES**

**GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DE 2018**

## **CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, **XAVIER FRANCISCO NAULA YANZA** y **DAVID ISAÍAS REVELO LOZA** autorizamos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Septiembre del 2018

---

Xavier Francisco Naula Yanza

Cédula:

---

David Isaías Revelo Loza

Cédula:

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **XAVIER FRANCISCO NAULA YANZA**, con documento de identificación N° 0924855604, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NATURAL DE UN CIRCUITO RC, RL, RLC**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Septiembre del 2018

---

Xavier Francisco Naula Yanza

Cédula:

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **DAVID ISAÍAS REVELO LOZA**, con documento de identificación N° 0925127144, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NATURAL DE UN CIRCUITO RC, RL, RLC**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Septiembre del 2018

---

David Isaiás Revelo Loza

Cédula:

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A mis hermanas por su mutuo apoyo.

**Xavier Francisco Naula Yanza.**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres que con sus sabios consejos y amor infinito fueron un pilar fundamental en mi formación como profesional, a mi esposa gracias por estar en esos momentos más difíciles, brindándome tu amor y paciencia.

A mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional, les agradezco por todo, en especial por ser los benefactores de mi proyecto de tesis.

**David Isaías Revelo Loza.**

## **AGRADECIMIENTO.**

Un merecido reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis Hermanas que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojala algún día yo me convierta en se fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

De igual forma, agradezco a mi Director de Tesis, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

**Xavier Francisco Naula Yanza.**

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco a dios por permitirme tener vida y salud, y poder así lograr unos de mis propósitos que es ser ingeniero eléctrico. A mis padres, José y Carmen por su amor y entrega, ya que desde niño me brindaron su apoyo, consejos para hacer de mí una mejor persona. A mis hermanos, Xavier, Fanny y Génesis que me enseñaron que con sacrificio y perseverancia todo es posible. A mi esposa Yuliana e hijos Bárbara e Isaías, por su amor, paciencia y entrega. Al Ing. Carlos Chávez y al Ing. David Cárdenas por su tiempo brindado y por haberme guiado con sus conocimientos día a día en todo el proyecto.

**David Isaías Revelo Loza.**



## RESUMEN

El siguiente proyecto trata sobre el diseño e implementación de un módulo de entrenamiento, en los cuales se podrán simular varios Circuitos Eléctricos compuestos por Cargas Resistivas, Inductivas y Capacitivas, y poder realizar el análisis de la Respuesta Natural de los Circuitos RC, RL, RLC.

Con este módulo de aplicación didáctica se realizará una enseñanza más adecuada de los conceptos de cátedras como Circuitos Eléctricos I y II, entre otras.

Los beneficiarios directos son los estudiantes de la UPS Guayaquil, este módulo de aplicación didáctica permite optimizar el tiempo de montaje y cableado para la implementación de circuitos siendo esto de gran ayuda, que nos dará la posibilidad para desarrollar nuevos sistemas aplicando los conocimientos adquiridos en las materias impartidas en la Carrera de Ingeniera en Electricidad adecuada para su funcionamiento correcto.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño, Implementación, Análisis de la Respuesta Natural, Circuitos Eléctricos, RC, RL, RLC y Adquisición de Datos.

## **ABSTRACT**

The following project is about the design and implementation of a training module, in which several electrical circuits composed of resistive, inductive and capacitive loads can be simulated, and be able to perform the analysis of the natural response of the RC, RL, RLC circuits.

With this module implementing a better didactic teaching the concepts of subjects such as Electric Circuits I and II, among others

The direct beneficiaries are the students of the UPS Guayaquil, this module will optimize the installation time and wiring for the implementation of circuits this being a great help that will give us the possibility to develop new systems using skills acquired in the subjects taught in the Electricity Engineering career suitable for proper operation.

**KEYWORDS: Design, Implementation, analysis of the natural response, Electric Circuits, RC, RL, RLC, Data Acquisition.**

# INDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TIULACIÓN.....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XXII</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>XXIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Importancia y Alcances.....	2
1.3 Delimitación.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Marco Metodológico.....	4

1.5.1	Hipótesis.....	4
1.5.2	Variables e Indicadores. ....	4
1.5.2.1	Variables.....	4
1.5.2.2	Indicadores. ....	4
1.6	Beneficiarios. ....	4
<b>CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO.....</b>		<b>5</b>
2.1	Principio de Funcionamiento de Componentes Eléctricos. ....	5
2.1.1	Resistencia.....	5
2.1.2	Capacitores. ....	6
2.1.3	Inductor. ....	6
2.1.4	Transformador.....	7
2.1.5	Ley de Ohm.....	7
2.1.6	Potencia.....	8
2.1.7	Leyes de Circuitos Eléctricos.....	8
2.1.7.1	Ley de Corrientes de Kirchhoff.....	8
2.1.7.2	Ley de Voltajes de Kirchhoff.....	9
2.1.8	Métodos de Análisis por nodos y mallas.....	9
2.1.8.1	Análisis por nodos.....	9
2.1.8.2	Análisis por mallas.....	10
2.1.9	Método de superposición y proporcionalidad. ....	11
2.1.10	Teorema de Transformación entre fuentes de Voltaje y Corriente. ....	12
2.1.11	Teorema de Thévenin.....	12
2.1.12	Capacitor e Inductor.....	13
2.1.14.1	Capacitor. ....	14
2.1.14.2	Respuesta AC y DC del capacitor en estado estable.....	16

2.1.14.3 Carga y descarga del capacitor.....	18
2.1.14.4 Inductor. ....	19
2.1.14.5 Respuesta AC y DC del inductor en estado estable. ....	20
2.1.15 Circuitos R-L, R-C y R-L-C. ....	22
2.1.15.1 Análisis Transitorio de Circuitos R-C en cualquier instante de tiempo.....	22
2.1.15.2 Análisis Transitorio de Circuitos R-L en cualquier instante de tiempo. ....	24
2.1.15.3 Análisis Transitorio de Circuitos R-L-C. ....	25
2.1.16 Análisis Senoidal por Fasores. ....	26
2.1.16.1 Impedancia Fasorial. ....	27
2.1.16.2 Impedancia de un Condensador. ....	27
2.1.16.3 Impedancia de una Inductancia. ....	28
2.1.16.4 Impedancia de una Resistencia. ....	29
2.1.16.5 Comportamiento de impedancias con respecto a la frecuencia. ....	30
2.1.16.6 Impedancia fasorial generalizada. ....	31
2.1.17 Cálculo de potencia en el dominio fasorial. ....	32
2.1.17.1 Potencia activa. ....	32
2.1.17.2 Potencia reactiva. ....	33
2.1.17.3 Potencia aparente. ....	34
2.1.17.4 Triángulo de Potencias. ....	34
2.1.17.5 Potencia compleja S. ....	35
2.1.17.6 Factor de potencia. ....	36
2.1.18 Sistema Trifásico.....	37
2.1.18.1 Cargas balanceadas en configuración estrella.....	38
2.1.18.2 Cargas balanceadas en configuración triángulo. ....	40
2.1.18.3 Cálculo de potencias en cargas balanceadas. ....	41

2.1.18.3.1 Cargas en estrella. ....	42
2.1.18.3.2 Cargas en triángulo. ....	42
2.2 Tarjeta Programable Arduino.....	43
2.2.1 Pines de alimentación (Power Pin). ....	44
2.2.2 Entradas y Salidas Digitales.....	45
2.2.3 Entradas Analógicas.....	46
<b>CAPÍTULO III.- CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>47</b>
3.1 Diseño del Proyecto. ....	47
3.2 Construcción de la Estructura Metálica. ....	49
3.3 Construcción de la Plancha Metálica Galvanizada. ....	50
3.4 Montaje del Vinil en Plancha Metálica Galvanizada.....	51
3.5 Montaje de los Equipos y Materiales al Módulo de Pruebas. ....	52
3.6 Conexión y Cableado interno de los Equipos y Elementos del Módulo de Pruebas.....	54
3.7 Inventario de Materiales y Equipos que forman parte del Módulo de Pruebas. ..	55
3.8 Presupuesto de la Construcción del Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos.....	56
3.9 Descripción de cada Equipo y Elementos del Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos.....	57
3.9.1 Disyuntor Trifásico de 3P-20A. ....	57
3.9.2 Disyuntor Bifásico de 2P-6A. ....	58
3.9.3 Variac Trifásico de 3KVA (0-230VAC).....	58
3.9.4 Analizador de Red PM700. ....	59
3.9.5 Barra de Alimentación (0-220VAC).....	59
3.9.6 Barra de Alimentación (0-32VDC).....	60

3.9.7 Módulo de Carga Resistiva máx. 50 W. ....	60
3.9.8 Módulo de Carga Inductiva 120 VAC. ....	61
3.9.9 Módulo de Carga Capacitiva 370 VAC. ....	61
3.9.10 Fuente de Voltaje de +/- 5VDC. ....	62
3.9.11 Fuente de Voltaje de +/- 12VDC. ....	62
3.9.12 Tarjeta Programable Mega Arduino.....	63
3.9.13 Quemador de Microcontroladores PICKIT.....	63
3.9.14 Protoboard.....	64
<b>CAPÍTULO IV.- PRUEBAS DE ANÁLISIS DEL MÓDULO PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>65</b>
Guía de Pruebas del Módulo para Circuitos Eléctricos. ....	65
<b>PRUEBA NO. 1 .....</b>	<b>66</b>
Objetivos. ....	66
Recursos utilizados.....	66
Tiempo estimado.....	66
Desarrollo.....	67
<b>PRUEBA NO. 2 .....</b>	<b>72</b>
Objetivos. ....	72
Recursos utilizados.....	72
Tiempo estimado.....	72
Desarrollo.....	73
<b>PRUEBA NO. 3 .....</b>	<b>78</b>
Objetivos. ....	78
Recursos utilizados.....	78
Tiempo estimado.....	78

Desarrollo.....	79
<b>PRUEBA NO. 4 .....</b>	<b>84</b>
Objetivos.....	84
Recursos utilizados.....	84
Tiempo estimado.....	84
Desarrollo.....	85
<b>PRUEBA NO. 5 .....</b>	<b>90</b>
Objetivos.....	90
Recursos utilizados.....	90
Tiempo estimado.....	90
Desarrollo.....	91
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>96</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>
ANEXO A. ESPECIFICACIONES DEL OSCILOSCOPIO .....	100
ANEXO B. ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE SEÑALES .....	101
ANEXO C. VALORES NOMINALES DE LOS ELEMENTOS .....	102



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Símbolos esquemáticos de la resistencia eléctrica. ....	5
Figura 2. 2: Condensador Simple. ....	6
Figura 2. 3: Inductor o Bobina. ....	7
Figura 2. 4: Aspecto físico de un transformador. ....	7
Figura 2. 5: Circuito Eléctrico para Análisis por nodos. ....	10
Figura 2. 6: Circuito Eléctrico para Análisis por mallas. ....	11
Figura 2. 7: Circuito Eléctrico superposición y proporcionalidad. ....	12
Figura 2. 8: Circuito Eléctrico de Transformación de Fuentes de Voltaje y Corriente. .....	12
Figura 2. 9: Teorema de Thévenin. ....	13
Figura 2. 10: Simbología de la Capacitancia. ....	14
Figura 2. 11: Circuito Resistivo con Capacitancia. ....	16
Figura 2. 12: Respuesta DC de la Capacitancia en estado estable. ....	17
Figura 2. 13: Respuesta AC de la Capacitancia en estado estable. ....	17
Figura 2. 14: Carga de la capacitancia. ....	18
Figura 2. 15: Descarga de la capacitancia. ....	18
Figura 2. 16: Simbología de la Inductancia. ....	19
Figura 2. 17: Circuito Resistivo con Inductancia. ....	21
Figura 2. 18: Respuesta DC de la inductancia en estado estable. ....	21
Figura 2. 19: Respuesta AC de la inductancia en estado estable. ....	22
Figura 2. 20: Análisis Transitorio de Circuitos R-C. ....	23
Figura 2. 21: Análisis Transitorio de Circuitos R-L. ....	24
Figura 2. 22: Impedancia Fasorial. ....	27
Figura 2. 23: Impedancia de un Condensador. ....	27

Figura 2. 24: Grafica de Fase de la Impedancia del Condensador. ....	28
Figura 2. 25: Impedancia de una Inductancia. ....	28
Figura 2. 26: Grafica de Fase de la Impedancia de una Inductancia. ....	29
Figura 2. 27: Impedancia de una Resistencia. ....	29
Figura 2. 28: Grafica de Fase de la Impedancia de una Resistencia. ....	30
Figura 2. 29: Impedancia Fasorial generalizada. ....	31
Figura 2. 30: Triángulo de Potencia. ....	34
Figura 2. 31: Esquema trifásico en configuración estrella. ....	37
Figura 2. 32: Esquema trifásico en configuración Triángulo. ....	37
Figura 2. 33: Esquema Circuitual Trifásico con carga en configuración estrella. ....	38
Figura 2. 34: Diagrama Fasorial de tensiones y corrientes en una carga balanceada en configuración estrella. ....	39
Figura 2. 35: Esquema trifásico con cargas balanceadas en configuración triángulo. ....	40
Figura 2. 36: Diagrama Fasorial de tensiones y corrientes en cargas balanceadas en configuración triángulo. ....	41
Figura 2. 37: Hardware y cable USB ....	43
Figura 2. 38: Power Pins. ....	45
Figura 2. 39: Entradas y salidas digitales. ....	46
Figura 2. 40: Entradas analógicas. ....	46
Figura 3. 1: Diseño Esquemático en CAD del proyecto. ....	47
Figura 3. 2: diseño esquemático frontal en cad del proyecto.....	48
Figura 3. 3: Diseño Esquemático Parte Baja en CAD del proyecto.....	48
Figura 3. 4: Construcción de Estructura Metálica para Módulo de Pruebas de Circuitos Eléctricos. ....	49
Figura 3. 5: Construcción de mesa de soporte para módulo de pruebas de circuitos eléctricos .....	50

Figura 3. 6: Construcción de Plancha Metálica para Módulo de Pruebas de Circuitos Eléctricos.....	51
Figura 3. 7: Aplicación de adhesiva del vinil en módulo de pruebas de circuitos eléctricos. ....	52
Figura 3. 8: Montaje de equipos y materiales en módulo de pruebas de circuitos eléctricos – vista superior.....	53
Figura 3. 9: Montaje de equipos y materiales en módulo de pruebas de circuitos eléctricos – vista inferior.....	53
Figura 3. 10: Conexionado y cableado de equipos y materiales en módulo de pruebas de circuitos eléctricos – vista posterior.....	54
Figura 3. 11: Disyuntor trifásico 3p-20a.....	57
Figura 3. 12: Disyuntor bifásico 2p-6a.....	58
Figura 3. 13: Variac Trifásico de 3KVA (0-230VAC).....	58
Figura 3. 14: Analizador de Red PM700 .....	59
Figura 3. 15: Barra de Alimentación (0-220VAC).....	59
Figura 3. 16: Barra de Alimentación (0-32VDC).....	60
Figura 3. 17: Módulo de Carga Resistiva máx. 50W.....	60
Figura 3. 18: Módulo de Carga Inductiva 120 VAC.....	61
Figura 3. 19: Módulo de Carga Capacitiva 370 VAC.....	61
Figura 3. 20: Fuente de Voltaje de +/- 5VDC.....	62
Figura 3. 21: Fuente de Voltaje de +/- 12VDC.....	62
Figura 3. 22: Tarjeta Programable Mega Arduino.....	63
Figura 3. 23: Quemador de Microcontroladores PICKIT.....	63
Figura 3. 24: Protoboard.....	64

Figura 4.1: diagrama esquemático de un circuito rc serie.....	67
Figura 4.2: voltaje en capacitor de un circuito rc en serie en multisim .....	67
Figura 4.3: constante de tiempo y voltaje en capacitor de un circuito rc serie en multisim .....	68
Figura 4.4: circuito rc en serie implementado en modulo de pruebas. ....	69
Figura 4.5: constante de tiempo y voltaje en capacitor de un circuito rc serie experimental.....	70
Figura 4.6: graficas teorico-experimental del voltaje de salida en circuito rc en serie. ....	71
Figura 4.7: diagrama esquemático de un circuito rl serie .....	73
Figura 4.8: voltaje en capacitor de un circuito rl serie en multisim.....	73
Figura 4.9: constante de tiempo y voltaje en inductor de un circuito rl serie en multisim .....	74
Figura 4.10: circuito rl en serie implementado en modulo de pruebas. ....	75
Figura 4.11: constante de tiempo y voltaje en inductor de un circuito rl serie experimental.....	76
Figura 4.12: graficas teorico-experimental del voltaje de salida en circuito rl en serie. ....	77
Figura 4.13: diagrama esquemático de un circuito rc en paralelo.....	79
Figura 4.14: voltaje en capacitor de un circuito rc en paralelo en multisim .....	79
Figura 4.15: constante de tiempo de un circuito rc en paralelo en multisim .....	80
Figura 4.16: circuito rc en paraleloimplementado en modulo de pruebas. ....	81
Figura 4.17: constante de tiempo de un circuito rc en paralelo experimental.....	82
Figura 4.18: graficas teorico-experimental del voltaje de salida en circuito rc en paralelo.....	83
Figura 4.19: diagrama esquemático de un circuito rl en paralelo .....	85
Figura 4.20: voltaje en capacitor de un circuito rl en paralelo en multisim.....	85

Figura 4.21: constante de tiempo de un circuito rl en paralelo en multisim .....	86
Figura 4.22: circuito rl en paralelo implementado en modulo de pruebas.....	87
Figura 4.23: constante de tiempo de un circuito rl en paralelo experimental .....	88
Figura 4.24: graficas teorico-experimental del voltaje de salida en circuito rl en paralelo.....	89
Figura 4.25: diagrama esquemático de un circuito RLC en serie .....	91
Figura 4.26: voltaje en capacitor de un circuito RLC en serie en multisim.....	91
Figura 4.27: voltaje pico y rise time de un circuito RLC en serie en multisim .....	92
Figura 4.28: circuito RLC en serie implementado en modulo de pruebas.....	93
Figura 4.29: voltaje pico y rise time de un circuito RLC en serie experimental.....	94
Figura 4.30: graficas teorico-experimental del voltaje de salida en circuito RLC en serie. ....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: aplicaciones de las capacitancias .....	15
Tabla 2: comportamiento de la magnitud de la impedancia .....	31
Tabla 3: especificaciones técnicas. ....	44
Tabla 4: inventario de materiales y equipos del módulo de pruebas. ....	55
Tabla 5: presupuesto de construcción del módulo de pruebas. ....	56
Tabla 6: materiales y equipos facilitados por la universidad politécnica salesiana. ..	56
Tabla 7. Valores simulados de voltaje del capacitor en un circuito rc serie .....	68
Tabla 8. Valores simulados de la constante de tiempo en un circuito rc serie.....	69
Tabla 9. Valores experimentales de la constante de tiempo en un circuito rc serie...	70
Tabla 10. Porcentajes de error en circuito rc serie .....	71
Tabla 11. Valores simulados de voltaje del inductor en un circuito rl serie .....	74
Tabla 12. Valores simulados de la constante de tiempo en un circuito rl serie .....	75
Tabla 13. Valores experimentales de la constante de tiempo en un circuito rl serie .	76
Tabla 14. Porcentajes de error en circuito rl serie.....	77
Tabla 15. Valores simulados de voltaje del capacitor de un circuito rc en paralelo ..	80
Tabla 16. Valores simulados de la constante de tiempo en un circuito rc en paralelo .....	81
Tabla 17. Valores experimentales de la constante de tiempo en un circuito rc en paralelo.....	82
Tabla 18. Porcentajes de error en circuito rc paralelo.....	83
Tabla 19. Valores simulados de voltaje del capacitor de un circuito rc en paralelo ..	86
Tabla 20. Valores simulados de la constante de tiempo en un circuito rl en paralelo	87
Tabla 21. Valores experimentales de la constante de tiempo en un circuito rl en paralelo.....	88

Tabla 22. Porcentajes de error en circuito rl paralelo .....	89
Tabla 23. Valores simulados de voltaje del capacitor de un circuito RLC en serie...	92
Tabla 24. Valores simulados de voltaje pico y rise time en un circuito RLC en serie .....	93
Tabla 25. Valores experimentales de voltaje pico y rise time en un circuito RLC en serie .....	94
Tabla 26. Porcentajes de error en circuito RLC serie .....	95

## ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Ley de Ohm.....	8
Ecuación 2: Potencia Eléctrica.....	8
Ecuación 3: Corriente del Capacitor.....	14
Ecuación 4: Capacitancia de placas paralelas.....	15
Ecuación 5: Carga almacenada en la capacitancia en cualquier instante de tiempo..	15
Ecuación 6: Voltaje del Capacitor.....	15
Ecuación 7: Voltaje del Inductor.....	19
Ecuación 8: Longitud del área Transversal.....	20
Ecuación 9: Corriente del Inductor.....	20
Ecuación 10: Voltaje de Capacitor Circuito RC.....	23
Ecuación 11: Corriente del Capacitor Circuito RC.....	24
Ecuación 12: Voltaje del Inductor Circuito RL.....	25
Ecuación 13: Corriente del Inductor Circuito RL.....	25
Ecuación 14: Respuesta sobre amortiguada.....	26
Ecuación 15: Respuesta sub amortiguada.....	26
Ecuación 16: Respuesta críticamente amortiguada.....	26
Ecuación 17: Valores de S1 y S2 Circuito sobre amortiguado.....	26
Ecuación 18: Coeficientes de amortiguamiento.....	26
Ecuación 19: Impedancia Fasorial.....	27
Ecuación 20: Impedancia de un Condensador.....	28
Ecuación 21: Impedancia de una Inductancia.....	29
Ecuación 22: Impedancia de una Resistencia.....	30
Ecuación 23: Impedancia Fasorial Generalizada.....	31
Ecuación 24: Potencia Activa 1.....	32



Ecuación 25: Potencia Activa 2. ....	32
Ecuación 26: Potencia Activa 3. ....	32
Ecuación 27: Potencia Activa 4. ....	32
Ecuación 28: Potencia Activa 5. ....	33
Ecuación 29: Potencia Reactiva 1. ....	33
Ecuación 30: Potencia Reactiva 2. ....	33
Ecuación 31: Potencia Reactiva 3. ....	33
Ecuación 32: Potencia Reactiva 4. ....	33
Ecuación 33: Potencia Reactiva 5. ....	34
Ecuación 34: Potencia Aparente. ....	34
Ecuación 35: Potencia Compleja. ....	35
Ecuación 36: Potencia Aparente. ....	35
Ecuación 37: Factor de Potencia. ....	36
Ecuación 38: Potencia Activa. ....	36
Ecuación 39: Sistema Trifásico. ....	37
Ecuación 40: Corrientes de Línea Configuración Estrella. ....	38
Ecuación 41: Corriente del Neutro configuración Estrella. ....	39
Ecuación 42: Corrientes de Fase Configuración Estrella. ....	40
Ecuación 43: Diagrama Fasorial de Corrientes. ....	41
Ecuación 44: Potencia Activa Configuración Estrella. ....	42
Ecuación 45: Sistema de Potencias Configuración Estrellas. ....	42
Ecuación 46: Sistema de Potencias Cargas en Triángulo. ....	42
Ecuación 47: Sistema de Potencias Totales Configuración Triángulo. ....	43

## INTRODUCCIÓN

En la carrera de Ingeniería Eléctrica se generan esfuerzos para mejorar las competencias de los estudiantes en el área académica, haciendo énfasis en el análisis de circuitos eléctricos. A pesar de dichos esfuerzos, actualmente no se cuenta con módulos de entrenamiento adecuados para realizar pruebas de laboratorio.

El análisis de la respuesta natural de los circuitos RC-RL-RLC consiste en determinar el comportamiento de las corrientes y tensiones que surgen cuando la energía almacenada en una bobina o condensador se libera súbitamente hacia una red. Haciendo hincapié que es la naturaleza propia del circuito, ya sea utilizando fuentes externas.

En el presente proyecto de titulación se estableció una metodología didáctica, que reúne aspectos técnicos para el diseño y construcción de un módulo de pruebas, en el cual se pueda experimentar con la respuesta natural de los circuitos y poder obtener valores reales de medición. Se emplea un programa de simulación como lo es Multisim, que permitirá comparar los datos experimentales obtenidos en el módulo de pruebas existente en el laboratorio.

El módulo de pruebas utilizado para el análisis de la respuesta natural de circuitos, tiene como beneficiarios a los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, ya que se facilitan equipos para que sean utilizados en los laboratorios, contribuyendo académica y técnicamente con la comprensión del comportamiento de los voltajes y corrientes en las diferentes configuraciones de circuitos.

# **CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA**

## **1.1 Planteamiento del Problema.**

Actualmente los laboratorios de Prácticas de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), no cuentan con un Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos que tengan elementos prácticos como resistores, inductores y capacitores, adicionalmente equipos programables y de adquisición de datos como PIC y Tarjeta Arduinio que permitan realizar las clases de una manera más dinámica e interactiva entre la interfaz y el alumno en las diferentes materias impartidas, tales como circuitos eléctricos I-II, en la Universidad que utilizan los elementos mencionados.

Las prácticas que se realizan en los laboratorios están limitadas en las variables a determinar, debido a que los módulos de entrenamiento existentes no poseen todos los elementos requeridos (simuladores, adquisición de datos, oscilógrafos) donde se puedan realizar algunas prácticas para controlar las variables, tanto de manera virtual como física.

## **1.2 Importancia y Alcances.**

En el presente proyecto de titulación se diseñará e implementará un módulo de pruebas que permita analizar el comportamiento de los voltajes y corrientes que surgen del análisis de la respuesta natural de circuitos RC-RL-RLC, los cuales serán implementados de forma experimental y simulados mediante el programa Multisim, recopilando datos reales y teóricos.

