



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”**

Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingenieros Eléctricos en Sistemas
Eléctricos de Potencia

AUTORES:

Lagla Chuquer Jonathan Raúl

Mazón Bonilla Ana Magali

TUTOR:

Ing. MSc. Lema Guamán Edwin

LATACUNGA – ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **LAGLA CHUQUER JONATHAN RAUL** y **MAZÓN BONILLA ANA MAGALI**, declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica “**ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO**”, siendo el **ING. EDWIN LEMA MSc.** tutor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica De Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales

Además, certifico que las ideas conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Lagla Chuquer Jonathan Raúl

C.I.: 050325007-8



Mazón Bonilla Ana Magali

C.I.: 220014115-4



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre él, "ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO", de Lagla Chuquer Jonathan Raúl y Mazón Bonilla Ana Magali, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 22 de Julio del 2019

El Tutor

Firma



Ing. Edwin Marcelo Lema Guamán MSc.

C.I. 0302241351



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el o los postulantes Lagla Chuquer Jonathan Raúl y Mazón Bonilla Ana Magali con el título de Proyecto de titulación, "ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO" han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 22 de Julio del 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. Wilian Guamán Cuenca MSc.
CC: 060357895-6

Lector 2

Nombre: Ing. Gabriel Pesantez MSc.
CC: 03189388-9

Lector 3

Nombre: PhD. Iliana González Paláu
CC: 1757070659


AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**, certifico que mediante el proyecto de la propuesta tecnológica **“ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”** de los estudiantes del décimo ciclo **JONATHAN RAUL LAGLA CHUQUER** y **ANA MAGALI MAZÓN BONILLA** con CI. **050325007-8** y **220014115-4** realizan la entrega del **MÓDULO DIDÁCTICO TRANSITORIO MDT-01**, para el laboratorio de la carrera, trabajo que se implementó y se dejó en completo funcionamiento.

Es todo cuanto puedo cuantificar pudiendo hacer uso del mismo dentro de las leyes de la república y normas internacionales.

Latacunga, julio del 2019

Atentamente,



PhD. Secundino Marrero Ramirez
CI. 1757107907

Director de la carrera de Ingeniería Eléctrica



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por su bondad y misericordia, guiarme en cada paso de mi vida, siendo la fuerza generadora de esperanza y sueños para alcanzar mis objetivos, y a la vez la puerta de salida ante los problemas.

A mis padres, que con su trabajo y amor infinito fueron el sustento y apoyo en todo momento, tanto en la formación de mi vida personal y profesional, siendo el impulso de superación e inspiración para no desistir en mi caminar.

A mi hermano, por ser mi ejemplo de responsabilidad, superación y por todos los momentos maravillosos que hemos vivido junto a nuestros padres.

A mi compañero de tesis, quien estuvo a mi lado desde el inicio de nuestra carrera universitaria, siendo mi pilar incondicional como novio, amigo, compañero y juntos alcanzar la meta, permitiéndome conocer y rodear de personas maravillosas de su familia.

Anita Magali

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre y a mi madre por ser el pilar fundamental dentro de este camino que hace cinco años me propuse emprender, con su constante apoyo incondicional.

Agradezco a mi novia Magali Mazón por ser una compañera, cuyo apoyo día tras día fuimos construyendo y forjándonos como profesionales para ser un orgullo para nuestras familias.

Agradezco a Dios por haber puesto a tan valiosas personas que acompañan mi camino por darme la vida y la sabiduría para poder culminar mi carrera y ser un ejemplo y orgullo para mi familia.

Jonathan

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi madre que con su abnegación y amor en el hogar ha sabido siempre comprender mi esfuerzo de trabajo y estudio, a la vez, a mi padre por su siempre sentido de responsabilidad y honradez, cualidades que me han inculcado para que siempre y en cualquier circunstancia sepa luchar día a día por la obtención de mis metas, e incondicionalmente me brindaron sus sabios consejos por ello son mi más grande orgullo y privilegio.

A mi querido hermano quien estuvo pendiente de mis avances y animarme a seguir luchando por mis sueños. Y a mi novio Jonathan, por los gratos momentos que día a día hemos compartido y ser la muestra de que todo se puede lograr con esfuerzo y sacrificio.

Anita Magali

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis motores dentro de esta travesía que para mí no fue tan fácil, para mi madre y mi padre que durante la carrera siempre dándome su apoyo incondicional y sus consejos para ellos mi gratitud infinita.

Le dedico a Magali que durante toda la carrera fue un gran apoyo y pilar fundamental que con su constancia y dedicación logramos cumplir una meta trazada, gracias.

También dedico a todos mis hermanos que con sus ejemplos y palabras, me dieron ánimo para no decaer durante la carrera y poder salir en adelante a ellos y a muchas personas que también estuvieron involucrados va dedicado este trabajo.

Jonathan

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	3
2.1. Título de la propuesta tecnológica	3
2.2. Tipo de propuesta alcance	3
2.3. Área del conocimiento	3
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica.....	3
2.5. Objeto de estudio y campo de acción.....	4
2.5.1. Objeto de estudio.....	4
2.5.2. Campo de acción.....	4
2.6. Situación problémica y problema	4
2.6.1. Situación problémica.....	4
2.6.2. Problema.....	4
2.7. Hipótesis	4
2.8. Objetivos.....	5
2.8.1. Objetivo general.....	5
2.8.2. Objetivos específicos.....	5
2.9. Descripción de las actividades propuestas con relación a los objetivos establecidos..	6
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. Circuitos de primer orden.....	7
3.1.1. Circuito RC sin fuente	7
3.1.2. Circuito RL sin fuente	8
3.2. Circuitos de segundo orden	10
3.2.1. Circuito RLC en serie sin fuente.....	10
3.2.2. Circuito RLC en paralelo sin fuente.....	13
3.2.3. Respuesta escalón de un circuito RLC en serie	15

3.2.4. Respuestas escalón de un circuito RLC en paralelo.....	16
3.3. Circuitos en corriente Alterna.....	17
4. METODOLOGÍA	24
4.1. Métodos generales.....	24
4.1.1. Experimental.....	24
4.1.2. Medición.....	24
4.1.3. Exploratorio	24
4.1.4. Creación.....	24
4.2. Técnicas.....	25
4.2.1. Lectura Comprensiva	25
4.2.2. Modelamiento	25
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	26
5.1. Diseño del MDT-01	26
5.2. Normas para la construcción del MDT-01	28
5.2.1. Medidas de protección eléctrica y mecánica	28
5.3. Conexiones eléctricas de los elementos del MDT-01	30
5.4. Diagramas de flujo del software de cada una de las pantallas.....	34
5.5. Diseño de hardware y software de los circuitos RC, RL y RLC.	34
5.5.1. Métodos generales.....	34
5.5.2. Diseño del software del circuito RC	36
5.5.3. Diseño del hardware del circuito RL.....	37
5.5.4. Diseño del software del circuito RL.....	38
5.5.5. Diseño de hardware del circuito RLC serie y paralelo.....	39
5.5.6. Diseño de software del circuito RLC serie y paralelo.....	40
5.5.7. Implementación del software en Matlab	43
5.6. Análisis electrónico.....	47
5.6.1. Requerimientos del sistema de control del MDT-01	47

5.6.2. Instalación del software.....	47
5.6.3. Requerimientos del sistema de adquisición de datos del MDT-01.....	49
5.6.4. Requerimientos del sistema de visualización del MDT-01	50
5.7. Análisis estructural y mecánico	51
5.7.1. Uso final	51
5.7.2. Resistencia a la corrosión	51
5.7.3. Propiedades mecánicas.....	51
5.7.4. Características finales del producto	51
5.7.5. Costo total.....	52
5.7.6. Disponibilidad.....	52
5.7.7. Uso y mantenimiento.....	52
5.7.8. Análisis y selección del material.....	52
5.8. Elaboración del Módulo y soporte metálico.....	52
5.9. Armado Mecánico del MDT-01 y soporte metálico	58
5.10. Normas de utilización del MDT-01	60
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	61
6.1. Presupuesto.....	61
6.1.1. Listado de materiales eléctricos y electrónicos.....	61
6.1.2. Listado de materiales mecánicos, metálicos, entre otros.....	62
6.1.3. Costo total del proyecto.....	62
6.2. Análisis de impactos	63
6.2.1. Impactos técnicos.....	63
6.2.2. Impactos sociales	63
6.2.3. Impactos ambientales	63
6.2.4. Impactos económicos	64
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
7.1. Conclusiones.....	66

7.2. Recomendaciones.....	66
8. BIBLIOGRAFÍA:	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Circuito RC sin fuente	8
Figura 2. La Respuesta en voltaje del circuito RC.	8
Figura 3. Circuito RL sin fuente	9
Figura 4. Respuesta de corriente del circuito RL	9
Figura 5. Circuito RLC en serie sin fuente	10
Figura 6. Respuesta sobre amortiguada	12
Figura 7. Respuesta críticamente amortiguada	12
Figura 8. Respuesta subamortiguada	13
Figura 9. Circuito RLC en paralelo sin fuente	13
Figura 10. Ejemplo de respuestas de los tres grados de amortiguamiento	15
Figura 11. Voltaje escalón aplicada a un circuito RLC en serie	15
Figura 12. Ejemplo de respuestas de los tres grados de amortiguamiento	16
Figura 13. Circuito RLC en paralelo con la corriente aplicada	16
Figura 14. Circuito de corriente alterna	17
Figura 15. Representación fasorial equivalente.....	18
Figura 16. Triángulo de voltajes Circuito RL	18
Figura 17. Triángulo de potencias circuito RL.....	18
Figura 18. Circuito RC en alterna.....	19
Figura 19. Circuito RLC en paralelo.....	19
Figura 20. Comparación de resonancias	21
Figura 21. Impedancia en un circuito de resonancia en paralelo	21
Figura 22. Demostración de somatomatría	27
Figura 23. Ejemplo de descarga eléctrica a través del cuerpo humano	28
Figura 24. Cable de multiconductor de cobre aislado	29
Figura 25. Cable y enchufe con neutro y tierra	29

Figura 26. Circuito resistivo serie.....	31
Figura 27. Conexiones internas del circuito RLC serie y paralelo del MDT-01.....	33
Figura 28. Esquema de conexiones internas del circuito RC y RL	33
Figura 29. Diseño del circuito RC	34
Figura 30. Simulación del circuito RC	35
Figura 31. Interfaz HMI del circuito RC.....	36
Figura 32. Modelo matemático del circuito RC	36
Figura 33. Diseño del circuito RL.	37
Figura 34. Simulación del circuito RL.....	37
Figura 35. Interfaz HMI del circuito RL.....	38
Figura 36. Modelo matemático del circuito RL	38
Figura 37. Diseño del circuito RLC.....	39
Figura 38. Diagrama electrónico del circuito RLC simulado en proteus.....	39
Figura 39. Diagrama electrónico del circuito RLC serie simulado en proteus.	40
Figura 40. Interfaz HMI del módulo transitorio.....	40
Figura 41. Modelo matemático del circuito RLC serie.....	41
Figura 42. Modelo matemático del circuito RLC paralelo	42
Figura 43. Interfaz HMI del circuito RC/RL.....	44
Figura 44. Interfaz HMI del circuito RLC	45
Figura 45. Pantalla de simulación de diagramas fasoriales.....	46
Figura 46. Diseño del Módulo didáctico en AutoCAD.	54
Figura 47. Parte superior del MDT-01.....	55
Figura 48. Modelo del circuito RLC serie – paralelo del MDT-01	56
Figura 49. Modelo de los circuitos RL – RC del MDT-01	56
Figura 50. Tapa posterior del MDT-01	57
Figura 51. Tapa Lateral izquierda y derecha del MDT-01.....	57
Figura 52. Tapa superior e inferior del MDT-01	58
Figura 53. Soporte metálico para el MDT-01	58
Figura 54. Estructura laterales y superiores del MDT-01	59
Figura 55. Diseño frontal del tablero y sus perforaciones del MDT-01	59
Figura 56. Vista explosionada obtenida en AutoCAD y armado del MDT-01	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las actividades con relación a los objetivos planteados.....	6
Tabla 2. Demostración de somatomatría.....	27
Tabla 3. Características de los voltajes de los divisores de voltaje.	32
Tabla 4. Requerimientos del sistema para la instalación de Matlab [26].	48
Tabla 5. Pines de verificación de conexión en los circuitos RLC, RL y RC	49
Tabla 6. Entradas de medición en los circuitos RLC, RL y RC.	50
Tabla 7. Características dimensionales del MDT-01	53
Tabla 8. Rango de valores de Condensador, Resistencia e Inductancia.	55
Tabla 9. Características del elemento 2 circuitos RLC serie y paralelo	56
Tabla 10. Características del elemento 3 circuitos RC, RL	56
Tabla 11. Listado de materiales eléctricos y electrónicos.....	61
Tabla 12. Listado de materiales mecánicos, metálico entre otros	62
Tabla 13. Costo total del proyecto.....	62
Tabla 14. Cotización por Lab volt	64
Tabla 15. Costo para la réplica del MDT-01.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Construcción del MDT-01	70
Anexo 2. Pruebas de funcionamiento del MDT-01	71
Anexo 3. Diagrama de flujo de las interfaz gráficas.....	92
Anexo 4. Diagrama de conexiones eléctricas.....	93
Anexo 5. Diseño del MDT-01	94
Anexo 6. Vista frontal y lateral izquierda del MDT-01	95
Anexo 7. Vista superior del MDT-01	96
Anexo 8. Cortes para estructurar el MDT-01.....	97
Anexo 9. Diseño de la mesa metálica	98

ÍNDICE DE FIGURAS DE ANEXOS

Figura II 1. Circuito RC en DC	71
Figura II 2. Respuestas gráficas del circuito RC	72
Figura II 3. Circuito RC en AC	73
Figura II 4. Respuestas gráficas del circuito RC en AC	74
Figura II 5. Circuito RL en DC.....	75
Figura II 6. Respuestas gráficas del circuito RL en AC.....	76
Figura II 7. Circuito RL en AC.....	76
Figura II 8. Respuestas gráficas del circuito RL en AC.....	78
Figura II 9. Circuito RLC en serie	79
Figura II 10. Respuestas gráficas del caso subamortiguado.....	80
Figura II 11. Circuito RLC en serie	81
Figura II 12. Respuestas gráficas del caso sobreamortiguado.....	83
Figura II 13. Circuito RLC en serie	83
Figura II 14. Respuestas gráficas del caso críticamente amortiguado.....	85
Figura II 15. Circuito RLC en serie en AC	85
Figura II 16. Respuestas gráficas de un circuito RLC en serie	86
Figura II 17. Circuito RLC en serie en AC	88
Figura II 18. Circuito fasorial en serie	89
Figura II 19. Circuito resonancia en serie	90

RESUMEN

TITULO: “ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”

Autores: Lagla Chuquer Jonathan Raúl, Mazón Bonilla Ana Magali

El presente proyecto está enfocado en el diseño y la construcción de un módulo didáctico para el estudio del régimen transitorio de los circuitos eléctricos RLC en configuración serie o paralelo, alimentados por una fuente variable de corriente continua y alterna.

El sistema esta compuesto por software, hardware. Los dispositivos que simulan los valores de inductancia, capacitancia, resistencia, fuente de corriente alterna y continua son selectores resistivos de precisión, los mismos que se conectan hacia una tarjeta arduino para la adquisición de datos y envío hacia la PC, la recepción y el procesamiento de los datos enviados por el usuario se realizan en primera instancia mediante el software IDE Arduino, para la interpolación de los valores ingresados y luego se interconecta hacia Matlab para realizar los cálculos del sistema, gráficas, entre otros parámetros y ser mostrados mediante pantalla para la interpretación de resultados.

El módulo está adaptado para realizar varias configuraciones de conexión como RL, RC, RLC, en serie o en paralelo según sea la necesidad. Cabe mencionar que el sistema está configurado para detectar errores, es decir, si detecta que está conectado de forma errónea se muestra en pantalla que existe un error en la conexión. El análisis de los transitorios dependerá de la configuración desarrollada por el usuario, donde el procesador realiza los cálculos correspondientes y enviara la disposición de cálculo dentro del mismo sistema, para ser evaluados, obteniendo valores de corrientes o voltajes, en sistemas RL, RC o RLC y en este último representar si el sistema es amortiguado, subamortiguado o críticamente amortiguado mediante gráficas. Además, permite identificar el desplazamiento en fase cuando se conecta un inductor o un capacitor en corriente alterna.

Palabras Claves: Transitorios, Análisis transitorio, Inductor, Resistencia, Capacitor, Circuito en Resonancia

THEME: “STUDY OF THE TRANSITIONAL REGIME OF ELECTRICAL CIRCUITS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC MODULE”

Authors: Lagla Chuquer Jonathan Raúl, Mazón Bonilla Ana Magali

ABSTRACT

This project aimed to design and elaborate a didactic module for the study of the transient regime of RLC electrical circuits in series or parallel configuration, powered by a variable source of direct and alternating current.

The system is composed of software and hardware. The devices that simulate the values of inductance, capacitance, resistance, alternating current and continuous source are precision resistive selectors, which are connected to an arduino card for data acquisition and sent to the PC, reception and processing of the data sent by the user are made in the first instance by means of the Arduino IDE software, for the interpolation of the entered values and then interconnected to Matlab to perform the calculations system, graphs, among other parameters and be shown by means of a screen for the interpretation of results.

The module is adapted to perform several connection settings such as RL, RC, RLC, in series or in parallel as is required. It is worth mentioning that the system is configured to detect errors, that is, if it detects that it is connected incorrectly, it shows on the screen that there is an error in the connection. The analysis of the transients will depend on the configuration developed by the user, where the processor performs the corresponding calculations and will send the calculation arrangement within the same system, to be evaluated, obtaining values of currents or voltages, in RL, RC or RLC systems and in the latter represent whether the system is buffered, under-dampened or critically dampened by means of graphics. Furthermore, it allows identifying the displacement in phase when an inductor or capacitor is connected in alternating current.

Keywords: Transients, Transient analysis, Inductor, Resistance, Capacitor, Resonance Circuit.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas, **Lagla Chuquer Jonathan Raúl, Mazón Bonilla Ana Magali** cuyo título versa **“ESTUDIO DEL RÉGIMEN TRANSITORIO DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 23 de julio de 2019

Atentamente,

Lic. Mayra Noroña Heredia Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501955470

1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Jonathan Raúl Lagla Chuquer

Ana Magali Mazón Bonilla

Tema aprobado:

Estudio del régimen transitorio de los circuitos eléctricos mediante la implementación de un módulo didáctico.

Carrera:

Ingeniería Eléctrica

Equipo de trabajo:

Tutor

Nombres:	Edwin Marcelo
Apellidos:	Lema Guamán
Nacionalidad:	Ecuatoriano
Lugar y fecha de nacimiento	06/04/1988
Número de cédula	0302241351
Dirección:	Latacunga,
E-mail:	edwin.lema@utc.edu.ec
Teléfono Celular:	0959046477

Estudiante 1:

Nombres:	Ana Magali
Apellidos:	Mazón Bonilla
Lugar y fecha de nacimiento:	Lago Agrio 01 de Noviembre de 1990
Número de cédula:	220014115-4
Dirección:	Latacunga, Barrio San Felipe
Teléfono:	0968844995

E-mail: anamag_sol1@hotmail.com
Estudios realizados
Primaria: Escuela “José María Urbina”, Sucumbíos
Secundaria: Colegio “Técnico 12 de Febrero”, Orellana
Superior: Instituto Tecnológico Superior Oriente
“ITSO”

Estudiante 2:

Nombres: Jonathan Raúl
Apellidos: Lagla Chuquer
Lugar y fecha de nacimiento: Latacunga 28 de Octubre de 1992
Número de cédula: 050325007-8
Dirección: Latacunga, Barrio Chan
Teléfono: 0987396945
E-mail: bore_lagla@hotmail.com
Estudios realizados
Primaria: Escuela “Isidro Ayora”
Secundaria: Colegio técnico Industrial Dr. “Trajano Naranjo I.”

Lugar de ejecución:

En la región Sierra, provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, parroquia Eloy Alfaro, en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tiempo de duración del proyecto:

Marzo 2019 – Julio 2019.

Fecha de entrega:

29 de julio del 2019

Línea(s) y sublíneas de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Control y optimización en el uso de la energía del sector industrial, comercial y residencial.

Tipo de propuesta tecnológica:

Se pretende desarrollar una propuesta tecnológica, que permita estudiar el régimen transitorio de los circuitos RLC en corriente directa y alterna; permitiendo conocer las ondas de oscilación en sus diferentes estados; esto a través de la implementación de un módulo didáctico

Siendo la tecnología la característica principal, mediante el uso de dos fuentes variables de voltaje DC y AC y cada uno de los elementos que formaran parte del módulo a implementar, elementos resistivos, inductivos y capacitivos.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

Estudio del régimen transitorio de los circuitos eléctricos mediante la implementación de un módulo didáctico.

2.2. Tipo de propuesta alcance

Interdisciplinar, dentro del presente proyecto intervienen varias asignaturas que van de la mano en cuanto a su análisis; tales como circuitos I, II y electrónica.

2.3. Área del conocimiento

07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0713 Electricidad y Energía
--	--	--------------------------------

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica

La presente propuesta tecnológica tiene como finalidad, analizar el régimen transitorio de los circuitos eléctricos RLC serie y paralelo; mediante el diseño, construcción e implementación de un módulo didáctico, los mismos que estarán estructurado por tres cargas, configuradas tanto en serie como en paralelo las cuales son: resistivas, inductivas y capacitivas, excitadas por una fuente de tensión directa y alterna, y mediante una simulación se podrá obtener una respuesta grafica ante las variables de entrada y salida con relación al voltaje y corriente y su pertinente comportamiento en el tiempo.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

Estudio del régimen transitorio de los circuitos eléctricos mediante el módulo didáctico

2.5.2. Campo de acción

Análisis de procesos transitorios que presentan los circuitos eléctricos.

2.6. Situación problémica y problema

2.6.1. Situación problémica

Un proceso transitorio en un sistema eléctrico se puede originar como la consecuencia de un cambio de las situaciones de operación o en la configuración del sistema; por ello su estudio es importante debido a la fluctuación constante de carga, y puede suscitarse fallas en los equipos que forman parte de un sistema eléctrico. Estas incertidumbres pueden ser de dos tipos: sobrecorrientes y sobretensiones. Las sobretensiones ocasionan daños dieléctricos (descargas distributivas), mientras que las sobrecorrientes dañan al equipo mediante la disipación excesiva de calor.