Como consecuencia, se espera que los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica tengan la capacidad de comprender el análisis de las diferentes configuraciones de circuitos y equipos de programación o medición empleados en el módulo de entrenamiento.

### **1.3 Delimitación.**

La propuesta a desarrollar será implementada en el laboratorio de Circuitos Eléctricos del bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en las calles Chambers 227 y 5 de Junio de la Ciudad de Guayaquil.

Se proponen 5 pruebas en las se pueda realizar el análisis de la respuesta natural de los Circuitos RC, RL y RLC; donde se analizará el comportamiento de voltajes y corrientes que se generan en las distintos circuitos planteados. Además, se utilizará el programa Multisim como simulador de circuitos y equipos para adquisición de datos.

### **1.4 Objetivos.**

#### **1.4.1 Objetivo General.**

Diseñar e implementar un módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos en Corriente Continua y Alterna para el análisis de la respuesta natural en circuitos RC, RL y RLC.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Diseñar y construir un módulo de pruebas para circuitos eléctricos que nos facilite el análisis de la respuesta natural en corriente continua y alterna.
- Analizar el comportamiento de los voltajes y corrientes con fuentes de excitación y aplicando cambios de frecuencia; planteando circuitos RLC y observar su respuesta natural.
- Realizar pruebas experimentales para el estudio y la aplicación del módulo de pruebas para Circuitos Eléctricos.

## **1.5 Marco Metodológico**

### **1.5.1 Hipótesis.**

Con la implementación del módulo de entrenamiento para Circuitos Eléctricos se podría controlar diferentes variables como: Voltaje, Corriente, resistividad, inductancia, capacitancia, potencias y señales digitales utilizando fuentes de energía, cargas resistivas, inductivas o capacitivas. Así también equipos de medición como Display DC, Analizador de Redes, Tarjeta Programable Arduino y Microcontrolador PIC.

### **1.5.2 Variables e Indicadores.**

#### **1.5.2.1 Variables.**

- Voltaje.
- Corriente.
- Resistividad.
- Capacidad.
- Inductancia.
- Potencias.

#### **1.5.2.2 Indicadores.**

- Analizador de Redes.
- Display DC.
- Salidas Digitales de Tarjeta Programable Arduino.
- Salidas Digitales de Microcontrolador PIC.

## **1.6 Beneficiarios.**

La población o beneficiarios son los y las estudiantes que están cursando la Carrera de Ingeniería en Electricidad que vean las materias impartidas en el Bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil.

## CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO.

Se sabe que existen varias herramientas que ayudan y mejoran el proceso de aprendizaje-enseñanza en temas de Circuitos Eléctricos ya que hoy en día las investigaciones realizadas carecen de un Módulo de Prueba para un mejor desarrollo en materias relacionadas en al ámbito eléctrico. Se considera indispensable conocer sobre el tema de los elementos que componen el módulo de entrenamiento, ya que son los inicios de la ingeniería.

### 2.1 Principio de Funcionamiento de Componentes Eléctricos.

#### 2.1.1 Resistencia.

Se define como resistencia eléctrica a la mayor o menor oposición que provocan los materiales conductores al paso de la corriente eléctrica [1].

Describe que la resistencia eléctrica nos ayuda a distinguir y a conocer el tipo de elemento que estamos usando, de esta manera podemos saber si un conductor es bueno o malo por su nivel de resistencia, un buen conductor posee una baja resistencia y un mal conductor presenta una alta resistencia.

La resistencia eléctrica (Símbolo  $R$ ) tiene por unidad el Ohm (símbolo  $\Omega$ ) [2].

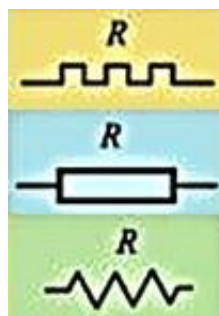


FIGURA 2. 1: SÍMBOLOS ESQUEMÁTICOS DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA. [1]

### 2.1.2 Capacitores.

Nos habla sobre los capacitores, que son elementos normalmente usados en aplicaciones eléctricas y circuitos electrónicos, su empleo en estos tipos de circuitos es almacenar energía en pequeñas proporciones. [1]

La configuración más básica de los condensadores es el que está formado por tres componentes, dos de tipo conductor y un aislante. Estos materiales tipo conductores tienen el nombre de placas y el material que funciona como aislante tiene el nombre de dieléctrico. [3]

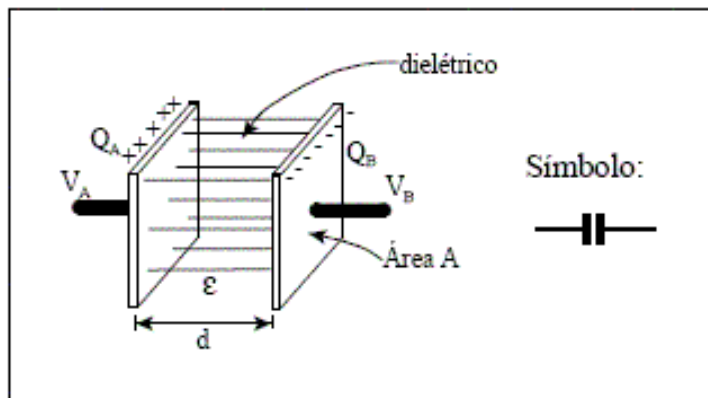


FIGURA 2. 2: CONDENSADOR SIMPLE. [3]

También, los condensadores almacenan energía entre sus placas (ver figura 2.2). Pero su utilización como fuente primaria (batería) es acotado por la porción de energía que puede acumular entre sus placas y la magnitud del mismo. [3]

### 2.1.3 Inductor.

Los inductores, poseen núcleos de aire, hierro o ferrita. Es probable conseguir núcleos por separado, para poder construir los inductores, si tienen pocas vueltas. La inductancia es medida en Henrios (H). Cuando se emplea un inductor con el fin de bloquear el flujo de interferencias con frecuencia alta, se los denomina estranguladores [4].

Según [5] una bobina está constituida principalmente por un alambre enrollado sobre un núcleo, este alambre enrolla el núcleo "N" veces, la corriente que pasa por este alambre crea un campo magnético y este campo es proporcional al número de vueltas que se da alrededor del núcleo y a la corriente que circula por este alambre.

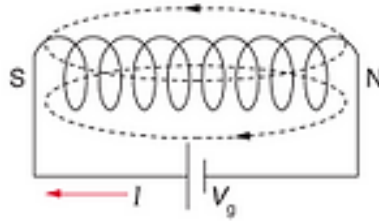


FIGURA 2. 3: INDUCTOR O BOBINA. [6]

#### 2.1.4 Transformador.

“El transformador es una máquina eléctrica que transforma la energía eléctrica recibida en otra de características distintas, bien sea de tensión, intensidad, etc.” [7].

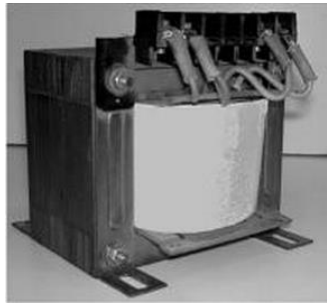


FIGURA 2. 4: ASPECTO FÍSICO DE UN TRANSFORMADOR. [7]

Un transformador es un elemento conformado por dos circuitos, el circuito eléctrico y circuito magnético, el primero está constituido por dos devanados (Primario y secundario) y el otro circuito formado por la chapa magnética [7].

Los transformadores son elementos que constan de dos o más bobinas conectadas por flujo magnético. Las bobinas están conectadas por medio de una inducción generada en una de las dos bobinas, es decir que si existe un flujo en una de las bobinas, se induce voltaje en la otra [3].

#### 2.1.5 Ley de Ohm.

Denominada así en honor a Georg Simon Ohm, establece en un material conductor, la corriente y tensión están relacionadas proporcionalmente, o sea que si la tensión aumenta, la corriente también se duplica [4].

Las unidades de medida son: voltios (V), ohmios ( $\Omega$ ) y amperios (A) [8].



$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Donde:

I= Intensidad o corriente eléctrica (A)

V= Voltaje o diferencia de potencial (V)

R= Resistencia eléctrica ( $\Omega$ )

### **2.1.6 Potencia.**

A la potencia se la relaciona con la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento pasivo en un tiempo determinado. La unidad de medida es el vatio (W), con los submúltipos kilovatio (KW) y megavatio (MW) [8].

$$P = V * I \quad (2)$$

### **2.1.7 Leyes de Circuitos Eléctricos.**

Las Leyes de los circuitos eléctricos se relacionan con las leyes de Kirchhoff, a través de la ley de la conservación de energía y el equilibrio de las cargas de los circuitos eléctricos. Las cargas de iguales signo se repelan, mientras que las cargas de signos diferentes se atraen [8].

La ley de la conservación de energía establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.

#### **2.1.7.1 Ley de Corrientes de Kirchhoff.**

La suma de todas las corrientes que ingresan en un punto, es igual a las corrientes que salen; o sea, si se considera positivas las corrientes entrantes y negativas las salientes, la suma de corrientes es nula [4].

### **2.1.7.2 Ley de Voltajes de Kirchhoff.**

La suma de las tensiones en una malla siempre son cero. Se denomina malla en cualquier circuito, al camino que parte de un punto, pasa por conductores y vuelve al mismo punto [4].

### **2.1.8 Métodos de Análisis por nodos y mallas.**

Son herramientas que permiten la resolución sistemática de las leyes de Kirchhoff para resolver problemas complejos, con un determinado número de incógnitas y ecuaciones linealmente independientes. El método de análisis por nodos se enfoca en determinar los voltajes para cada nodo del circuito. El método de análisis por mallas se enfoca en calcular las corrientes para cada malla del circuito [9].

#### **2.1.8.1 Análisis por nodos.**

Se parte de la aplicación de la Ley de Corrientes de Kirchhoff en cada nodo del circuito para determinar todos los voltajes del circuito. Para lograr que el sistema de ecuación sea consistente debe existir una ecuación por nodo. De esa forma, el número de incógnitas es igual al número de ecuaciones [9].

En base a los tipos de circuitos y forma en que se seleccione un nodo de referencia, se tienen distintas conexiones de las fuentes:

- Fuentes independientes de corriente
- Fuentes controladas de corriente
- Fuentes independientes de voltaje a tierra
- Fuentes independientes de voltaje flotantes
- Fuentes controladas de voltaje a tierra
- Fuentes controladas de voltaje flotantes

Según lo mencionado en lo anterior, existen diferentes maneras para resolver circuitos usando el método de análisis por nodos.

El método que se denomina general, se aplica a casos de circuitos con fuentes independientes de corriente (ver figura 2.5) y fuentes independientes de voltaje a tierra.

EL método general no se debe aplicar con circuitos que poseen:

1. fuentes de voltaje flotantes (método de súper-nodos).
2. fuentes de corriente o voltaje controladas (ecuaciones con la variable controlada y controladora).

Cuando un circuito solo posee fuentes independientes de corriente, se aplica el método general denominado “inspección”.

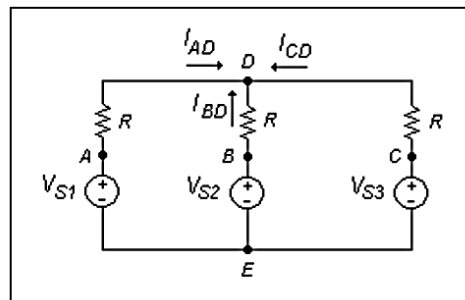


FIGURA 2. 5: CIRCUITO ELÉCTRICO PARA ANÁLISIS POR NODOS. [9]

### 2.1.8.2 Análisis por mallas.

Se parte de la aplicación de la Ley de Voltaje de Kirchhoff al conjunto de lazos para determinar todas las corrientes del circuito. Mediante las corrientes de lazo es probable encontrar las corrientes de una rama. El número de lazos que se plantea en un circuito puede ser elevado, pero lo que importa es que se genere un sistema de ecuaciones mínimo de lazos independientes [9].

Este conjunto mínimo representa a todos los elementos (ramas) que se hayan tomado en consideración en una malla. Otras probables mallas serán redundantes. El número de incógnitas debe ser igual al número de ecuaciones, o sea, una por malla del circuito.

En base al tipo y forma de circuito en que se seleccionen las mallas se tienen diferentes configuraciones de conexión de las fuentes:

- Fuentes controladas de corriente
- Fuentes independientes de voltaje
- Fuentes controladas de voltaje

- Fuentes independientes de corriente no compartidas por mallas
- Fuentes independientes de corriente compartidas por mallas

Según lo anterior, existen diferentes formas de resolver un circuito por el método de mallas. El método denominado general se aplica a los circuitos con fuentes independientes de voltaje y fuentes independientes de corriente no compartidas por mallas. Este método no se aplica a los circuitos con:

1. Fuentes independientes de corriente (Fig. 2.6) compartidas por mallas (método de supermalla).
2. Fuentes de corriente o voltaje controladas (ecuaciones con la variable controlada y controladora).

Cuando el circuito consta de fuentes independientes de voltaje, entonces se aplica el método general por el denominado “inspección”. La cantidad mínima de lazos independientes que se define para tener un sistema de ecuaciones linealmente está dado por la siguiente relación:

$$\text{No. de Lazos independientes} = \text{No. de ramas} - \text{No. de nodos} + 1$$

Un grupo de lazos es independiente, cuando en cada uno de ellos exista al menos un elemento que forme parte de los otros lazos.

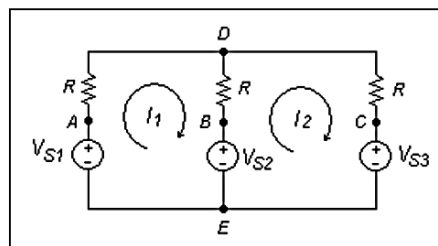


FIGURA 2. 6: CIRCUITO ELÉCTRICO PARA ANÁLISIS POR MALLAS. [9]

### 2.1.9 Método de superposición y proporcionalidad.

Se basa en un teorema de linealidad y en el hecho de representar una fuente de voltaje de magnitud cero, como un corto circuito y una fuente de corriente de magnitud cero, como circuito abierto.

En la figura 2.7 se muestra que es posible calcular la respuesta del circuito para cada fuente (apagando las demás) y luego sumar el resultado proporcionado por cada fuente. [9].

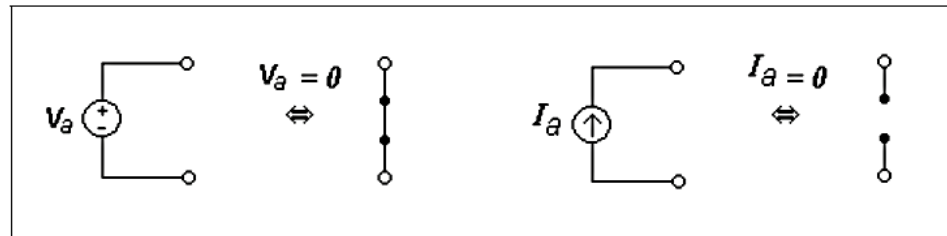


FIGURA 2. 7: CIRCUITO ELÉCTRICO SUPERPOSICIÓN Y PROPORCIONALIDAD. [9]

Para ello; se representa todas las fuentes con magnitud cero, menos una (las de voltaje como corto circuito y las de corriente como circuito abierto) y determinar la señal para el circuito total.

### 2.1.10 Teorema de Transformación entre fuentes de Voltaje y Corriente.

Un circuito formado por dos terminales con una resistencia finita  $R$ ; con magnitud distinta a cero y conectada en serie con una fuente independiente de voltaje  $V_a$ , equivale a un circuito con dos terminales usando la misma resistencia  $R$  y conectada en paralelo con una fuente independiente de corriente [9].

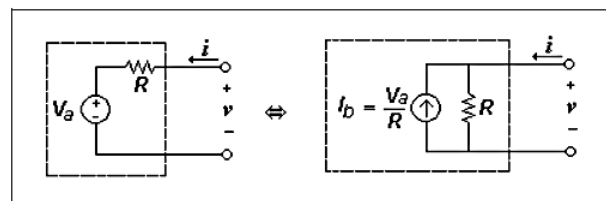


FIGURA 2. 8: CIRCUITO ELÉCTRICO DE TRANSFORMACIÓN DE FUENTES DE VOLTAJE Y CORRIENTE. [9]

### 2.1.11 Teorema de Thévenin.

Para cualquier circuito lineal  $N$  (figura 2.9), con un par de terminales  $A$  y  $B$ , es posible obtener un circuito equivalente formado por una fuente de voltaje ideal conectado en serie con una resistencia, de tal manera, que ese circuito de dos terminales produzca los mismos valores de voltaje y corriente que el circuito original.

La fuente de voltaje tendrá un valor denominado “Voltaje Thévenin” ( $V_{TH}$ ) y la resistencia un valor denominado “Resistencia Thévenin” ( $R_{TH}$ ) [9].

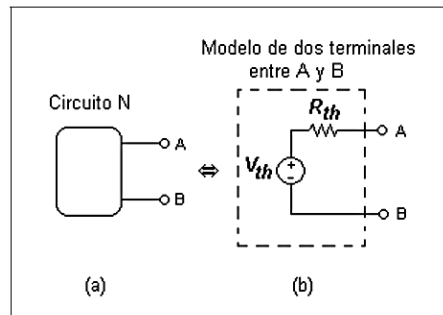


FIGURA 2. 9: TEOREMA DE THÉVENIN. [9]

Este teorema permite aplicar un método de análisis adicional: dividir el circuito original en dos terminales, que son equivalentes de Thévenin, los cuales se interconecten entre sí. Esto permite desarrollar cálculos más simples que con el circuito completo. En circuitos con inductancia y capacitancia: el análisis del comportamiento de corrientes y voltajes con circuitos de primer y segundo orden, mediante ecuaciones diferenciales, también se simplifica utilizando un circuito equivalente de Thévenin entre los terminales. En los cuales se requiere analizar los fenómenos transitorios al usar fórmulas obtenidas para circuitos RC o RL, que están formados por una capacitancia o inductancia conectados en serie con un resistor y una fuente de voltaje [9].

### 2.1.12 Capacitor e Inductor.

La Resistencia, muestra un comportamiento lineal entre voltaje y corriente. Existen elementos en los cuales la linealidad no se da entre voltaje y corriente, sino entre una de estas variables y la derivada de la otra. Esto produce ecuaciones diferenciales lineales. Estos elementos son el capacitor y el inductor.

Aunque el capacitor e inductor son elementos pasivos, su propiedad es almacenar energía, y por tanto se dice que pueden tener condiciones iniciales para variables de voltaje y corriente. Esto, en función de la cantidad de energía que esta almacenada. El capacitor almacena energía en un campo eléctrico, mientras que la inductancia almacena energía en un campo magnético [9].

### 2.1.14.1 Capacitor.

Es un elemento pasivo que tiene dos terminales, el cual almacena cargas eléctricas entre placas separadas por un material aislante y provocando una diferencia de potencial. Esa diferencia de potencial generada por la acumulación de las cargas, tiene relación directa con la energía que es almacenada por el capacitor. En la figura 2.10 se muestra el símbolo usado para representar este elemento y la relación que existe entre voltaje y corriente (ver figura 2.10) [9].

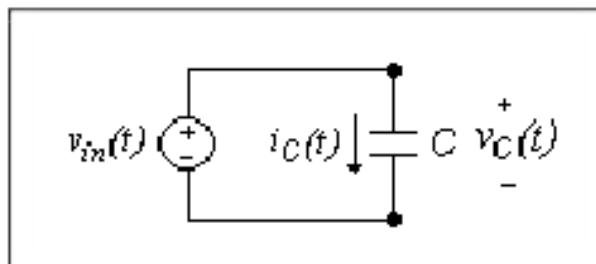


FIGURA 2. 10: SIMBOLOGÍA DE LA CAPACITANCIA. [9]

Experimentalmente se encontró que la corriente instantánea en la capacitancia es directamente proporcional a la variación del voltaje en el tiempo. La constante de proporcionalidad de esta relación se conoce como la Capacitancia  $C$ , y tiene unidades de Faradios  $F$ :

$$i_c(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \quad (3)$$

La ecuación 3 demuestra la relación lineal existente entre la corriente y la derivada del voltaje. El valor de la Capacitancia  $C$  de cada elemento depende de varios factores, ya que existen distintos tipos de capacitores, en formas (cuadradas, redondas, cilíndricas) y materiales dieléctricos (aire, poliéster, cerámica, electrolítico, papel). En general los valores de las capacitancias son muy pequeños, como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 1: APLICACIONES DE LAS CAPACITANCIAS

Uso	Capacitancia
Filtro de señales	Pico-faradios [pF]
Regulador y rectificador de tensión	Micro-faradios [uF]
Máquina asíncrona	Mili-faradios [mF]

En el simple caso de un capacitor con placas paralelas; el capacitor [C] esta representado por la permitividad dieléctrica  $\epsilon$ , el área entre las placas [A] y la distancia entre placas [d].

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (4)$$

La relación que hay entre voltaje y corriente se da al integrar en ambos lados, obteniendo la carga almacenada en el capacitor en un instante de tiempo:

$$q_c(t) = C v_c(t) \quad (5)$$

Así mismo podemos calcular el voltaje a partir de la corriente que circula por la capacitancia:

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_c(\tau) d\tau \quad (6)$$



### 2.1.14.2 Respuesta AC y DC del capacitor en estado estable.

Un capacitor en estado estable para una señal DC, se comporta como un circuito-abierto; mientras que para una señal AC de frecuencia alta, se comporta como un corto-circuito [9].

Para el caso de un circuito resistivo con un capacitor, es posible separar el capacitor y determinar el equivalente de Thévenin; obteniendo un circuito serie con una fuente de voltaje ( $V_t$ ), una resistencia ( $R_t$ ) y la capacitancia ( $C$ ) como se observa en la Figura 2.11.

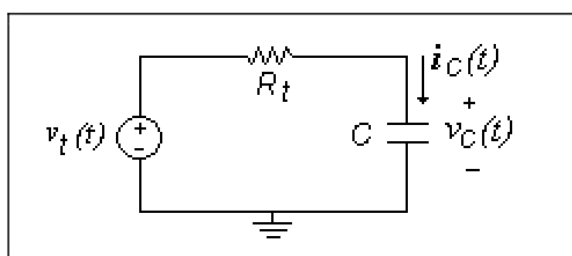


FIGURA 2. 11: CIRCUITO RESISTIVO CON CAPACITANCIA. [9]

Para determinar la respuesta de un circuito RC, o sea  $V_c(t)$ , en función de la señal de entrada, se debe resolver la ecuación diferencial resultante. Se procede a observar de manera descriptiva qué pasa con las señales de entrada DC y señales frecuencia elevada.

Para las señales DC las cargas negativas cercanos al lado positivo de la fuente son atraídas hacia la misma, generando una corriente  $i_c$  positiva que se muestra en la Figura 2.11. Así mismo, las cargas que surgen desde el capacitor hacia la fuente dejan espacios sin carga negativa, lo cual provoca que la placa se cargue con polaridad positiva. Al mismo tiempo las cargas circulan por la fuente y se dirigen hacia el lado negativo del capacitor. Como el aislante no permite que las cargas pasen de una placa a otra, se almacenan en el terminal negativo, incrementando así la carga negativa de dicha placa. Esto crea una diferencia de potencial entre la carga positiva de una placa y la negativa de la otra placa. Esta caída de tensión es provocada a medida que se van acumulando las cargas y se iguala al voltaje de fuente; cuando se igualan, deja de

circular corriente y se detiene el flujo de cargas. Así, en un intervalo de tiempo el condensador se carga y con una caída de tensión, pero sin flujo de corriente. Por tal razón, se dice que el capacitor se comporta como un circuito abierto para señales DC, como se muestra en la Figura 2.12.

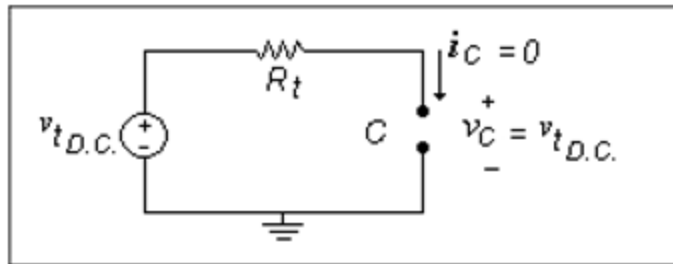


FIGURA 2. 12: RESPUESTA DC DE LA CAPACITANCIA EN ESTADO ESTABLE. [9]

Para las señales AC ocurre algo similar, pero ahora el flujo de corriente varía en los sentidos de forma alternada. Esto provoca que las placas se carguen y se descarguen, de tal manera que nunca se cargan y no hay bloquea en el paso de la corriente. Si la frecuencia de una señal AC es demasiado elevado, las placas se mantendrán descargadas, de manera que no exista una caída de tensión, generando un voltaje con magnitud cero en el capacitor, como si existiera un corto circuito.

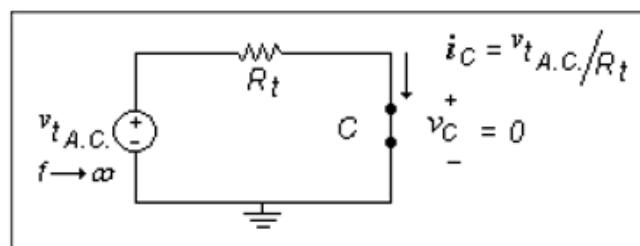


FIGURA 2. 13: RESPUESTA AC DE LA CAPACITANCIA EN ESTADO ESTABLE. [9]

### 2.1.14.3 Carga y descarga del capacitor.

En la Figura 2.12 se mostró el comportamiento del capacitor en estado estable ante una señal DC, pero ¿Qué ocurre si se abre el circuito en un tiempo  $t_0$ ? El capacitor no se cargará al máximo y su magnitud no será el voltaje de Thévenin  $V_t$ . En ese punto el voltaje tendrá un valor determinado y se mantendrá en ese punto por un tiempo indefinido [9].

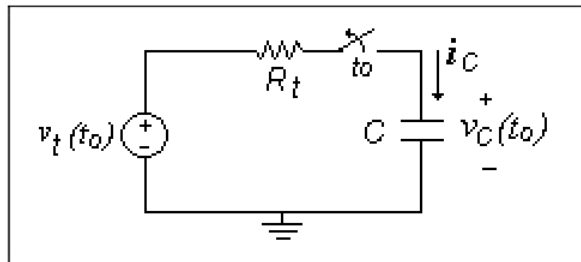


FIGURA 2. 14: CARGA DE LA CAPACITANCIA. [9]

Ahora el capacitor cargado en un valor determinado, genera un voltaje  $V_C(t_0)$ , el cual se energiza en un tiempo  $t_1$  a una resistencia  $R_t$  como se observa en la Figura 2.14. Debido que existen cargas almacenadas en el capacitor y una diferencia de potencial, y por ello en el resistor, lo que genera una corriente opuesta a la de carga. Esta corriente al circular por el resistor consume la energía almacenada en el capacitor en forma de calor. Como las cargas almacenadas en una placa fluyen hacia la otra, hasta que se igualan, el voltaje en el capacitor se hace cero y se detiene la circulación de corriente corriente.

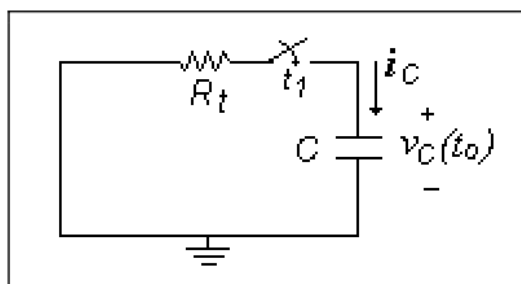


FIGURA 2. 15: DESCARGA DE LA CAPACITANCIA. [9]

#### 2.1.14.4 Inductor.

Es un elemento pasivo que almacena energía en un campo magnético. Según la ley de Faraday, la variación de corriente con respecto al tiempo en un conductor produce una caída de voltaje. De acuerdo a las ecuaciones de Maxwell una variación de corriente en el conductor, provoca un campo magnético variable, que a su vez produce un campo eléctrico variable y lo cual genera una caída de tensión variable en el tiempo [9].

Un inductor es un elemento diseñado para tener un efecto de inducción muy elevado. Esto se consigue enrollando conductor alrededor de un núcleo de hierro. Sus aplicaciones son muy variadas: filtros, maquinas síncronas o asíncronas, transformadores, antenas, etcétera [9].

La Figura 2.16 muestra la simbología empleada para representar este elemento y la relación que existe entre voltaje y corriente.

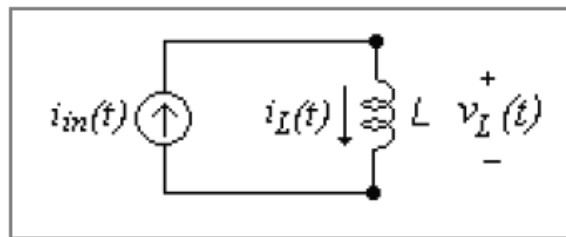


FIGURA 2. 16: SIMBOLOGÍA DE LA INDUCTANCIA. [9]

El voltaje instantáneo en un inductor es directamente proporcional a la variación que hay de la corriente con respecto al tiempo. La constante de proporcionalidad de esta relación se conoce como inductancia (L), y su unidad de medida son los Henrios (H):

$$v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (7)$$

La ecuación 7 muestra la relación lineal entre voltaje y la derivada de la corriente, tal como se menciona en la introducción. El valor de la inductancia  $L$  depende de diversos factores, ya que existen diferentes clases de inductancias, en formas (solenoides-tiroides) y materiales para el núcleo (aire o ferromagnético).

En el simple caso de una inductancia con forma solenoide (espiral) la inductancia viene dada por la permeabilidad del núcleo ( $\mu$ ), número de vueltas ( $N$ ), el área transversal ( $A$ ) y la longitud ( $l$ ):

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad (8)$$

De igual forma se puede calcular la corriente a partir del voltaje a través de la inductancia:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v_L(\tau) d\tau \quad (9)$$

#### **2.1.14.5 Respuesta AC y DC del inductor en estado estable.**

Un inductor en estado estable energizado con una señal DC, se comporta como un corto circuito, mientras que con una señal AC de frecuencia alta se comporta como un circuito abierto [9].

Para un circuito resistivo conectado con una inductancia, es posible separar la inductancia y determinar el equivalente de Thévenin, obteniendo un circuito en serie con una fuente de voltaje ( $V_t$ ) un resistor ( $R_t$ ) y la inductancia  $L$ , como se observa en la Figura 2.17.

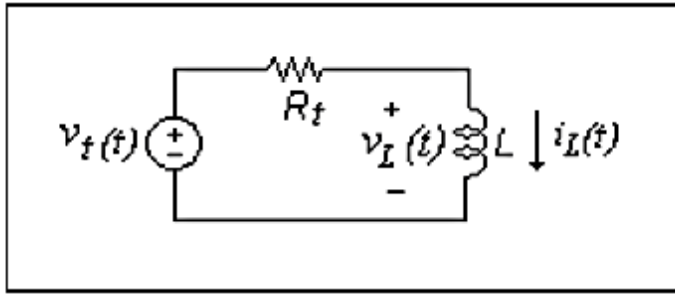


FIGURA 2. 17: CIRCUITO RESISTIVO CON INDUCTANCIA. [9]

Para encontrar la respuesta de este circuito,  $V_L$  en función de la clase de señal de entrada, se debe hallar la ecuación diferencial y resolverla. Procederemos a analizar de manera descriptiva qué pasa con señales de entrada DC y señales con alta frecuencia.

Para una señal DC, la derivada de la corriente con relación al tiempo, en un tiempo determinado será cero, de manera que el voltaje en el inductor es cero, además que se comporta como un corto-circuito. Esto se debe al no existir variaciones con la corriente, tampoco se generara un voltaje inducido. El circuito equivalente se observa en la figura 2.18.

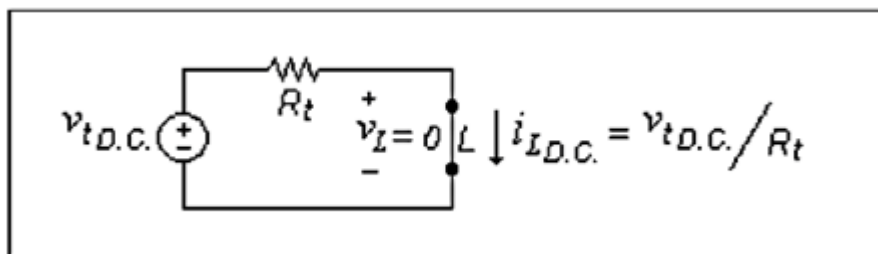


FIGURA 2. 18: RESPUESTA DC DE LA INDUCTANCIA EN ESTADO ESTABLE. [9]

Para una señal AC con una elevada frecuencia (tiende al infinito) el inductor se comporta como un circuito abierto, de manera que no hay flujo de corriente. El circuito equivalente se observa en la figura 2.19.

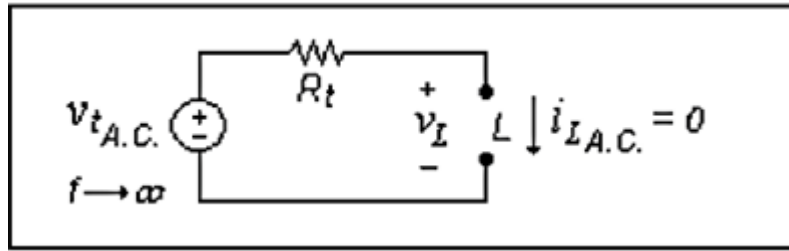


FIGURA 2. 19: RESPUESTA AC DE LA INDUCTANCIA EN ESTADO ESTABLE. [9]

### 2.1.15 Circuitos R-L, R-C y R-L-C.

En todos los circuitos, antes de que los parámetros de la red lleguen al estado estable, estos pasan por un estado transitorio en un tiempo mínimo en que los voltajes y corrientes varían en función del tiempo hasta llegar al estado estable requerido por las fuentes. [8]

#### 2.1.15.1 Análisis Transitorio de Circuitos R-C en cualquier instante de tiempo.

Se realiza al encontrar la tensión justo antes de accionar el interruptor ( $t < 0$ ), ver Fig. 2.20, el voltaje seguirá siendo el mismo en el instante justo después de accionar el interruptor ( $t > 0$ ). El estado transitorio del circuito se analiza ejerciendo control con un interruptor en los tiempos de carga y descarga del capacitor. [8]

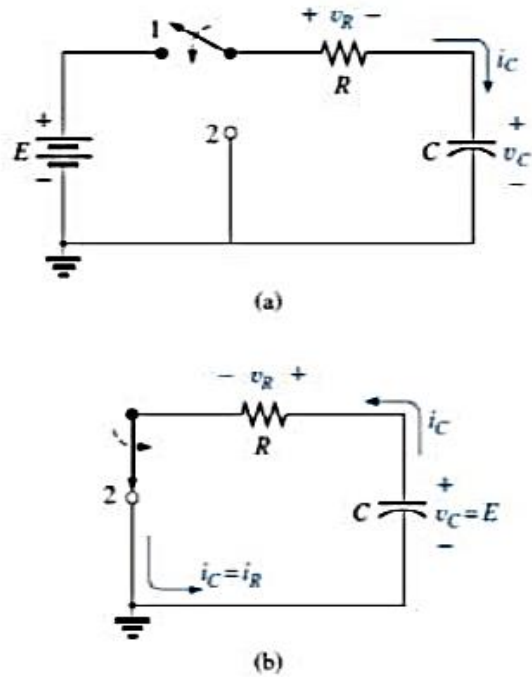


FIGURA 2. 20: ANÁLISIS TRANSITORIO DE CIRCUITOS R-C. [8]

En la Figura 2.28.a, se muestra el interruptor para controlar la descarga del capacitor con el interruptor en la posición 1, se tiene cargado el capacitor. En la posición 2, el capacitor tiende a descargarse a través del circuito resultante mostrado en la Figura 2.28.b, luego del capacitor sale una corriente contraria al del conciso y se observa que el voltaje del capacitor es igual al voltaje en la resistencia, en un principio la corriente salta a un valor relativamente alto; luego comienza a reducirse, disminuye con el tiempo porque la carga se está desapareciendo de las placas del capacitor, a su vez se reduce  $V_C$ ,  $i_C$  y  $V_R$ .

De esta manera nos quedaría la siguiente ecuación para el voltaje del capacitor:

$$V_C = V e^{-t/\tau} \quad (10)$$

Para la corriente en cualquier instante de tiempo de R-C, tenemos:



$$i_c = \frac{V}{R} e^{-t/\tau} \quad (11)$$

Donde:

$\tau$  = Constante de tiempo del Capacitor ( $R \cdot C$ )

$V_c$  = Voltaje de Capacitor

$I$  = Corriente del circuito.

$R$  = Resistor

$C$  = Capacitor

$e$  = Exponencial

$t$  = Tiempo

### 2.1.15.2 Análisis Transitorio de Circuitos R-L en cualquier instante de tiempo.

En los circuitos RL, el inductor almacena energía en forma de un campo magnético establecido por la corriente a través de la bobina, y no puede continuar almacenando energía porque la ausencia de una trayectoria cerrada (porque tiene una bobina la energía se disipa en el inducido) provoca que la corriente se reduzca a cero, y la energía automáticamente se libera en forma de campo magnético. [8]

El análisis se deduce al encontrar la corriente para el inductor justo antes de accionar el interruptor ( $t = <0$ ), la corriente seguirá siendo la misma para el instante justo después de accionar el interruptor ( $t = >0$ ).

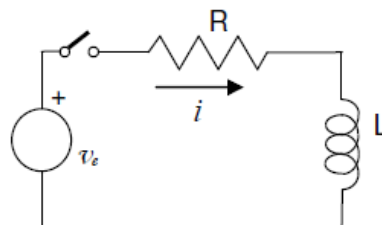


FIGURA 2. 21: ANÁLISIS TRANSITORIO DE CIRCUITOS R-L. [11]

De esta manera nos quedaría la siguiente ecuación para el voltaje del inductor:

$$V_L = V e^{-t/\tau} \quad (12)$$

Para la corriente en cualquier instante de tiempo de R-L, tenemos:

$$i_L = \frac{V}{R} e^{-t/\tau} \quad (13)$$

Donde:

$\tau$  = Constante de tiempo del Inductor (L/R)

$V_L$  = Voltaje de Inductor

I = Corriente del circuito.

R = Resistor

C = Capacitor

e = Exponencial

t = Tiempo

### 2.1.15.3 Análisis Transitorio de Circuitos R-L-C.

[10] Nos menciona, que los circuitos RLC son los que están formados por resistores, capacitores e inductores, que para realizar el estudio transitorio no se reducen a uno equivalente dada las condiciones iniciales de voltaje y corriente exponencialmente en función del tiempo, el circuito se resuelve reemplazando los capacitores como circuito abierto, luego los inductores como cortocircuito.

Para este análisis transitorio se emplea la frecuencia neperiana o llamada coeficiente de amortiguamiento exponencial ( $\alpha$ ), y la frecuencia de resonancia ( $\omega$ ), sea el circuito en serie o en paralelo se clasifican en tres tipos:

Circuito Sobre amortiguado, se llama así cuando al calcular el coeficiente de amortiguamiento es mayor a la frecuencia de resonancia ( $\alpha > \omega$ ).

De esta manera tenemos la siguiente respuesta sobre amortiguada:

$$V = A1 e^{S1t} + A1 e^{S1t} \quad (14)$$

Circuito Sub amortiguado, es ocasionado cuando al calcular el coeficiente de amortiguamiento se iguala a la frecuencia de resonancia ( $\alpha=\omega$ ).

De esta manera tenemos la siguiente respuesta sub amortiguada:

$$V = A1 e^{-\alpha t} \cos \omega dt + A2 e^{-\alpha t} \cos \omega dt \quad (15)$$

Circuito Críticamente amortiguado, es ocasionado cuando al calcular el coeficiente de amortiguamiento es menor a la frecuencia de resonancia ( $\alpha<\omega$ ).

De esta manera tenemos la siguiente respuesta críticamente amortiguada:

$$V = A1 e^{-\alpha t} + A2 e^{-\alpha t} \quad (16)$$

Donde los valores de S1 y S2 para el circuito sobre amortiguado se obtienen con la ecuación:

$$S_{1,2} = \alpha \pm \sqrt{\alpha^2 + \omega^2} \quad (17)$$

A continuación se muestra la ecuación del coeficiente de amortiguamiento, la frecuencia de resonancia y la frecuencia natural se la obtiene así:

$$\alpha = \frac{1}{2RC} \quad ; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (18)$$

### 2.1.16 Análisis Senoidal por Fasores.

El análisis senoidal mediante fasores es una forma sencilla de analizar tales circuitos sin necesidad de resolver ecuaciones diferenciales, que se aplica al caso de señales senoidales con determinada frecuencia, y que el sistema se encuentre en estado estable.

Un fasor es la representación de la magnitud y el ángulo de fase de la señal con respecto al tiempo en el plano complejo. Como representa una condición inicial no depende de intervalos de tiempo.

El análisis por fasores simplifica el desarrollo de los circuitos mediante el uso de ecuaciones algebraicas, pero con la diferencia que ahora se utiliza números complejos [9].

### 2.1.16.1 Impedancia Fasorial.

Cuando la alimentación de un elemento (R, L o C) es una señal de tipo AC (ver figura 2.22), por ejemplo  $v_{in}(t) = V_m \cos(\omega t + \theta)$  en m, la impedancia fasorial  $Z$  de un elemento se define como la relación entre el voltaje SEC y la corriente SEC del elemento, o lo que como se verá es equivalente a la relación entre el fador de voltaje y el fador de corriente del elemento. [9]

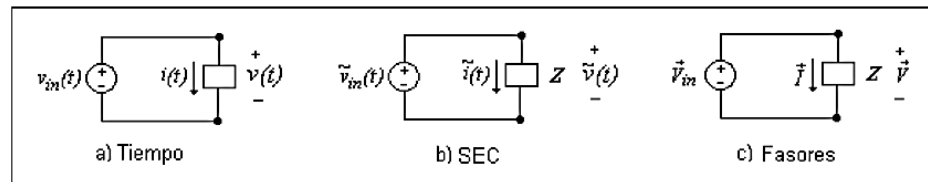


FIGURA 2. 22: IMPEDANCIA FASORIAL. [9]

$$Z = \frac{\tilde{v}(t)}{\tilde{i}(t)} = \frac{\vec{V} \cdot e^{j\omega t}}{\vec{I} \cdot e^{j\omega t}} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}} \quad (19)$$

Debido a que una impedancia es la relación de dos fasores, complejos, la impedancia también resultará de forma compleja, el cual tendrá magnitud y fase:

$$Z = |Z| \angle \theta_z .$$

### 2.1.16.2 Impedancia de un Condensador.

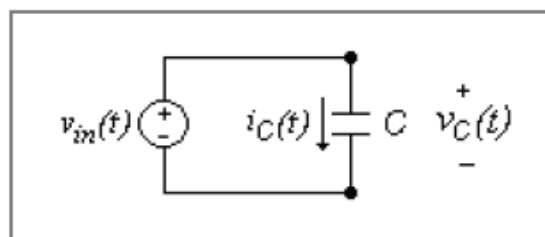


FIGURA 2. 23: IMPEDANCIA DE UN CONDENSADOR. [9]

La impedancia del capacitor (ver ecuación 20), está relacionada con el voltaje y la corriente que circulan por el mismo. Teniendo en cuenta que la corriente adelanta al voltaje en  $90^\circ$  (ver figura 2.24).

$$Z_c = \frac{\vec{V}_c}{\vec{I}_c} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \angle -90^\circ \quad (20)$$

La magnitud de la impedancia es  $1/\omega C$  y su fase  $-90^\circ$ .

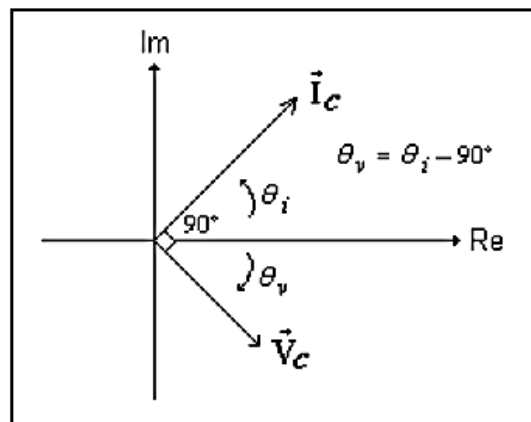


FIGURA 2. 24: GRAFICA DE FASE DE LA IMPEDANCIA DEL CONDENSADOR. [9]

### 2.1.16.3 Impedancia de una Inductancia.

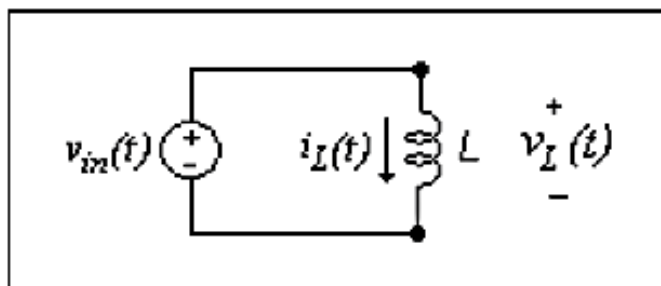


FIGURA 2. 25: IMPEDANCIA DE UNA INDUCTANCIA. [9]

“El fasor de corriente  $\vec{I}_L$  en una inductancia está en retraso con respecto al de voltaje.” [9]

$$Z_c = \frac{\vec{V}_L}{\vec{I}_L} = j\omega L = \omega L \angle 90^\circ \quad (21)$$

En la figura 2.26 se muestra en diagrama fasorial, la magnitud de la impedancia en  $\omega L$  y su fase  $90^\circ$ .

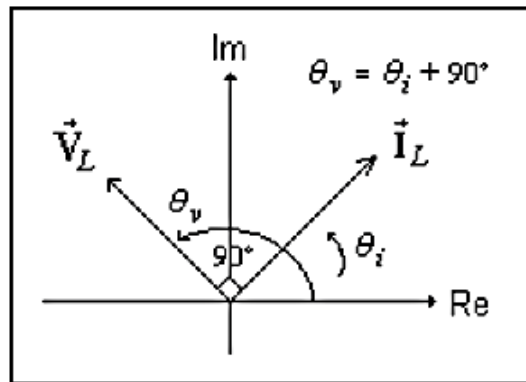


FIGURA 2. 26: GRAFICA DE FASE DE LA IMPEDANCIA DE UNA INDUCTANCIA. [9]

#### 2.1.16.4 Impedancia de una Resistencia.

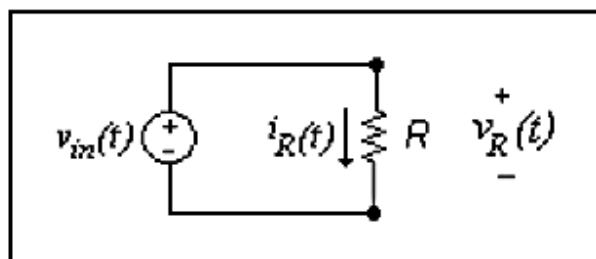


FIGURA 2. 27: IMPEDANCIA DE UNA RESISTENCIA. [9]

La magnitud de la impedancia es R y su fase  $0^\circ$ ; ver figura 2.28.

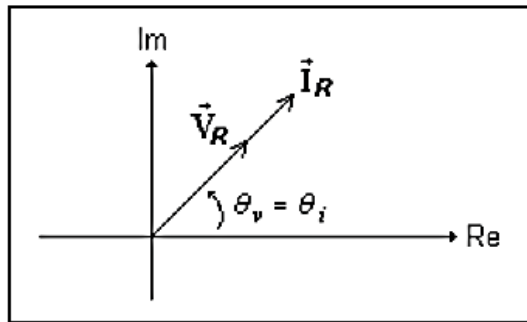


FIGURA 2. 28: GRAFICA DE FASE DE LA IMPEDANCIA DE UNA RESISTENCIA. [9]

“El fasor de corriente  $\vec{I}_R$  en una resistencia está en fase con respecto al fasor de voltaje. En este caso la impedancia no depende de la frecuencia.” [9]

$$Z_R = \frac{\vec{V}_R}{\vec{I}_R} = R = R \angle 0^\circ \quad (22)$$

#### 2.1.16.5 Comportamiento de impedancias con respecto a la frecuencia.

La impedancia de un capacitor o un inductor está en función de la frecuencia, de forma que esta impedancia Z se describe como  $Z(j\omega)$  [9].

En la tabla 3 se muestra el comportamiento de magnitud que tiene la impedancia al variar la frecuencia entre cero (señal DC) y una frecuencia alta (señal AC con elevada frecuencia).

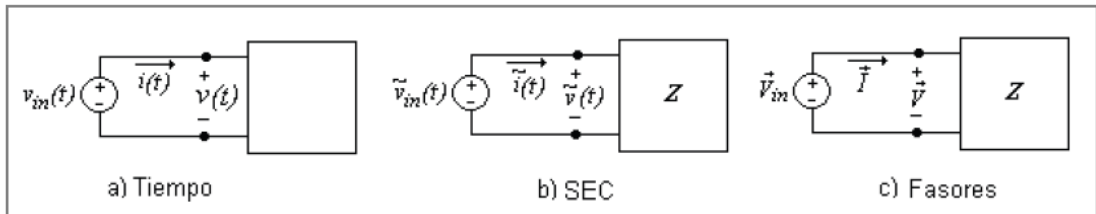
TABLA 2: COMPORTAMIENTO DE LA MAGNITUD DE LA IMPEDANCIA

	$Z(j\omega)$	$Y(j\omega)$	$ Z(\omega \rightarrow 0) $	$ Z(\omega \rightarrow \infty) $
$R$	$R$	$\frac{1}{R}$	$R$	$R$
$L$	$\frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C} \angle -90^\circ$	$j\omega C$	$\infty$ <i>Circuito Abierto</i>	$0$ <i>Corto Circuito</i>
$C$	$j\omega L = \omega L \angle 90^\circ$	$\frac{1}{j\omega L} = -j\frac{1}{\omega L}$	$0$ <i>Corto Circuito</i>	$\infty$ <i>Circuito Abierto</i>

### 2.1.16.6 Impedancia fasorial generalizada.

Al interconectar varios elementos R, L, C (ver figura 2.29) se puede diseñar un circuito con dos terminales en el cual se puede determinar su relación entre voltaje y corriente y por lo tanto encontrar una impedancia fasorial equivalente del circuito.

FIGURA 2. 29: IMPEDANCIA FASORIAL GENERALIZADA. [9]



De nuevo se define la impedancia generalizada de un circuito con dos terminales como:

$$Z = \frac{\tilde{v}(t)}{\tilde{i}(t)} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}} = |Z| \angle \theta_z \quad (23)$$



### 2.1.17 Cálculo de potencia en el dominio fasorial.

[12] Nos dice, que en el cálculo fasorial, la potencia activa, reactiva o aparente asociada a cada elemento de un circuito puede ser calculada en forma directa mediante los fasores que representan las tensiones y corrientes en los elementos. A continuación deduciremos el cálculo de cada una de estas potencias utilizando el método fasorial.