Para el análisis del régimen transitorio en un circuito eléctrico cuando pasa de una condición a otra produciendo un periodo de transición, durante el cual, las corrientes en las ramas y las caídas de tensión alteran sus valores iniciales hasta unos nuevos.

La respuesta natural de un circuito con un resistor, un inductor y un capacitor (RLC) puede tomar tres formas diferentes, dependiendo de los valores específicos que tendrán sus componentes. Las respuestas que presenta un circuito lineal, bajo condiciones dinámicas, el análisis del mismo puede simplificarse limitándose a calcular sus salidas o respuestas, a determinadas entradas o excitaciones.

2.6.2. Problema

Los circuitos (RLC) serie paralelo frente a los procesos transitorios presentan diferentes respuestas de tensión y corriente que influyen en el funcionamiento de los equipos que forman parte de un sistema eléctrico y, por tanto, deben ser evaluados.

2.7. Hipótesis

Variar los valores de algunos parámetros de los circuitos RLC permitirá estudiar las respuestas en régimen transitorio de los circuitos eléctricos.

2.8. Objetivos

2.8.1. Objetivo general

Estudiar el régimen transitorio de los circuitos eléctricos mediante la implementación de un módulo didáctico en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8.2. Objetivos específicos

- Realizar una investigación teórica con diversas fuentes bibliográficas que brinden información verídica, para la identificación de los diferentes comportamientos del régimen transitorio de los circuitos eléctricos.
- Diseñar, construir e implementar un módulo didáctico para el estudio del régimen transitorio de circuitos eléctricos, para la simulación de los circuitos RLC ante los procesos transitorios de voltaje y corriente.
- Ejecutar ensayos en el módulo de pruebas para la evaluación del comportamiento de los circuitos RLC en régimen transitorio.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con relación a los objetivos establecidos.

Tabla 1. Descripción de las actividades con relación a los objetivos planteados

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Realizar una investigación teórica con diversas fuentes bibliográficas que brinden información verídica, que permita la identificación de los diferentes comportamientos del régimen transitorio de los circuitos eléctricos.	Búsqueda de información confiable y segura para el análisis de los sistemas transitorios en los circuitos eléctricos.	Formulación del marco teórico.	Mediante varios artículos y libros referentes a los análisis de transitorios se recopiló información muy valiosa.
Diseñar, Construir e Implementar un módulo didáctico para el estudio del régimen transitorio de circuitos eléctricos, que permita a los estudiantes vincular la teoría con la práctica.	Recopilación de información para el análisis de sistemas amortiguados con varios elementos eléctricos	Cálculo y simulación de circuitos eléctricos frente a la variación de parámetros eléctricos.	Mediante una fuente de regulación tanto de AC – DC y valores de resistencias, capacitores e inductores se puede visualizar la deformación de las oscilaciones de corriente y voltaje.
Ejecutar ensayos en el módulo de pruebas para la evaluación del comportamiento de los circuitos RLC en régimen transitorio.	Elaborar una guía de prácticas de laboratorio que permita al estudiante interactuar con el comportamiento de los circuitos RC, RL y RLC.	Diferentes análisis matemáticos y por software con respecto a la guía y manual de laboratorio.	Con la recopilación de información y análisis matemático se compara con la práctica el comportamiento de los circuitos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Circuitos de primer orden

Antes de estudiar los circuitos de primer orden, se analizará de manera individual cada uno de los elementos pasivos (resistencia, inductancia y capacitancia); ya que se debe conocer su comportamiento.

Resistencia: En un elemento eléctrico que se opone al paso de la corriente eléctrica debido a la composición y material de fabricación, se mide en ohmios; de acuerdo con la ley de Ohm la resistencia de un material puede definirse como la razón entre la diferencia de potencial eléctrico y la corriente en que atraviesa dicha resistencia.

Inductor: Elemento del circuito en el que se acumula y cede energía en forma de campo magnético. Tiene arrollamiento, generalmente helicoidal de paso igual al diámetro del conductor aislado (flexible o rígido), que rodea la pieza a magnetizar por inducción, o a parte de ella, y que también se aplica a procesos de calentamiento o de fusión de piezas. Tiene gran inductancia pero capacidad y resistencia bajas. Se llama también bobinado.

Capacitor: Aquel elemento que almacena y cede energía en forma de campo eléctrico. Se produce una acumulación de cargas en sus placas dando lugar a una diferencia de potencial entre ellas, y su aplicación más importante es la de corregir el factor de potencia.

Después de analizar cada elemento por separado y una vez teniendo en cuenta de las funciones que realizan dentro de un circuito eléctrico; se analizan los circuitos de primer orden RC (resistor más capacitor) y RL (resistor más inductor). Existen dos maneras de excitarlos [4]

1. Mediante las condiciones iniciales de los elementos de almacenamiento de los circuitos, conocidos como circuitos sin fuente, la energía se almacena inicialmente en el elemento capacitivo o inductivo. La energía causa que fluya corriente en el circuito y se disipe gradualmente en los resistores.
2. Mediante el uso de fuentes independientes. En este capítulo, las fuentes independientes se consideran como fuentes de corriente directa.

3.1.1. Circuito RC sin fuente

Los circuitos RC son circuitos que están combinados de una resistencia y un condensador. Un circuito RC sin fuente se da cuando su entrada de corriente directa se desconecta súbitamente y la a energía ya almacenada en el capacitor se libera hacia los resistores [7].

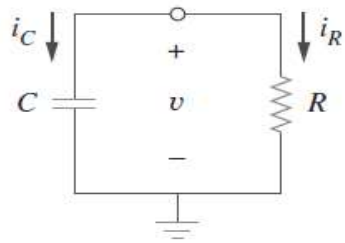


Figura 1. Circuito RC sin fuente [6].

Analizando el circuito RC en serie sin fuente de la figura 1, se obtiene:

$$V(0) = V_0 \quad (1)$$

$$E(0) = \frac{1}{2} C * V_0^2 \quad (2)$$

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

Donde: $V(0)$ es el voltaje almacenado, V_0 voltaje inicial del condensador, $E(0)$ la energía almacenada, t tiempo.

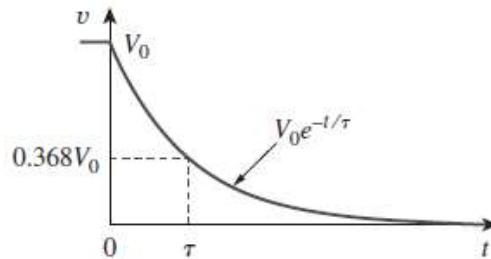


Figura 2. La Respuesta en voltaje del circuito RC [6].

La figura 2 muestra la respuesta del voltaje de un circuito RC, siendo el descenso exponencial del voltaje inicial y la rapidez con la que decrece se expresa en términos de la constante de tiempo, denotada por letra griega minúscula τ tau; que resulta de la multiplicación de la resistencia y la capacitancia. Entonces la respuesta se debe a la energía primaria almacenada y a las características físicas del circuito y no a una fuente independiente de tensión o de corriente, se le llama respuesta natural del circuito [8].

3.1.2. Circuito RL sin fuente

Los circuitos RL son aquellos que poseen una bobina (inductor) que tiene auto inductancia, siempre se desecha la auto inductancia en el resto del circuito puesto que

debe ser mucho menor a la del inductor, es decir, que debe evitar cambios transitorios en la corriente [9].

Se considera la conexión en serie de un resistor y un inductor, como muestra la figura 3, y la meta es determinar la respuesta del circuito, la cual se admitirá como la corriente $i(t)$ a través del inductor. Se elige la corriente del inductor como la respuesta para beneficiar la idea de que la corriente del inductor no puede cambiar súbitamente [1].

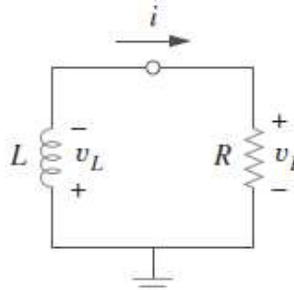


Figura 3. Circuito RL sin fuente [6].

En la figura 3 se tiene un circuito RL sin fuente que compuesto por una resistencia e inductancia donde se tiene $t = 0$, suponiendo que el inductor tiene una corriente inicial.

$$I(0) = I_0 \quad (4)$$

$$E(0) = \frac{1}{2}L * I_0^2 \quad (5)$$

$$v_L + v_R = 0 \quad (6)$$

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 e^{-\frac{t}{\frac{L}{R}}} \quad (7)$$

Donde: v_L y v_R son el voltaje en la inductancia y resistencia respectivamente, $I(0)$ corriente de la bobina, I_0 corriente inicial de la bobina, $E(0)$ energía almacenada en el inductor, L Bobina, $I(t)$ corriente en el tiempo.

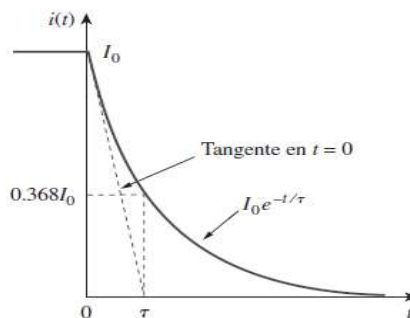


Figura 4. Respuesta de corriente del circuito RL [6].

En la figura 4 se manifiesta la respuesta natural del circuito RL siendo un descenso exponencial de la intensidad, corriente inicial con respecto al tiempo. [10].

3.2. Circuitos de segundo orden

Para realizar el análisis de sistemas que estén conformados de dos elementos que dentro de sus características sean de acumulación de energía eléctrica. A estos sistemas se les conocen como circuitos de segundo orden, debido a que sus respuestas se representan con ecuaciones diferenciales que están compuestas de segundas derivadas [11].

3.2.1. Circuito RLC en serie sin fuente

Este circuito se estimula con la energía que dé inicio esta acumulada en el capacitor y el inductor [12].

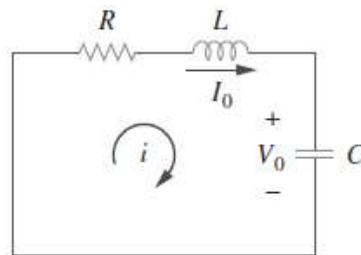


Figura 5. Circuito RLC en serie sin fuente [6]

Entonces la energía inicial almacenada del condensador e inductor va a ser igual a:

$$V(0) = V_0 \quad (8)$$

$$I(0) = I_0 \quad (9)$$

La descripción matemática del circuito es,

$$V_R + V_L + V_C = 0 \quad (10)$$

Al aplicar la Ley de Kirchhoff a lo largo de la malla de la figura 5,

$$Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = 0 \quad (11)$$

Para eliminar la integral, se deriva con respecto a t (tiempo) y se reordena los términos.

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (12)$$

Es una ecuación diferencial de segundo orden y por ello los circuitos RLC se llamen así.

Entonces se tiene,

$$s_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (13)$$

$$s_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (14)$$

Una forma más compacta de expresar estas raíces es:

$$s_{12} = -\alpha \mp \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (16)$$

Para la corriente,

$$i = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (17)$$

Donde: s_1 y s_2 son raíces que deben ser determinadas, ω_0 frecuencia de oscilación (rad/s), α coeficiente o factor de amortiguamiento (Np/s), A_1 y A_2 son constantes arbitrarias, que se deben evaluar en función de las condiciones iniciales.

Analizando s_1 y s_2 que se desglosan de la ecuación 15, se tienen tres casos que representan estos circuitos [13].

- $\alpha > \omega_0$ caso sobreamortiguado
- $\alpha = \omega_0$ caso críticamente amortiguado
- $\alpha < \omega_0$ caso subamortiguado

1) Caso sobreamortiguado $\alpha > \omega_0$: entonces el voltaje o la corriente se aproxima a un valor final sin oscilación. A medida que α aumenta, la respuesta tarda más en llegar a su valor final. Analizando la ecuación de s . [14].

$$s = -\alpha \mp \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (18)$$

$$s = -\alpha \mp \sqrt{+r} \quad (19)$$

Esto ya que si $\alpha > \omega_0$ se va a tener un valor positivo representado por r que sería un radical y por lo tanto se tendrá:

$$s_1 = -\alpha + \emptyset, \quad s_2 = -\alpha - \emptyset \quad (20)$$

Donde ϕ se lo toma como el valor positivo, y ya se conocen los valores de s_1 y s_2 para resolver la ecuación general [5].

$$I(t) = \frac{V_0}{L\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}} e^{-\alpha t} \text{sen}(\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} t) \quad (21)$$

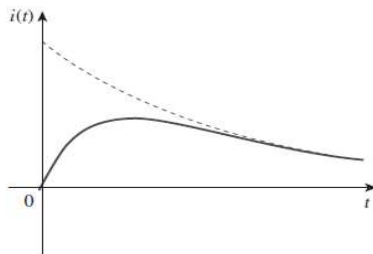


Figura 6. Respuesta sobre amortiguada [6].

La figura 6 muestra la curva de respuesta de la corriente donde intenta subir, pero decae exponencialmente con respecto al tiempo; decrece debido al $-\alpha$.

Caso críticamente amortiguado $\alpha = \omega_0$: es el caso límite entre caso sobre amortiguado y subamortiguado y su expresión final de la corriente en el tiempo es: [10].

$$I(t) = \frac{V_0 * t}{L} e^{-\alpha t} \quad (22)$$

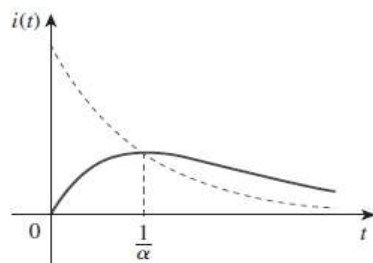


Figura 7. Respuesta críticamente amortiguada [6].

La figura 7 muestra la curva de la corriente con respecto al tiempo, donde $\frac{1}{\alpha}$ supera a la decreciente, aunque después disminuye pero de manera más lenta.

Caso subamortiguado $\alpha < \omega_0$: entonces el voltaje o la corriente oscilan alrededor de un valor final antes de llegar al estado estacionario [2].

La ecuación de la corriente en el tiempo es:

$$I(t) = \frac{V_0 * e^{-\alpha t}}{L\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}} \text{sen}(L\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} * t) \quad (23)$$

En la figura 8 se observa como la oscilación a medida que disminuye α se va disipando, hasta llegar a un punto constante en el tiempo.



Figura 8. Respuesta subamortiguada [6]

3.2.2. Circuito RLC en paralelo sin fuente

Los circuitos RLC en paralelo tienen diversas funciones prácticas, especialmente en redes de comunicación y diseño de filtros. El circuito RLC paralelo, la corriente inicial del inductor I_0 y la tensión inicial del capacitor V_0 [11].

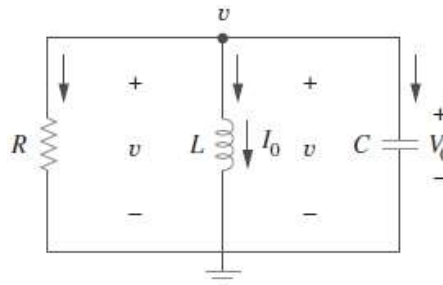


Figura 9. Circuito RLC en paralelo sin fuente [6].

El voltaje en el capacitor $v(0)$ es igual al voltaje inicial V_0 .

$$v(0) = V_0 \quad (24)$$

La corriente en el inductor:

$$i(0) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 v(t) dt \quad (25)$$

La aplicación de la Ley de Kirchhoff al nodo superior deriva en:

$$\frac{v}{R} + \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 v(t) dt + C \frac{dv}{dt} = 0 \quad (26)$$

$$s^2 + \frac{1}{RC} s + \frac{1}{LC} = 0 \quad (27)$$

Las raíces de la ecuación característica son:

$$s_{1,2} = -\frac{1}{2RC} \mp \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (28)$$

$$s_{1,2} = -\alpha \mp \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (29)$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (30)$$

Los nombres de los términos de las formulas son los mismos que en la sección anterior, y desempeñan el mismo papel en la solución. De igual manera, existen tres posibles soluciones, dependiendo de si $\alpha > \omega_0$, $\alpha = \omega_0$ o $\alpha < \omega_0$. Considérese estos casos por separado [5].

Caso sobreamortiguado $\alpha > \omega_0$

A partir de la ecuación (30), $\alpha > \omega_0$ cuando $L > 4R^2C$. Las raíces de la ecuación característica son reales y negativas. La respuesta es: [5].

$$v(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (31)$$

Caso críticamente amortiguado $\alpha = \omega_0$

Para $\alpha = \omega_0$, $L = 4R^2C$ Las raíces son reales e iguales, así que la respuesta es:

$$v(t) = (A_1 + A_2 t) e^{-\alpha t} \quad (32)$$

Caso subamortiguado $\alpha < \omega_0$

Cuando $\alpha < \omega_0$, $L < 4R^2C$. En este caso las raíces son complejas y pueden expresarse como:

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_d \quad (33)$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} \quad (34)$$

$$v(t) = e^{-\alpha t} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t) \quad (35)$$

Las constantes A_1 y A_2 pueden determinarse en cada caso con base en las condiciones iniciales. Se necesita $v(0)$ $dv(0)/dt$. El primer término se conoce a partir de la ecuación (25). El segundo se halla combinando las ecuaciones (25), (24) y (26) en esta forma: [15].

$$\frac{V_0}{R} + I_0 + C \frac{dv(0)}{dt} = 0$$

$$\frac{dv(0)}{dt} = \frac{(V_0 + RI_0)}{RC} \quad (36)$$

La figura 10 muestra los tres amortiguamientos estudiados, y son similares a las que se mostraron en la figura (6, 7 y 8), donde si aumenta el valor de R, el grado de amortiguamiento decrece y las respuestas difieren [16].

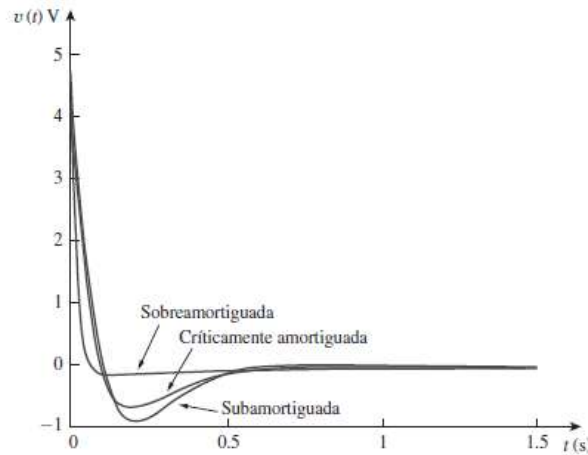


Figura 10. Ejemplo de respuestas de los tres grados de amortiguamiento [6].

3.2.3. Respuesta escalón de un circuito RLC en serie

Como se explicó anteriormente, la respuesta escalón se obtiene de la aplicación súbita de una fuente de cd. Considerando el circuito RLC en serie que se muestra en la figura 11. Al aplicar la LTK a lo largo de la malla para $t > 0$, [17].

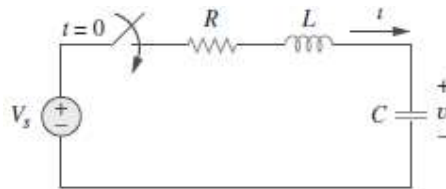


Figura 11. Voltaje escalón aplicada a un circuito RLC en serie [6].

$$L \frac{di}{dt} + Ri + v = V_s \quad (37)$$

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

Al sustituir i en la ecuación (37) y reordenar términos,

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{LC} = \frac{V_s}{LC} \quad (38)$$

Entonces la solución de la ecuación anterior tiene dos componentes: la respuesta transitoria $v_t(t)$ y la respuesta en estado estable $v_{ss}(t)$ [18].

$$v(t) = v_t(t) + v_{ss}(t) \quad (39)$$

Las soluciones completas de los casos sobre, sub y críticamente amortiguados son:

$$v(t) = V_s + A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (\text{Sobre amortiguado}) \quad (40)$$

$$v(t) = V_s + (A_1 + A_2 t) e^{-\alpha t} \quad (\text{Críticamente amortiguado}) \quad (41)$$

$$v(t) = V_s + (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \text{sen } \omega_d t) e^{-\alpha t} \quad (\text{subamortiguado}) \quad (42)$$

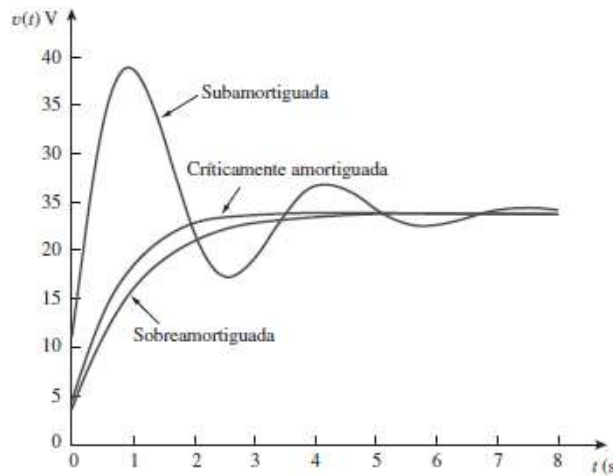


Figura 12. Ejemplo de respuestas de los tres grados de amortiguamiento [6].

En la figura 12 muestra un ejemplo de las respuestas de los tres casos. En la cual la respuesta críticamente amortiguada es la que aproxima con más rapidez la entrada de escalón de 24v.

3.2.4. Respuestas escalón de un circuito RLC en paralelo

Del circuito RLC en paralelo de la figura 13 interesa hallar la i debida a la aplicación repentina de una corriente de cd. Al aplicar la LCK al nodo superior para $t = 0$, [19].