#### 2.1.17.1 Potencia activa.

Un circuito de impedancia equivalente  $Z = R \pm jX = Z \angle \pm \varphi$ , excitado con un fador tensión  $\bar{V} = V \angle 0$  desarrolla una corriente igual a  $\bar{I} = I \angle \mp \varphi$ . [12]

La potencia activa total en este circuito (ecuación 24) puede ponerse en término de estos fasores como el producto de sus módulos por el coseno del ángulo entre ellos, es decir;

$$P = |\bar{V}||\bar{I}|\cos\varphi = VI\cos\varphi \quad (24)$$

El fador tensión a su vez puede escribirse como  $\bar{V} = Z\bar{I}$ , con lo que su módulo será  $|\bar{V}| = |Z||\bar{I}|$ . Reemplazando;

$$P = |Z||\bar{I}||\bar{I}|\cos\varphi = I^2I\cos\varphi \quad (25)$$

pero  $Z \cos \varphi = R$ , con lo que

$$P = I^2R \quad (26)$$

Por otro lado, el fador tensión a bornes del elemento resistivo R es  $\bar{V}_R = R\bar{I}$ , con lo que su módulo será  $|\bar{V}_R| = R|\bar{I}| = RI = VR$ , entonces

$$P = V_R I = |\bar{V}_R||\bar{I}| \quad (27)$$

La potencia activa total de un circuito puede calcularse también a partir de los fasores tensión y corriente asociados al elemento resistivo, haciendo simplemente el producto de sus módulos, ya que el ángulo es cero y por ende  $\cos \varphi = 1$ .

Finalmente, poniendo a  $|\bar{I}|$  en términos de la tensión se llega a que es otra forma de cálculo de la potencia activa.

$$P = \frac{(V_R)^2}{R} \quad (28)$$

### 2.1.17.2 Potencia reactiva.

[12] Procediendo igual que antes, podemos escribir la potencia reactiva en términos de los fasores tensión y corriente total como el producto de sus módulos por el seno el ángulo de desfase.

$$Q = |\bar{V}||\bar{I}|\text{sen } \varphi = V I \text{sen } \varphi \quad (29)$$

Cabe aclarar que para el cálculo de la potencia reactiva se debe utilizar el valor absoluto del ángulo  $\varphi$ , ya que para  $\varphi < 0$ ,  $\text{sen}(\varphi) < 0$ , con lo que  $Q < 0$ , pero la potencia reactiva  $Q$  definida como es estrictamente positiva. Por lo tanto para especificar si la potencia reactiva  $Q$  corresponde a un circuito de carácter inductivo o capacitivo se debe explicitar su naturaleza de atraso o adelanto, respectivamente.

Reemplazando el módulo del fasor tensión por  $|Z||\bar{I}|$  tenemos

$$Q = |Z||\bar{I}||\bar{I}|\text{sen}\varphi = I^2 I \text{sen } \varphi \quad (30)$$

$$Q = I^2 X \quad (31)$$

ya que  $Z \text{sen } \varphi = X$ .

El fasor tensión a bornes del elemento reactivo es  $\bar{V}_X = \pm jX\bar{I}$ , luego su módulo será  $|\bar{V}_X| = X|\bar{I}|$ . Reemplazando queda

$$Q = |\bar{V}_X||\bar{I}| = V_x I \quad (32)$$

Es decir, que la potencia reactiva total de un circuito puede calcularse también a partir de los fasores tensión y corriente asociados al elemento reactivo, haciendo el producto de sus módulos, ya que el ángulo que los separa es  $\pi/2$ , y por ende su  $\sin \varphi = 1$ .

Finalmente, poniendo el módulo de la corriente en términos del módulo de la tensión  $V_X$  se tiene

$$Q = \frac{(V_x)^2}{R} \quad (33)$$

### 2.1.17.3 Potencia aparente.

La potencia aparente total en el circuito de impedancia equivalente  $Z$  se obtiene haciendo el producto de los módulos de los fasores tensión y corriente total

$$S = |\bar{V}||\bar{I}| = VI \quad (34)$$

### 2.1.17.4 Triángulo de Potencias.

Las potencia activa, reactiva y aparente están relacionadas entre sí, dado que si se suman las potencias activas y reactivas al cuadrado obtenemos la potencia aparente al cuadrado, debido a esta relación es que se usa un triángulo rectángulo para su representación, lo que se conoce como triángulo de potencias.

La implementación del triángulo se puede deducir del diagrama fasorial de la tensión y corriente del circuito en estudio, como se muestra en la figura 2.30.

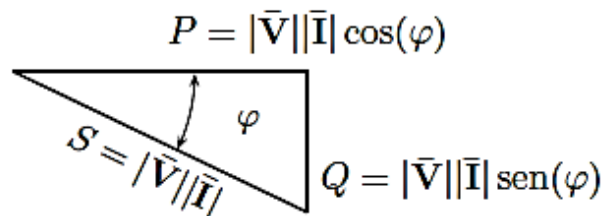


FIGURA 2. 30: TRIÁNGULO DE POTENCIA. [12]

Se considera el voltaje total con fase cero y la descomposición de la corriente en s partes activas y reactivas, o sea,  $\bar{V} = V \angle 0$  e  $\bar{I} = I \phi$ , la potencia P resultará del producto entre V por la proyección de  $\bar{I}$  sobre  $\bar{V}$  ( $V I \cos \phi$ ) y la potencia Q del producto entre V por la proyección de  $\bar{I}$  sobre una perpendicular a  $\bar{V}$  ( $V I \sin \phi$ ).

De esta manera la dirección que toma la potencia reactiva Q en el triángulo determina el comportamiento inductivo o capacitivo de un circuito, ya que una potencia reactiva trazada hacia los ejes negativos del plano se obtiene de un diagrama fasorial en el cual la corriente se atrasa con respecto a la tensión, y viceversa.

#### 2.1.17.5 Potencia compleja S.

La potencia compleja permite encontrar de manera directa la potencia activa, reactiva y aparente en un circuito, sabiendo el fasor de voltaje y corriente total.

Sea  $\bar{V}$  un fasor de voltaje total aplicado y sea  $\bar{I}$  un fasor de corriente total, entonces la potencia compleja S se determina como

$$S = \bar{V}\bar{I} \quad (35)$$

con  $\bar{I}^*$  el conjugado del fasor corriente.

La potencia compleja es entonces un número complejo cuya parte real es igual a la potencia activa P, su parte imaginaria es igual a la potencia reactiva Q, y su módulo es igual a la potencia aparente S

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = S \quad (36)$$

### 2.1.17.6 Factor de potencia.

La energía presente en un sistema de corriente alterna en régimen permanente está compuesta por una parte que realiza un trabajo (energía disipada) y por otra parte que se almacena en los elementos reactivos y se intercambia con la fuente. [12]

La relación que existe entre la energía aprovechada (la que es capaz de realizar un trabajo) y la energía total disponible se conoce como factor de potencia, fp. Estas energías se relacionan directamente con la potencia activa P y la potencia aparente S, entonces el fp se define como

$$fp = \frac{W_p}{W_s} = \frac{P}{S} \quad (37)$$

Luego, como  $P = V I \cos \varphi$  y  $S = V I$ ,  $fp = \cos \varphi$ .

Por su definición, el factor de potencia es el rendimiento del sistema, y como tal es un número adimensional comprendido entre 0 y 1. Es decir, indica que parte de la energía disponible es transformada en trabajo

$$P = S \cos \varphi \quad (38)$$

Cuando se obtiene un factor de potencia igual a 0, la energía que se transmite es puramente reactiva y la energía que se almacena en las cargas, retorna a la fuente. Cuando el factor de potencia es 1, toda la energía entregada por la fuente es consumida por la carga. La potencia aparente necesaria para disipar una determinada cantidad de potencia activa dependerá del factor de potencia del circuito. Por ejemplo, para obtener 1 KW de potencia activa y se tiene el factor de potencia a la unidad, se necesitara transferir 1 KVA de potencia aparente ( $1 \text{ KVA} = 1 \text{ KW} \cdot 1$ ). Con valores de factor de potencia bajos, se tendrá que transferir más potencia aparente para obtener igual potencia activa. Así que para conseguir 1 KW de potencia real con un factor de potencia de 0.2; se deberá transferir 5 KVA de potencia aparente.

Los factores de potencia, al igual que las potencias reactivas, son expresados normalmente como en adelanto o en retraso, para indicar si se trata de un circuito de carácter capacitivo o inductivo, respectivamente.

### 2.1.18 Sistema Trifásico.

Si se considera un nuevo devanado dentro de una máquina; que se dispongan ahora los tres de forma tal, que generen tres tensiones con la misma amplitud y un desfase de  $2\pi/3$  entre sí; así se obtendrá un sistema trifásico. Las tensiones generadas en este caso serán por ejemplo:

$$\overline{V_{AA'}} = V\angle 90^\circ ; \overline{V_{BB'}} = V\angle -30^\circ ; \overline{V_{CC'}} = V\angle -150^\circ \quad (39)$$

Estos tres devanados se pueden interconectar de dos maneras diferentes, dando lugar a las conocidas conexiones en estrella y en triángulo del generador.

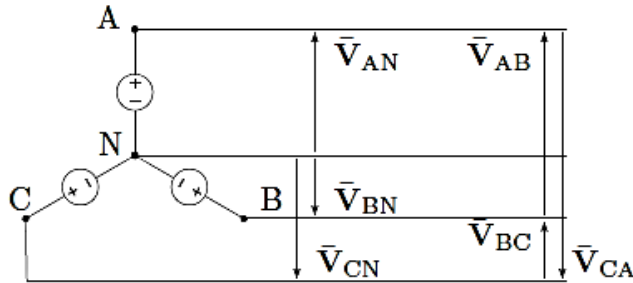


FIGURA 2. 31: ESQUEMA TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA. [12]

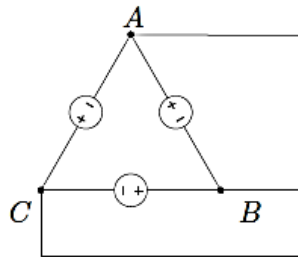


FIGURA 2. 32: ESQUEMA TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN TRIÁNGULO. [12]

### 2.1.18.1 Cargas balanceadas en configuración estrella.

Cuando se conectan circuitos en configuración estrella en un sistema trifásico (figura 2.33) los voltajes aplicados a las cargas, son los voltajes de fase del circuito [12]. Por lo tanto, si se tiene una carga inductiva con valor  $Z \angle \varphi$  y un sistema con una tensión  $V_L$ , con una secuencia ABC, por cada tramo de la carga circulará una corriente que viene dada de esta forma:

$$\begin{aligned}\bar{I}_{AN} &= \frac{\bar{V}_{AN}}{Z \angle \varphi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \angle 90^\circ - \varphi = I_L \angle 90^\circ - \varphi \\ \bar{I}_{BN} &= \frac{\bar{V}_{BN}}{Z \angle \varphi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \angle -30^\circ - \varphi = I_L \angle -30^\circ - \varphi \\ \bar{I}_{CN} &= \frac{\bar{V}_{CN}}{Z \angle \varphi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \angle -150^\circ - \varphi = I_L \angle -150^\circ - \varphi\end{aligned}\quad (40)$$

Estas corrientes se las denomina “corrientes de fase” y las corrientes que fluyen por las líneas son conocidas como “corrientes de línea”. Se ve en el circuito de la figura 2.33 que

$$\begin{aligned}\bar{I}_A &= \bar{I}_{AN} \\ \bar{I}_B &= \bar{I}_{BN} \\ \bar{I}_C &= \bar{I}_{CN}\end{aligned}$$

y para esta configuración de cargas las corrientes de línea son iguales a las corrientes de fase.

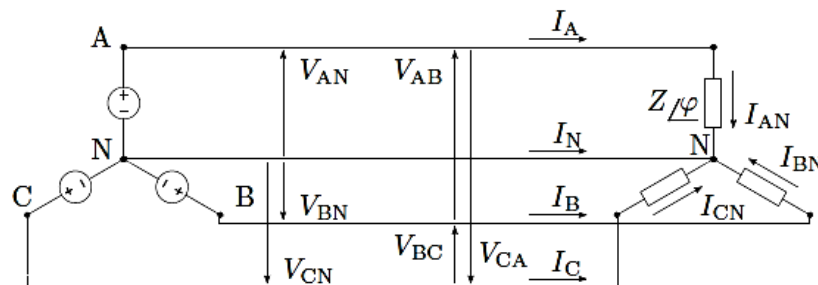


FIGURA 2. 33: ESQUEMA CIRCUITAL TRIFÁSICO CON CARGA EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA. [12]

La corriente por el neutro  $\bar{I}_N$  será

$$\bar{I}_N = -\bar{I}_A - \bar{I}_B - \bar{I}_C = 0, \quad (41)$$

Es decir, que el sistema de corrientes generado es considerado un sistema perfecto.

Si una corriente de neutro es cero, como en este caso, entonces el sistema puede obviar a la línea neutral, ya que no transmite corriente. Un sistema de este tipo se lo denomina “sistema trifásico de tres hilos”.

En la figura 2.34 se puede observar el diagrama fasorial entre voltajes y corrientes para este sistema.

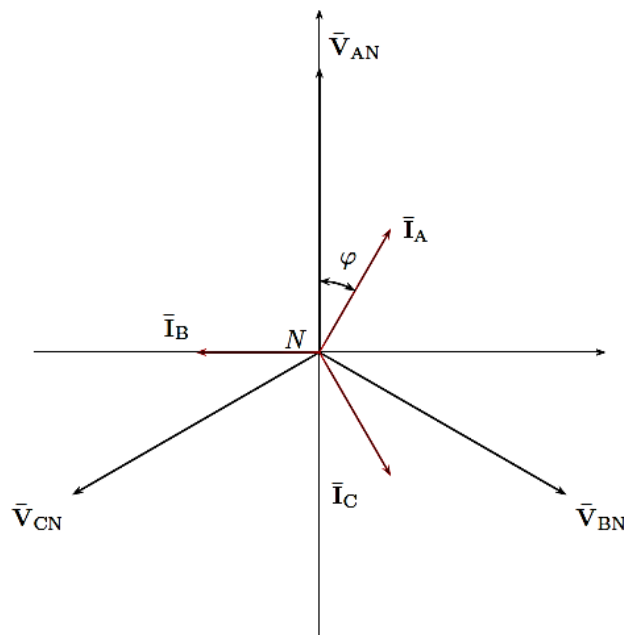


FIGURA 2. 34: DIAGRAMA FASORIAL DE TENSIONES Y CORRIENTES EN UNA CARGA BALANCEADA EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA. [12]



### 2.1.18.2 Cargas balanceadas en configuración triángulo.

Establece que las cargas que se conectan entre los puntos AB, BC y CA de un generador trifásico, se tendrá una conexión en triángulo (figura 2.42). En esta conexión [12] el voltaje aplicado a las cargas es la tensión de línea del circuito. Suponiendo un sistema trifásico con una secuencia ABC, tensión VL y una carga inductiva  $Z\angle\varphi$ , las corrientes de fase son:

$$\begin{aligned}\bar{I}_{AB} &= \frac{\bar{V}_{AB}}{Z\angle\varphi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \angle 120^\circ - \varphi = I_F \angle 120^\circ - \varphi \\ \bar{I}_{BC} &= \frac{\bar{V}_{BC}}{Z\angle\varphi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \angle -\varphi = I_F \angle -\varphi \\ \bar{I}_{CA} &= \frac{\bar{V}_{CA}}{Z\angle\varphi} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z} \angle 240^\circ - \varphi = I_F \angle 240^\circ - \varphi\end{aligned}\quad (42)$$

Con  $I_F = V_L/Z$ .

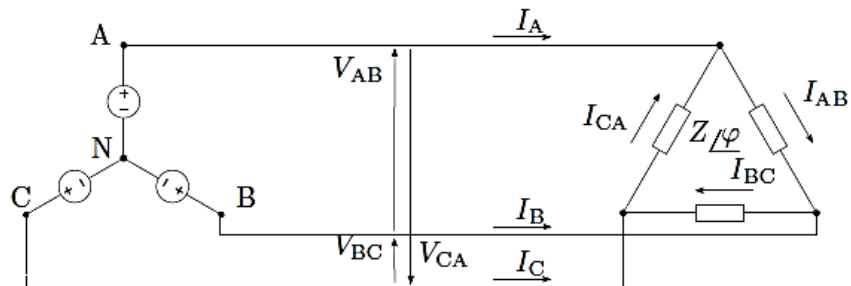


FIGURA 2. 35: ESQUEMA TRIFÁSICO CON CARGAS BALANCEADAS EN CONFIGURACIÓN TRIÁNGULO. [12]

Para esta configuración las corrientes de línea son una composición de las corrientes de fase.

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}$$

$$\bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}$$

En el diagrama fasorial de voltajes y corrientes en la figura 2.36 se puede ver la composición de  $\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}$  en forma gráfica. Por trigonometría simple se puede demostrar que el módulo de la corriente de línea es  $\sqrt{3}$  más grande que el módulo de corrientes de fase y su argumento se obtiene restando  $30^\circ$  en el argumento de la corriente de fase del nodo;

$$\bar{I}_A = \sqrt{3}I_F \angle 120^\circ - \varphi - 30^\circ \quad (43)$$

Con  $I_L = \sqrt{3}I_F = \sqrt{3}V_L/Z$ .

### 2.1.18.3 Cálculo de potencias en cargas balanceadas.

La potencia activa en una carga viene expresada mediante  $P = V I \cos \varphi$ ; siendo V-I los módulos de los fasores voltaje y corriente en la carga; y  $\varphi$  el desfase entre ellos [12]. Podemos observar cómo se desarrolló este cálculo en los sistemas trifásicos con cargas balanceadas.

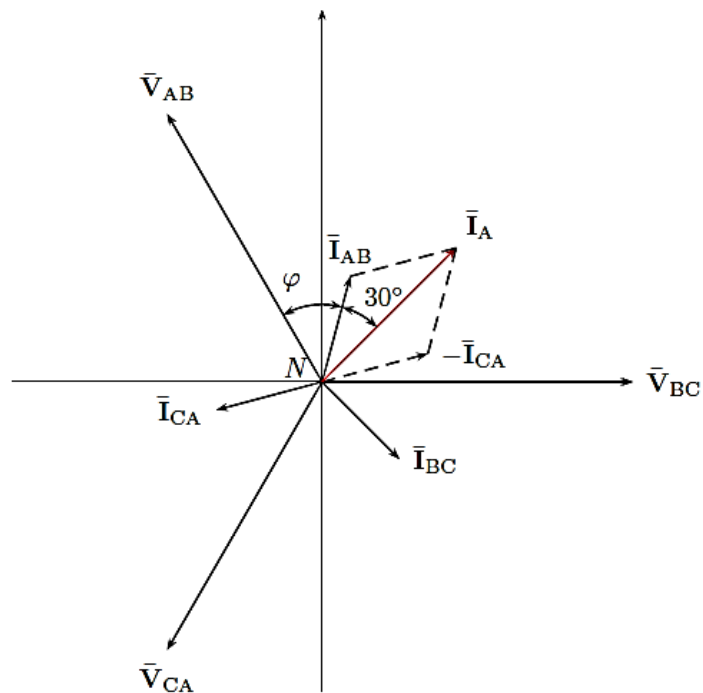


FIGURA 2. 36: DIAGRAMA FASORIAL DE TENSIONES Y CORRIENTES EN CARGAS BALANCEADAS EN CONFIGURACIÓN TRIÁNGULO. [12]

### 2.1.18.3.1 Cargas en estrella.

Se denota con  $V_F$  al módulo de voltajes de fase y  $V_L$  a los voltajes de línea, con  $I_F$  e  $I_L$  los módulos de corrientes de fase y línea [12]. En configuración estrella la tensión inducida a cada carga es la tensión de fase, cuyo módulo esta en relación con la tensión de línea  $V_F = V_L / \sqrt{3}$  y la corriente en las cargas es la corriente de fase, cuyo módulo es igual al módulo de la corriente de línea,  $I_F = I_L$ . La potencia activa para carga será:

$$P = V_F I_F \cos \varphi = \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \varphi \quad (44)$$

Procediendo en manera similar, se encuentra las potencias reactiva y aparente para un sistema balanceado de cargas con las siguientes expresiones:

$$P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad ; \quad Q_T = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi \quad ; \quad S_T = \sqrt{3} V_L I_L \quad (45)$$

Nótese que  $\phi$  representa el argumento de la carga  $Z = Z \angle \phi$  y no el desfase entre los voltajes y corrientes de línea.

### 2.1.18.3.2 Cargas en triángulo.

En esta conexión las cargas tienen una tensión de línea y una corriente de fase que se transmite por ellas con un módulo  $1/\sqrt{3}$  veces inferior al módulo de corrientes de línea [12]. Entonces, las potencias para las cargas en términos de corrientes y voltajes de línea serán:

$$P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \varphi \quad ; \quad Q = \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \sin \varphi \quad ; \quad S = \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \quad (46)$$

Y las potencias totales

$$P_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \varphi ; Q_T = \sqrt{3}V_L I_L \sin \varphi ; S_T = \sqrt{3}V_L I_L \quad (47)$$

Se calculan de igual manera para el caso de cargas balanceadas en conexión estrella.

## 2.2 Tarjeta Programable Arduino.

Arduino es una herramienta que permite a los ordenadores sentir y controlar el mundo físico mediante un computador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física con código abierto, que se basa en una placa con un pequeño micro-controlador; con un entorno de desarrollo que permite crear programas [13].

Arduino se puede emplear para crear objetos interactivos, registrando datos de una gran variedad de sensores y controlar diferentes tipos de luces, motores y otros actuadores. Los proyectos desarrollados con Arduino pueden ser autónomos y comunicarse con tu ordenador (ver figura 2.37) [13].

El Arduino es energizado mediante la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación es seleccionada automáticamente.



FIGURA 2. 37: HARDWARE Y CABLE USB [13]

TABLA 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current for I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

### 2.2.1 Pines de alimentación (Power Pin).

Se va tener unas salidas de tensión continua debido a unos reguladores de voltaje y capacitores de estabilización (figura 2.38).

- **V<sub>IN</sub>**: es la fuente tensión de entrada que contendrá la tensión la fuente externa.
- **5V**: fuente de regulada de voltaje (5V), puede venir en el pin V<sub>IN</sub> mediante un regulador interno, o se suministra a través de USB o de otra fuente de 5V regulada.
- **3.3V**: fuente generada por el regulador interno con un consumo de corriente máximo de 50 mA.
- **GND**: pines de tierra.



FIGURA 2. 38: POWER PINS. [13]

### 2.2.2 Entradas y Salidas Digitales.

Existen 14 pines digitales (ver figura 2.39) que se pueden utilizar como entrada o salida. Cada pin proporciona o recibe un máximo de 40 mA y posee una resistencia de desconectado de 20 a 50 K $\Omega$ . Además, algunos pines tienen funciones especializadas como:

- Pin 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL.
- Pin 2 y 3. Interrupciones externas. Se trata de pines que se encargan de detener el programa secuencial.
- Pin 3, 5, 6, 9, 10 y 11. PWM (modulación por ancho de pulso). Conforman 8 bits de salida con la función `analogWrite()`.
- Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines son comunicación SPI.
- Pin 13. LED. Cuando el pin tiene alto valor, el LED se enciende, cuando está bajo, se encuentra apagado.



FIGURA 2. 39: ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES. [13]

### 2.2.3 Entradas Analógicas.

Consta de 6 entradas analógicas (figura 2.40), identificadas desde A0 hasta A5, cada una ofrecen 10 bits de resolución (1024 estados). Por defecto, se tiene una tensión de 5V, pero este rango se puede cambiar utilizando el pin AREF y utilizando la función `analogReference()`, donde se introduce una señal DC como referencia.

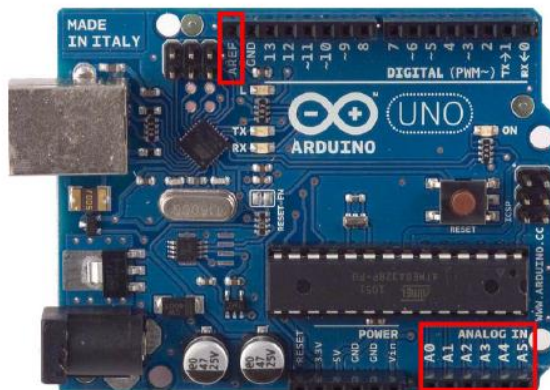


FIGURA 2. 40: ENTRADAS ANALÓGICAS. [13]

## CAPÍTULO III.- CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

En este capítulo detallaremos el proceso para la construcción del Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos orientado por elementos resistivos, inductivos y capacitivos, el cual nos facilitará realizar un análisis en corriente continua y alterna, tomando en cuenta todos los componentes necesarios para la elaboración del mismo.

Se presentarán todos los esquemas necesarios para la conexión del módulo de entrenamiento, a continuación se mostrará un esquema simplificado de cada parte del módulo de entrenamiento para poder comprender mejor su conexión, luego de esto se presenta un esquema completo de todo el proyecto.

### 3.1 Diseño del Proyecto.

Se procedió a utilizar el software CAD (Computer Aided Design), el cual nos permitió crear un modelo real de nuestro módulo de pruebas, con las medidas planteadas inicialmente, observando que exista la simetría entre cada sección de trabajo resistivo, inductivo y capacitivo que se encontrará en la parte frontal del tablero. Se procederá a realizar las medida de los equipos y elementos para poder dibujarlos en nuestro diseño y los cuales se procederán a instalar como: disyuntores, bases porta fusibles, bornes, analizador de red, medidor DC, Tarjeta programable Arduino y Microcontrolador PIC.

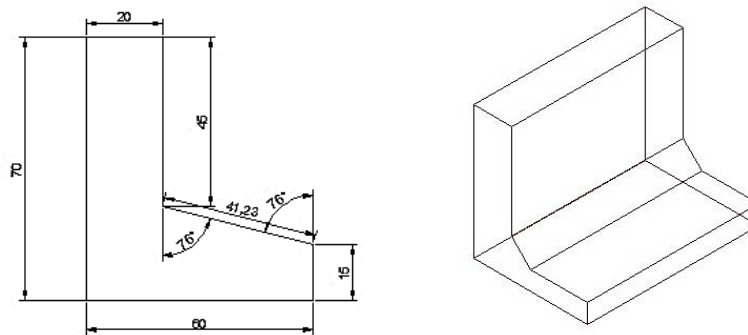


FIGURA 3. 1: DISEÑO ESQUEMÁTICO EN CAD DEL PROYECTO.



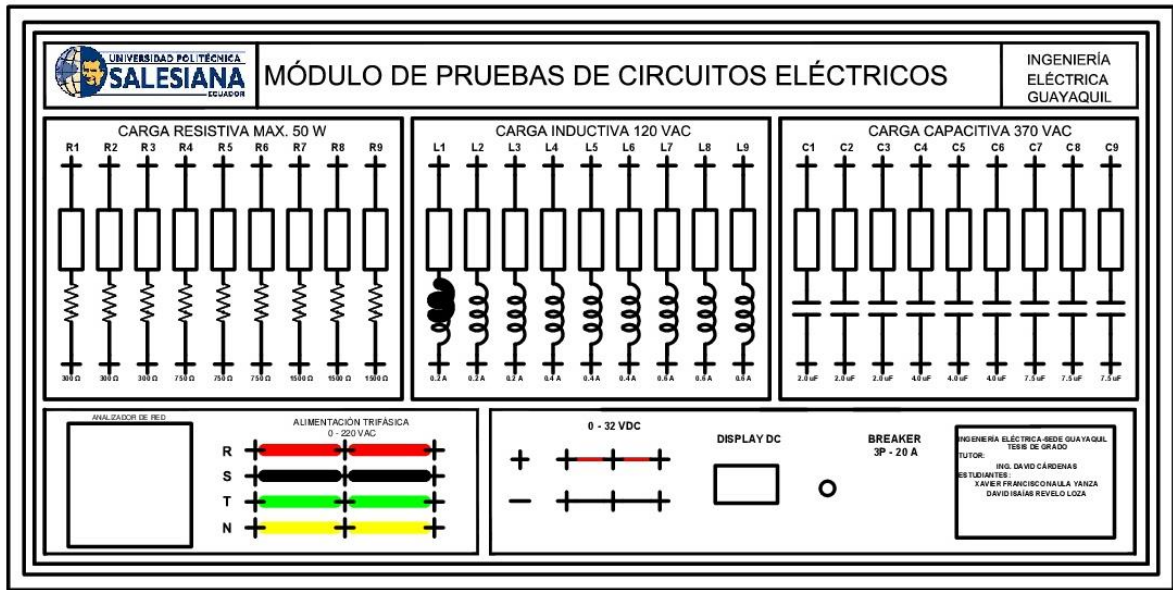


FIGURA 3. 2: DISEÑO ESQUEMÁTICO FRONTAL EN CAD DEL MÓDULO

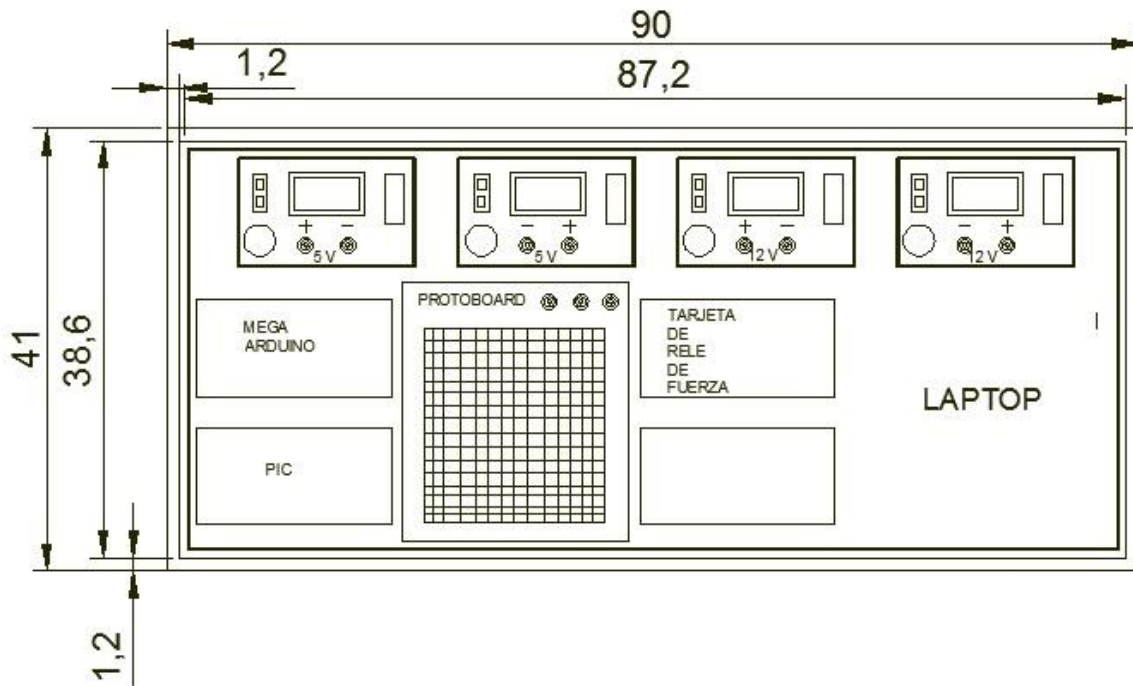


FIGURA 3. 3: DISEÑO ESQUEMÁTICO PARTE BAJA EN CAD DEL MÓDULO.

### 3.2 Construcción de la Estructura Metálica.

Una vez planteado el diseño con las medidas respectivas, procederemos con la construcción de la base principal que deberá soportar el peso de la plancha metálica de 2 mm de grosor, junto con los equipos instalados. Adicionalmente a esta base, se construirá una mesa de soporte para el módulo de pruebas de circuitos eléctricos.

La base principal del módulo de pruebas será elaborada con planchas de hierro de 2mm y para la elaboración de la mesa de soporte, se construirá con un tubo cuadrado de hierro galvanizado de 2 ½ “ x 2/8” de espesor, la misma permitirá equilibrar el peso de los equipos y módulos.



FIGURA 3. 4: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA PARA MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS.



FIGURA 3. 5: CONSTRUCCIÓN DE MESA DE SOPORTE PARA MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

### **3.3 Construcción de la Plancha Metálica Galvanizada.**

Una vez elaborada la estructura metálica de nuestro módulo de pruebas de circuitos eléctricos, se procedió a realizar el montaje de la plancha metálica galvanizada que contiene los elementos necesarios para realizar las prácticas planteadas en el siguiente capítulo.

La plancha metálica galvanizada de un espesor de 2 mm, en la cual tiene las medidas de 70 cm de alto, por 90cm de ancho y 60 cm de profundidad, luego se soldará un marco alrededor de la plancha para fijarla con la estructura. El diseño se lo imprimirá en material de lona para que sirva como modelo sobre la plancha metálica y de esta forma se irán perforando donde estarán los elementos como los porta fusibles, medidor DC, analizador de red, breakers, etc.

Luego de tener la simetría y la exactitud de precisión en las perforaciones y el calado se procederá a pintar al horno la metálica.

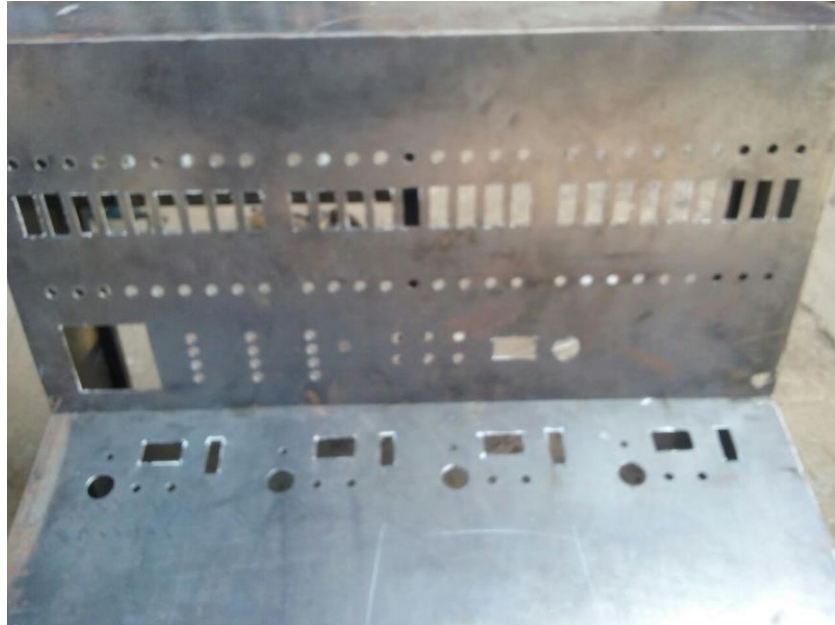


FIGURA 3. 6: CONSTRUCCIÓN DE PLANCHA METÁLICA PARA MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

### **3.4 Montaje del Vinil en Plancha Metálica Galvanizada.**

Una vez pintada al horno la estructura metálica del módulo de pruebas de circuitos eléctricos propuesto, se procederá a limpiar la superficie de polvo, basura, etc.

El montaje del vinil se lo realizará a través de la técnica de adhesiva, que es en húmedo, recomendado para grandes superficies de vinil, esparciendo con un pulverizador, agua mezclada con jabón líquido. Luego se procederá a remover la superficie en el lugar adecuado de las perforaciones y calado, y con una espátula se eliminará las burbujas de agua sobrante, como se muestra en la figura 3.10.



FIGURA 3. 7: APLICACIÓN DE ADHESIVA DEL VINIL EN MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

### 3.5 Montaje de los Equipos y Materiales al Módulo de Pruebas.

Una vez colocado el vinil en la estructura metálica de nuestro módulo de pruebas de circuitos eléctricos, se procederá a colocar cada equipo en el lugar específico de acuerdo al diseño establecido, y se utilizará las herramientas necesarias con el aislamiento apropiado para asegurar los equipos, tomando en cuenta las medidas de seguridad para disminuir el riesgo de accidentes.

Cada fuente de energía y los equipos principales, estarán separados claramente por identificadores con etiquetas con el objetivo de evitar maniobras equivocadas.

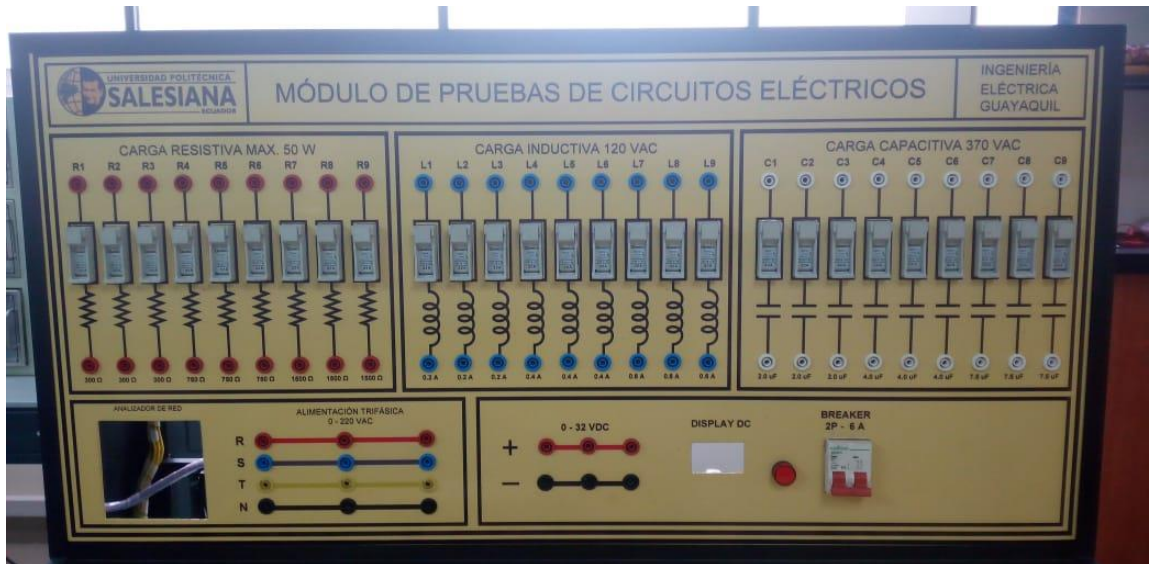


FIGURA 3. 8: MONTAJE DE EQUIPOS Y MATERIALES EN MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS – VISTA SUPERIOR.



FIGURA 3. 9: MONTAJE DE EQUIPOS Y MATERIALES EN MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS – VISTA INFERIOR.

### 3.6 Conexión y Cableado interno de los Equipos y Elementos del Módulo de Pruebas.

Una vez colocado los equipos y materiales en la estructura metálica de nuestro módulo de pruebas de circuitos eléctricos, se procederá a realizar las conexiones y cableado, a través de borneras, en las uniones se soldará utilizando soldadura de estaño, asegurando una buena conductividad eléctrica.

Se utilizará 200 metros de cable flexible #14 Multihilo, con sus respectivos terminales tipo Ojo, Hembra y Punta. El recorrido de los cables será a través de canaletas, funda espirales, los cables estarán sujetos con amarras, manteniendo un diseño uniforme de conexionado y cableado.



FIGURA 3. 10: CONEXIONADO Y CABLEADO DE EQUIPOS Y MATERIALES EN MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS – VISTA POSTERIOR.

### 3.7 Inventario de Materiales y Equipos que forman parte del Módulo de Pruebas.

El Módulo de Pruebas de Circuitos Eléctricos, está compuesto de los siguientes materiales y equipos:

TABLA 4: INVENTARIO DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL MÓDULO DE PRUEBAS.

MATERIALES Y EQUIPOS	
CANTIDAD	MATERIALES Y EQUIPOS
1	MÓDULO METÁLICO
80	BORNERAS
1	VARIAC TRIFÁSICO DE 3KVA DE 0-230V
1	BREAKER TRIFÁSICO 3P-20A
1	BREAKER DOBLE 2P-20A
1	LUZ PILOTO 120V .COLOR ROJO(CAMSCO)
4	LUZ PILOTO 120V .COLOR VERDE(CAMSCO)
34	PORTAFUSIBLES 32A(CAMSCO)
4	SELECTORES ON-OFF
1	ANALIZADOR DE RED TRIFÁSICO PM700 (SCHNEIDER)
9	INDUCTORES DE 0.1A ,0.2A,0.3A
9	RESISTENCIAS 50W EN LA GAMA DE 500,750,1000 OHMIOS
9	CAPACITORES 370VAC DE 2uf,4uf,7.5uf
5	DISPLAYS
1	PROTOBOARD GRANDE
1	GRABADOR DE PIC
1	MEGA ARDUINO
1	TARJETA DE RELÉ DE FUERZA DE 16 CANALES
1	LAPTOP



### 3.8 Presupuesto de la Construcción del Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos.

TABLA 5: PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS.

<b>PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>	<b>COSTO U.</b>	<b>TOTAL</b>
1	MODULO METALICO	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
1	BREAKER DOBLE 2P-20A	\$ 11,00	\$ 11,00
1	LUZ PILOTO 120V .COLOR ROJO(CAMSCO)	\$ 3,25	\$ 3,25
4	LUZ PILOTO 120V .COLOR VERDE(CAMSCO)	\$ 3,25	\$ 13,00
4	SELECTORES ON-OFF	\$ 3,80	\$ 15,20
5	DISPLAYS	\$ 15,00	\$ 75,00
1	PROTOBOARD GRANDE	\$ 32,00	\$ 32,00
1	GRABADOR DE PIC	\$ 60,00	\$ 60,00
1	MEGA ARDUINO	\$ 30,00	\$ 30,00
1	TARJETA DE RELE DE FUERZA DE 16 CANALES	\$ 20,00	\$ 20,00
1	LAPTOP	\$ 500,00	\$ 500,00
<b>TOTAL DEL PRESUPUESTO</b>			<b>\$ 1.759,45</b>

Listado de materiales y equipos facilitados por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil:

TABLA 6: MATERIALES Y EQUIPOS FACILITADOS POR LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

<b>LISTA DE MATERIALES FACILITADOS POR LA UNIVERSIDAD</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>	<b>COSTO U.</b>	<b>TOTAL</b>
80	BORNERAS	\$ 0,70	\$ 56,00
1	VARIAC TRIFÁSICO DE 3KVA DE 0-230V	\$ 790,00	\$ 790,00
1	BREAKER TRIFÁSICO 3P-20A	\$ 15,00	\$ 15,00
34	PORTAFUSIBLES 32A(CAMSCO)	\$ 3,50	\$ 119,00
1	ANALIZADOR DE RED TRIFÁSICO PM700 (SCHNEIDER)	\$ 485,00	\$ 485,00
9	INDUCTORES DE 0.1A ,0.2A,0.3A	\$ 22,00	\$ 198,00
9	RESISTENCIAS 50W EN LA GAMA DE 500,750,1000 OHMIOS	\$ 12,50	\$ 112,50
9	CAPACITORES 370VAC DE 2uf,4uf,7.5uf	\$ 1,95	\$ 17,55
<b>TOTAL DE MATERIALES Y EQUIPOS</b>			<b>\$ 1.793,05</b>

### **3.9 Descripción de cada Equipo y Elementos del Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos.**

A continuación se realizará una descripción técnica y grafica de los Materiales y equipos principales que forman parte y se encuentran correctamente instalados en el Módulo de Pruebas para Circuitos Eléctricos.

#### **3.9.1 Disyuntor Trifásico de 3P-20A.**



FIGURA 3. 11: DISYUNTOR TRIFÁSICO 3P-20A.

### 3.9.2 Disyuntor Bifásico de 2P-6A.



FIGURA 3. 12: DISYUNTOR BIFÁSICO 2P-6A.

### 3.9.3 Variac Trifásico de 3KVA (0-230VAC).



FIGURA 3. 13: VARIAC TRIFÁSICO DE 3KVA (0-230VAC).

### 3.9.4 Analizador de Red PM700.



FIGURA 3. 14: ANALIZADOR DE RED PM700

### 3.9.5 Barra de Alimentación (0-220VAC).



FIGURA 3. 15: BARRA DE ALIMENTACIÓN (0-220VAC).

### 3.9.6 Barra de Alimentación (0-32VDC).

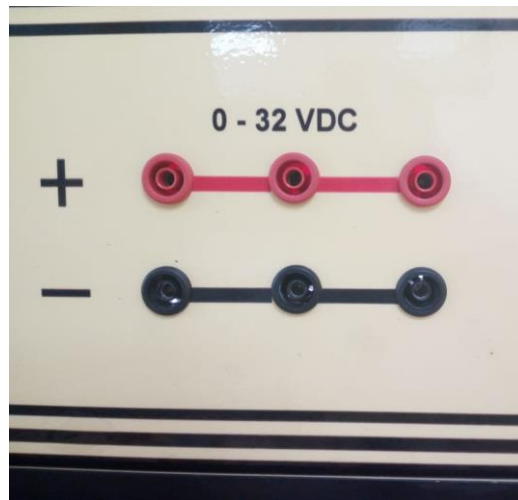


FIGURA 3. 16: BARRA DE ALIMENTACIÓN (0-32VDC).

### 3.9.7 Módulo de Carga Resistiva máx. 50 W.



FIGURA 3. 17: MÓDULO DE CARGA RESISTIVA MÁX. 50W.

### 3.9.8 Módulo de Carga Inductiva 120 VAC.

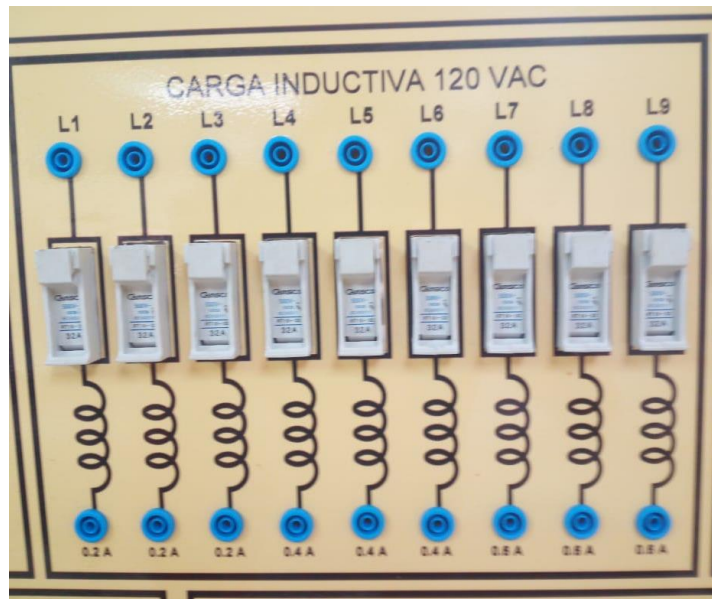


FIGURA 3. 18: MÓDULO DE CARGA INDUCTIVA 120 VAC.

### 3.9.9 Módulo de Carga Capacitiva 370 VAC.



FIGURA 3. 19: MÓDULO DE CARGA CAPACITIVA 370 VAC.

### 3.9.10 Fuente de Voltaje de +/- 5VDC.

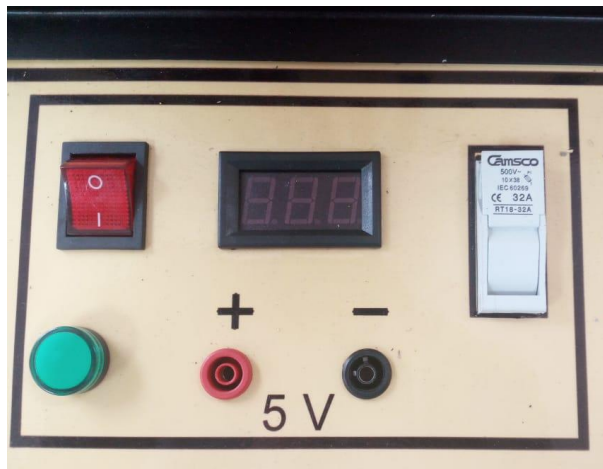


FIGURA 3. 20: FUENTE DE VOLTAJE DE +/- 5VDC.

### 3.9.11 Fuente de Voltaje de +/- 12VDC.



FIGURA 3. 21: FUENTE DE VOLTAJE DE +/- 12VDC.

### 3.9.12 Tarjeta Programable Mega Arduino.



FIGURA 3. 22: TARJETA PROGRAMABLE MEGA ARDUINO.

### 3.9.13 Quemador de Microcontroladores PICKIT.



FIGURA 3. 23: QUEMADOR DE MICROCONTROLADORES PICKIT.



### 3.9.14 Protoboard.



FIGURA 3. 24: PROTOBOARD.

## **CAPÍTULO IV.- PRUEBAS DE ANÁLISIS DEL MÓDULO PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.**

En este Capítulos podremos observar el desarrollo de 5 pruebas planteadas, contemplando el cronograma de las asignaturas de circuitos I y II con el fin de abarcar todo el material teórico de estas, las cuales se encuentran desarrollados los temas de Ley de Ohm, Ley de Kirchhoff, Sistema de Mallas y Nodos, Análisis Natural de Circuitos RL, RC, RLC, serie-paralelo y mixto, Potencias Activa, Reactiva y Aparente, Sistemas Trifásicos, etc.

Las mismas servirán como material didáctico en el análisis natural de los Circuitos RL, RC y RLC, de las materias de Circuitos Eléctricos I y II de la malla curricular de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana.

### **Guía de Pruebas del Módulo para Circuitos Eléctricos.**

**PRUEBA N°1:** Circuitos de Primer Orden – Circuito RC en Serie.

**PRUEBA N°2:** Circuitos de Primer Orden – Circuito RL en Serie.

**PRUEBA N°3:** Circuitos de Primer Orden – Circuito RC en Paralelo.

**PRUEBA N°4:** Circuitos de Primer Orden – Circuito RL en Paralelo.

**PRUEBA N°5:** Circuitos de Primer Orden – Circuito RLC en Serie.

# **PRUEBA NO. 1**

## **“RESPUESTA TRANSIENTE DE CIRCUITO RC EN SERIE”**

### **Objetivos.**

#### **Objetivo General:**

- Analizar la respuesta natural de un circuito RC en serie.

#### **Objetivos específicos:**

- Determinar la constante de tiempo y coeficiente de amortiguamiento.
- Medir el voltaje en la salida y la constante de tiempo del circuito en diferentes valores de frecuencia-tiempo.
- Representar mediante graficas los resultados.
- Realizar una tabla en la cual se pueda apreciar los resultados obtenidos.

#### **Recursos utilizados.**

- Módulo para prácticas de circuitos eléctricos.
- Osciloscopio.
- Generador de señales con frecuencia variable.
- Resistencia y Capacitor.
- Cables.

#### **Tiempo estimado.**

El tiempo estimado para la realización de esta práctica es de 2 horas.

## Desarrollo.

1. Plantear un circuito RC con valores de  $R = 1.5 \text{ (k}\Omega\text{)}$  y  $C = 2 \text{ (}\mu\text{F)}$ , el cual será energizado con un generador de señales ( $5\text{Vp}$ -señal cuadrada).