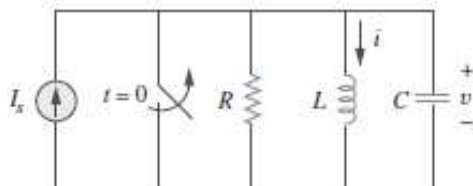


Figura 13. Circuito RLC en paralelo con la corriente aplicada [6].

$$\frac{v}{R} + i + C \frac{dv}{dt} = I_s \quad (43)$$

$$v = L \frac{di}{dt}$$

Al sustituir la ecuación 43 y dividir LC se obtiene

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = \frac{I_s}{LC} \quad (44)$$

La solución completa de la ecuación anterior consta de la respuesta transitoria $i_r(t)$ y la respuesta en estado estable i_{ss} ; esto es, [14].

$$i(t) = i_t(t) + i_{ss}(t) \quad (45)$$

En el circuito de la figura 13, el valor final de la corriente a través del inductor es igual que el de la corriente de fuente I_s . Así,

$$i(t) = I_s + A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (\text{Sobreamortiguado}) \quad (46)$$

$$i(t) = I_s + (A_1 + A_2 t) e^{-\alpha t} \quad (\text{Críticamente amortiguado}) \quad (47)$$

$$i(t) = I_s + (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \text{sen } \omega_d t) e^{-\alpha t} \quad (\text{Subamortiguado}) \quad (48)$$

$$x(t) = x_t(t) + x_{ss}(t) \quad (49)$$

Donde x_{ss} y x_t son su valor final y su respuesta transitoria, respectivamente [20].

3.3. Circuitos en corriente Alterna

En realidad no existe ningún receptor R , L o C puro, ya que por ejemplo la bobina, al ser un conductor tendrá una resistencia, y por lo tanto, también tendrá un componente resistivo, por lo que realmente será un receptor RL , aunque para su estudio se lo considera como un receptor ideal inductivo o L .

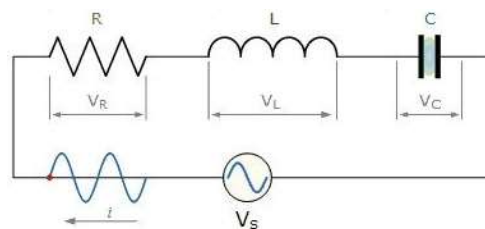


Figura 14. Circuito de corriente alterna

Un motor eléctrico tiene el bobinado con componente L , pero también ésta bobina o bobinado, por ser un cable, tiene una parte resistiva, por lo tanto será un receptor RL . Incluso el motor también tiene una parte capacitiva, por lo que realmente será un receptor RLC .

En corriente alterna las ondas de las tensiones y las intensidades son senoidales y están desfasadas, es decir cuando empieza la onda de la tensión, la onda de la intensidad empieza más tarde o más temprano, excepto en los resistivos que están en fase.

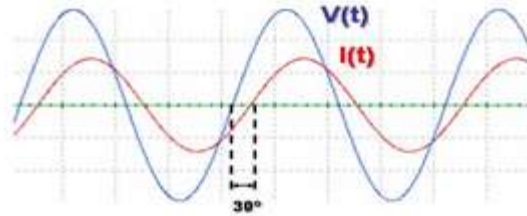


Figura 15. Representación fasorial equivalente.

3.3.1. Circuito RL en serie

Por ser un circuito en serie, las intensidades por los dos receptores serán las mismas, y las tensiones serán la suma vectorial de las dos tensiones; si consideramos que la intensidad está en ángulo 0, la tensión de la resistencia estará en fase, pero la de la bobina estará adelantada 90° respecto a la intensidad del circuito y por lo tanto 90° adelantada respecto a la tensión de la resistencia también. Dibujando las 3 tensiones en lo que se llama el triángulo de tensiones:

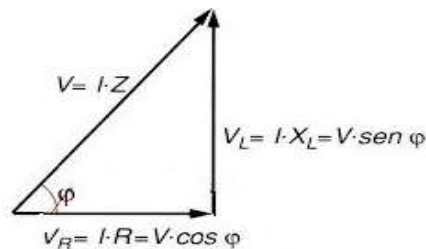


Figura 16. Triángulo de voltajes Circuito RL

De este triángulo se pueden deducir muchas fórmulas, solo se debe aplicar trigonometría. Si se divide todos los vectores del triángulo entre la intensidad, se tendrá un triángulo semejante pero más pequeño, llamado triángulo de impedancias.

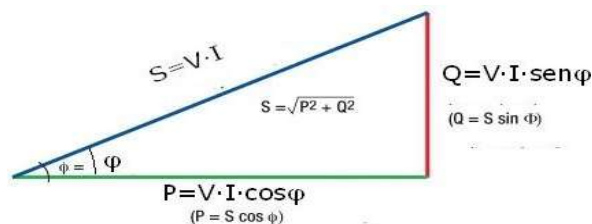


Figura 17. Triángulo de potencias circuito RL

3.3.2. Circuito RC en serie

Este circuito es igual que el anterior, solo que ahora se tiene X_C en lugar de X_L . Teniendo que $X_C = 1/\omega C$. La corriente será la misma en el circuito por estar los dos componentes en serie, pero el voltaje será la suma. La diferencia con el anterior es que la tensión del condensador estará retrasada 90° con respecto a la intensidad, no adelantada como con la bobina. Por ello se tiene los mismos triángulos, pero en sentido invertido.

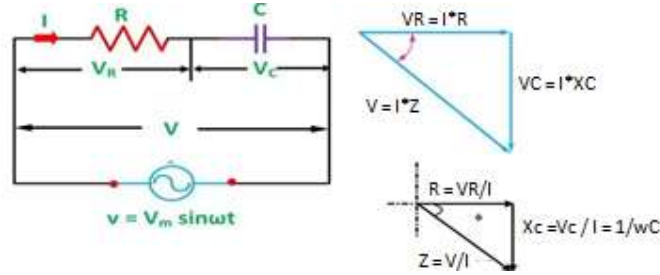


Figura 18. Circuito RC en alterna

3.3.3. Resonancia en un circuito RLC en paralelo

La resonancia en paralelo de un circuito es exactamente el mismo que en serie. Ambos son redes de tres elementos que contienen dos componentes reactivos que los hacen un circuito de segundo orden, y los dos están influenciados por las variaciones en la frecuencia de alimentación y tienen un punto de frecuencia donde sus dos componentes reactivos se anulan entre sí.

Sin embargo la diferencia radica, que un circuito en paralelo está influenciada por las corrientes que fluyen a través de cada rama en el paralelo LC, circuito tanque que se utiliza en redes de filtros para seleccionar o rechazar las frecuencias de corriente alterna.

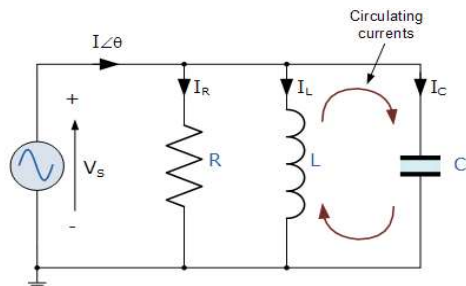


Figura 19. Circuito RLC en paralelo

Definiendo ya los circuitos RLC en paralelo,

$$\text{Admitancia } Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2} \quad (50)$$

$$\text{Conductancia} \quad G = \frac{1}{R} \quad (51)$$

$$\text{Suceptancia inductiva} \quad B_L = \quad (52)$$

$$\text{Suceptancia capacitiva} \quad \frac{1}{2\pi fL} \quad B_C = 2\pi fC \quad (53)$$

Un circuito en paralelo que contiene una resistencia R , inductancia L y capacitancia C , producirá una resonancia en paralelo del circuito (también llamado anti resonancia) cuando la corriente resultante a través de la combinación en paralelo está en fase con la tensión de alimentación. En la resonancia habrá una gran cantidad de corriente que circula entre el inductor y el condensador debido a la energía de las oscilaciones.

Un circuito resonante paralelo almacena la energía del mismo en el campo magnético de la bobina y el campo eléctrico del condensador. Esta energía está siendo constantemente transferida hacia atrás y adelante entre el inductor y el condensador que da como resultado la corriente cero y la energía se extrae de la alimentación. Esto se debe a que los valores instantáneos correspondientes de corriente de la bobina y capacitor serán siempre igual y opuesta; por lo tanto la corriente absorbida de la red es la suma vectorial de estas dos corrientes y la que fluye en R .

Se presenta dos métodos disponibles para el análisis de circuitos de resonancia en paralelo. Podemos calcular la corriente en cada rama, y luego sumar o calcular el ingreso de cada rama para encontrar la corriente total.

Se sabe que la resonancia serie tiene lugar cuando $V_L = -V_C$ y esta situación se produce cuando las dos reactancias son iguales $X_L = X_C$. La admisión de un circuito en paralelo se da como:

$$Y = G + B_L + B_C \quad (54)$$

$$Y = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C \quad \text{o} \quad Y = \frac{1}{2\pi fL} + 2\pi fC \quad (55)$$

La resonancia ocurre cuando $X_L = X_C$ y las partes imaginarias de Y se convierten en cero; Entonces,

$$X_L = X_C \quad \rightarrow \quad 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (56)$$

$$f^2 = \frac{1}{2\pi L * 2\pi C} = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad (57)$$

$$f = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 LC}} \quad (58)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (Hz)} \quad \text{o} \quad \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ (rads)} \quad (59)$$

La resonancia del circuito paralelo produce la misma ecuación para el circuito de resonancia en serie. Por lo tanto, no hace ninguna diferencia si el inductor o condensador están conectados en paralelo o en serie.

También en el paralelo de resonancia LC el circuito actúa como depósito de un circuito abierto, con la corriente del circuito se determinan la resistencia R solamente. Así que la impedancia total de un circuito de resonancia en paralelo en la resonancia se hace sólo el valor de la resistencia en el circuito y $Z = R$, como se muestra.

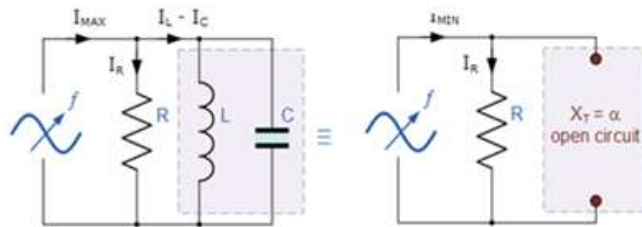


Figura 20. Comparación de resonancias

En la resonancia, la impedancia del circuito paralelo está en su valor máximo e igual a la resistencia del circuito. También en la resonancia, ya que la impedancia del circuito es ahora el de la resistencia única, la corriente total del circuito, que será "en fase" con la tensión de alimentación VS . Podemos cambiar la respuesta de frecuencia del circuito cambiando el valor de esta resistencia. Cambiar el valor de R afecta a la cantidad de corriente que fluye a través del circuito en resonancia, si ambos L y C permanecen constantes. A continuación, la impedancia del circuito en resonancia $Z = R_{max}$ se llama la "impedancia dinámica" del circuito.

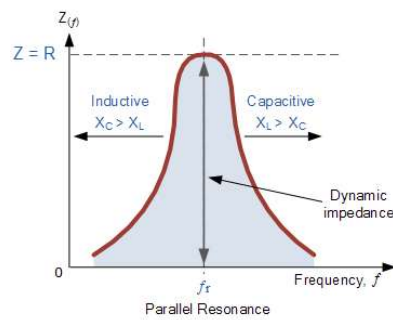


Figura 21. Impedancia en un circuito de resonancia en paralelo

3.4. Elementos constitutivos del módulo didáctico transitorio (MDT-01)

A continuación, se detallan cada uno de los elementos que fueron utilizados en la realización del MDT-01, como también se detallaran las características técnicas de los mismos:

- **CPU core i5 de tercera generación**

El CPU tiene un mínimo de 4 GB de memoria RAM para ejecutar eficientemente el programa desarrollado para el procesamiento de los datos y reproducción de las gráficas correspondientes. Sus características son: Memoria del disco 500Gb, memoria RAM 8 Gb, velocidad de procesamiento 3.4 GHz, sistema operativo Windows 7 home.

- **Monitor**

Para que el usuario pueda visualizar las gráficas y los datos correspondientes al ingreso de los valores se utilizó un monitor con entrada VGA de modo que sea compatible con el CPU, antes mencionado. El monitor tiene un tamaño de 17" pulgadas y una resolución de 1280x764.

- **Placa Arduino Mega**

Es una placa que incluye un microcontrolador desarrollado, soporta las velocidades a las que se adquiriran los datos en este proyecto.

- **Botoneras arduinas Keyes**

Las botoneras keyes son un bloque de botones analógicos que es compatible para arduino que funciona mediante divisores de voltaje enviando señales, que el arduino receptor y enviar a Matlab para poder modificar los valores de R-L-C del MDT-01.

- **Conector J072**

Conector J072 de color rojo y negro muy usado en instrumentos de medida eléctrica o electrónica, son muy útiles para realizar conexiones con la banana macho.

- **Resistencia**

La resistencia es un elemento eléctrico que se opone al paso de la corriente eléctrica dentro de un circuito eléctrico, para el presente trabajo se utilizó varias de ellas para formar divisores de voltajes en el sistema del MDT-01.

- **Placa de baquelita Perforada**

La baquelita se utilizó para soldar las resistencias que serán utilizadas para los divisores de voltaje que le darán la orden al arduino para que den las condiciones de las conexiones.

- **Cable Conductor número 16 flexible**

El cable conductor que se utilizó para las conexiones es el conductor super flex número 16, la corriente en el sistema es de 25 mA, por las facilidades de conexión y manejo de canaletas se llegó a utilizar este tipo de conductor.

- **Terminales para conductores eléctricos**

Los terminales utilizados son los de luna completa debido a que los jacks estarán postrados en el tablero de MDF y los terminales de luna completa se adhieren con una firmeza fija.

- **Caja plástica de 20x15**

La caja que se utilizó para ubicar el arduino es una de plástico que permitirá cubrir la placa la cual servirá para darle mejor seguridad al arduino para evitar una mala manipulación.

- **Borneras de conexión**

Las borneras utilizadas es una tira plástica para 5 Amprs de capacidad que tendrá como fin utilizar una continuidad de las conexiones de los puntos analógicos del arduino hacia todo el sistema de conexiones, de la misma forma para que esta pueda ser removida.

- **Tablero de MDF de 6 y 9 mm de espesor**

El tablero de MDF es la compactación de madera molida con una base de pegamento para fijar la composición y sus carillas sean lisas para un manejo fácil de sus superficies para el caso del MDT-01 será utilizado de dos tipos de espesor para mejorar su firmeza.

4. METODOLOGÍA

4.1. Métodos generales

Para la consecución del estudio del régimen transitorio de los circuitos eléctricos, es necesario la implementación de un módulo didáctico; donde, requiere de una amplia búsqueda de información, los mismos que tienen como finalidad exigir al investigador a seguir los pasos adecuados para cumplir eficaz y eficientemente el trabajo investigativo y con ello cumplir con la realización de cada uno de los objetivos de la propuesta tecnológica.

4.1.1. Experimental

Este método está dado por ser de tipo investigativo, donde se permite controlar deliberadamente distintas variables con el fin de delimitar relaciones entre ellas, permitiendo en el presente proyecto controlar las variables de voltaje, resistencia, inductancia y capacitancia de los circuitos RLC, en cada una de las respuestas gráficas, de acuerdo a comodidad y dependencia de las necesidades del usuario.

4.1.2. Medición

Este método permite la toma de mediciones para la adquisición de datos técnicos del lugar de ejecución y uso de herramientas involucradas, para medir los datos que controla cada una de las variables en el estudio dentro del comportamiento de los circuitos RLC para cumplir con el objetivo deseado.

4.1.3. Exploratorio

Es el método que permite resolver una problemática, por ello se utilizó para la ejecución de la propuesta mediante el cual se realizó una visita general al lugar de ejecución del proyecto, pudiendo así conocer las dimensiones del lugar donde se ubicará el prototipo, como también el tamaño del módulo didáctico y la ubicación de cada uno de los elementos a ser implementados.

4.1.4. Creación

Después de la medición y obtención de todos los datos necesarios para la construcción del módulo, tales como; variables, tipos de conexiones, dimensiones del mismo y las respectivas ubicaciones de cada uno de los elementos que lo conforman.

4.2. Técnicas

4.2.1. Lectura Comprensiva

Necesaria en toda la investigación ya que se debe analizar, comparar e interpretar la teoría de diferentes autores, con el fin de adquirir conocimientos para mantener una idea común en la realización de la propuesta tecnológica.

4.2.2. Modelamiento

Esta técnica se la utilizará en la construcción del módulo didáctico que tendrá como fin suministrar las ondas en sistemas eléctricos en función de RLC, donde se verá el diseño que cumpla con todos los requisitos necesarios para la correcta aplicación de las diferentes variables del circuito RLC.

El modelo físico del módulo ha sido realizado en el software SolidWorks, entorno que ayuda a la elaboración de diseños mecánicos, posee diferentes materiales para simular diferentes propiedades de los mismos.

El software del módulo se desarrolló en Matlab, para ser ejecutado en el CPU integrado del módulo. Todos los componentes eléctricos se encuentran dentro del módulo, dejando libres solo las respectivas conexiones, y los botones para el prendido y apagado del CPU. La energización del módulo es realizada con un solo tomacorriente que se encuentra en la parte posterior del módulo, además se cuenta con un interruptor para la energización del sistema de adquisición de datos, este botón hace las veces de paro de emergencia en el módulo.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este apartado presenta todo el estudio correspondiente al análisis diseño, programación, construcción, implementación y pruebas de funcionamiento del módulo didáctico transitorio; para referirnos a él se le asignó las siglas de: MDT-01; además se presenta un manual de usuario y guía de prácticas de laboratorio que serán detallados paso a paso y entregados en el laboratorio de eléctrica para su debido uso.

5.1. Diseño del MDT-01

Para el diseño del MDT-01 se consideró un modelo básico que consta de tres esquemas de circuitos: RC – RL en serie y RLC en serie y paralelo con la finalidad que los estudiantes de circuitos puedan complementar el aprendizaje mediante la práctica.

Las dimensiones de la mesa de soporte del MDT-01 se tomó como referencia la altura estándar emitida por la norma de construcción de mesas para oficinas, que es de 78 cm de altura por 80 cm de ancho, mientras que las del MDT-01 no fue sometido a normas debido al no disponer de una normativa que cumpla con las estipulaciones de módulos para instituciones educativas, por ello solo se diseñó buscando ergonomía para el usuario, es decir sin ocasionar cansancio, fatiga e incomodidad durante su manipulación.

En la parte interna tangible del MDT-01 se encuentran las distintas conexiones eléctricas de los tres esquemas, mismas que cuentan con divisores de voltajes con la finalidad de las detecciones de conexiones de los circuitos (bien o mal conectado), como también se encuentran el arduino mega, CPU y monitor; los demás elementos se encuentran en la parte externa: fuente AC – DC y elementos eléctricos (R, L y C).

Mientras que mediante software (programación) se declaran variables para obtener las magnitudes de corriente y voltaje, y la tarjeta arduino realiza el proceso de identificarlas al realizar físicamente las conexiones e ingresar los valores resistencia, inductancia y capacitancia.

Funciones del MDT-01.

- Simulación de circuitos RC – RL serie en corriente alterna y continua.
- Simulación de circuitos RLC serie y paralelo en corriente directa y alterna.
- Simulación de fasores de circuitos RLC serie.

Magnitudes que el MDT-01 evalúa.

- Voltaje en circuitos serie y corrientes en circuitos paralelos.

- Desfase de voltajes y corrientes.
- Representación estática y rotatoria del fasor.
- Sistemas de amortiguamiento en circuitos RLC serie y paralelo de corriente directa.

Criterios ergonómicos

Para la determinación de los criterios ergonómicos se asume que los estudiantes pasan el 80 % de su tiempo sentado dentro de las instituciones educativas durante la jornada de trabajo, una actividad que se repite cinco veces a la semana por ello se diseñó el MDT-01 de una forma que se ajuste al estudiante y su forma de trabajo. Lo deseable es que cada módulo en el laboratorio cuente con sillas y mesas ajustables a las dimensiones de cada alumno, o que eviten posturas inadecuadas que se mantienen durante un prolongado periodo de tiempo.

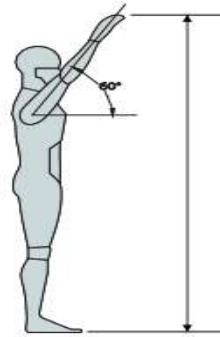


Figura 22. Demostración de somatometría

Tabla 2. Demostración de somatometría

SOMATOMETRÍA		
Altura del extremo del dedo medio con los brazos a 60°		
Grados	Edad	Altura en CM
1° - 2°	6 a 8	125.0
3° - 4°	8 a 10	139.6
5° - 6°	10 a 12	151.7
7°	12 a 13	154.5
8°	13 a 14	161.9
9°	14 a 15	169.6
Promedio adulto		187.0
Aplicación		
Dimensionamiento del alcance máximo para guardado.		

La figura 22 y tabla 2 indican la altura y grados adecuados para realización de cualquier módulo con ergonomía y el MDT-01 se ajusta a estas medidas con una altura total de 1880 mm.

5.2. Normas para la construcción del MDT-01

Para el diseño del MDT-01 se ha tomado en consideración normas de carácter eléctrico y mecánico debido a la naturaleza del mismo, que ha sido construido para la utilización de los estudiantes de ingeniería eléctrica de circuitos.

Para que un módulo pueda ser utilizado de manera segura por los estudiantes, el mismo debe cumplir con ciertos estándares de seguridad para evitar daños en los usuarios y la integridad del MDT-01, para lo cual se ha determinado las medidas de baja tensión y nivel de control debido a que se utiliza corrientes AC para la alimentación del procesador y DC dentro del sistema de adquisición de datos.

5.2.1. Medidas de protección eléctrica y mecánica

Estas medidas son tomadas debido a los riesgos del uso de electricidad tales como [21]:

- Descarga de electricidad a tierra a través del ser humano.
 - Sobrecorrientes, sobretensiones y corrientes de falla.
 - Producción de incendios o explosiones por la mala manipulación.
- El peligro de descarga a través del ser humano se da debido a que el individuo puede tocar uno de los polos del conductor, de esta manera la electricidad será descargada mediante el cuerpo del mismo hacia la referencia más cercana que está en contacto con el ser humano que es la tierra.

Un ejemplo de lo anteriormente enunciado se puede apreciar en la figura 54, donde se muestra como un ser humano puede tocar una de las fases haciendo que la conducción sea más sencilla a través del mismo hacia tierra, que es la referencia directa cerrando el circuito y aumentando el peligro de muerte.