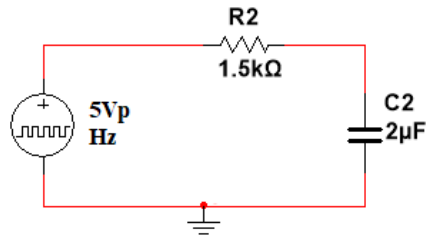


FIGURA 4.1: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN CIRCUITO RC SERIE

2. Calcule la constante de tiempo ( $\tau$ ) y el coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ) del circuito.

$$\tau = 5 * RC = 5 * (1.5 \times 10^3)(2 \times 10^{-6}) = 15 \times 10^{-3}(\text{seg})$$

$$\xi = \frac{1}{2RC} = \frac{1}{2(1.5 \times 10^3)(2 \times 10^{-6})} = 167$$

3. Utilizando la función **TRANSIENT ANALYSIS** del Multisim, grafique el voltaje de salida (Vs) del capacitor con una frecuencia de **25 Hz** y complete la tabla 8.

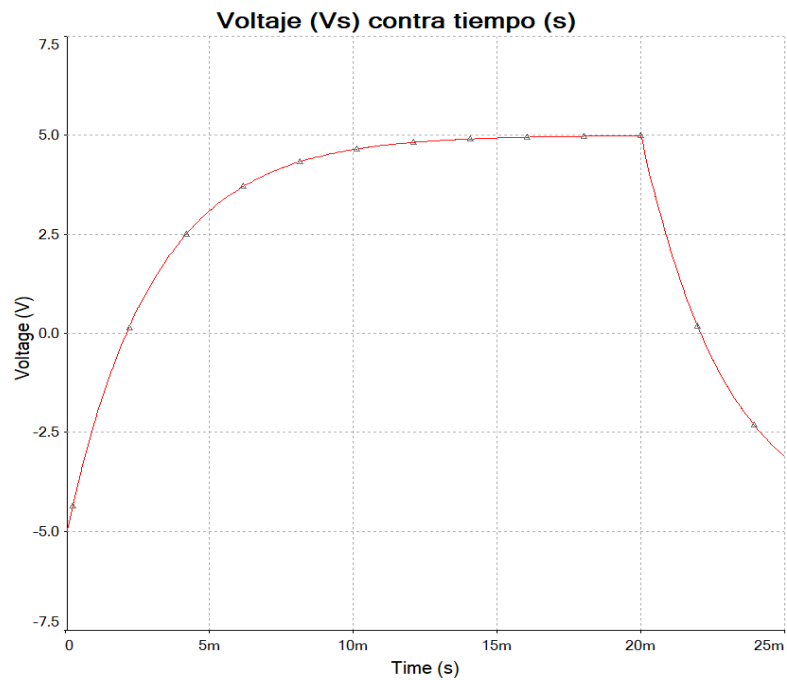


FIGURA 4.2: VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RC EN SERIE EN MULTISIM

TABLA 7. VALORES SIMULADOS DE VOLTAJE DEL CAPACITOR EN UN CIRCUITO RC SERIE

<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VOLTAJE-Vp (V)</b>
2,5m	654,3 m
5m	3,11
15m	4,93
20m	4,99

4. Ahora con los diferentes valores de frecuencia que se muestran en la tabla 9, mida el voltaje máximo ( $V_p$ ) del capacitor y la constante de tiempo ( $\tau$ ).

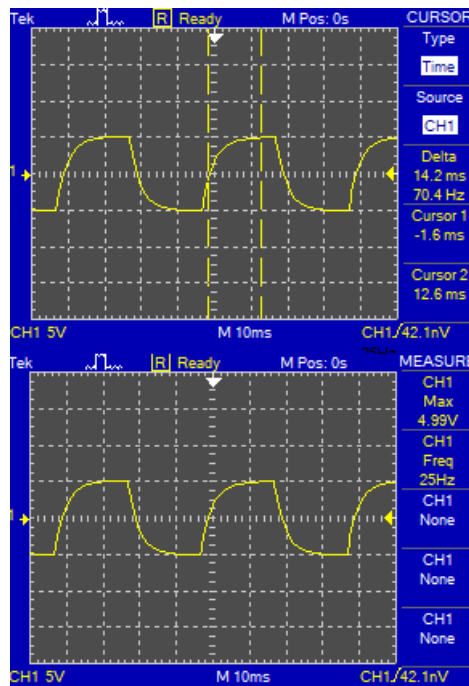
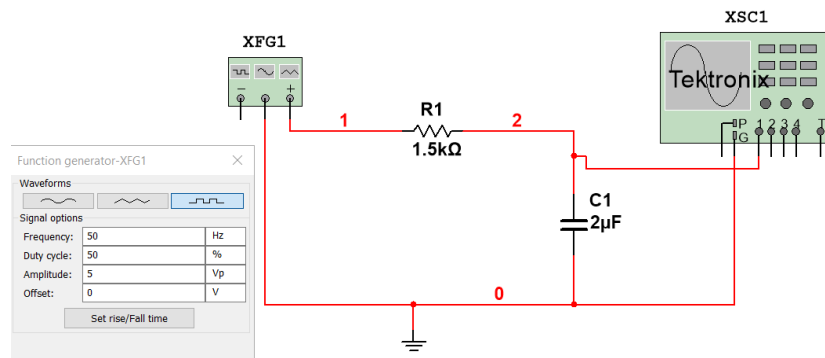


FIGURA 4.3: CONSTANTE DE TIEMPO Y VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RC SERIE EN MULTISIM

TABLA 8. VALORES SIMULADOS DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RC SERIE

<i>FRECUENCIA (Hz)</i>	<i>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</i>	<i>VOLTAJE-V<sub>p</sub> (V)</i>
10	14,2m	4,99
25	14,2m	4,99
50	7,1m	4,66
100	3,2m	3,41
200	1,4m	1,97
500	0,47m	0,825
1000	0,25m	0,415
2000	0,11m	0,208

5. Implementar en el módulo de pruebas el circuito RC en serie.

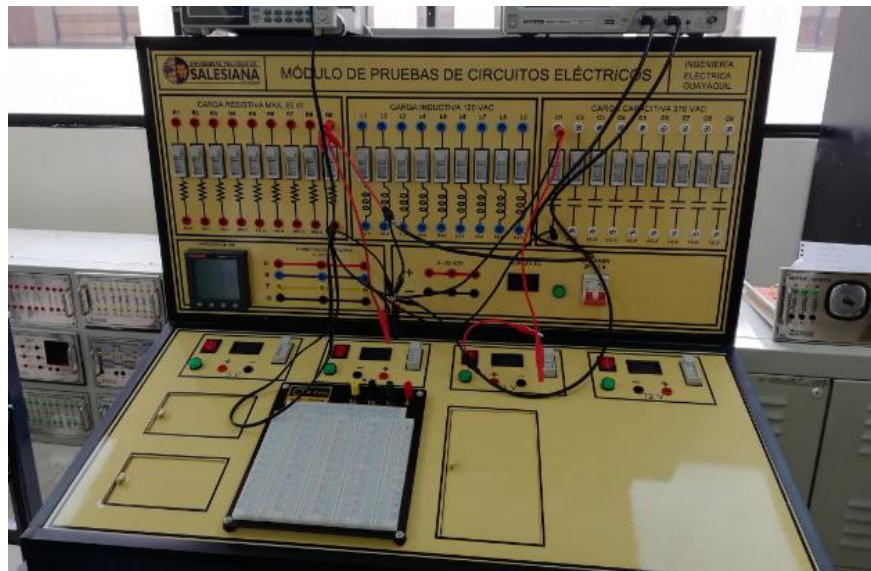


FIGURA 4.4: CIRCUITO RC EN SERIE IMPLEMENTADO EN MODULO DE PRUEBAS.

En la imagen 4.4 se observa un circuito conectando una resistencia  $1500 \Omega$  en serie con un capacitor de  $2 \mu\text{F}$ , los mismos que son conectados mediante cables y energizados con un generador de señales en la entrada. Además, se utiliza un osciloscopio para graficar las ondas de voltaje del circuito.

6. Complete la tabla 10 con los datos de tiempo-voltaje-constante de tiempo obtenidos experimentalmente en el módulo.

TABLA 9. VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RC SERIE

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</b>	<b>VOLTAJE-Vp (V)</b>
10	15 ms	4,96
25	13,2ms	4,88
50	8ms	4,4
100	5ms	3,92
200	1,48ms	3,39
500	1ms	2,74
1000	0,52ms	2,56
2000	0,05ms	2,28

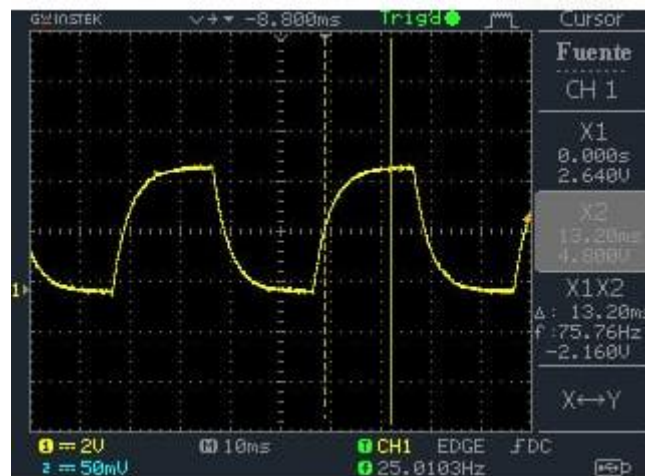


FIGURA 4.5: CONSTANTE DE TIEMPO Y VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RC SERIE EXPERIMENTAL

## Resultados.

- La constante de tiempo nos indica el tiempo en que se carga completamente el capacitor. Después de 5 veces la constante de tiempo el voltaje en el condensador alcanza el 99% del voltaje máximo.
- El coeficiente de amortiguamiento nos indica cuán rápido decae la respuesta natural a su estado final.
- A medida que se incrementa la frecuencia, la constante de tiempo y el voltaje máximo se reducen.

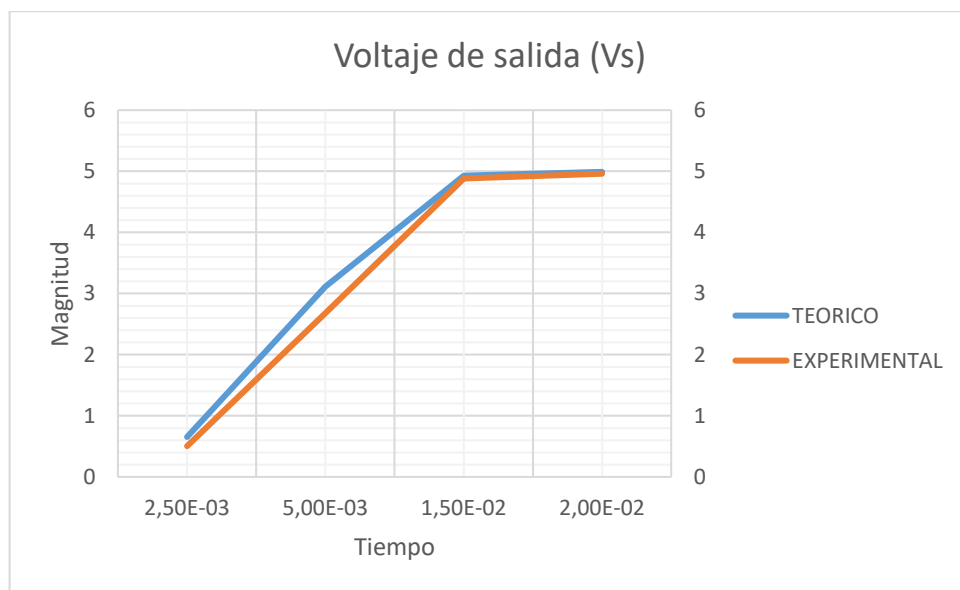


FIGURA 4.6: GRAFICAS TEORICO-EXPERIMENTAL DEL VOLTAJE DE SALIDA EN CIRCUITO RC EN SERIE.

TABLA 10. PORCENTAJES DE ERROR EN CIRCUITO RC SERIE

DATOS TEÓRICOS	DATOS PRÁCTICOS	ERROR
0,654	0,504	22,94%
3,11	2,68	13,83%
4,93	4,88	1,01%
4,99	4,96	0,60%



## **PRUEBA NO. 2**

### **RESPUESTA TRANSIENTE DE CIRCUITO RL EN SERIE**

#### **Objetivos.**

##### **Objetivo General:**

- Analizar la respuesta natural de un circuito RL en serie.

##### **Objetivos específicos:**

- Determinar la constante de tiempo y coeficiente de amortiguamiento.
- Medir el voltaje en la salida y la constante de tiempo del circuito en diferentes valores de frecuencia-tiempo.
- Representar mediante graficas los resultados.
- Realizar una tabla en la cual se pueda apreciar los resultados obtenidos.

#### **Recursos utilizados.**

- Módulo para prácticas de circuitos eléctricos.
- Osciloscopio.
- Generador de señales con frecuencia variable.
- Resistencia e Inductor.
- Cables.

#### **Tiempo estimado.**

El tiempo estimado para la realización de esta práctica es de 2 horas.

## Desarrollo.

1. Plantear un circuito RL con valores de  $R = 1.5 \text{ (k}\Omega\text{)}$  y  $L = 1,16 \text{ (H)}$ , el cual será energizado con un generador de señales ( $5\text{Vp}$ -señal cuadrada).

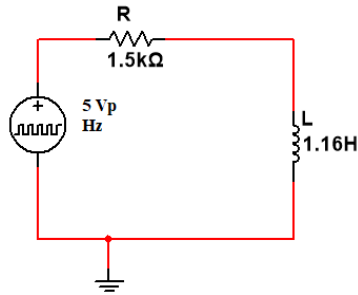


FIGURA 4.7: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN CIRCUITO RL SERIE

2. Calcule la constante de tiempo ( $\tau$ ) y el coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ) del circuito.

$$\tau = 5 * \frac{L}{R} = 5 * \frac{(1,16)}{(1,5 \times 10^3)} = 3,8 \times 10^{-3} \text{ (seg)}$$

$$\xi = \frac{R}{2L} = \frac{(1,5 \times 10^3)}{2(1,16)} = 646,6$$

3. Utilizando la función **TRANSIENT ANALYSIS** del Multisim, grafique el voltaje de salida (Vs) del inductor con una frecuencia de **100 Hz** y complete la tabla 11.

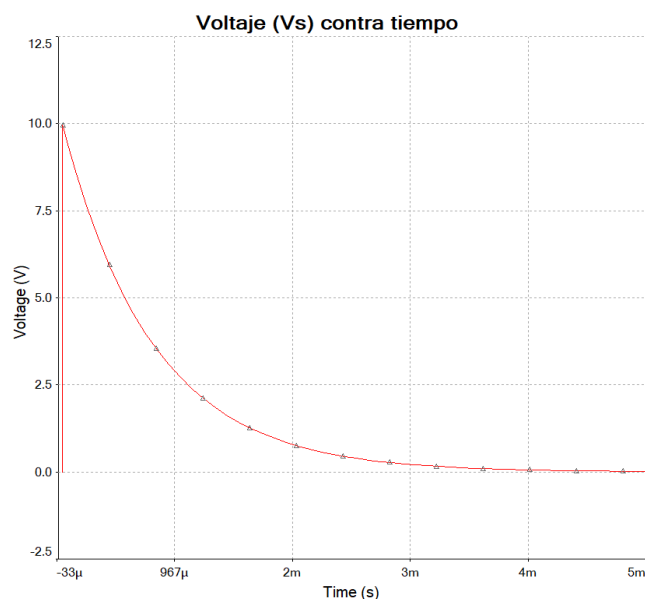


FIGURA 4.8: VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RL SERIE EN MULTISIM

TABLA 11. VALORES SIMULADOS DE VOLTAJE DEL INDUCTOR EN UN CIRCUITO RL SERIE

<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VOLTAJE-Vp (V)</b>
0,25m	7,25
0,50m	5,24
1m	2,74
2m	0,7509
4m	0,0563

4. Ahora con los diferentes valores de frecuencia que se muestran en la tabla 12, mida el voltaje máximo (Vp) del inductor y la constante de tiempo ( $\tau$ ).

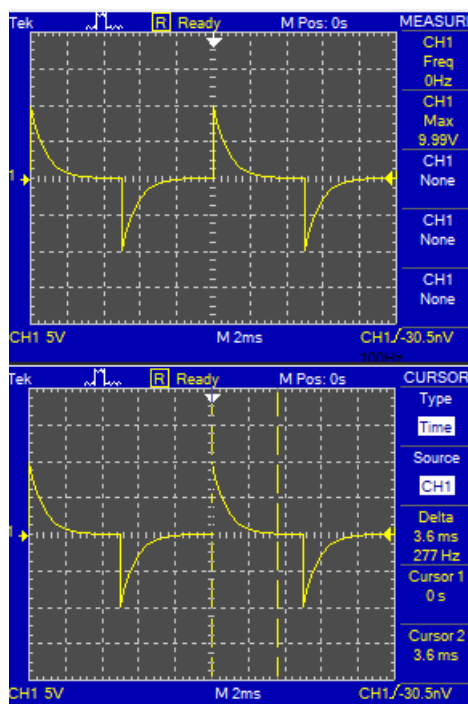
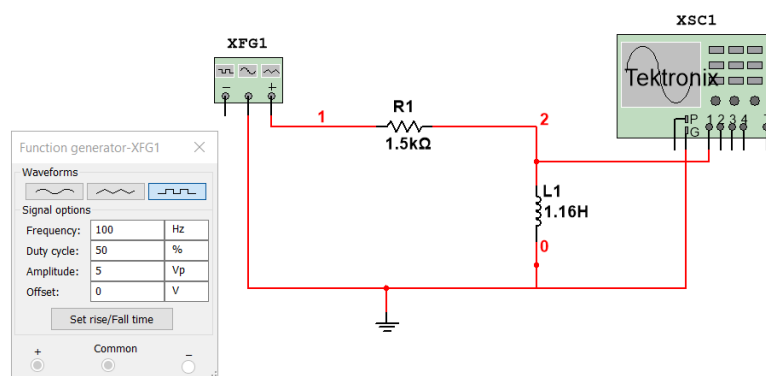


FIGURA 4.9: CONSTANTE DE TIEMPO Y VOLTAJE EN INDUCTOR DE UN CIRCUITO RL SERIE EN MULTISIM

TABLA 12. VALORES SIMULADOS DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RL SERIE

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</b>	<b>VOLTAJE-<math>V_p</math> (V)</b>
100	3,36m	10
150	3,06m	9,87
200	2,06m	9,62
300	1,46m	8,96
500	0,885m	7,85
800	0,500m	6,92
1000	0,460m	6,56
2000	0,265m	5,8

5. Implementar en el módulo de pruebas el circuito RL en serie.

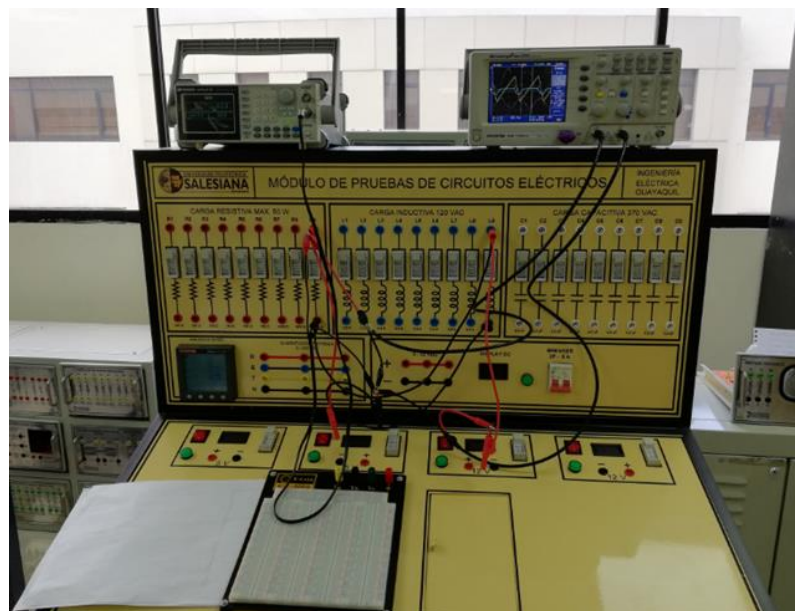


FIGURA 4.10: CIRCUITO RL EN SERIE IMPLEMENTADO EN MODULO DE PRUEBAS.

En la imagen 4.10 se observa un circuito conectando una resistencia  $1500 \Omega$  en serie con un inductor de  $1.6 \text{ mH}$ , los mismos que son conectados mediante cables y energizados con un generador de señales en la entrada. Además, se utiliza un osciloscopio para graficar las ondas de voltaje del circuito.

6. Complete la tabla 13 con los datos de tiempo-voltaje-constante de tiempo obtenidos experimentalmente en el módulo.

TABLA 13. VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RL SERIE

<i>FRECUENCIA</i> (Hz)	<i>CONSTANTE DE TIEMPO</i> (s)	<i>VOLTAJE-Vp</i> (V)
50	2,6m	9,6
100	2,24m	8,6
150	2,3m	9,8
200	2,2m	8,4
500	0,980m	7,8
800	0,620m	7
1000	0,500m	6,8
2000	0,260m	6,2

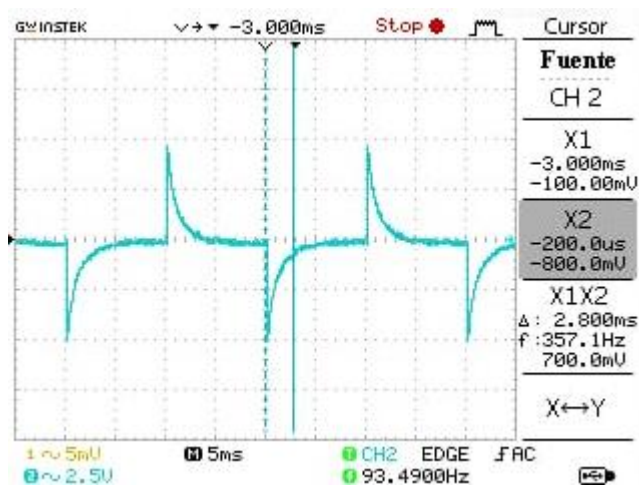


FIGURA 4.11: CONSTANTE DE TIEMPO Y VOLTAJE EN INDUCTOR DE UN CIRCUITO RL SERIE EXPERIMENTAL.

### Resultados.

- La constante de tiempo nos indica el tiempo en que se descarga completamente el inductor. Después de 5 veces la constante de tiempo el voltaje en el inductor alcanza el voltaje mínimo.
- El coeficiente de amortiguamiento nos indica cuán rápido decae la respuesta natural a su estado final.
- A medida que se incrementa la frecuencia, la constante de tiempo y el voltaje máximo se reducen.

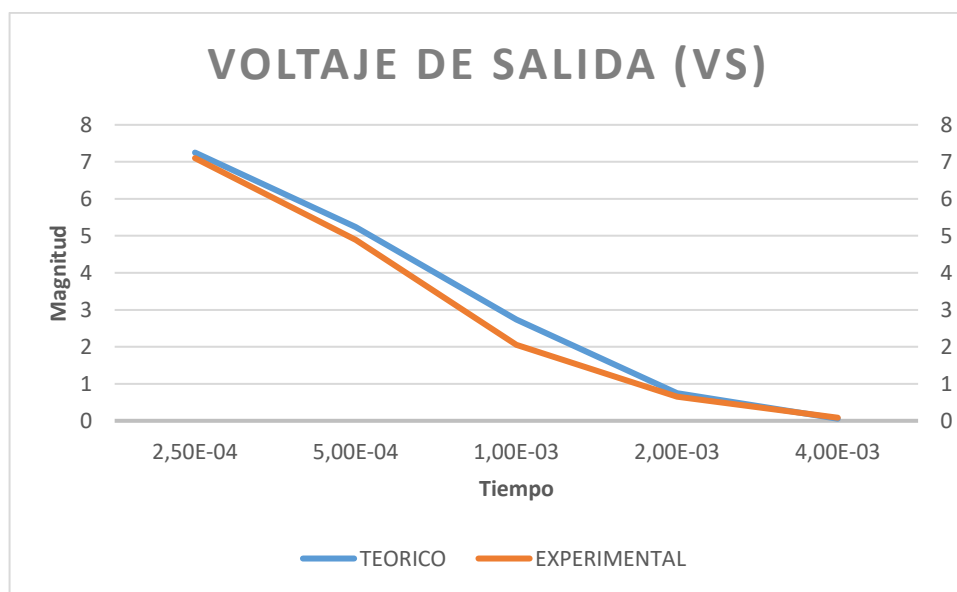


FIGURA 4.12: GRAFICAS TEORICO-EXPERIMENTAL DEL VOLTAJE DE SALIDA EN CIRCUITO RL EN SERIE.

TABLA 14. PORCENTAJES DE ERROR EN CIRCUITO RL SERIE

DATOS TEÓRICOS	DATOS PRÁCTICOS	ERROR
7,25	7,1	2,07%
5,24	4,89	6,68%
2,74	2,05	25,18%
0,7509	0,65	13,44%

## **PRUEBA NO. 3**

### **RESPUESTA TRANSIENTE DE CIRCUITO RC EN PARALELO**

#### **Objetivos.**

##### **Objetivo General:**

- Analizar la respuesta natural de un circuito RC en paralelo.

##### **Objetivos específicos:**

- Determinar la constante de tiempo y coeficiente de amortiguamiento.
- Medir el voltaje en la salida y la constante de tiempo del circuito en diferentes valores de frecuencia-tiempo.
- Representar mediante graficas los resultados.
- Realizar una tabla en la cual se pueda apreciar los resultados obtenidos.

#### **Recursos utilizados.**

- Módulo para prácticas de circuitos eléctricos.
- Osciloscopio.
- Generador de señales con frecuencia variable.
- Resistencia y Capacitor.
- Cables.

#### **Tiempo estimado.**

El tiempo estimado para la realización de esta práctica es de 2 horas.

## Desarrollo.

1. Plantear un circuito RC con valores de  $R = 3 \text{ (k}\Omega\text{)}$  y  $C = 2 \text{ (}\mu\text{F)}$ , el cual será energizado con un generador de señales ( $5\text{Vp}$ -señal cuadrada).

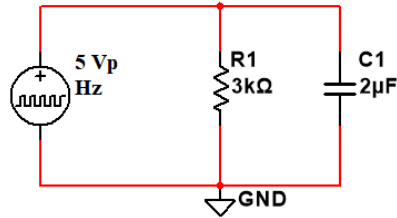


FIGURA 4.13: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN CIRCUITO RC EN PARALELO

2. Calcule la constante de tiempo ( $\tau$ ) y el coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ) del circuito.

$$\tau = 5 * RC = 5 * (3 \times 10^3)(2 \times 10^{-6}) = 30 \times 10^{-3}(\text{seg})$$

$$\xi = \frac{1}{2RC} = \frac{1}{2(3 \times 10^3)(2 \times 10^{-6})} = 83$$

3. Utilizando la función **TRANSIENT ANALYSIS** del Multisim, grafique el voltaje de salida (Vs) del capacitor con una frecuencia de **10 Hz** y complete la tabla 14.

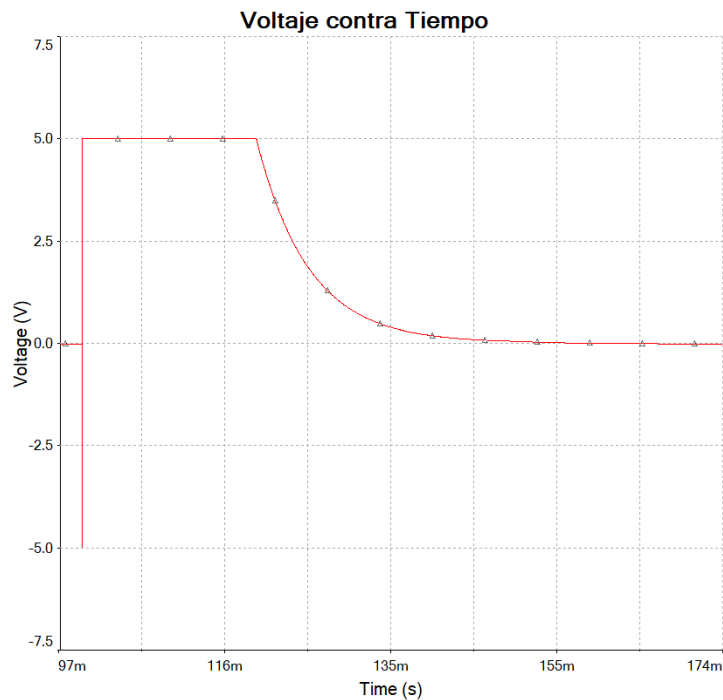


FIGURA 4.14: VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RC EN PARALELO EN MULTISIM



TABLA 15. VALORES SIMULADOS DE VOLTAJE DEL CAPACITOR DE UN CIRCUITO RC EN PARALELO

<b>TIEMPO</b> (s)	<b>VOLTAJE-Vp</b> (V)
1m	4,27
3m	3,1
5m	2,18
10m	0,954
15m	0,427

4. Ahora con los diferentes valores de frecuencia que se muestran en la tabla 15, mida el voltaje máximo ( $V_p$ ) del capacitor y la constante de tiempo ( $\tau$ ).

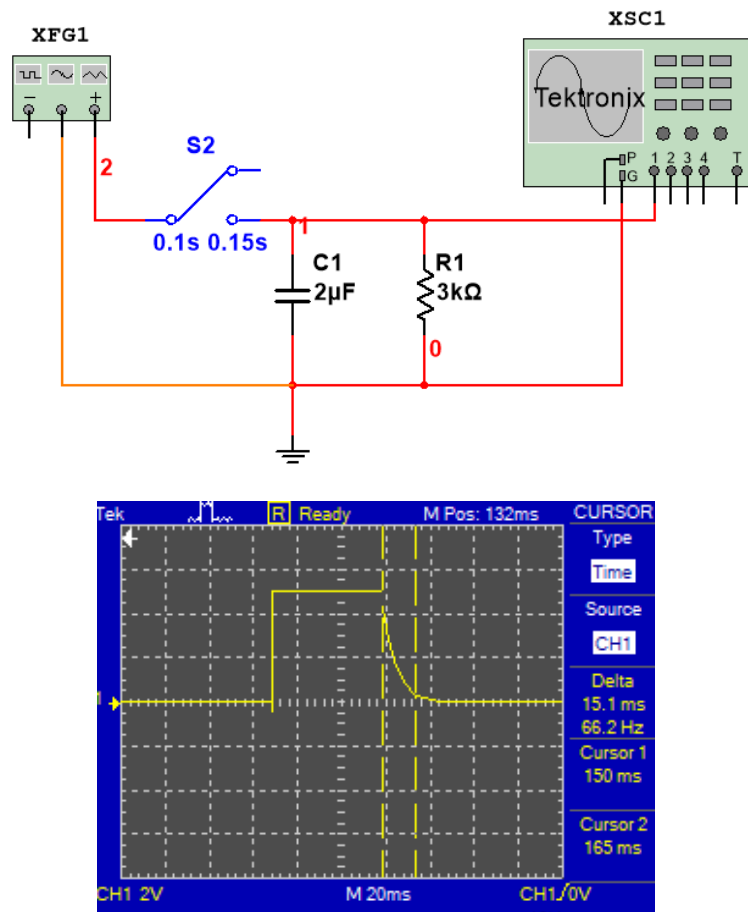


FIGURA 4.15: CONSTANTE DE TIEMPO DE UN CIRCUITO RC EN PARALELO EN MULTISIM

TABLA 16. VALORES SIMULADOS DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RC EN PARALELO

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</b>
10	15,1m
25	15,5m
50	15,5m
100	20m
200	20,1m
500	19,4m
1000	19,1m
2000	15,1m

5. Implementar en el módulo de pruebas el circuito RC en paralelo.

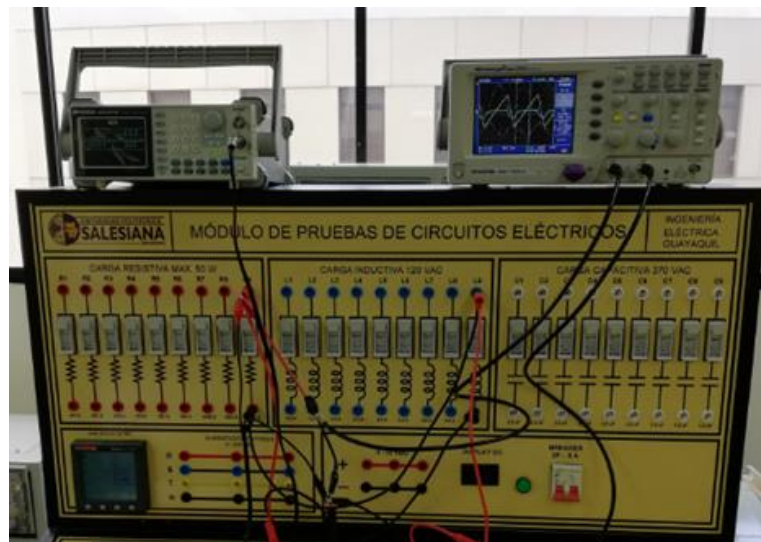


FIGURA 4.16: CIRCUITO RC EN PARALELO IMPLEMENTADO EN MODULO DE PRUEBAS.

En la imagen 4.16 se observa un circuito conectando una resistencia  $1500 \Omega$  en paralelo con un capacitor de  $2 \mu\text{F}$ , los mismos que son conectados mediante cables y energizados con un generador de señales en la entrada. Además, se utiliza un osciloscopio para graficar las ondas de voltaje del circuito.

6. Complete la tabla 16 con los datos de tiempo-voltaje-constante de tiempo obtenidos experimentalmente en el módulo.

TABLA 17. VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RC EN PARALELO

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</b>
10	40m
25	18m
50	9,6m
100	0,600m
200	0,500m
500	0,420m
1000	0,770m

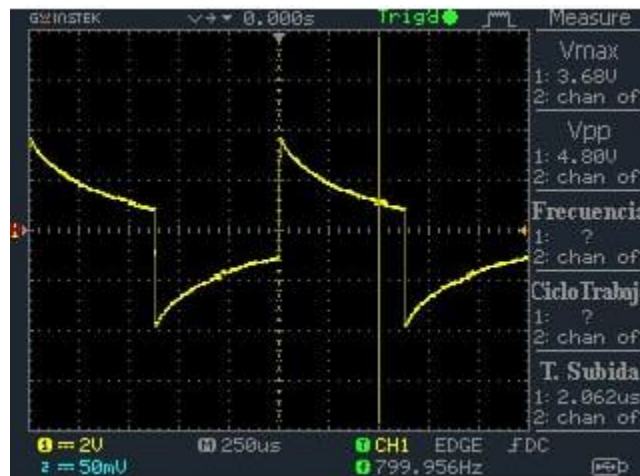


FIGURA 4.17: CONSTANTE DE TIEMPO DE UN CIRCUITO RC EN PARALELO EXPERIMENTAL

**Resultados.**

- La constante de tiempo nos indica el tiempo en que se carga completamente el capacitor. Después de 5 veces la constante de tiempo el voltaje en el condensador alcanza el 99% del voltaje máximo.
- El coeficiente de amortiguamiento nos indica cuán rápido decae la respuesta natural a su estado final.

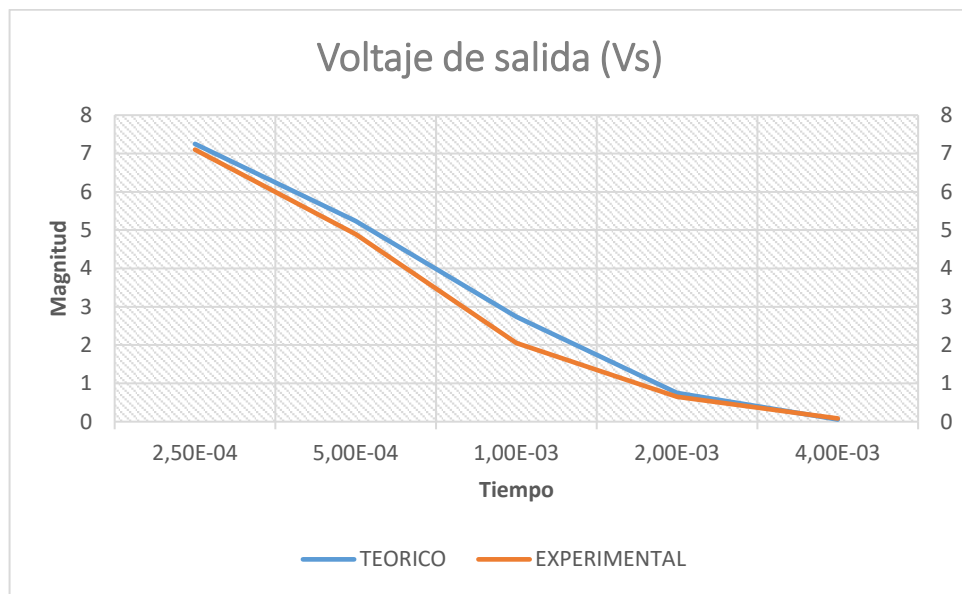


FIGURA 4.18: GRAFICAS TEORICO-EXPERIMENTAL DEL VOLTAJE DE SALIDA EN CIRCUITO RC EN PARALELO.

TABLA 18. PORCENTAJES DE ERROR EN CIRCUITO RC PARALELO

DATOS TEÓRICOS	DATOS PRÁCTICOS	ERROR
4,27	4,16	2,58%
3,1	3,6	16,13%
2,18	2,05	5,96%
0,954	0,86	9,85%

## **PRUEBA NO. 4**

### **RESPUESTA TRANSIENTE DE CIRCUITO RL EN PARALELO**

#### **Objetivos.**

##### **Objetivo General:**

- Analizar la respuesta natural de un circuito RL en paralelo.

##### **Objetivos específicos:**

- Determinar la constante de tiempo y coeficiente de amortiguamiento.
- Medir el voltaje en la salida y la constante de tiempo del circuito en diferentes valores de frecuencia-tiempo.
- Representar mediante graficas los resultados.
- Realizar una tabla en la cual se pueda apreciar los resultados obtenidos.

#### **Recursos utilizados.**

- Módulo para prácticas de circuitos eléctricos.
- Osciloscopio.
- Generador de señales con frecuencia variable.
- Resistencia e Inductor.
- Cables.

#### **Tiempo estimado.**

El tiempo estimado para la realización de esta práctica es de 2 horas.

## Desarrollo.

1. Plantear un circuito RL con valores de  $R = 3 \text{ (k}\Omega\text{)}$  y  $L = 1,16 \text{ (H)}$ , el cual será energizado con un generador de señales ( $5\text{Vp}$ -señal cuadrada).

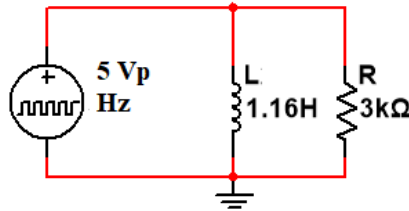


FIGURA 4.19: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN CIRCUITO RL EN PARALELO

2. Calcule la constante de tiempo ( $\tau$ ) y el coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ) del circuito.

$$\tau = 5 * \frac{L}{R} = 5 * \frac{(1,16)}{(3 \times 10^3)} = 1,9 \times 10^{-3} \text{ (seg)}$$

$$\xi = \frac{R}{2L} = \frac{(1,5 \times 10^3)}{2(1,16)} = 1293$$

3. Utilizando la función **TRANSIENT ANALYSIS** del Multisim, grafique el voltaje de salida (Vs) del inductor con una frecuencia de **10 Hz** y complete la tabla 17.

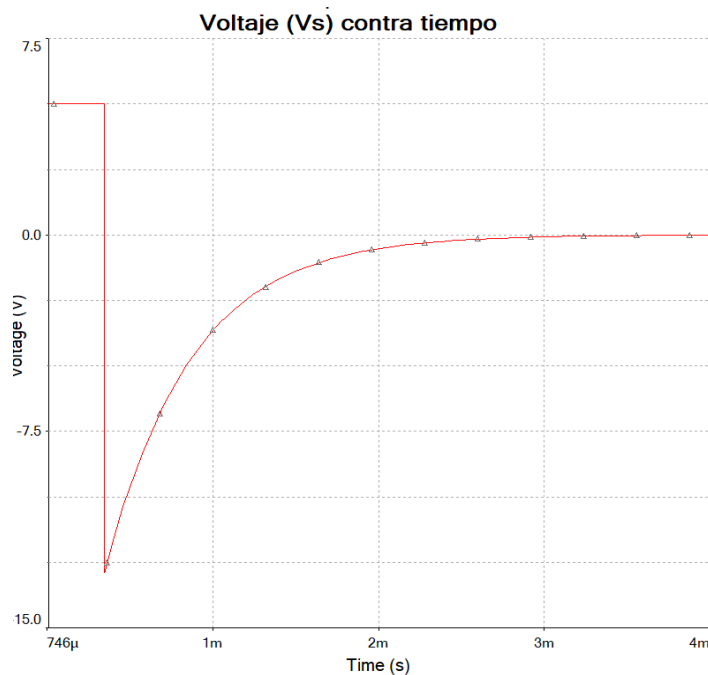


FIGURA 4.20: VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RL EN PARALELO EN MULTISIM

TABLA 19. VALORES SIMULADOS DE VOLTAJE DEL CAPACITOR DE UN CIRCUITO RC EN PARALELO

<b>TIEMPO</b> (s)	<b>VOLTAJE-Vp</b> (V)
0,130m	-9,25
0,320m	-5,65
0,750m	-1,85
1m	-0,962
1,8m	-0,117

4. Ahora con los diferentes valores de frecuencia que se muestran en la tabla 18, mida la constante de tiempo ( $\tau$ ).

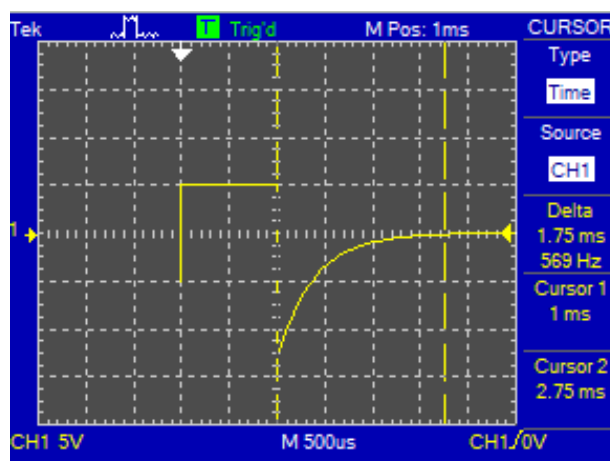
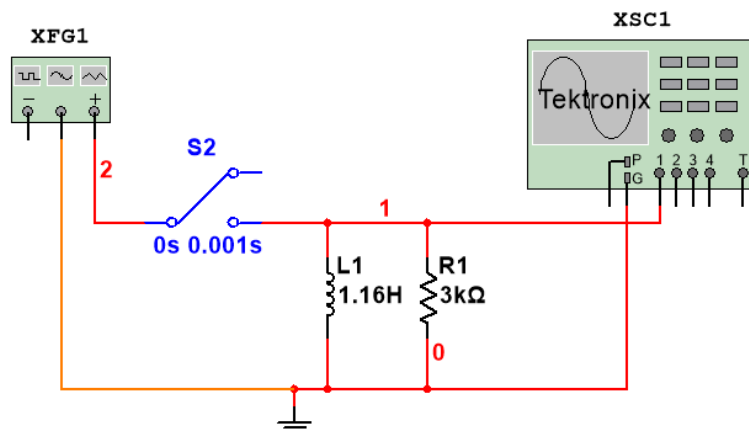


FIGURA 4.21: CONSTANTE DE TIEMPO DE UN CIRCUITO RL EN PARALELO EN MULTISIM

TABLA 20. VALORES SIMULADOS DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RL EN PARALELO

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</b>
10	1,75m
20	1,8m
50	1,7m
100	1,76m
200	1,76

5. Implementar en el módulo de pruebas el circuito RL en paralelo.

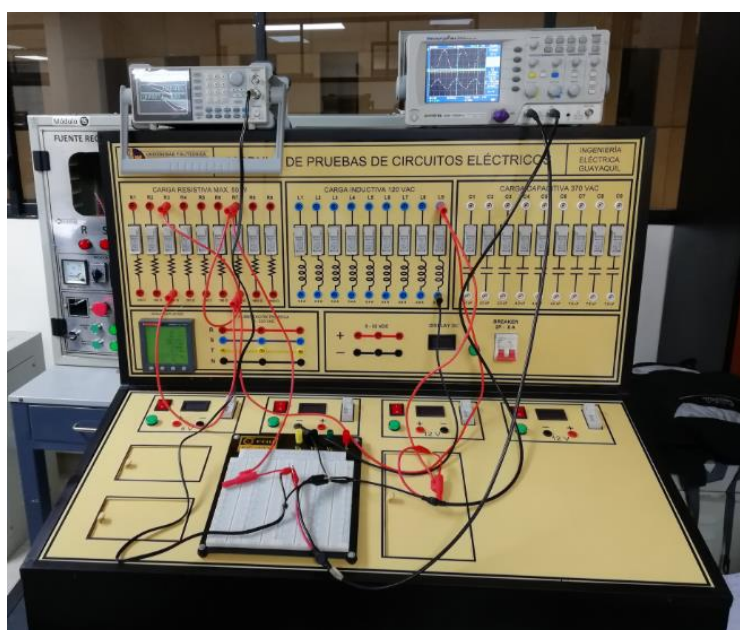


FIGURA 4.22: CIRCUITO RL EN PARALELO IMPLEMENTADO EN MODULO DE PRUEBAS.

En la imagen 4.22 se observa un circuito conectando una resistencia  $1500 \Omega$  en paralelo con un inductor de  $1.6 \text{ mH}$ , los mismos que son conectados mediante cables y energizados con un generador de señales en la entrada. Además, se utiliza un osciloscopio para graficar las ondas de voltaje del circuito.



6. Complete la tabla 19 con los datos de tiempo-voltaje-constante de tiempo obtenidos experimentalmente en el módulo.

TABLA 21. VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONSTANTE DE TIEMPO EN UN CIRCUITO RL EN PARALELO

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>CONSTANTE DE TIEMPO (s)</b>
10	2,4m
20	2,8m
50	2,8m
100	2,8m
200	2,4m

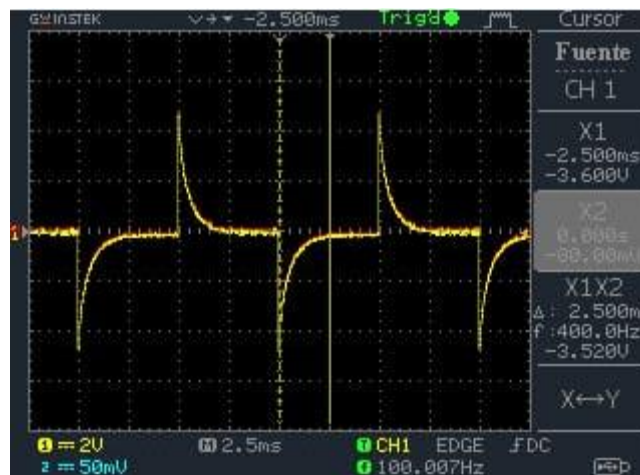


FIGURA 4.23: CONSTANTE DE TIEMPO DE UN CIRCUITO RL EN PARALELO EXPERIMENTAL

**Resultados.**

- La constante de tiempo nos indica el tiempo en que se carga completamente el capacitor. Después de 5 veces la constante de tiempo el voltaje en el inductor alcanza el 99% del voltaje máximo.
- El coeficiente de amortiguamiento nos indica cuán rápido decae la respuesta natural a su estado final.

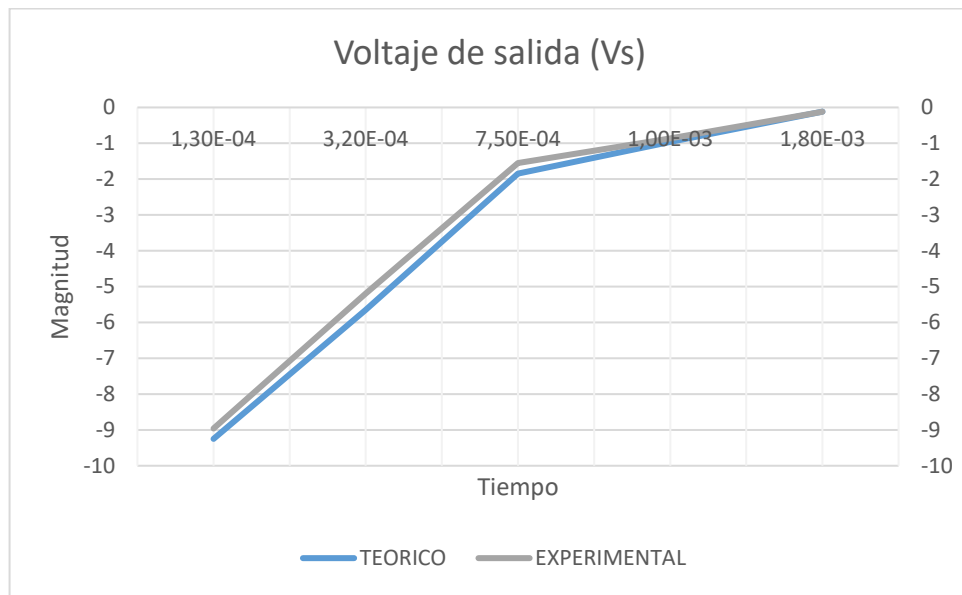


FIGURA 4.24: GRAFICAS TEORICO-EXPERIMENTAL DEL VOLTAJE DE SALIDA EN CIRCUITO RL EN PARALELO.

TABLA 22. PORCENTAJES DE ERROR EN CIRCUITO RL PARALELO

DATOS TEÓRICOS	DATOS PRÁCTICOS	ERROR
-9,25	-8,96	3,14%
-5,65	-5,2	7,96%
-1,85	-1,55	16,22%
-0,962	-0,86	10,60%

## **PRUEBA NO. 5**

### **RESPUESTA TRANSIENTE DE CIRCUITO RLC EN SERIE**

#### **Objetivos.**

##### **Objetivo General:**

- Analizar la respuesta natural de un circuito RLC en serie.

##### **Objetivos específicos:**

- Determinar la constante de tiempo y frecuencia natural del sistema.
- Medir el voltaje en la salida y la constante de tiempo del circuito en diferentes valores de frecuencia-tiempo.
- Representar mediante graficas los resultados.
- Realizar una tabla en la cual se pueda apreciar los resultados obtenidos.

#### **Recursos utilizados.**

- Módulo para prácticas de circuitos eléctricos.
- Osciloscopio.
- Generador de señales con frecuencia variable.
- Resistencia, capacitor e inductor.
- Cables.

#### **Tiempo estimado.**

El tiempo estimado para la realización de esta práctica es de 2 horas.