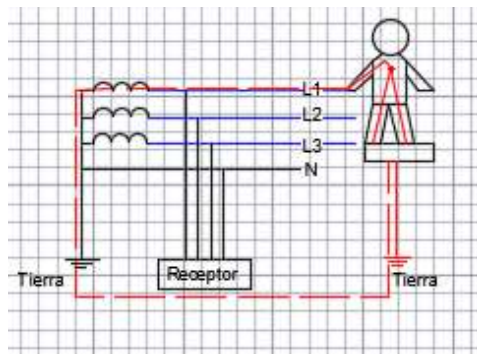


Figura 23. Ejemplo de descarga eléctrica a través del cuerpo humano

Este problema es solventado en la medida de lo posible según las normativas del NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción) para equipamientos electromecánicos, donde se enfatiza la implementación de terminales de cables aislados o puntas terminales de manera que no se logre el contacto directo de los cables que llevan tensión de 110 a 220 [V] con el individuo. La resistencia de aislamiento debe ser de 3 K Ω para voltajes de hasta 220 [V] [22].



Figura 24. Cable de multiconductor de cobre aislado [22].

- Otra de las protecciones necesarias es llevar el voltaje a tierra, ésta conexión es necesaria debido a los posibles accidentes que provocan sobre corrientes y voltajes, como tormentas eléctricas u otros factores que alteren el comportamiento normal del sistema.

Para ello en el MDT-01 se debe mantener el conector de neutro para proteger la integridad del mismo y del usuario. Con el conector de neutro y una correcta conexión de puesta a tierra en el establecimiento, las descargas de tormentas eléctricas u otras serán transmitidas mediante las derivaciones principales a la tierra.

Para el MDT-01 el sistema está aterrizado debidamente a tierra mediante un tomacorriente que suministra un voltaje de 127 voltios para su correcto funcionamiento



Figura 25. Cable y enchufe con neutro y tierra [24]

- La protección contra incendios también es un factor clave en el diseño del dispositivo, una de las razones por las cuales puede suceder un incendio es por el mal dimensionamiento de los cables, dando como resultado que la corriente que circula por

el conductor es excesiva y produce calor por el efecto Joule, llegando a quemar el cable y provocar incendios.

Según el NEC en su apartado de normativa para instalaciones electromecánicas los cables que alimentan directamente a los circuitos deben tener un calibre mínimo del número 12 AWG (3.31mm^2).

Otra de las consideraciones es que los circuitos deben ser diseñados a medida que acepten una caída de tensión máxima del 3% de la nominal [23].

En caso de tomacorrientes el calibre que se utiliza con regularidad es de 14 AWG y es el que será utilizado en el presente proyecto.

El MDT-01 se sujeta además a los reglamentos de conexiones eléctricas para salvaguardar la integridad de las mismas, evitando emisiones al medio ambiente, emitiendo al menor nivel de ruido, sin desechos sólidos ni almacenamiento de substancias.

5.3. Conexiones eléctricas de los elementos del MDT-01

Para este apartado se realizó un diseño eléctrico tomando en cuenta que los manipuladores del MDT-01 son estudiantes de los primeros ciclos que aún no cuentan con los conocimientos suficientes para el manejo de este tipo de módulos, por ello se realizó un sistema de divisores de voltaje, para evitar cortocircuitos por conexiones incorrectas y evitar daños colaterales al sistema eléctrico.

Tomando la teoría de los divisores de voltaje que indica que en un circuito eléctrico la tensión es repartida en tres dos o más impedancias conectadas en serie.

Para calcular el voltaje que tiene un circuito serie con dos elementos resistivos se resolvió mediante el triángulo de ohm; dando cumplimiento de la teoría básica que en un circuito serie la corriente es la misma, pero la tensión es repartida para n elementos.

$$V = I * R \quad (60)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (61)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (62)$$

Tomando estas fórmulas se puede hallar los voltajes y corrientes de distintos circuitos eléctricos ya sean en serie o en paralelo, para ello se realizó un ejemplo con el circuito que se muestra a continuación.

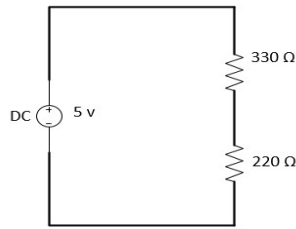


Figura 26. Circuito resistivo serie.

Teniendo el siguiente circuito en serie se calculó el voltaje que contienen la R1 y R2 respectivamente mediante la teoría del triángulo de ohm. Para resolver primero determinamos la resistencia equivalente del circuito;

$$R_{Equi} = R1 + R2 \quad (63)$$

$$R_{Equi} = (330 \Omega + 220 \Omega) = 550 \Omega \quad (64)$$

Después se calcula la corriente:

$$I = \frac{V}{R_{Equi}} \quad (65)$$

$$I = \frac{5V}{550 \Omega} = 9,09 \text{ mA} \quad (66)$$

Una vez calculado la corriente y teniendo en cuenta que es un circuito serie, la corriente calculada es igual para las dos resistencias; se procede a calcular los voltajes de las dos resistencias.

$$V1 = R1 * I \quad (67)$$

$$V1 = 330 \Omega * 9,09 \text{ mA} = 3V \quad (68)$$

$$V2 = R2 * I \quad (69)$$

$$V2 = 220 \Omega * 9,09 \text{ mA} = 2V \quad (70)$$

El voltaje que es suministrado a las resistencias respectivamente es de 3 y 2 voltios; la razón por la cual se realizó este procedimiento es porque el programa desarrollado en Matlab tiene parámetros de conexiones con un indicador de error y de conexión correcta para los diferentes circuitos, para ello realizamos una validación de valores numéricos que imprime una de las opciones que tiene el software de arduino, con estos valores validamos rangos para que el momento de realizar las conexiones valide los rangos antes mencionados.

A continuación se determinaron los voltajes de R1 y R2 mediante los divisores de voltaje para verificar comprobar los valores de los resultados entre sí.

$$V1 = \frac{V_{entrada} * R1}{R1 + R2} \quad (71)$$

$$V1 = \frac{5 V * 330 \Omega}{330 \Omega + 220 \Omega} = 3 V \quad (72)$$

$$V2 = \frac{V_{entrada} * R2}{R1 + R2} \quad (73)$$

$$V1 = \frac{5 V * 220 \Omega}{330 \Omega + 220 \Omega} = 2 V \quad (74)$$

Como se puede observar los resultados son iguales y así se comprueba que se puede calcular mediante los dos métodos, entonces se aplicó el mismo procedimiento para todos los elementos restantes y el resultado será el mismo, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Características de los voltajes de los divisores de voltaje.

ELEMENTOS	valor R1 1(Ω)	valor R2 (Ω)	VCC	CORRIENTE (mA)	VOLTAJE R1	VOLTAJE R2
Fuente	220	330	5	9,09	2,00	3,00
R1	330	220	5	9,09	3,00	2,00
L1	330	330	5	7,58	2,50	2,50
C1	330	1000	5	3,76	1,24	3,76
R2	1000	330	5	3,76	3,76	1,24
L2	1000	220	5	4,10	4,10	0,90
Fuente	220	1000	5	4,10	0,90	4,10
R3	470	220	5	7,25	3,41	1,59
C2	220	470	5	7,25	1,59	3,41
Fuente	2200	330	5	1,98	4,35	0,65
R4	330	2200	5	1,98	0,65	4,35
L3	2200	820	5	1,66	3,64	1,36

A continuación se presentan las conexiones internas realizadas en el MDT-01, de forma que puedan ser interpretadas.

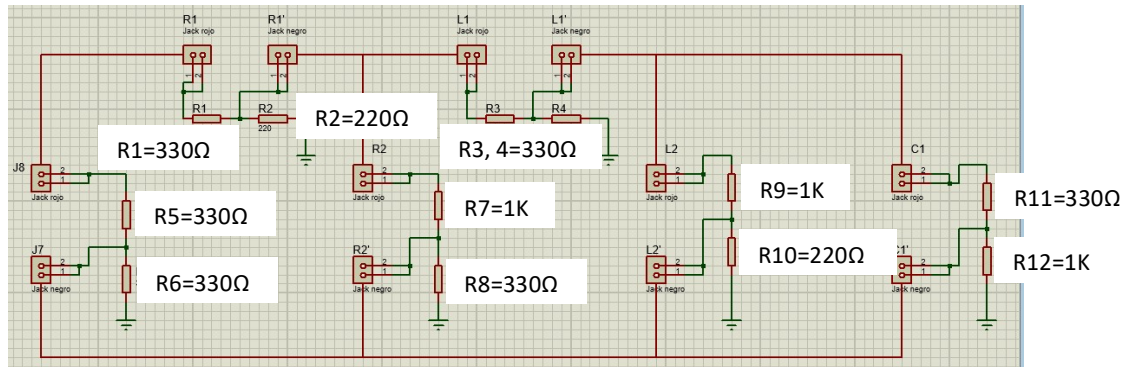


Figura 27. Conexiones internas del circuito RLC serie y paralelo del MDT-01

Utilizando el programa proteus 8 profesional se realizó el esquema de conexiones internas del MDT-01, mismas que se encuentran marcadas con líneas de color verde; donde las resistencias son los divisores de voltaje que se encuean conectados a los Jacks que se visualizan en la parte frontal del MDT-01 como se observa de los circuitos RLC serie o paralelo en la figura 27.

Los esquemas de conexión de los circuitos RC y RL se tienen en la figura 28, y debe cumplirse que al momento de conectar la fuente variable AC o DC a los Jacks de la fuente del circuito, la tarjeta arduino enviara mediante entradas analógicas la orden de variación de los valores.

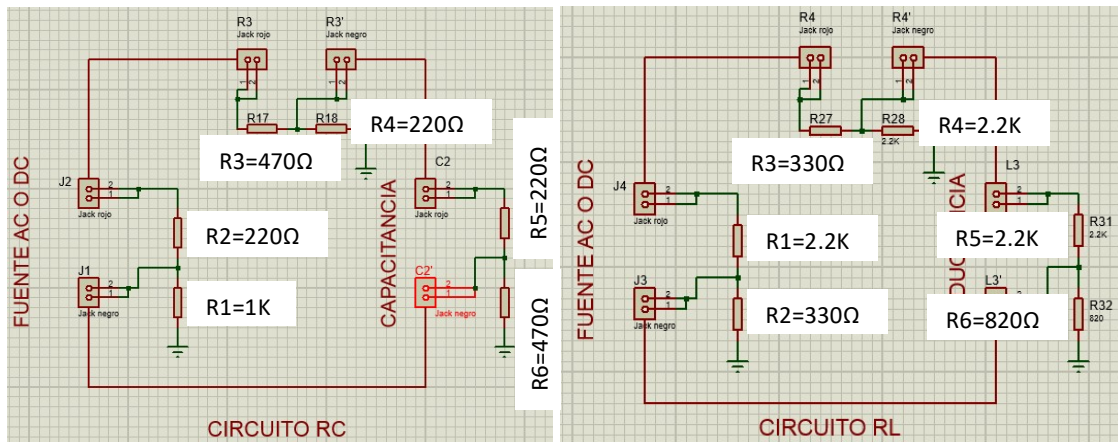


Figura 28. Esquema de conexiones internas del circuito RC y RL

Para mayor comprensión de las conexiones realizadas en el MDT-01 en el anexo IV se adjunta el plano eléctrico de todo el sistema.

5.4. Diagramas de flujo del software de cada una de las pantallas

Para llevar a cabo la programación de las pantallas de simulación de cada uno de los circuitos RC/RL, RLC y respuesta fasoriales, previamente se realizó un diagrama de flujo general donde incluye cada una de las ventanas, donde se detalla el proceso seguido para obtener un solo producto.

La programación fue realizada en el software de Matlab, donde se declararon variables, se asignaron valores a éstas y se introdujeron las formulas básicas para el cálculo matemático de acuerdo a cada circuito.

En el anexo III se puede visualizar el diagrama de flujo realizado en la herramienta de Microsoft Visio.

5.5. Diseño de hardware y software de los circuitos RC, RL y RLC.

5.5.1. Métodos generales

A continuación se presenta el diseño establecido para el circuito RC implementado en el presente trabajo.

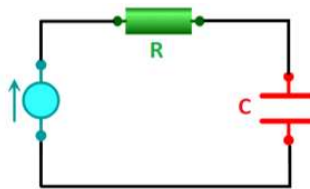


Figura 29. Diseño del circuito RC

- **Demostración:**

Al aplicar la ley de voltajes de Kirchhoff al circuito de la figura 29 se tiene:

$$\begin{aligned}\Sigma v &= 0 \\ E_i - ER - Ec &= 0 \\ E_i &= ER + Ec \\ E_i &= R i(t) + \frac{1}{c} \int i(t) \end{aligned} \quad (75)$$

$$\begin{aligned}E_0 &= Ec \\ E_0 &= \frac{1}{c} \int i(t) \end{aligned} \quad (76)$$

Al aplicar la transformada de Laplace (76):

$$E_i(s) = RI(s) + \frac{1I(s)}{c s} \quad (77)$$

Al aplicar la transformada de Laplace (77), se obtiene la función de transferencia del circuito RC.

$$E_0(s) = \frac{1}{c} \frac{I(s)}{s} \quad (78)$$

$$G(s) = \frac{E_0(s)}{E_i(s)}$$

$$G(s) = \frac{\frac{1I(s)}{c s}}{RI(s) + \frac{1I(s)}{c s}}$$

$$G(s) = \frac{\frac{1}{c s}}{R + \frac{1}{c s}}$$

$$G(s) = \frac{1}{Rc s + 1} \quad (79)$$

El diseño del circuito de la figura 30 tiene el fin de identificar que el usuario ha realizado la conexión del circuito correctamente. Cuando todo ha sido satisfactoriamente conectado, mediante la respuesta de los divisores de voltaje detectan las entradas analógicas leerán dichas señales y emitirá un mensaje que está todo acoplado, en la simulación se evidencia mediante el led azul encendida.

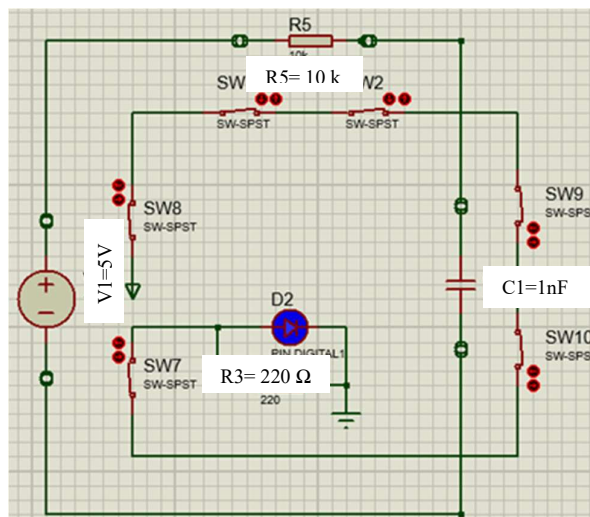


Figura 30. Simulación del circuito RC

5.5.2. Diseño del software del circuito RC

La interfaz gráfica de la figura 31 es para visualizar la respuesta transitoria del circuito, se ha incluido la opción para poder observar la respuesta en AC y DC.

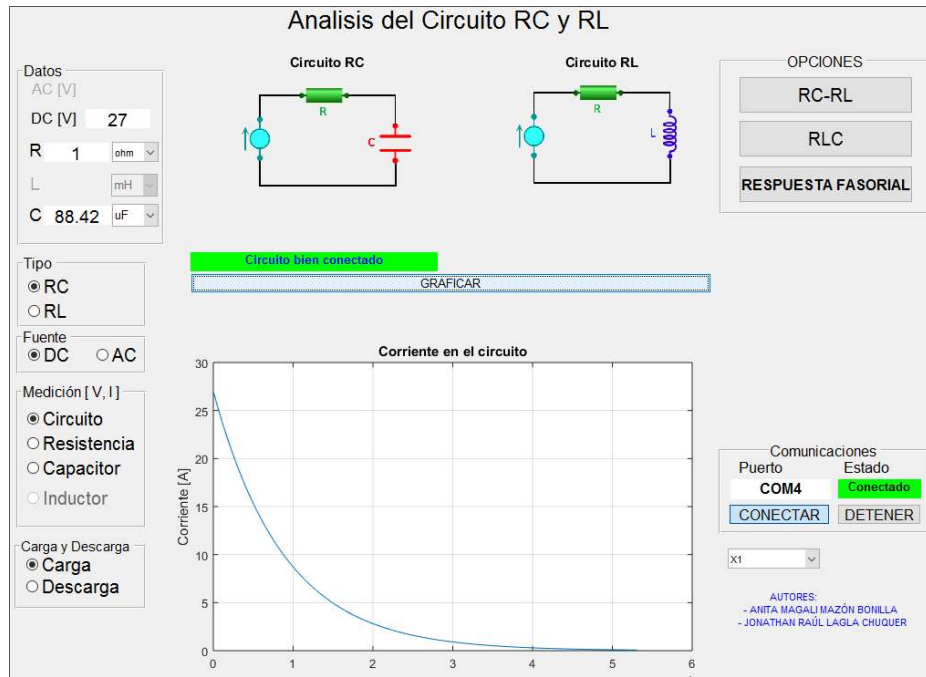


Figura 31. Interfaz HMI del circuito RC

El modelo matemático del circuito RC se demuestra a continuación:

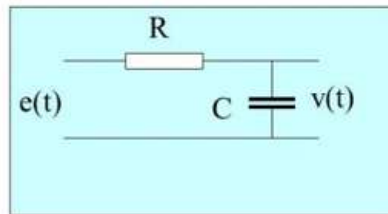


Figura 32. Modelo matemático del circuito RC [5]

- **Demostración:**

Al aplicar la Ley de Voltajes de Kirchhoff al circuito de la figura 32 se tiene:

$$E(t) = RC \frac{dv}{dt} + v(t) \tag{80}$$

$$v(0) = 0$$

Al aplicar la transformada de Laplace a la ecuación (80), se obtiene la función de transferencia del circuito RC.

$$E(s) = RCs V(s) + V(s) = V(s)[1 + RC(s)]$$

$$V(s) = \frac{E(s)}{1 + RCs} \quad (81)$$

$$H(s) = \frac{1}{1 + RCs} \quad (82)$$

5.5.3. Diseño del hardware del circuito RL

De forma similar al circuito RC, se diseña el circuito RL para verificar que el usuario realice correctamente las conexiones y así obtener un pulso digital para poder condicionar luego en la interfaz gráfica del circuito RL.

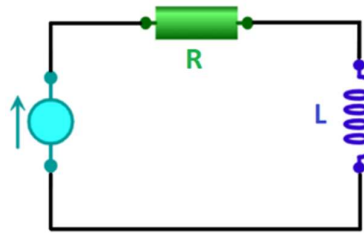


Figura 33. Diseño del circuito RL.

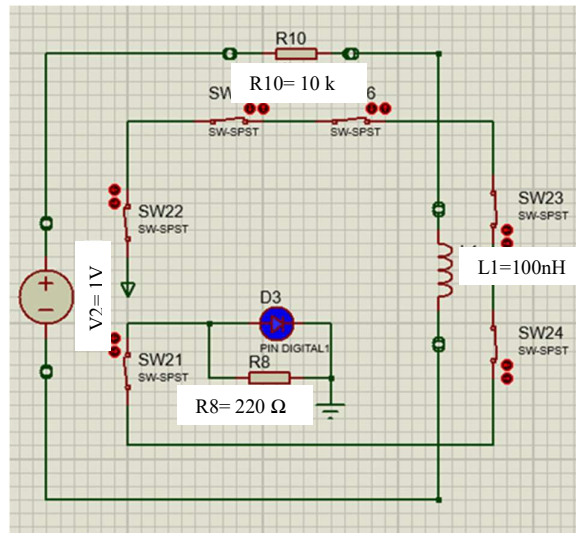


Figura 34. Simulación del circuito RL.

5.5.4. Diseño del software del circuito RL

En la interfaz gráfica de la figura 35 se puede visualizar la respuesta transitoria del circuito RL.

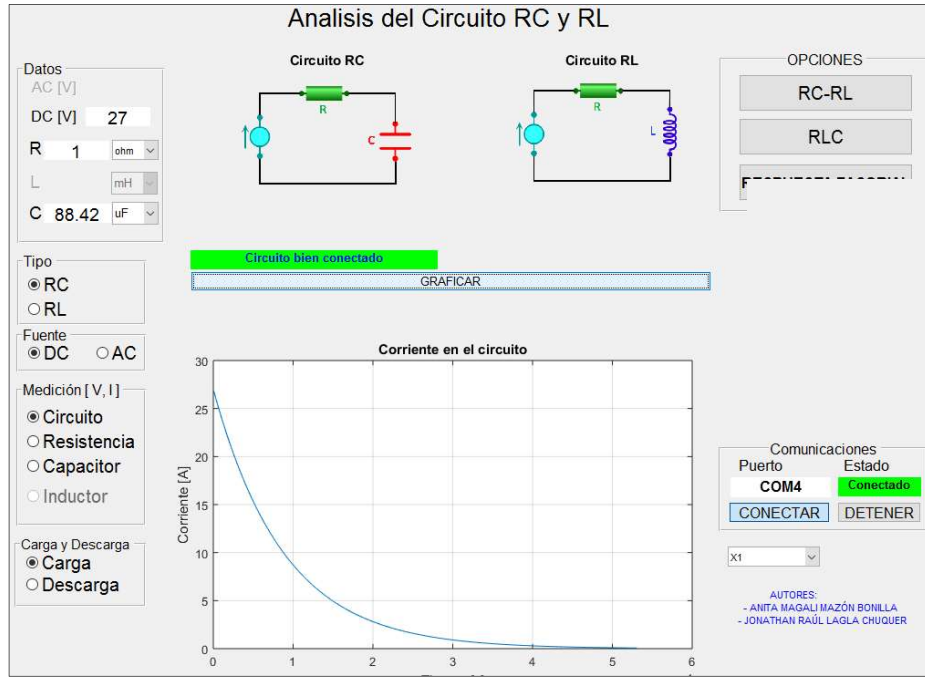


Figura 35. Interfaz HMI del circuito RL

El modelo matemático del circuito RC se demuestra a continuación:

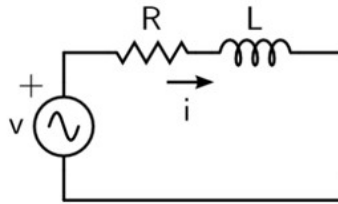


Figura 36. Modelo matemático del circuito RL

- **Demostración:**

Al aplicar la Ley de Voltajes de Kirchhoff al circuito de la figura 36 se obtiene:

$$0 = v - Ri - L \frac{di}{dt} \quad (83)$$

La ecuación anterior se puede escribir de la forma $\dot{x} = f(x, u)$, quedando:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}(v - Ri) \quad (84)$$

También se puede modelar el circuito por medio de funciones de transferencia. Considerando el sistema lineal se puede escribir:

$$H(s) = \frac{1}{Ls + R} \quad (85)$$

5.5.5. Diseño de hardware del circuito RLC serie y paralelo

Para el diseño del circuito en el MDT-01 se ha tomado en cuenta que el usuario debe conectar correctamente el circuito en serie y en paralelo para que pueda utilizar el modulo transitorio, mediante un led se puede verificar si el circuito ha sido armado correctamente.