## Desarrollo.

1. Plantear un circuito RLC con valores de  $R = 300 \text{ } (\Omega)$ ,  $L = 1,16 \text{ (H)}$  y  $C = 2 \text{ } (\mu\text{F})$ , el cual será energizado con un generador de señales ( $5\text{Vp}$ -señal cuadrada).

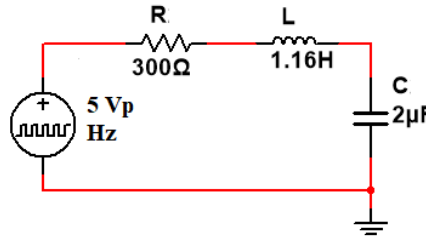


FIGURA 4.25: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE

2. Calcule la frecuencia natural del sistema ( $\omega_o$ ) y el coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ) del circuito.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{(1,16)(2 \times 10^{-6})}} = 656,5 \text{ [Rad/s]}$$

$$\xi = \frac{R}{2L} = \frac{(300)}{2(1,16)} = 129,3$$

3. Utilizando la función **TRANSIENT ANALYSIS** del Multisim, grafique el voltaje de salida (Vs) del capacitor con una frecuencia de **10 Hz** y complete la tabla 20.

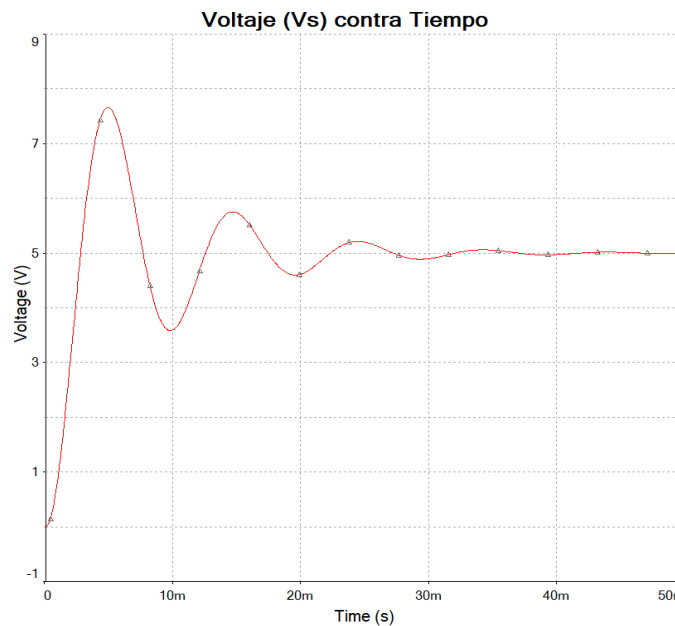


FIGURA 4.26: VOLTAJE EN CAPACITOR DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE EN MULTISIM

TABLA 23. VALORES SIMULADOS DE VOLTAJE DEL CAPACITOR DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE

<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VOLTAJE-Vp (V)</b>
1,5m	1,97
3m	5,55
5m	7,65
10m	3,6
15m	5,7
20m	4,61
25m	5,2

4. Ahora con los diferentes valores de frecuencia que se muestran en la tabla 21, mida el voltaje máximo de salida (Vp) y Tiempo de ascenso (Rise time).

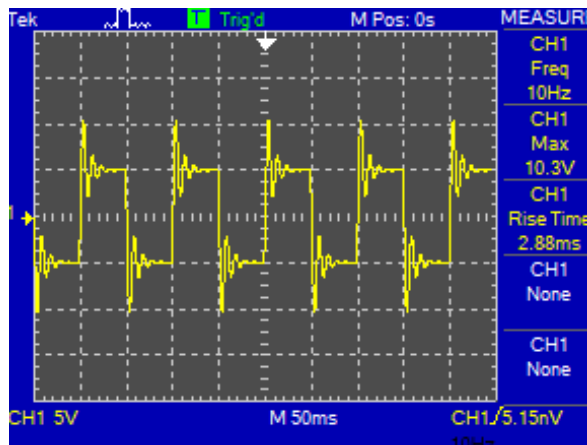
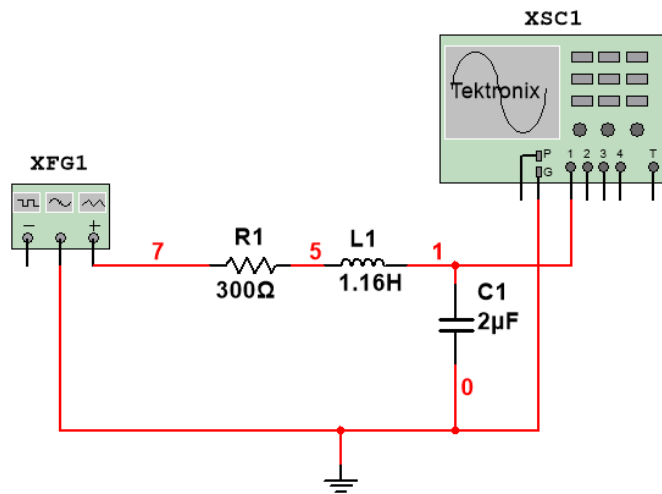


FIGURA 4.27: VOLTAJE PICO Y RISE TIME DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE EN MULTISIM

TABLA 24. VALORES SIMULADOS DE VOLTAJE PICO Y RISE TIME EN UN CIRCUITO RLC EN SERIE

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>VOLTAJE (Vp)</b>	<b>RISE TIME (s)</b>
10	10,3	2,88m
20	10,5	2,88m
50	9,19	2,87m
100	16,2	2,88m
200	2,26	1,42m
400	0,450	0,695m

5. Implementar en el módulo de pruebas el circuito RLC en serie.

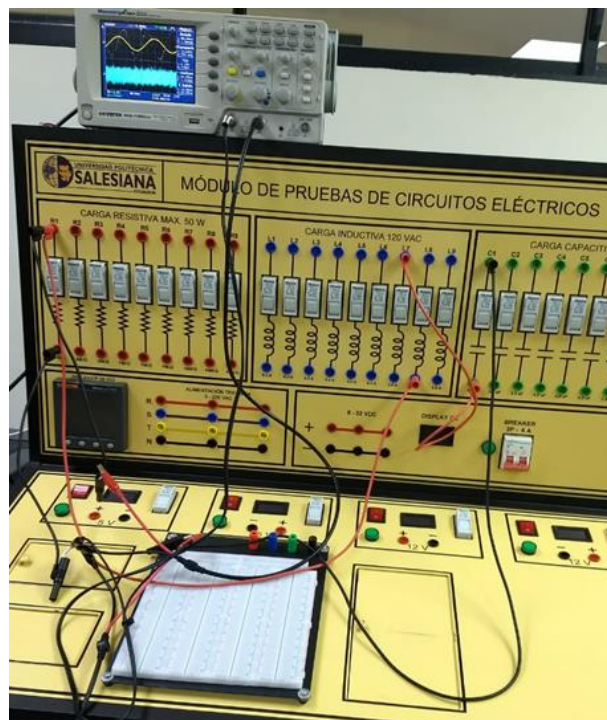


FIGURA 4.28: CIRCUITO RLC EN SERIE IMPLEMENTADO EN MODULO DE PRUEBAS.

En la imagen 4.28 se observa un circuito conectando una resistencia  $1500 \Omega$  en serie con un inductor de  $1.6 \text{ mH}$  y un capacitor de  $2 \mu\text{F}$ , los mismos que son conectados mediante cables y energizados con un generador de señales en la entrada. Además, se utiliza un osciloscopio para graficar las ondas de voltaje del circuito.

6. Complete la tabla 22 con los datos de tiempo-voltaje-frecuencia obtenidos experimentalmente en el módulo.

TABLA 25. VALORES EXPERIMENTALES DE VOLTAJE PICO Y RISE TIME EN UN CIRCUITO RLC EN SERIE

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>VOLTAJE (Vp)</b>	<b>RISE TIME (s)</b>
10	9,3	2,6m
20	8,1	2,6m
50	7,3	2,45m
100	5,4	1,20m
200	0,9	0,26m
400	2,9	0,08m

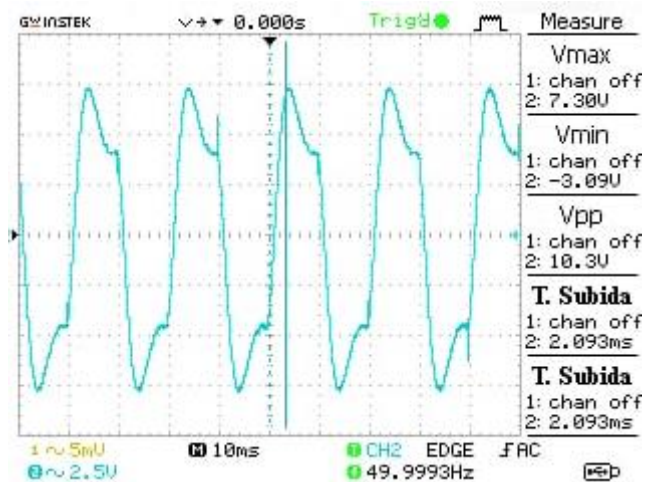


FIGURA 4.29: VOLTAJE PICO Y RISE TIME DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE EXPERIMENTAL

## Resultados.

- La constante de tiempo nos indica el tiempo en que se carga completamente el capacitor. Después de 5 veces la constante de tiempo el voltaje en el inductor alcanza el 99% del voltaje máximo.
- El coeficiente de amortiguamiento nos indica cuán rápido decae la respuesta natural a su estado final.

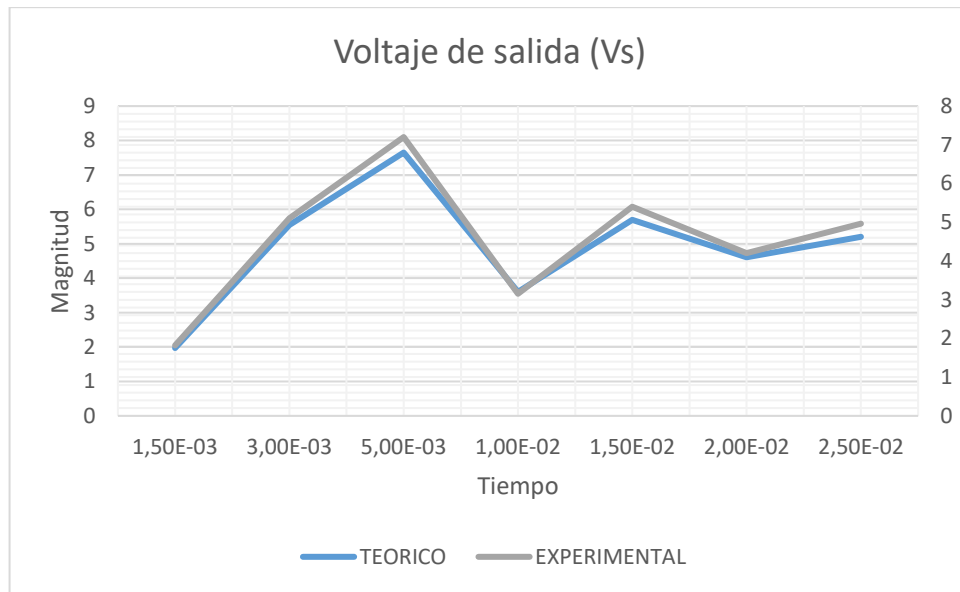


FIGURA 4.30: GRAFICAS TEORICO-EXPERIMENTAL DEL VOLTAJE DE SALIDA EN CIRCUITO RLC EN SERIE.

TABLA 26. PORCENTAJES DE ERROR EN CIRCUITO RLC SERIE

DATOS TEÓRICOS	DATOS PRÁCTICOS	ERROR
1,97	1,82	7,61%
5,55	5,1	8,11%
7,65	7,2	5,88%
3,6	3,15	12,50%



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

- El módulo fue diseñado y construido con los componentes necesarios para poder realizar pruebas, en las cuales, se pueda simular el comportamiento de las ondas de voltajes o señales en las distintas configuraciones de circuitos que se analizaron.
  
- En las pruebas desarrolladas se obtuvo porcentajes de error entre los datos teóricos y prácticos. Algunos de los cuales fueron muy elevados, debido a que los elementos empleados en las pruebas; como el inductor, no tienen el mismo valor nominal utilizado en el simulador.
  
- A medida que se aumenta o disminuye la señal de frecuencia, los valores de la constante de tiempo y del voltaje máximo varían, dependiendo de la configuración del circuito RLC. Debido a que la impedancia del capacitor o inductor está en función de la frecuencia. La constante de tiempo indica el tiempo en que se carga completamente un capacitor. Después de 5 veces la constante de tiempo el voltaje en el condensador o inductor alcanza el 99% del voltaje máximo o mínimo, respectivamente.
  
- Se desarrolló una guía de pruebas para los estudiantes de la carrera, la misma que brinda instrucciones a seguir para comprender el funcionamiento de la respuesta natural de los circuitos planteados. Así mismo poder implementarlos de manera experimental en el módulo y simularlos con el programa Multisim; comparando los resultados y obteniendo porcentajes de error.

## RECOMENDACIONES

- Incentivar la construcción e implementación de módulos didácticos que ayuden como complemento académico a la teoría impartida en clases, y esto permita a los estudiantes una mejor comprensión de la respuesta natural de los circuitos.
- Realizar seguimientos constantes a los componentes o equipos utilizados en los módulos, ya que en caso de sufrir desperfectos en su operación, se pueda efectuar mantenimiento y proceder a una pronta reparación.
- Contar con una gran cantidad de información acerca de las diversas aplicaciones donde está inmerso el análisis de la respuesta natural de los circuitos, ya que esta información podría resultar beneficiosa para la formación académica de próximas generaciones de ingenieros.
- Cumplir con las instrucciones que brinda el docente sobre el uso de los módulos, para que de esta manera se puede realizar las pruebas manera eficiente y se conserven los equipos durante la vida útil de este.

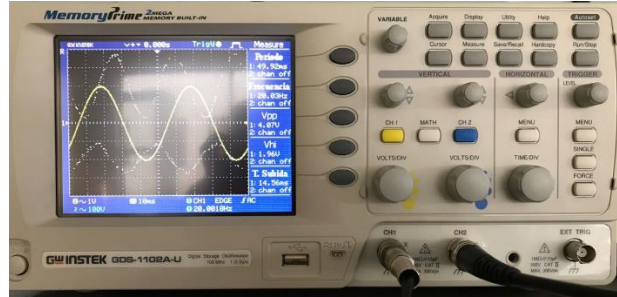
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Alcalde San Miguel, *Electrónica General 2da Edición*, Madrid: Parainfo S.A., 2010.
- [2] A. Senner, *Principios de Electrotécnia*, Barcelona: Reverté S.A., 1994.
- [3] R. J. Fowler, *Electricidad Principios y aplicaciones*, Barcelona: Reverté S.A., 1994.
- [4] A. Rela, *Electricidad y electrónica*, Buenos Aires: Instituto Nacional de Educaciòn Tecnológica, 2010.
- [5] L. Prat Viñas, *Circuitos y dispositivos electrónicos*, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña UPC, 1999.
- [6] A. Carretero, F. Ferrero, J. A. Sánchez - Infantes, P. Sánchez - Infantes y F. J. Valero, *Electricidad y Electrónica.*, Editex, 2009.
- [7] M. Álvarez Pulido, *Transformadores*, Barcelona: Marcombo S.A, 2009.
- [8] R. Boylestad, *Introducción al análisis de circuitos*, México: Pearson Educación, 2011.
- [9] A. Salazar, *Fundamentos de Circuitos*, Bogotá: Ediciones Uniandes, 2009.
- [10] J. Fraile, *Circuitos Eléctricos*, Madrid: Pearson Educación S.A, 2012.
- [11] F. Bianchi, *Regimen transitorio en Circuitos Lineales*, Rosario: UTN, 2010.
- [12] R. Gastón, *Teoría de Circuitos I*, Argentina: UTN, 2018.
- [13] B. Pérez, *Coemnzando con Arduino*, Cadiz: UCA, 2011.

- [14] A. Visioli, *Practical PID Control*, London: Springer, 2006.
- [15] J. F. Moreno, *Teoría de circuitos. Teoría y problemas resueltos*, Editorial Paraninfo, 2011.
- [16] J. W. Nilsson y S. A. Riedel, *Circuitos Eléctricos*, Madrid: Pearson, 2005.
- [17] C. A. Schuler, *Electrónica, principios y aplicaciones*, Sevilla: Reverté, 2002.
- [18] P. B. Zbar, A. P. Malvino y M. A. Miller, *Prácticas de electrónica (7<sup>o</sup> edición)*, Barcelona: Marcombo, S. A..
- [19] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*, Pearson Educación de México, 2009.
- [20] W. H. Jr., J. E. Kemmerly y S. M. Durbin, *Análisis de circuitos en ingeniería*, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

# ANEXOS

## ANEXO A. ESPECIFICACIONES DEL OSCILOSCOPIO



SPECIFICATIONS		AFG-2100 Series			AFG-2000 Series		
MODELS		AFG-2105	AFG-2112	AFG-2125	AFG-2005	AFG-2012	AFG-2025
WAVEFORMS		Sine, Square, Ramp, Noise, Arbitrary Waveform					
ARITRARY FUNCTION	Sample Rate Repetition Rate Waveform Length Amplitude Resolution	20MSa/s 10MHz 4k point 10 bit					
FREQUENCY CHARACTERISTICS	Range Resolution Accuracy Stability Aging Tolerance	Sine/Square Ramp Sine, Square, Ramp	0.1Hz~5MHz   0.1Hz~12MHz   0.1Hz~25MHz		0.1Hz~5MHz   0.1Hz~12MHz   0.1Hz~25MHz		
OUTPUT CHARACTERISTICS	Amplitude Accuracy Resolution Flatness Units Offset Waveform Output Protection(main output) SYNC Output Level Impedance Rise or Fall Time	Range Accuracy Resolution Flatness Units Range Accuracy Impedance Protection(main output)	1mVpp~10Vpp(into 50Ω), 0.1Hz~20MHz; 2mVpp~20Vpp(open-circuit), 0.1Hz~20MHz 1mVpp~5Vpp(into 50Ω), 20MHz~25MHz; 2mVpp~10 pp(open-circuit), 20MHz~25MHz ±2% of setting ±1mVpp;(at 1kHz;>10mVpp) 0.1mV or 3digits ±1%(0.1dB)≤100kHz; ±3%(0.3dB)≤5MHz; ±4%(0.4dB)≤12MHz; ±20%(2dB)≤20MHz; ±5%(0.4dB)≤25MHz; (sine wave relative to 1 kHz) Vpp, Vrms, dBm ±5Vpk ac+dc(into 50Ω); ±10Vpk ac+dc(open circuit); ±2.5Vpk ac+dc(into 50Ω) for 20MHz~25MHz; ±5Vpk ac+dc(open circuit) for 20MHz~25MHz 2% of setting + 5mV+ 0.5% of amplitude 50Ω typical (fixed); >300kΩ (output disabled) Short-circuit protected ; Overload relay auto matically disables main output TTL-compatible into >1kΩ 50Ω nominal ≤25ns				
SINE WAVE CHARACTERISTICS	Harmonic Distortion	-55 dBc DC - 200kHz, Ampl > 0.1Vpp; -50 dBc 200kHz - 1MHz, Ampl > 0.1Vpp -35 dBc 1MHz - 5MHz, Ampl > 0.1Vpp; -30 dBc 5MHz - 25MHz, Ampl > 0.1Vpp					
SQUAREWAVE CHARACTERISTICS	Rise/Fall Time Overshoot Asymmetry Variable Duty Cycle	≤25ns at maximum output (into 50Ωload) < 5% 1% of period+1 ns 1%-99%≤100kHz; 20.0%-80.0%≤5MHz; 40.0%-60.0%≤10MHz; 50%≤25MHz (1% Resolution for full Frequency Range)					
RAMP CHARACTERISTICS	Linearity Variable Symmetry	< 0.1% of peak output 0%-100%(0.1% Resolution)					
AM MODULATION	Carrier Waveforms Modulating Waveforms Modulating Frequency	Sine, Square, Triangle Sine, Square, Triangle 2 mHz~20 kHz (Int); DC~20KHz (Ext)			-		

## ANEXO B. ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE SEÑALES



SPECIFICATIONS		AFG-2100 Series			AFG-2000 Series		
MODELS		AFG-2105	AFG-2112	AFG-2125	AFG-2005	AFG-2012	AFG-2025
WAVEFORMS		Sine, Square, Ramp, Noise, Arbitrary Waveform					
ARBITRARY FUNCTION	Sample Rate Repetition Rate Waveform Length Amplitude Resolution	20MSa/s 10MHz 4k point 10 bit					
FREQUENCY CHARACTERISTICS	Range Sine/Square Ramp Resolution Accuracy	0.1Hz~5MHz	0.1Hz~12MHz	0.1Hz~25MHz	0.1Hz~5MHz	0.1Hz~12MHz	0.1Hz~25MHz
	Stability Aging Tolerance	0.1 Hz ~ 1MHz 0.1 Hz ±20ppm ±1 ppm, per 1 year ≤1mHz					
OUTPUT CHARACTERISTICS	Amplitude Range Accuracy Resolution Flatness Units Offset Range Waveform Output Impedance Protection(main output)	1mVpp~10Vpp(into 50Ω), 0.1Hz~20MHz; 2mVpp~20Vpp(open-circuit), 0.1Hz~20MHz 1mVpp~5Vpp(into 50Ω), 20MHz~25MHz; 2mVpp~10 pp(open-circuit), 20MHz~25MHz ±2% of setting ±1mVpp;(at 1kHz;>10mVpp) 0.1mV or 3digits ±1%(0.1dB)≤100kHz; ±3%(0.3dB)≤5MHz; ±4%(0.4dB)≤12MHz; ±20%(2dB)≤20MHz; ±5%(0.4dB)≤25MHz; (sine wave relative to 1 kHz) Vpp, Vrms, dBm ±5Vpk ac+dc(into 50Ω); ±10Vpk ac+dc(open circuit); ±2.5Vpk ac+dc(into 50Ω) for 20MHz~25MHz; ±5Vpk ac+dc(open circuit) for 20MHz~25MHz 2% of setting + 5mV+ 0.5% of amplitude 50Ω typical (fixed); >300kΩ (output disabled) Short-circuit protected; Overload relay auto matically disables main output					
	SYNC Output Level Impedance Rise or Fall Time	TTL-compatible into >1kΩ 50Ω nominal ≤25ns					
SINE WAVE CHARACTERISTICS	Harmonic Distortion	-55 dBc DC ~ 200kHz, Ampl > 0.1Vpp; -50 dBc 200kHz ~ 1MHz, Ampl > 0.1Vpp -35 dBc 1MHz ~ 5MHz, Ampl > 0.1Vpp; -30 dBc 5MHz ~ 25MHz, Ampl > 0.1Vpp					
SQUAREWAVE CHARACTERISTICS	Rise/Fall Time Overshoot Asymmetry Variable Duty Cycle	≤25ns at maximum output (into 50Ωload) < 5% 1% of period+1 ns 1%~99%≤100kHz; 20.0%~80.0%≤5MHz; 40.0%~60.0%≤10MHz; 50%≤25MHz (1% Resolution for full Frequency Range)					
RAMP CHARACTERISTICS	Linearity Variable Symmetry	< 0.1% of peak output 0%~100%(0.1% Resolution)					
AM MODULATION	Carrier Waveforms Modulating Waveforms Modulating Frequency Depth Source	Sine, Square, Triangle Sine, Square, Triangle 2 mHz~20 kHz (Int); DC~20KHz (Ext) 0%~120.0% Internal/External				-	

## ANEXO C. VALORES NOMINALES DE LOS ELEMENTOS

Para medir la magnitud de los resistores y capacitores, se utilizó un multímetro que generaba automáticamente el valor nominal de los elementos.

RESISTORES	VALOR NOMINAL	VALOR MEDIDO
R1	300 $\Omega$	300,1 $\Omega$
R2	300 $\Omega$	300,5 $\Omega$
R3	300 $\Omega$	303 $\Omega$
R4	750 $\Omega$	750,1 $\Omega$
R5	750 $\Omega$	750,5 $\Omega$
R6	750 $\Omega$	752 $\Omega$
R7	1500 $\Omega$	1500 $\Omega$
R8	1500 $\Omega$	1500 $\Omega$
R9	1500 $\Omega$	1500 $\Omega$

CAPACITORES	VALOR NOMINAL	VALOR MEDIDO
C1	2 $\mu\text{F}$	2 $\mu\text{F}$
C2	2 $\mu\text{F}$	2 $\mu\text{F}$
C3	2 $\mu\text{F}$	2 $\mu\text{F}$
C4	4 $\mu\text{F}$	4 $\mu\text{F}$
C5	4 $\mu\text{F}$	4 $\mu\text{F}$
C6	4 $\mu\text{F}$	4 $\mu\text{F}$
C7	7,5 $\mu\text{F}$	7,5 $\mu\text{F}$
C8	7,5 $\mu\text{F}$	7,5 $\mu\text{F}$
C9	7,5 $\mu\text{F}$	7,5 $\mu\text{F}$

Para medir la magnitud de los inductores, se utilizó una fuente de voltaje la cual se regulaba en un solo valor (2Vp), para determinar la corriente y mediante el uso de la fórmula de la impedancia (Z) poder hallar el valor de los inductores.

<b>INDUCTORES</b>	<b>VALOR NOMINAL</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>
L1	1,6 mH	1,16 H
L2	1,6 mH	1,17 H
L3	1,6 mH	1,15 H
L4	1,8 mH	1,44 H
L5	1,8 mH	1,43 H
L6	1,8 mH	1,40 H
L7	3,2 mH	3,46 H
L8	3,2 mH	3,4 H
L9	3,2 mH	3,42 H