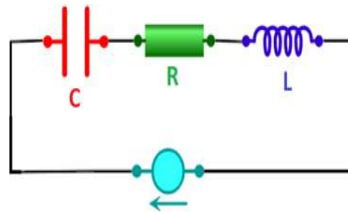


Figura 37. Diseño del circuito RLC

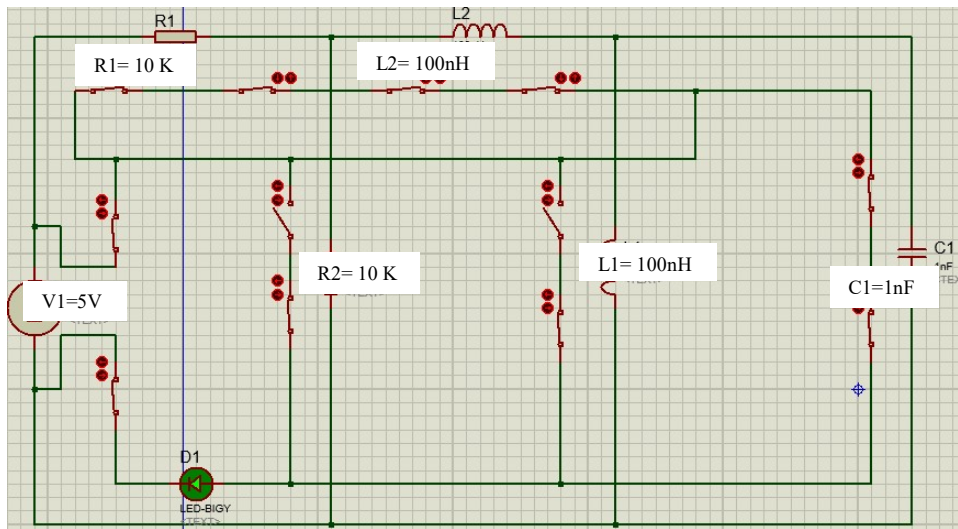


Figura 38. Diagrama electrónico del circuito RLC simulado en proteus

En la figura 38 se visualiza la simulación en proteus del circuito RLC en serie, donde el led D1 de color verde se enciende como señal de una correcta conexión.

Lo cual se procede a hacer lo mismo para el circuito RLC en paralelo como se muestra a continuación.

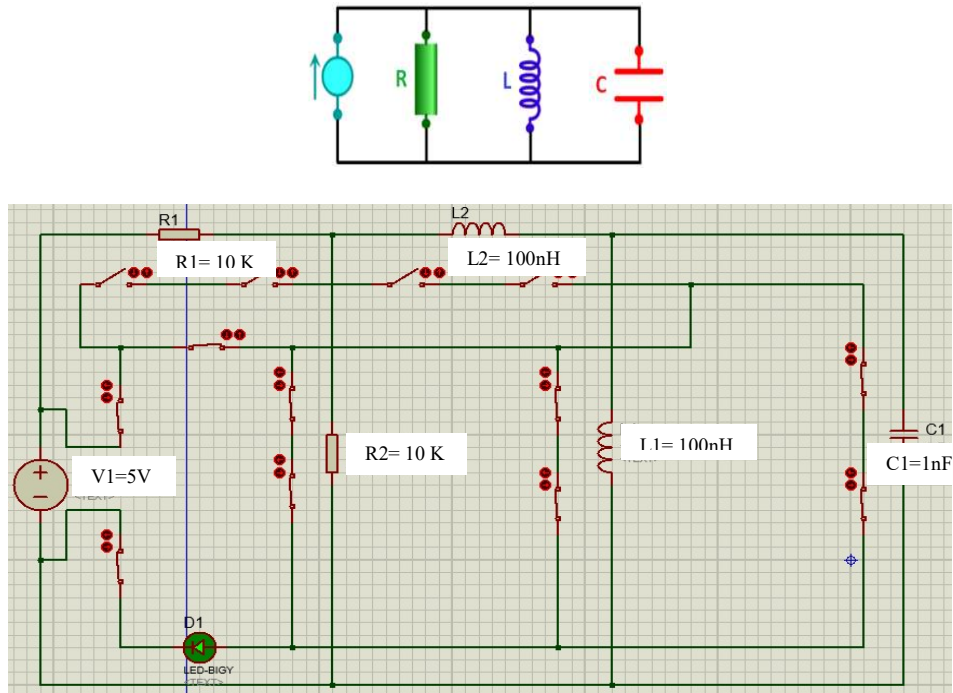


Figura 39. Diagrama electrónico del circuito RLC serie simulado en proteus.

5.5.6. Diseño de software del circuito RLC serie y paralelo

En la siguiente interfaz gráfica se puede visualizar la respuesta transitoria en serie y paralelo en tiempo real, al modificar los valores del inductor capacitor y resistencia.

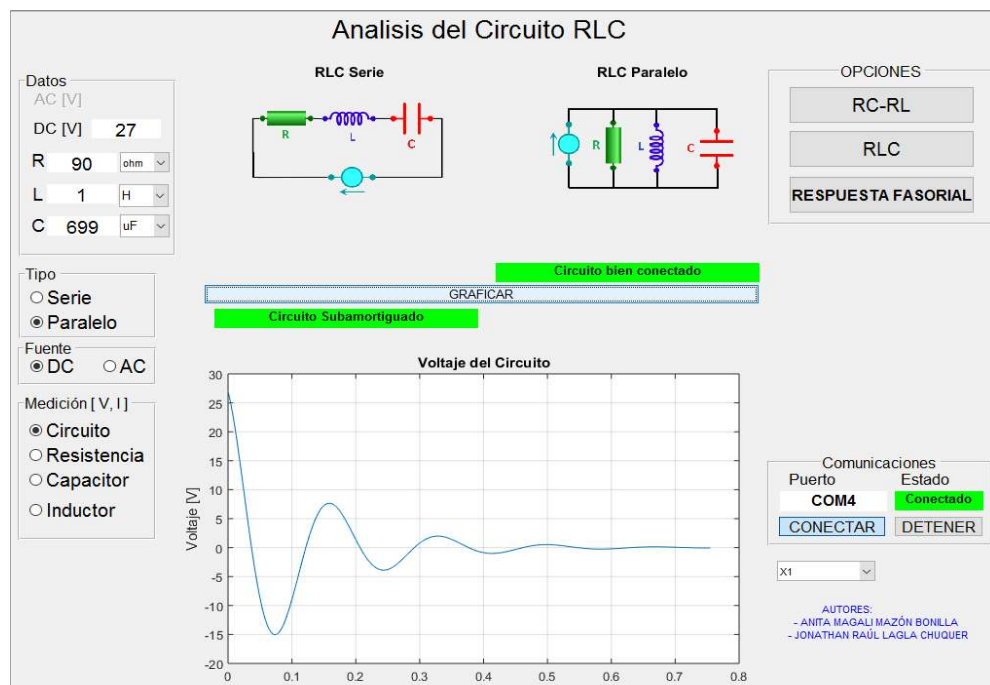


Figura 40. Interfaz HMI del módulo transitorio

En la parte del software se han utilizado funciones de transferencia para realizar las gráficas. Para graficar la respuesta del circuito transitorio en serie se utilizó la siguiente función de transferencia, ver figura 41.

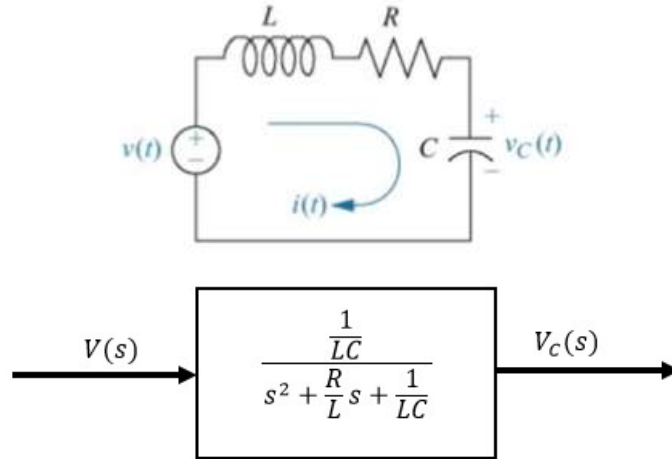


Figura 41. Modelo matemático del circuito RLC serie

- **Demostración**

Aplicando la Ley de Voltaje de Kirchhoff al circuito mostrado anteriormente se tiene:

$$\Sigma v = 0$$

$$E e_i - EL - ER - Ec = 0$$

$$E_i = EL + eR + Ec$$

$$E_i = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{c} \int i(t) \quad (86)$$

$$E_0 = Ec$$

$$E_0 = \frac{1}{c} \int i(t) \quad (87)$$

Aplicando la transformada de Laplace en (86):

$$\begin{aligned} E_i(s) &= L[s I(s) - i_0] + RI(s) + \frac{1 I(s)}{c s} \\ s c E_i(s) &= Lc s^2 I(s) + Rc s I(s) + I(s) \\ s c E_i(s) &= (Lc s^2 + Rc s + 1) I(s) \end{aligned} \quad (88)$$

Aplicando la transformada de Laplace en (87):

$$E_0(s) = \frac{1 I(s)}{c s}$$

$$\Rightarrow I(s) = c s E_0(s) \quad (89)$$

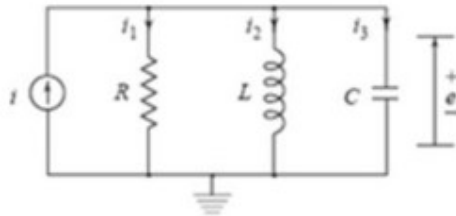
Reemplazando (89) en (88):

$$s c E_i(s) = (Lc s^2 + Rc + 1) c(s)E_0(s)$$

Luego se despeja y se obtiene $G(s)$, siendo la ecuación de transferencia del circuito RLC en serie.

$$G(s) = \frac{1/Lc}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} \quad (90)$$

Para graficar la respuesta del circuito transitorio en paralelo se utilizó la función de transferencia aplicadas en el sistema.



$$H(s) = \frac{\frac{L}{C \left(\frac{1}{Cs} + Ls \right)}}{R + \frac{L}{C \left(\frac{1}{Cs} + Ls \right)}}$$

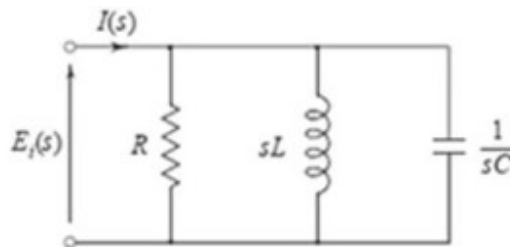


Figura 42. Modelo matemático del circuito RLC paralelo [5].

- **Demostración:**

Obteniendo la impedancia equivalente entre la resistencia y la inductancia:

$$Z(s)_{eq} = \frac{E_i(s)}{I(s)} = \frac{R}{C(R + \frac{1}{Cs})s} \quad (91)$$

Usando la impedancia obtenida en (91) se calcula la impedancia total del sistema, siendo $G(s)$ la función de transferencia del circuito RLC en paralelo.

$$\frac{1}{Z(s)_{eq}} = Y(s)_{eq} = \frac{I(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{R} + Cs + \frac{1}{Ls}$$

$$Z(s)_{eq} = \frac{E_i(s)}{I(s)} = \frac{LR}{c\left(R + \frac{1}{c s}\right) \left(\frac{R}{c\left(R + \frac{1}{c s}\right)s + L s}\right)}$$

$$G(s) = \frac{\frac{L}{c\left(\frac{1}{c s} + L s\right)}}{R + \frac{L}{c\left(\frac{1}{c s} + L s\right)}} \quad (92)$$

5.5.7. Implementación del software en Matlab

Los algoritmos para el correcto funcionamiento del MDT-01 han sido implementados utilizando Matlab, utilizando una tarjeta Arduino e instalando los complementos para el manejo del mismo en este software.

El proceso de programación se ha delimitado en su funcionalidad de modo que en la pantalla muestra cada una de las ventanas para las simulaciones y para acceder a ellas solo se debe seleccionar la deseada; mientras que los demás parámetros van a variar dependiendo del circuito a ser simulado, entre ellos se tienen: RC/RL, RL y diagrama fasoriales.

A continuación se detallan cada una de las pantallas en con sus componentes y su funcionalidad.

- **Pantalla de simulación del circuito RC/RL**

Es la primera pantalla, en la cual se va a poder simular ya sea un circuito RC o RL, consta de varios iconos o elementos necesarios para cumplir con su funcionalidad y poder graficar las respuestas graficas de los circuitos de primer orden.

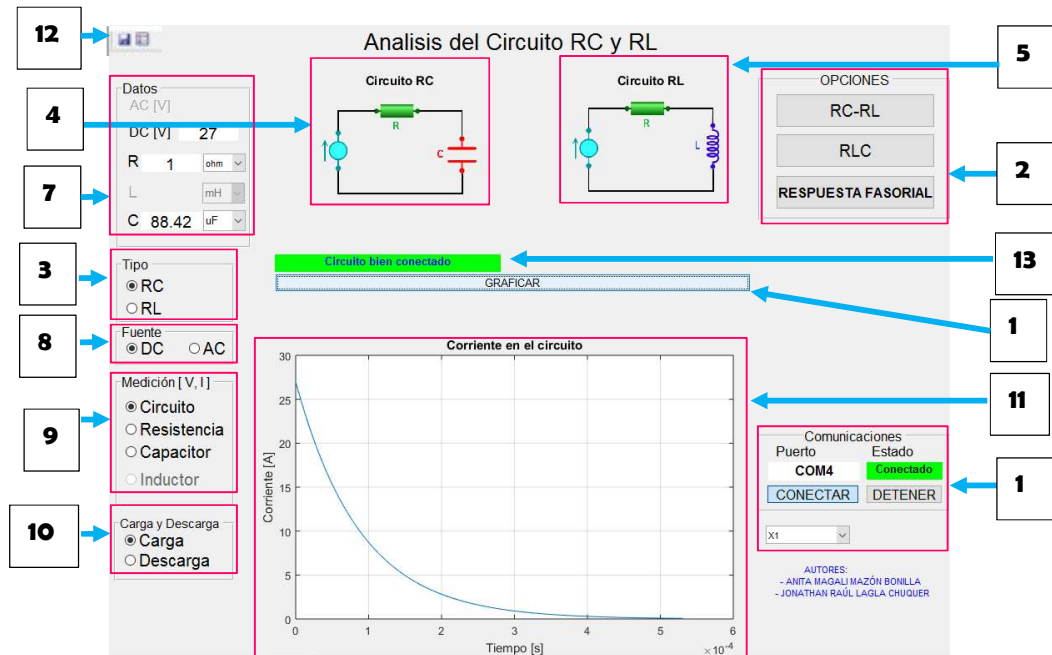


Figura 43. Interfaz HMI del circuito RC/RL

Como se puede observar en la figura 43 las partes correspondientes al HMI han sido diferenciadas de manera que tiene las siguientes zonas:

- 1) **Comunicaciones:** Muestra las tres opciones: Conectado: indica que se está trabajando correctamente. Detener: para parar la simulación y conectar: la COM3.
- 2) **Navegación:** Da las opciones de selección de las tres ventanas (RC/RL, RLC y respuesta fasorial) para las simulaciones.
- 3) **Tipo:** Se selecciona el tipo de circuito a simular; sea RC o RL.
- 4) **Circuito RC:** En la pantalla se visualiza el esquema del circuito a trabajar.
- 5) **Circuito RL:** En la pantalla se visualiza el esquema del circuito a trabajar.
- 6) **Indicador de conexión:** Bajo el esquema del tipo de circuito seleccionado muestra el mensaje de circuito bien conectado, caso contrario en color rojo indica el error de mala conexión de acuerdo donde se sitúe, hasta cuando se realice correcta la conexión.
- 7) **Datos:** Permite la selección y calibración de los parámetros de: la fuente de voltaje AC entre 1 – 220 v y DC entre 1 – 48 voltios. Los elementos eléctricos: con valores entre 1 – 999; resistencia (R) en Ω , $k\Omega$, $M\Omega$; inductancia (I) en H, μH , mH y capacitancia (C) en μF , pF, nF; mismos que al variar cambian en dominio al tiempo.
- 8) **Fuente:** Para seleccionar el voltaje en corriente alterna (AC) y directa (DC).

9) **Medición V o I:** Permite escoger cada uno de los ítems para visualizar las respectivas mediciones, ya sea de voltaje o corriente de acuerdo a la configuración del circuito.

En circuito se puede observar la medición de todo el circuito, mientras que las demás permiten visualizar por cada elemento.

10) **Carga y descarga:** Es la opción para visualizar las ondas de carga y descarga de los elementos resistivos o inductivos.

11) **Gráfica:** Donde se observa las respuestas gráficas de las simulaciones de los diferentes circuitos; las mismas que van a estar representadas en el eje de xy, sea corriente o voltaje respecto al tiempo; como también al momento de existir una mala conexión muestra el mensaje de error especificado anteriormente en el punto seis.

12) **Opción de guardar:** Se guardará automáticamente en documentos con la fecha y hora de ejecución; esto en forma de datos en la herramienta de Excel.

13) **Graficar:** Es la opción para graficar las ondas de acuerdo al circuito planteado.

- **Pantalla de simulación del circuito RLC serie - paralelo**

Aquí se pueden simular circuitos de segundo orden, donde intervienen tres elementos eléctricos R, L, C. Se tienen los mismos componentes de la interfaz RC/RL descrita anteriormente, con excepción de la que se describe a continuación.

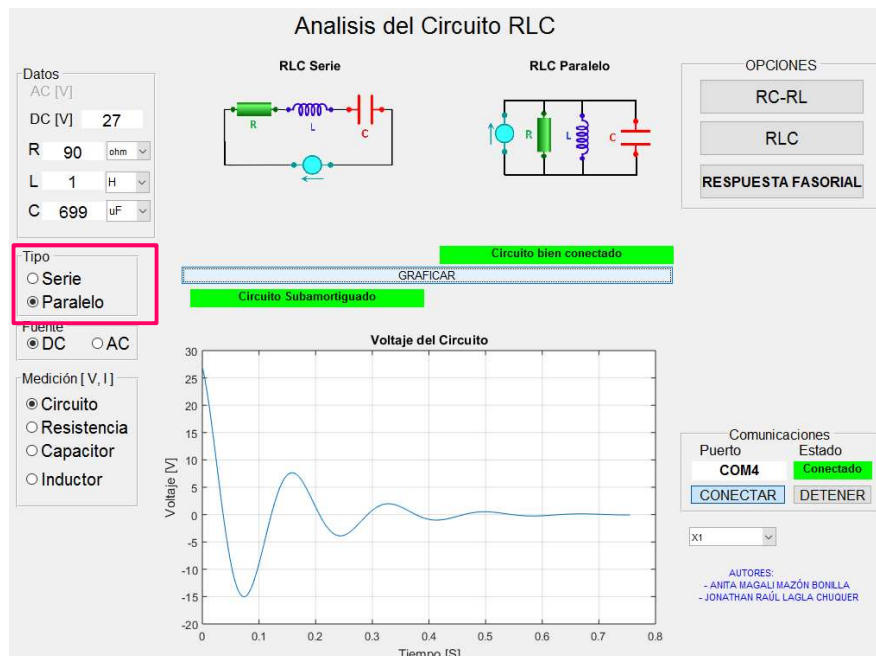


Figura 44. Interfaz HMI del circuito RLC

Tipo: Esta opción cambia con respecto a la anterior pantalla, aquí se escoge el tipo de configuración de circuito, sea serie o paralelo.

- **Pantalla de simulación de diagramas fasoriales**

En esta pantalla se podrá visualizar el grado de desfase de la corriente con respecto al voltaje y viceversa, a continuación se describen los iconos que lo conforman.

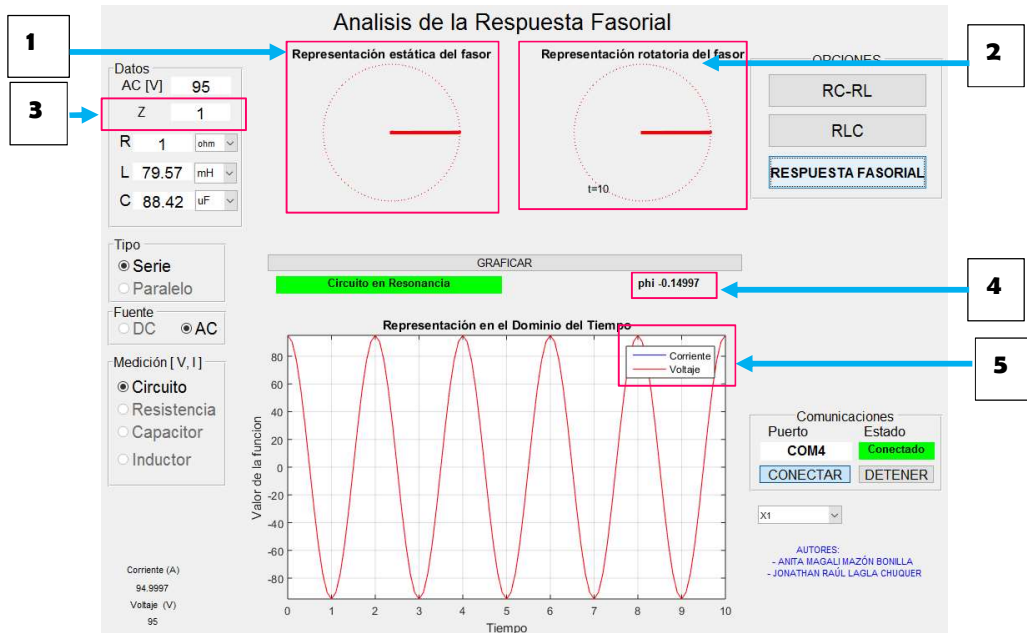


Figura 45. Pantalla de simulación de diagramas fasoriales

1) Representación estática del fasor:

De manera estacionaria indica el ángulo de desfase existente entre los elementos con respecto al tiempo.

2) Representación rotatoria del fasor:

En forma giratoria indica el ángulo de desfase existente entre los elementos con respecto al tiempo.

3) Impedancia:

Representada con la letra Z , es aquella medida de oposición de la corriente de un circuito cuando se aplica un voltaje. Posee tanto magnitud como fase, cuando un circuito es alimentado con corriente continua (CC), su impedancia es igual a la resistencia, lo que puede ser interpretado como la impedancia con ángulo de fase cero.

4) Desfase:

Muestra los grados de desfase entre voltaje y corriente que se presente al momento de la ejecución del circuito.

5) Corriente/voltaje:

Indica la forma de representación de las ondas de corriente (color rosado) y voltaje (azul), que son visualizados en la gráfica al momento de simular un circuito.

Además hay que mencionar que el resto de iconos no se describen porque son los mismos de las pantallas anteriores que ya fueron detallados. Para las practicas se llevara una secuencia desde los circuitos más básicos hasta llegar a respuestas fasoriales y por ende ya serán conocidos por el usuario.

Además en esta pantalla solo se trabaja con corriente alterna, porque solo en ésta se tendrá a la corriente sinusoidal.

5.6. Análisis electrónico

Para la implementación del módulo de análisis transitorio se han utilizado un conjunto de elementos electrónicos para el correcto funcionamiento del mismo, estos elementos han sido dimensionados con respecto a las condiciones y necesidades en el MDT-01.

Los elementos electrónicos presentan una gran diferencia con respecto a elementos eléctricos, cada uno tiene sus ventajas y desventajas, unos por aportar mayor precisión con respecto en sus cálculos, mientras que los del MDT-01 son más baratos y de menor tamaño.

En este sistema se diferencian el de control, donde se ha implementado el sistema operativo y software necesario para el procesamiento, el sistema de adquisición de datos donde se toman las mediciones necesarias que posteriormente se procesan para presentar la salida deseada en el sistema de visualización.

5.6.1. Requerimientos del sistema de control del MDT-01

Se toma como sistema de control del MDT-01 al procesador utilizado, para ello las cualidades del mismo dependen de la exigencia de la aplicación implementada, como este caso Matlab.

5.6.2. Instalación del software

El software del módulo transitorio ha sido instalado en Matlab debido a la potencia del programa para análisis matemáticos tales como la obtención de funciones de

transferencia, cálculo de parámetros de la señal de entrada y cálculo en el dominio del tiempo de la señal de salida.

De igual manera la interfaz gráfica ha sido implementada en la herramienta de Matlab (GUI) para interfaces gráficas de usuario que permiten visualizar las gráficas de entrada salida de las ondas e interactuar con el sistema mediante botones para el control de su comportamiento.

A continuación se muestran los requerimientos necesarios del sistema para que soporte al software de Matlab:

Tabla 4. Requerimientos del sistema para la instalación de Matlab [26].

Requerimientos del sistema para la instalación de Matlab				
Sistema operativo	Procesador	Disco	RAM	Gráficos
Windows 10	Mínimo Cualquier procesador	Un mínimo de 2.6 GB de espacio en el disco duro para MATLAB, 4-6 GB para una instalación típica	Mínimo 4 GB	No se requiere una tarjeta gráfica específica.
Windows 7 Service Pack 1	Intel o AMD x86-64		Recomendado 8 GB	
Windows Server 2016	Recomendado Cualquier procesador	Recomendado Se recomienda un SSD	Para Polyspace, se recomiendan 4 GB por núcleo.	Se recomienda una tarjeta gráfica acelerada por hardware que admita OpenGL 3.3 con 1 GB de memoria GPU.
Windows Server 2012 R2	core i5 de tercera generación,	Una instalación completa de todos los productos MathWorks puede tomar hasta 23 GB de espacio en disco		
Windows Server 2012	con un disco duro de 8G de memoria RAM y una velocidad de procesamiento de 3.6 GHz			

Finalmente para la adquisición de datos se ha utilizado una tarjeta externa Arduino a modo de obtener señales de control y mediciones de las señales del sistema.

Arduino es un software multiplataforma que al correr código similar a C++ permite la interacción y el uso de las placas de la misma marca mediante un conjunto de librerías, no requiere prestaciones mayores que un sistema Windows de 32 o 64 bits para poder instalar el IDE de desarrollo y para ser conectado con Matlab únicamente se deben instalar las librerías de soporte para Arduino que proporciona en su página oficial [24].

Debido a estos requerimientos se ha optado por un computador core i5 de tercera generación, ajustándose dentro de las especificaciones mínimas requeridas en la tabla 8.

5.6.3. Requerimientos del sistema de adquisición de datos del MDT-01

Como se ha mencionado antes para interactuar con el HMI y mostrar las medidas de cada uno de los elementos del módulo transitorio, como son resistencias, capacitores e inductores se ha utilizado el Arduino Mega como tarjeta de adquisición de datos.

Las capacidades del sistema de adquisición de datos han sido seleccionadas debido a las siguientes razones:

- a) Uso de entradas de control para la verificación de la correcta conexión del circuito:
Para lo cual se han utilizado los pines que se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 5. Pines de verificación de conexión en los circuitos RLC, RL y RC

Pines de verificación de conexión en los circuitos RLC, RL y RC				
Placa		Pines	Estado	Funcionalidad
Arduino Mega		A0	ALTO	RLC Serie Bien Conectado
			BAJO	RLC Serie Mal Conectado
		A1	ALTO	RLC Paralelo Bien Conectado
			BAJO	RLC Paralelo Mal Conectado
		A2	ALTO	RC Bien Conectado
			BAJO	RC Mal Conectado
		A3	ALTO	RL Bien Conectado
			BAJO	RL Mal Conectado

Si se reciben las señales de voltajes emitidos por los divisores de voltajes de los diferentes circuitos, el software puede validar si se realiza la presentación de las señales

en pantalla, mientras si quedan en bajo no se validará el circuito como bien conectado y por ende mientras no se conecte bien no se podrá proceder con la simulación.

b) Uso de entradas analógicas para medición de las variables en resistencia, inductancia y capacitancia del MDT-01.

Las medidas de resistencia, inductancia y capacitancia se han separado en rangos de trabajo que pueden ser ajustados mediante botoneras arduinas keys, de manera que el valor referencial del potenciómetro obtenido en una de las entradas analógicas del Arduino se puede representar un valor de cada una de las variables antes mencionadas y su posterior cálculo para la presentación del resultado en pantalla.

Tabla 6. Entradas de medición en los circuitos RLC, RL y RC.

Entradas de medición en los circuitos RLC, RL y RC					
Placa	Pines	Rango en voltaje	Valor del elemento	Unidades	Funcionalidad
Arduino Mega	A0	0	1	[F]	Valor analógico referencial del capacitor
		1023	999		
	A1	0	1	[Ω]	Valor analógico referencial de la resistencia
		1023	999		
	A2	0	1	[H]	Valor analógico referencial del inductor
		1023	999		Valor analógico referencial del inductor

c) La utilización de la placa es de 4 pines digitales y 3 analógicos, este requerimiento podría suponer suficiente la implementación del programa en una placa Arduino UNO, no obstante como se menciona en [25] aparte de tener más pines que el resto de modelos de Arduino cuenta con más memoria para el programa y más RAM de manera que este tiene mejor funcionalidad con sus 16 MHz de velocidad de reloj.

5.6.4. Requerimientos del sistema de visualización del MDT-01

El sistema de visualización debe ser compatible con el sistema que va a controlar todo el modulo es decir, el CPU core i5 de tercera generación que ha sido seleccionado con anterioridad, para ello los únicos requerimientos de han sido denotados como una entrada compatible a las soportadas por el mismo.

La selección de un monitor para la presentación del HMI ha sido seleccionada debido al tamaño de 17” para una correcta visualización de las escalas en las gráficas y debido a la compatibilidad de entrada VGA disponibles en la mayoría de modelos de distintas marcas.

5.7. Análisis estructural y mecánico

En este apartado se explica la selección del material, que implica un análisis de las propiedades fisicoquímicas del tablero de MDF de 6cm y 9 cm de grosor y la ingeniería que se desarrolla para la construcción del MDT-01 y su soporte metálico; sobre todo si se considera que es enfocado para la enseñanza y la manipulación del mismo en varias ocasiones dentro de las instalaciones de la universidad.

A continuación se presentan algunas consideraciones para la selección del material.

5.7.1. Uso final

Como ya se mencionó, el primer paso es indagar sobre las condiciones en las que va a estar expuesto el MDT-01 y su soporte metálico para determinar el tipo material a ser utilizado.

5.7.2. Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión es alta, ya que va a ser instalado en el laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, lugar donde cumple con todas las debidas precauciones y reglas para la instalación del MDT-01, por ello la corrosión no es muy alta, debido a que la presencia de humedad no está dentro de un porcentaje alto y categoría del mismo está dentro de los materiales madereros.

5.7.3. Propiedades mecánicas

Considerando el uso de un procesador core I5 de tercera generación dentro del módulo, se destacan las propiedades de esfuerzo a la fricción y la tracción; ya que serán los que protejan la parte interna del módulo.

5.7.4. Características finales del producto

Una vez terminado el diseño y construcción del MDT-01 y soporte metálico; teniendo en conocimiento los fines en los cuales se va a emplear, se determina que existe el esquema óptimo para el mismo.

5.7.5. Costo total

Se detalla los siguientes parámetros en donde puede influenciar alguna depreciación de la vida útil, donde la única solución sea invertir unidades monetarias en lo siguiente.

- Costos del material
- Costos de mantenimiento
- Reemplazo de elementos
- Vida en servicio

5.7.6. Disponibilidad

El material seleccionado es de uso comercial y educativo, por lo que el MDF es el material con mayor disponibilidad en el mercado.

5.7.7. Uso y mantenimiento

Una vez hecho la entrega del MDT-01 a la persona encargada del laboratorio de la carrera de ingeniería eléctrica, conjuntamente con las guías de prácticas y un manual de usuario donde consta un listado de recomendaciones para el cuidado y mantenimiento del mismo, además de normas a cumplir para el uso con el fin de mejorar la interactividad con el usuario.

5.7.8. Análisis y selección del material

La selección del material se realizó de manera categórica debido a que no existen cargas dinámicas, por lo que se escogió un tablero de espesor conveniente a los autores y a los criterios teóricos presentados anteriormente, destacando la importancia de disponibilidad y uso final del MDT-01.

Además, hay que tomar en cuenta un factor importante que es el hinchamiento del material, ya que si la estructura es realizada con tolerancias de ajuste, al momento de expandirse el espesor puede ocasionar dificultades en las conexiones por ello en base a estas consideraciones se seleccionó MDF de 6cm y 9 cm de espesor; siendo las de 9 cm para soporte de la base y estructura.

5.8. Elaboración del Módulo y soporte metálico

En vista de que el módulo no debe cargar ni soportar mayores esfuerzos se escogió como material MDF de 6 y 9mm. Pero como el usuario debe presionar ligeramente para que los

cables, banana machos embonen en los jacks hembras del tablero, se ha realizado el estudio mecánico correspondiente para evitar que el tablero se rompa o se doble excesivamente.

Además se han realizado el diseño tanto de hardware como de software de los circuitos transitorio RC, RL y RLC.

El diseño del modelo estructural del MDT-01 y su soporte metálico se realizó en el software AutoCAD. El módulo se ha dividido en diversas piezas, las mismas que están constituidas en MDF de 6 y 9mm de espesor cortadas por sierras eléctricas de alta precisión, estas piezas son diseñadas para que puedan ser unidas fácilmente unas con otras, y reforzar la unión con ayuda de pegamento y clavos; mientras que el soporte metálico es soldado con electrodos

A continuación se describe las 6 piezas que conforman el MDT-01.

Pieza 1: Tablero principal

Es la parte frontal del módulo, está constituido por varios elementos electrónicos, que permiten la constitución de un sistema para la simulación de los circuitos de primer y segundo orden.

Tabla 7. Características dimensionales del MDT-01

MEDIDAS DEL MDT_01	
NOMBRE	MEDIDA EN (cm)
ALTO	110
ANCHO	80
ESPEJOR	0,06

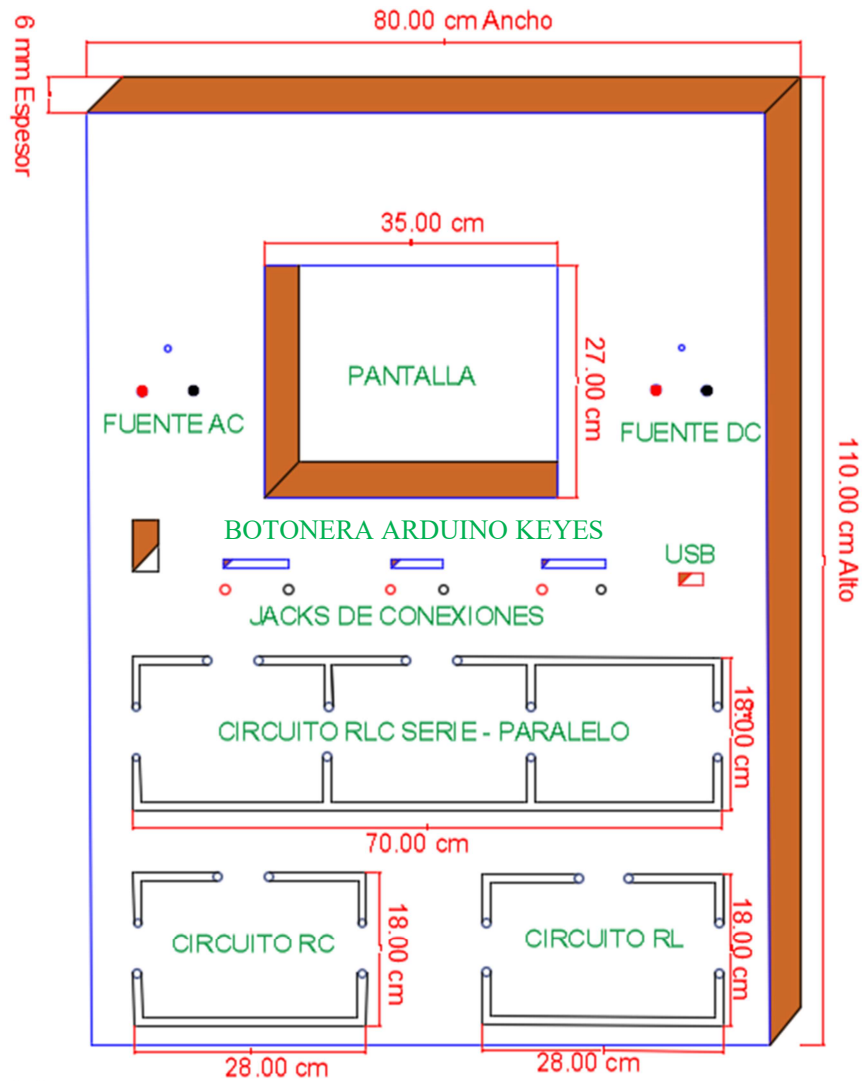


Figura 46. Diseño del Módulo didáctico en AutoCAD.

Elementos del tablero principal

El tablero principal está constituido por tres partes que son: fuente y monitor, circuito RLC serie – paralelo y circuito RC/RL; mismos que son detallados a continuación.

- **Elemento 1: Fuente y monitor**

El monitor se encuentra centrado en el tablero principal para visualizar las ondas que presenta el transitorio en los circuitos en estudio respectivamente, también ahí se encuentra la fuente que el usuario debe seleccionar si es DC o AC teniendo en cuenta que, las dos fuentes son variables y los potenciómetros lineales que el usuario debe deslizar para variar los valores internos de los elementos de cada uno de los circuitos RC, RL y RLC, dentro de los siguientes rangos:

Tabla 8. Rango de valores de Condensador, Resistencia e Inductancia.

Rangos de valores de los elementos R, L, C.			
Elementos	Rangos		
Capacitor	Pico Faradio (pF)	Nano Faradio (nF)	Micro Faradio (μ F)
	1-999	1-999	1-999
	Rangos		
Resistencia	Ohmios (Ω)	Kilo Ohmios (K Ω)	Mega Ohmios (M Ω)
	1-999	1-999	1-999
	Rangos		
Inductor	Henrio (H)	Micro Henrio (μ H)	Mili Henrio (mH)
	1-999	1-999	1-999
	Rangos		

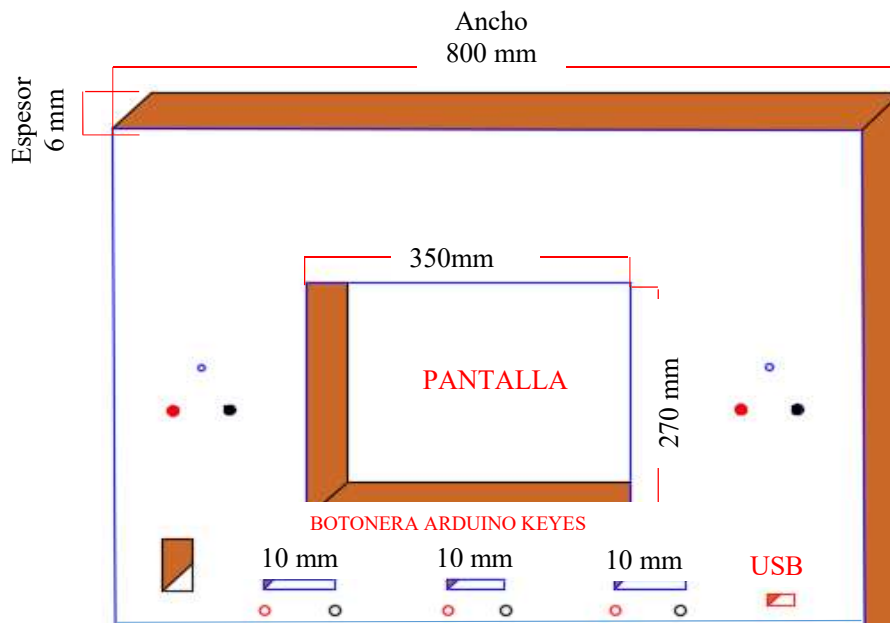


Figura 47. Parte superior del MDT-01

- **Elemento 2: Circuito RLC serie y paralelo**

Para el circuito RLC serie – paralelo se diseñó de manera más básica a fin de que el estudiante pueda contar con ergonomía y a la vez facilitarse el trabajo al momento de las respectivas conexiones, además cabe indicar que cada sistema tiene una condición de conexión, que gracias a la pantalla de visualización arrojará un mensaje de error en caso de realizar una conexión inadecuada, mismo que se encuentra especificado en el manual de usuario.

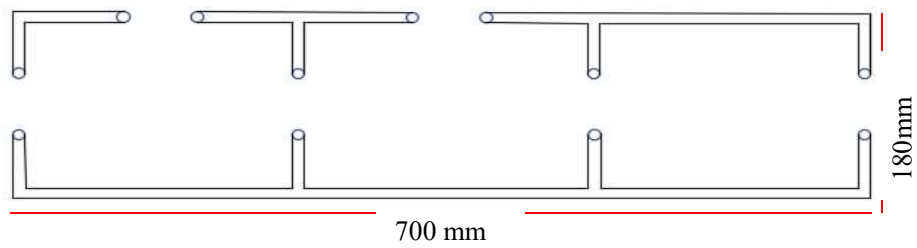


Figura 48. Modelo del circuito RLC serie – paralelo del MDT-01

Tabla 9. Características del elemento 2 circuitos RLC serie y paralelo

Características del elemento 2	
Tablero inferior – Circuito RLC	Características
Altura	18 cm
Largo	70 cm
Espesor	6mm
Número de Jacks	12
Partes que lo componen	2

- **Elemento 3: Circuito RC y RL**

Para el circuito RC/RL, de igual forma que en el apartado anterior presenta su esquema de conexión en serie que se presenta a continuación.

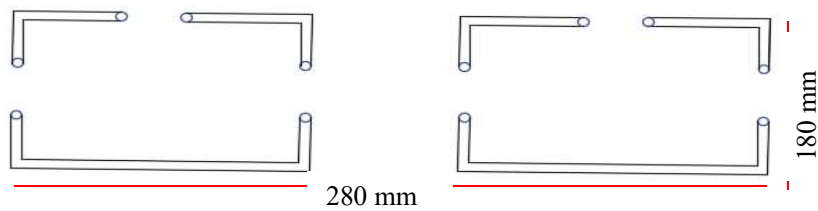


Figura 49. Modelo de los circuitos RL – RC del MDT-01

Tabla 10. Características del elemento 3 circuitos RC, RL

Características del elemnto 3	
Tablero inferior – Circuito RLC	Características
Altura	18 cm
Largo	28 cm
Espesor	6mm
Número de Jacks	6
Partes que lo componen	2

Pieza 2: Tapa posterior del MTD-01.

Para la tapa posterior se utilizó un tablero de 1100mm x 800mm x 6mm de espesor, que cubrirá las conexiones internas y elementos que constituyen en MTD-01, se tuvo en cuenta que el modulo al estar cerrado todos los lados, pero para ayudar a la ventilación y que no se encierre el calor que produce el CPU se realizó un corte en la parte inferior de la tapa posterior del módulo la cual tendrá una dimensión de 150 x150 mm.

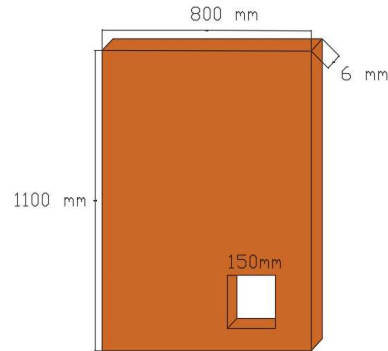


Figura 50. Tapa posterior del MDT-01

Pieza 3 – 4: Tapa lateral izquierda y derecha

Para la tapa lateral izquierda y derecha se utilizó un tablero de MDF de 9 mm de espesor para que el mismo pueda auto soportar el peso de la estructura.

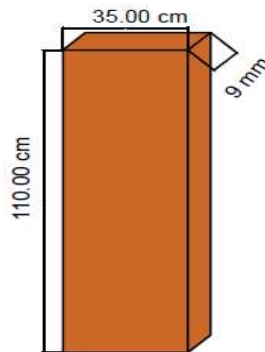


Figura 51. Tapa Lateral izquierda y derecha del MDT-01

Pieza 5 – 6: Tapa superior e inferior

Para las tapas superior e inferior se utilizó el mismo material de las tapas laterales tanto izquierda como derecha un MDF de 6 mm de espesor teniendo en cuenta que la distancia entre soportes es de 800 mm y si el tablero es de menor espesor puede llegar a pandearse, por ello se

eligió dicho espesor, el término pandearse hace referencia al acto donde un material llega a tener una curvatura sea hacia dentro o fuera.

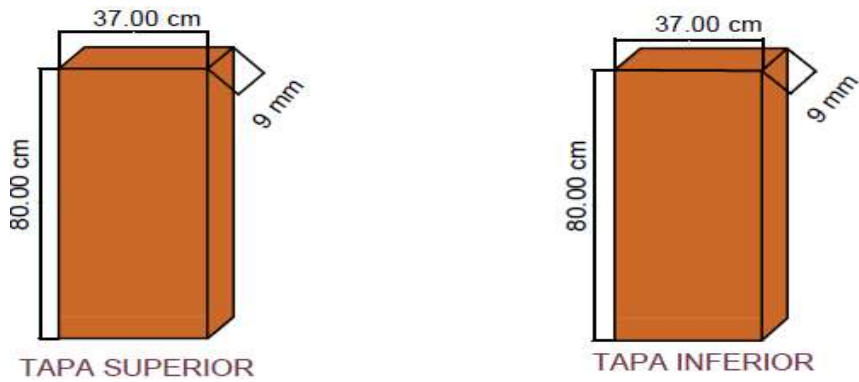


Figura 52. Tapa superior e inferior del MDT-01

Soporte Metálico

Aquel que soporta todo el peso del MDT-01, por ello se determinó que para mayor seguridad se utilizó material metálico que pueda soportar un peso considerable y el soporte se lo realizó con ángulo metálico.

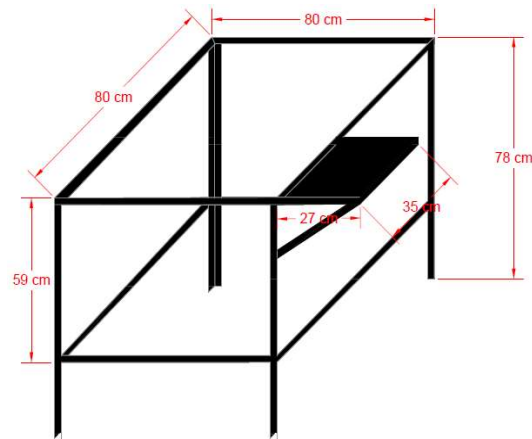


Figura 53. Soporte metálico para el MDT-01

5.9. Armado Mecánico del MDT-01 y soporte metálico

Para empezar el armado del MDT-01 se tuvo que unir los cortes que se presentaron en el apartado anterior, y se hizo uso clavos y pegamento para poder fijar cada corte uno al otro. Se empezó uniendo los cortes laterales y superiores para poder fijar los elementos del módulo.

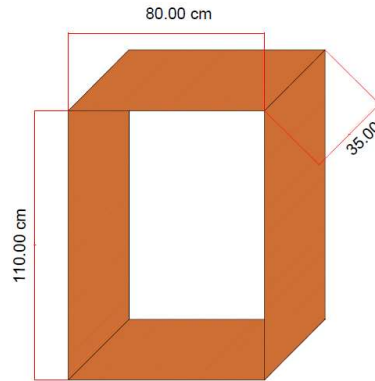


Figura 54. Estructura laterales y superiores del MDT-01

Como muestra la figura anterior el soporte es fijo y estable lo suficiente para poder soportar todo el esfuerzo que se le añadirá más adelante, cabe indicar que el mayor peso recae en la parte inferior del módulo, sobre la estructura metálica.

Tapa principal

Para la vista principal se realizó las respectivas perforaciones para la inserción de los respectivos elementos que conforman el MDT-01, en la siguiente imagen se podrá visualizar en donde se ubicaran tos elementos.

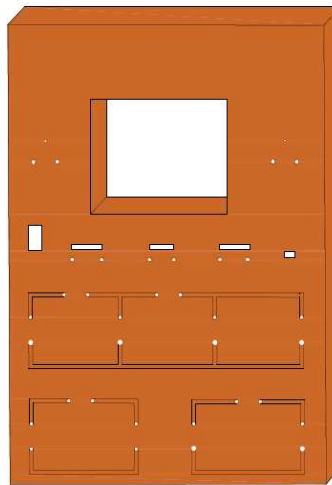


Figura 55. Diseño frontal del tablero y sus perforaciones del MDT-01

Como se ilustra en la figura 55, las partes en blanco son donde se realizaron las perforaciones para cada uno de los diferentes elementos que fueron ubicados en el MDT-01 que son: Jacks, botoneras de arduino keys, monitor, botón de accionamiento del módulo, puerto USB y potenciómetros rotatorios.

Vista explosionada del MDT-01

A continuación se presenta la gráfica de la construcción del MDT-01 en forma explosionada mostrando la forma que se unió cada una de las piezas para obtener el trabajo final con todos los elementos que lo conforman.

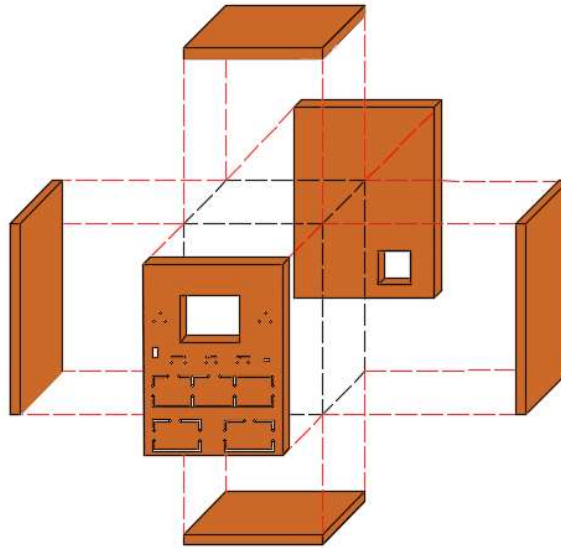


Figura 56. Vista explosionada obtenida en AutoCAD y armado del MDT-01

5.10. Normas de utilización del MDT-01

1. Seguir las medidas del manual y guías de laboratorio del MDT-01.
2. Tener cuidado riguroso con la manipulación de los elementos eléctricos a fin de evitar fallas.
3. No utilizar cables de conexión en mal estado.
4. Verificar que los conectores tipo hembra del MDT-01 se encuentren en buen estado, porque de no ser así; no haría contacto y arrojaría un error y a la vez no va a poder continuar con la simulación.
5. No abrir el módulo, puesto que las conexiones internas deben ser revisadas por personal autorizado.
6. No introducir objetos extraños en las aperturas para conexión de cables o conectores tipo banana pues se pueden provocar fallos y cortocircuitos.
7. No empujar la pantalla pues podría comprometer la integridad de la misma.
8. Si observa que la pantalla o algún otro elemento empiezan a parpadear, apagar el módulo e informar al docente inmediatamente, para que él pueda verificar y tomar las medidas correspondientes.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. Presupuesto.

Para la implementación del MDT-01 en los laboratorios de eléctrica de la universidad Técnica de Cotopaxi, se presenta a continuación la inversión de acuerdo al desarrollo del presente proyecto.

6.1.1. Listado de materiales eléctricos y electrónicos

Constan todos los materiales eléctricos y electrónicos necesarios para la construcción del MDT-01 y se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Listado de materiales eléctricos y electrónicos

Materiales Eléctricos y electrónicos			
Cantidad	Descripción	Precio U.	Precio T.
1	CPU core i5 de tercera generación	\$ 285,00	\$ 285,00
1	Monitor LG de 17"	\$ 68,00	\$ 68,00
1	Placa Arduino Mega	\$ 20,00	\$ 20,00
34	Jacks Hembra	\$ 0,06	\$ 2,04
3	Botonera Keyes de Arduino	\$ 4,50	\$ 13,50
5	Baquelitas perforadas de 5 x 5 cm	\$ 0,75	\$ 3,75
30	Metros de cable flexible # 16	\$ 0,38	\$ 11,40
8	Resistencias de 330 ohm	\$ 0,06	\$ 0,48
6	Resistencias de 220 ohm	\$ 0,06	\$ 0,36
4	Resistencias de 1 kohm	\$ 0,08	\$ 0,32
2	Resistencias de 470 ohm	\$ 0,06	\$ 0,12
3	Resistencias de 2,2 k ohm	\$ 0,08	\$ 0,24
1	Resistencia de 870 ohm	\$ 0,06	\$ 0,06
1	Canaleta perforadas de 25 x 40 mm	\$ 6,35	\$ 6,35
1	Paquete de cables hembra de 40 unidades	\$ 2,00	\$ 2,00
24	Bananas macho	\$ 0,16	\$ 3,84
1	Metros de estaño	\$ 0,25	\$ 0,25
1	Pasta para estañar	\$ 1,35	\$ 1,35
1	Paquete de cables de 40 unidades	\$ 3,00	\$ 3,00
2	Tiras tipo bornera de 5 amps	\$ 1,75	\$ 3,50
2	Potenciómetros rotatorios de 100 k	\$ 0,75	\$ 1,50
Total			\$ 427,06

6.1.2. Listado de materiales mecánicos, metálicos, entre otros

La tabla 12 muestra la lista de materiales mecánicos, metálicos u otros que fueron necesarios para la construcción del MDT-01.

Tabla 12. Listado de materiales mecánicos, metálico entre otros

Materiales Mecánicos			
Cantidad	Descripción	Precio U.	Precio T.
1	Funda de amarra cables	\$ 2,75	\$ 2,75
1	Goma blanca	\$ 0,45	\$ 0,45
1	Caja plástica de 20 x 15 x 10 cm	\$ 15,00	\$ 15,00
6	Barras de silicona	\$ 0,25	\$ 1,50
4	Bisagras pequeñas	\$ 1,40	\$ 5,60
2	Perfiles metálicos de 6m	\$ 12,00	\$ 24,00
1	Vinilo	\$ 140,00	\$ 140,00
2	Tableros de MDF	\$ 72,00	\$ 144,00
Total			\$ 333,30

6.1.3. Costo total del proyecto

El costo total de la implementación del proyecto de tesis “Estudio del régimen transitorio de los circuitos eléctricos mediante la implementación de un módulo didáctico” es de 963,60 dólares, donde no se incluye mano de obra por haber sido construida netamente por los autores.

Tabla 13. Costo total del proyecto

COSTO TOTAL DEL PROYECTO		
Cantidad	Descripción	Monto T.
1	Materiales eléctricos	\$ 427,06
1	Materiales mecánicos y otros	\$ 333,30
1	Gastos varios	\$ 100,00
	Sub Total	\$ 860,36
	I.V.A 12%	\$ 103,24
	TOTAL	\$ 963,60

6.2. Análisis de impactos

6.2.1. Impactos técnicos

Cada instrumento implementado en un laboratorio es de suma importancia al momento del aprendizaje, por lo que el módulo tiene la habilidad de simular los circuitos conectados en los paneles, logrando así una mayor interactividad para el estudiante y mayor enfoque a la parte práctica donde corroboraran los resultados teóricos.

Para la Universidad aporta positivamente la réplica del MDT-01 debido a su incremento de equipos para prácticas donde abarca la enseñanza a mayor número de estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de los ciclos inferiores, además es importante para la acreditación de la carrera dando mayores fundamentos prácticos a las enseñanzas impartidas por los docentes.

6.2.2. Impactos sociales

El proyecto en el ámbito estudiantil trata de inculcar de una manera más concisa e interactiva la enseñanza y aprendizaje del régimen transitorio de los circuitos RC, RL y RLC, facilitando el dinamismo de las prácticas de laboratorio, por lo tanto, se puede predecir una mejora en el entendimiento al momento de fomentar los temas tratados en clases.

6.2.3. Impactos ambientales

Los materiales electrónicos de cobre y estaño utilizados en la implementación del MDT-01 tienen una vida útil de trabajo y al culminarla se debe desecharlos de una forma correcta como lo indica el RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), para una correcta limpieza y un uso adecuado de los elementos, dichos materiales en grandes cantidades pueden causar daños para la salud y más aún daños ambientales, se recomienda el reciclaje o desperdicio en lugares con certificaciones ecológicas y no en suelos, ya que interrumpe con la descomposición de la materia orgánica.

La estructura del MDT-01 es de madera, siendo de fácil descomposición y sin presentar un impacto agresivo al medio ambiente, sus elementos al ser sustituidos deben ser desechados de forma correcta.

6.2.4. Impactos económicos

El mantenimiento del MDT-01 se ha considerado anualmente debido a una larga vida útil de los elementos que lo constituyen, siempre y cuando la utilización del mismo se realice con responsabilidad y según el manual de prácticas. Por ello los gastos podrían surgir a partir del año, por reparación o cambio de elementos electrónicos o eléctricos, que pueden ser afectados por una inadecuada manipulación y por el paso del tiempo. Los costos de los elementos utilizados son bajos que oscilan entre 10 a 20 dólares siendo la tarjeta arduino el elemento electrónico de un valor monetario considerable.

En caso que la Universidad Técnica de Cotopaxi desee realizar una réplica del MDT-01 el costo es mínimo siempre y cuando se siga los mismos parámetros de la propuesta; más que todo por el tipo de material y siendo todo el sistema mediante programación. El presupuesto del MDT-01, se consideró sin tomar en cuenta la mano de obra y la universidad podrá recortar ese rubro, el del tiempo por la programación y diseño de planos eléctricos y mecánicos; porque todo ese material quedará en autoría de la UTC.

Para la construcción del MDT-01 se tomó en cuenta dos modelos de las cuales los valores monetarios derivan mucho uno del otro, tomando en cuenta que la diferencia es por su precisión (materiales) y tiempo de construcción como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Cotización por Lab volt

COTIZACIÓN POR LAB VOLT			
Cantidad	Descripción	Monto T.	
1	fuelle variable AC -DC trifásica	\$	1900,00
3	Banco de capacitores variables	\$	2500,00
3	Banco de inductores variables	\$	2600,00
3	Banco de resistencias variables	\$	1400,00
1	Osciloscopio de alta precisión	\$	3000,00
1	Mesa de trabajo homologado	\$	1200,00
1	Gastos varios	\$	200,00
		Sub Total	\$ 12.800,00
		I.V.A 12%	\$ 1536,00
		TOTAL	\$ 14336,00

Los valores monetarios son muy altos para la elaboración del mismo MDT-01, por ello se optó por la segunda opción, cumpliendo en un 90% con las especificaciones definidas al inicio de la propuesta, de la misma forma teniendo en cuenta que el presente trabajo

no es muy comercial dentro del medio; siendo los primeros en realizar este tipo de trabajo con un resultado favorable en la enseñanza de la universidad.

A continuación en la tabla 15 se detalla la cotización necesaria para la réplica del MDT-01 en caso de desecharlo, donde se evidencia la diferencia es casi tres veces menor, significando un ahorro económico.

Tabla 15. Costo para la réplica del MDT-01

Costo para la réplica del MDT-01			
Cantidad	Descripción	Precio U.	Precio T.
1	CPU core i5 de tercera generación	\$ 285,00	\$ 285,00
1	Monitor LG de 17"	\$ 68,00	\$ 68,00
1	Placa Arduino Mega	\$ 20,00	\$ 20,00
34	Jacks Hembra	\$ 0,06	\$ 2,04
3	Botoneras Keyes de Arduino	\$ 4,50	\$ 13,50
5	Baquelitas perforadas de 5 x 5 cm	\$ 0,75	\$ 3,75
30	Metros de cable flexible # 16	\$ 0,38	\$ 11,40
8	Resistencias de 330 ohm	\$ 0,06	\$ 0,48
6	Resistencias de 220 ohm	\$ 0,06	\$ 0,36
4	Resistencias de 1 kohm	\$ 0,08	\$ 0,32
2	Resistencias de 470 ohm	\$ 0,06	\$ 0,12
3	Resistencias de 2,2 k ohm	\$ 0,08	\$ 0,24
1	Resistencia de 870 ohm	\$ 0,06	\$ 0,06
1	Canaleta perforada de 25 x 40 mm	\$ 6,35	\$ 6,35
2	Paquete de cables de 40 unidades	\$ 3,00	\$ 6,00
2	Tiras tipo bornera de 5 amps	\$ 1,75	\$ 3,50
2	Potenciómetros rotatorios de 100 k	\$ 0,75	\$ 1,50
1	Vinilo	\$ 140,00	\$ 140,00
1	Estructura de Madera	\$ 80,00	\$ 80,00
1	Soporte metálico	\$ 50,00	\$ 50,00
Sub total			\$ 692,62
IVA 12%			\$ 83,11
TOTAL			\$ 775,73

El costo total de un módulo con las características del MDT-01 según cotización por Lab volt es de \$ 14336,00 mientras la repica del MDT-01 es de \$ 775,73 significando un ahorro de \$13.560,27 para la universidad.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.

- Para el análisis de la respuesta transitoria se utilizaron las funcionalidades de Matlab que permiten adquirir los parámetros de comportamiento de un sistema dinámico, dentro de las cuales son ecuaciones diferenciales para el cálculo de las respuestas transitorias de corriente y voltaje de los distintos circuitos.
- Se ha observado que la teoría matemática coincide con las simulaciones realizadas del sistema, por lo tanto este equipo sirve al estudiante como herramienta en el análisis de circuitos.
- Mediante las pruebas del módulo transitorio se logró determinar la respuesta específica de los circuitos RLC donde se puede evidenciar el comportamiento subamortiguado, sobreamortiguado y críticamente amortiguado en el caso de la alimentación con una fuente de DC.
- Mediante las pruebas realizadas se pudo evidenciar como las ecuaciones de segundo grado permiten determinar el comportamiento de sistemas RLC dependiendo de los valores de los elementos, ya que estos cambian dependiendo de la constante de voltaje y corriente con respecto al tiempo muestreado que es calculada con base en los valores directos de la resistencia, capacitancia e inductancia.
- Se elaboraron guías de practica de usuario para el manejo del equipo didáctico teniendo en cuenta el conocimiento básico del estudiante, ha quien va dirigido el presente proyecto.

7.2. Recomendaciones

- La implementación de un módulo didáctico con lleva apegarse a las normas de diseño tanto mecánico como electrónico de manera que en su mayoría es un dispositivo realizado para su seguridad, no obstante, el uso de material eléctrico y electrónico da la posibilidad de accidentes con los componentes que pueden comprometer la integridad del módulo o de los estudiantes. Por esta razón se recomienda tomar las medidas necesarias para evitar esto como por ejemplo mantener lejos de líquidos, estática u otros factores que puedan provocar un cortocircuito.
- Se recomienda la utilización del equipo adecuado para su manipulación, evitar cables en mal estado, usar conectores tipo banana y manipular con cuidado la pantalla del dispositivo por posibles daños.

- En el caso de necesitar cambiar de lugar el modulo comprobar que la base a ser utilizada puede soportar su peso para evitar caídas que superen la resistencia del material utilizado.
- Se recomienda esperar a que el modulo se encuentre totalmente encendido para empezar con las prácticas para evitar condiciones de registro innecesarias.
- En caso de replicar el MDT-01 se recomienda la utilización de elementos de adquisición de datos más rápidos y precisos como un CPU de mayor gama una pantalla de visualización de mayor definición y si es de ser el caso táctil para suprimir la utilización del mouse.
- Para la asignación de valores numéricos de los componentes R-L-C se recomienda utilizar elementos electrónicos de alta precisión con el fin de eliminar por completo ruidos que provocan fluctuación dentro del sistema operativo.

8. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] R. C. D. J. y. J. A. Svoboda, «Circuitos eléctricos,» S. A. Marcombo, Londres, Novena edición, 2016.
- [2] M. E. Mario, «Comportamiento de la resistencia en los circuitos eléctricos,» San José, Costa Rica, Mayo 2013.
- [3] A. H. R. y. W. C. Miller, «Análisis de Circuitos de corriente directa,» 2017.
- [4] E. Sanchez, «Introducción a los dispositivos y circuitos semiconductores de microondas,» Pearson, 2013.
- [5] D. M. Félix, «Circuitos Eléctricos parte 1,» Universidad de la Plata, Buenos Aires Argentina, Primera Edición, 2017.
- [6] C. K. A. y. M. N. O. Sadiku, «Fundamentos de Circuitos eléctricos,» Mcgranw Hill, México, Quinta edición, 2013.
- [7] J. F. Mora, «Circuitos eléctricos,» Prentice-Hall, 2012.
- [8] A. R. P. Alberto, «Régimen transitorio de circuitos RLC.,» 2014.
- [9] R. L. Boylestad, «Introducción al análisis de circuitos,» Addison - Wesley, Tercera edición, 2017.
- [10] J. R. L. V. y. J. P. Sebastia, «Diseño de circuitos impresos con eagle,» S. A. Marcombo, 2013.
- [11] T. S. Almeida, «Circuitos eléctricos: ejercicios y aplicaciones,» México, 2015.
- [12] Á. Moreno, «Fundamentos de ingeniería eléctrica,» Bogotá - Colombia, 2014.
- [13] A. Herrera, «Análisis de circuitos RC, RL y RLC en estado transitorio,» Bogotá - Colombia, Marzo 2015.
- [14] J. E. Ayers, «Digital integrated circuits: analysis and design,» CRC. Press, 2010.
- [15] L. A. M. Pineda, «Diseño de circuitos eléctricos 3,» Eca., 01 de enero del 2015.
- [16] C. O. V. S. y. J. L. R. Echavarría, «Fundamentos de circuitos eléctricos,» Textos académicos, Diciembre, 2012.
- [17] P. Cortéz, «Análisis y diseño de circuitos eléctricos,» Alfaomega grupo editor, Marzo, 2013.
- [18] T. R. V. y. O. Gallego, «Análisis básico de circuitos eléctricos y electrónicos,» Pearson, 2018.

- [19] J. E. K. y. W. H. Hayt, «Análisis de circuitos en ingeniería.,» Tesla edición, quinta edición, Junio 2014.
- [20] Boylestad, «Introducción al análisis de circuitos,» décima edición 2013.
- [21] C. Luna, «Normas de seguridad para trabajar en electricidad en Ecuador,» 2016.
- [22] NEC-11, «www.ecp.ec,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NECINSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>.
- [23] A. J. A. Ruales, «Consultoría, fiscalización y terminos de referencia de la remodelación de las instalaciones,» 2014.
- [24] MathWorks, «es.mathworks.com,» 1994-2019. [En línea]. Available: https://es.mathworks.com/hardware-support/arduino-matlab.html?s_tid=srchtitle.
- [25] MCI electronics, «arduino.cl,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>.
- [26] J. V. d. Real, «Circuitos electrónicos analógicos: del diseño al experimento,» S. A. Marcombo, 2016.
- [27] J. F. Moreno, «Teoría de circuitos: teoría y problemas resueltos,» S. A. Ediciones, 2011.
- [28] E. L. Norton, «Circuitos de primer y segundo orden,» Tesla c.a, Mérida - Venezuela, Primera edición Marzo, 2017.
- [29] L. Paredes, «Circuitos de primer y segundo orden,» Editorial s.a., Primera edición, Marzo 2018.
- [30] D. P. Estupiñan, «Estudio de la Respuesta de Circuitos RLC a Diversos Tipos de Señal de Entrada,» Pereira - Colombia, Julio 2013.
- [31] I. B. Robert, «Introducción al Análisis de Circuitos,» Décimo segunda edición, México, 2011.
- [32] J. Lladonoso. [En línea]. Available: <http://myelectrical.com/not...>
- [33] E. Gavilanez. [En línea]. Available: <http://www.labvol.com/>.
- [34] MathWorks, «www.mathworks.com,» 1994-2019. [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/support/sysreq.html>.
- [35] Leory Merlin España S.L.U, 2016. [En línea]. Available: http://www.leroymerlin.es/productos/electricidad/cables/cable_para_interior/como-elegir-cables.html.

ANEXOS

Anexo 1. Construcción del MDT-01

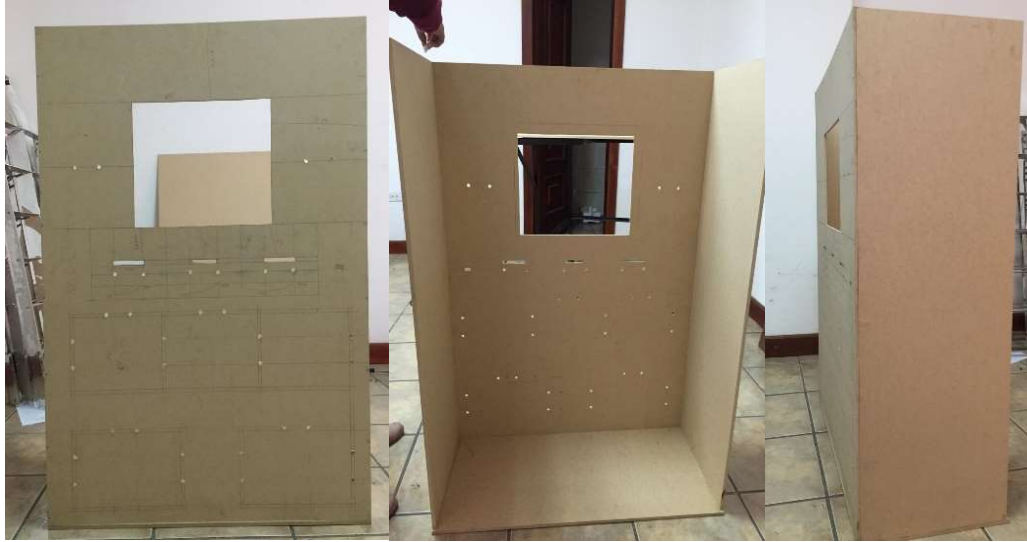


Figura I 1. Proceso de cortado, armado y ensamblado del MDT-01



Figura I 2. Implementación del sistema eléctrico y elementos electrónicos.

Anexo 2. Pruebas de funcionamiento del MDT-01

Para la etapa de pruebas de funcionamiento del MDT-01 se han resuelto los ejercicios 1 y 2 de cada práctica planteada en la guía de prácticas de laboratorio, para demostrar matemáticamente y mediante software el cumplimiento de la teoría de cada circuito; además se detallaran los errores en caso de presentarse.

1. Resolución de ejercicios de primer grado, circuitos RC/RL:

- **Circuito RC en DC**

Se tiene el siguiente circuito RC en corriente directa con los siguientes datos:

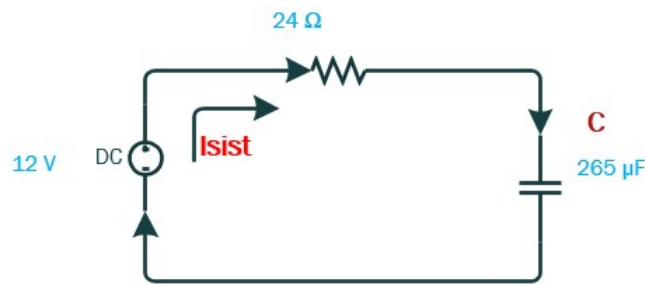


Figura II 1. Circuito RC en DC

Determinar:

- La constante de tiempo (τ), tao.
- El voltaje de carga del capacitor con respecto a tao, $V_C(t)$.
- Voltaje de descarga del capacitor.
- La corriente del sistema en función de tao, $I(t)$
- El voltaje en la resistencia en función de tao, $V_R(t)$.

Resolución:

- La constante de tiempo (τ), tao.

$$\tau = R * C = \text{seg}$$

$$\tau = 24\Omega * 265\mu F$$

$$\tau = 0.0064\text{seg.}$$

$$t = 6 * 0.0064\text{seg} = 0.0384 \text{ seg}$$

- El voltaje de carga capacitor con respecto a tao, $V_C(t)$.

$$V_C = V * \left(1 - e^{\left(\frac{-0t}{RC}\right)}\right)$$

$$V_C = 12V * \left(1 - e^{\left(\frac{-0.0384}{0.0064}\right)}\right)$$

$$V_C = 11.94 V$$

- Voltaje de descarga del capacitor.

$$VC = V * (e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad VC = 12V * (e^{\frac{-0.0384}{0.0064}}) \qquad VC = 0,052 V$$

d) La corriente del sistema en función de tao, I (t).

$$I = \frac{V}{R} (e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad I = \frac{V}{R} (e^{\frac{-t}{RC}})$$

$$I = \frac{12 V}{24 \Omega} (e^{\frac{-0.0001}{0.0064}})$$

$$I = 0,4922 A$$

e) Calculamos el voltaje en la resistencia en función de tao, VR (t).

$$VR = V - VC \qquad VR = 12 V - 11.94 V$$

$$VR = 0.06 V$$

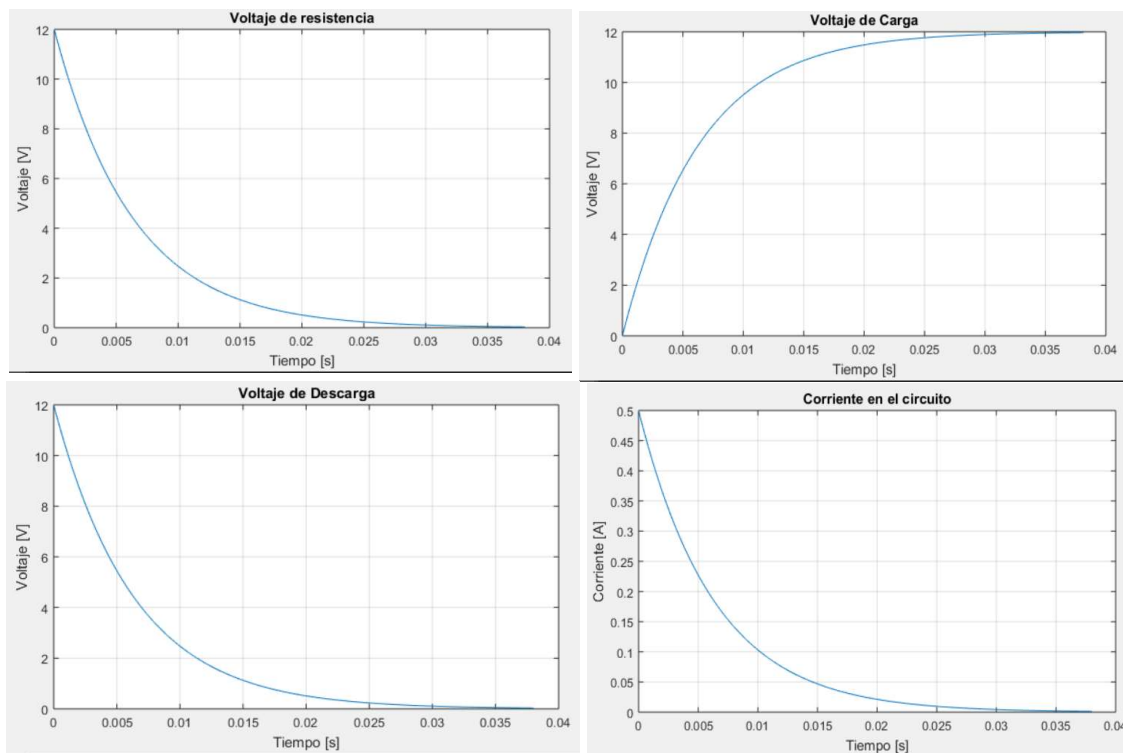


Figura II 2. Respuestas gráficas del circuito RC

En cada una de las gráficas se puede observar las ondas de voltaje y corriente con respecto al tiempo, donde los cálculos matemáticos han sido corroborados con las simulaciones.

- **Circuito RC en AC**

Se tiene el siguiente circuito RC en corriente alterna con los siguientes datos:

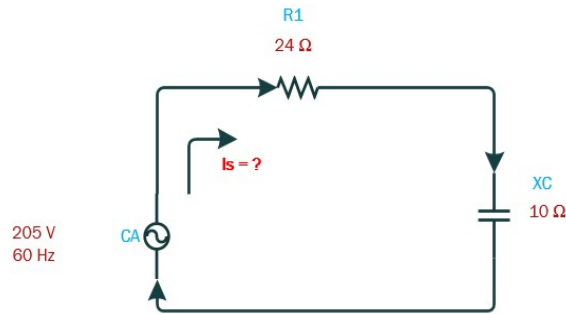


Figura II 3. Circuito RC en AC

Determinar:

- El valor de C y Z.
- La corriente total del sistema.
- Las corrientes de la resistencia y capacitor.
- Los voltajes de R y C.
- Calcular P, S y Q.

Solución:

- Calcular el valor de C y Z.

$$XC = \frac{1}{2\pi f}$$

$$Z = \sqrt{(R^2 + Xc^2)}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{24\Omega}{26\Omega} = 0,92$$

$$C = \frac{1}{2\pi fXC}$$

$$Z = \sqrt{(24\Omega^2 + 10\Omega^2)}$$

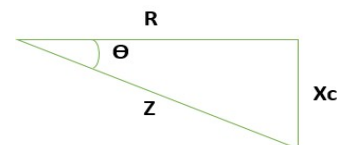
$$\text{Sen}\varphi = \frac{Xc}{Z} = \frac{10\Omega}{26\Omega} = 0,38$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * 60 \text{ Hz} * 10\Omega}$$

$$Z = 26 \Omega$$

Triangulo de impedancias

$$C = 265,25 \mu f$$



- La corriente total del sistema.

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I = \frac{205 V}{26 \Omega}$$

$$I = 7,88 A$$

- Las corrientes de la resistencia y capacitancia.

$$I_r = I * \cos\varphi$$

$$I_C = I * \sin\varphi$$

$$I = \sqrt{(I_r^2 + I_C^2)}$$

$$I_r = 7,88 \text{ A} * 0,92$$

$$I_C = 7,88 \text{ A} * 0,38$$

$$I = \sqrt{(7,24 \text{ A}^2 + 2,99 \text{ A}^2)}$$

$$I_r = 7,24 \text{ A}$$

$$I_C = 2,99 \text{ A}$$

$$I = 7,87 \text{ A}$$

d) Los voltajes de R y C.

$$V_r = R * I$$

$$V_C = X_C * I$$

$$V_t = \sqrt{V_r^2 + V_C^2}$$

$$V_r = 24 \Omega * 7,88 \text{ A}$$

$$V_C = 10 \Omega * 7,88 \text{ A}$$

$$V_t = \sqrt{(189,12 \text{ v}^2 + 78,8 \text{ v}^2)}$$

$$V_r = 189,12 \text{ V}$$

$$V_C = 78,8 \text{ V}$$

$$V_t = 204,88 \text{ V}$$

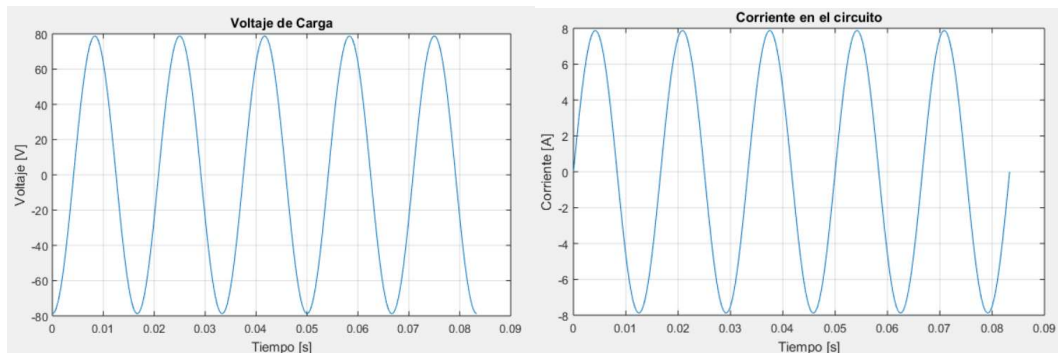


Figura II 4. Respuestas gráficas del circuito RC en AC

En las gráficas se puede observar las respuestas de voltaje y corriente que se encuentran en forma senoidal, por tratarse de corriente alterna.

e) Calcular P, S y Q.

$$P = R * I^2$$

$$Q = X_C * I^2$$

$$S = V * I$$

$$P = 24 \Omega * 7,88 \text{ A}^2$$

$$Q = 10 \Omega * 7,88 \text{ A}^2$$

$$S = 205 \text{ V} * 7,88$$

$$P = 1490,26 \text{ W}$$

$$Q = 620,94 \text{ VAR}$$

$$S = 1615,4 \text{ VA}$$

- **Circuito RL en DC**

Se tiene el siguiente circuito RL en corriente directa con los siguientes datos:

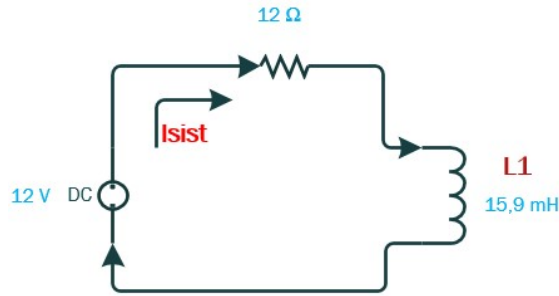


Figura II 5. Circuito RL en DC

Determinar:

- La constante de tiempo (τ), tao.
- El voltaje del inductor con respecto a tao, VL (t).
- La corriente del sistema en función de tao, I (t).
- Corriente de carga del inductor.
- Corriente de descarga del inductor.
- El voltaje en la resistencia en función de tao, VR (t).

Solución:

- La constante de tiempo (τ), tao.

$$\tau = \frac{L}{R} = \text{seg} \qquad \tau = \frac{15,9 \text{ mH}}{12 \Omega} \qquad \tau = 1,32 \text{ ms}$$

- El voltaje del inductor con respecto a tao, VL (t).

$$VL = V * e^{\left(\frac{-R}{L} * t\right)} \qquad VL = V * e^{\left(\frac{-R}{L} * \frac{L}{R} t\right)} \qquad VL = 12V * e^{(-1)} = 4,41 V$$

- La corriente del sistema en función de tao, I (t).

$$I = \frac{V}{R} \left(1 - e^{\frac{-R}{L} * t}\right) \qquad I = \frac{V}{R} \left(1 - e^{\frac{-R}{L} * \frac{L}{R} t}\right) \qquad I = \frac{12V}{12 \Omega} \left(1 - e^{(-1)}\right) = 0,99 A$$

- Corriente de carga del inductor

$$I = \frac{V}{R} \left(1 - e^{\frac{-R}{L} * t}\right) \qquad I = \frac{V}{R} \left(1 - e^{\frac{-R}{L} * \frac{L}{R} t}\right) \qquad I = \frac{12V}{12 \Omega} \left(1 - e^{(-1)}\right) = 0,99 A$$

- Corriente de descarga del inductor

$$I_{des} = \frac{V}{R} * \left(e^{\left(\frac{t}{\tau}\right)}\right) \qquad I_{des} = \frac{12V}{12 \Omega} * \left(e^{\left(\frac{0,064}{0,032}\right)}\right) = 0,135A$$

f) El voltaje en la resistencia en función de t , $V_R(t)$.

$$V_R = I * R$$

$$V_R = 12\Omega * 0.99 A = 11.88 V$$

$$V_R = 11.88 V$$

En un circuito RL en corriente directa al igual que un RC tiene proceso de carga y descarga, solo que en este caso se trata de la corriente tal como se puede observar en las gráficas que se muestran a continuación.

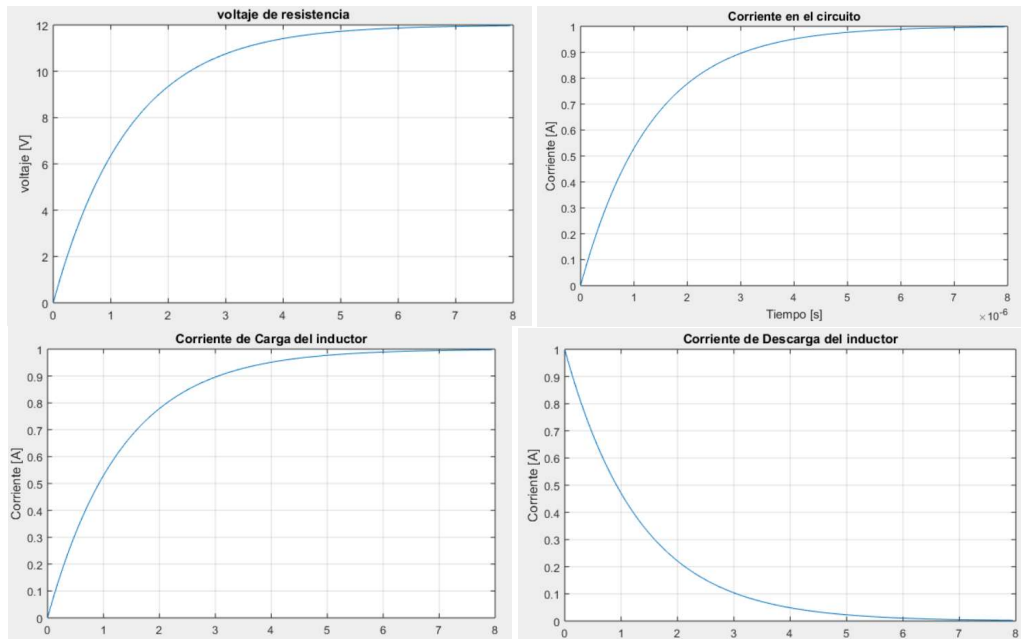


Figura II 6. Respuestas gráficas del circuito RL en AC

- **Circuito RL en AC**

Se tiene el siguiente circuito RL en corriente alterna con los siguientes datos:

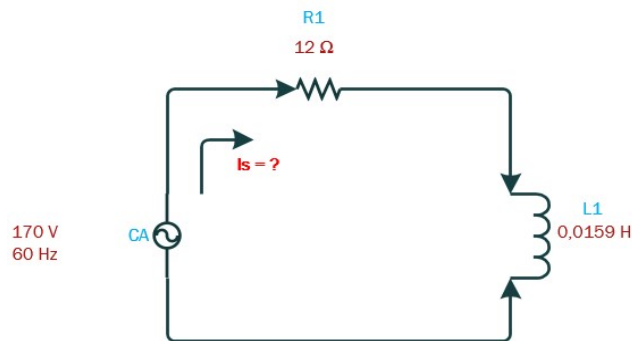


Figura II 7. Circuito RL en AC

Determinar:

- Calcular el valor de x_l y Z .
- La corriente total del sistema.
- Las corrientes de la resistencia e inductancia.
- Los voltajes de R y L .
- Calcular P , S y Q .

Solución:

- Calcular el valor de x_l y Z .

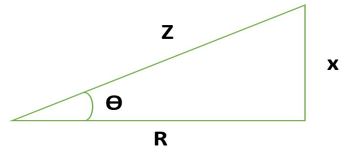
$$X_l = 2\pi fL \qquad Z = \sqrt{(R^2 + X_L^2)} \qquad \cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

$$X_l = 2\pi * 60\text{Hz} * 0,0159\text{H} \qquad Z = \sqrt{(12\Omega^2 + 6\Omega^2)} \qquad \cos\varphi = \frac{12\Omega}{13,41\Omega} = 0,89$$

$$X_l = 5,99\Omega \approx 6\Omega \qquad Z = 13,41\Omega \qquad \text{Sen}\varphi = \frac{X_L}{Z}$$

Triangulo de impedancias

$$\text{Sen}\varphi = \frac{6\Omega}{13,41\Omega} = 0,45$$



- La corriente total del sistema.

$$I = \frac{V}{Z} \qquad I = \frac{170\text{V}}{13,41\Omega} \qquad I = 12,67\text{A}$$

- Las corrientes de la resistencia e inductancia.

$$I_r = I * \cos\varphi \qquad I_L = I * \text{sen}\varphi \qquad I = \sqrt{(I_r^2 + I_L^2)}$$

$$I_r = 12,67\text{A} * 0,89 \qquad I_L = 12,67\text{A} * 0,45 \qquad I = \sqrt{(11,27\text{A}^2 + 5,70\text{A}^2)}$$

$$I_r = 11,27\text{A} \qquad I_L = 5,70\text{A} \qquad I = 12,67\text{A}$$

- Los voltajes de R y L .

$$V_r = R * I \qquad V_L = X_L * I \qquad V_t = \sqrt{V_r^2 + V_L^2}$$

$$V_r = 12 \Omega * 12,67 A$$

$$V_L = 6 \Omega * 12,67 A$$

$$V_t = \sqrt{(152,04 v^2 + 76,02 v^2)}$$

$$V_r = 152,04 V$$

$$V_L = 76,02 V$$

$$V_t = 169,97 v$$

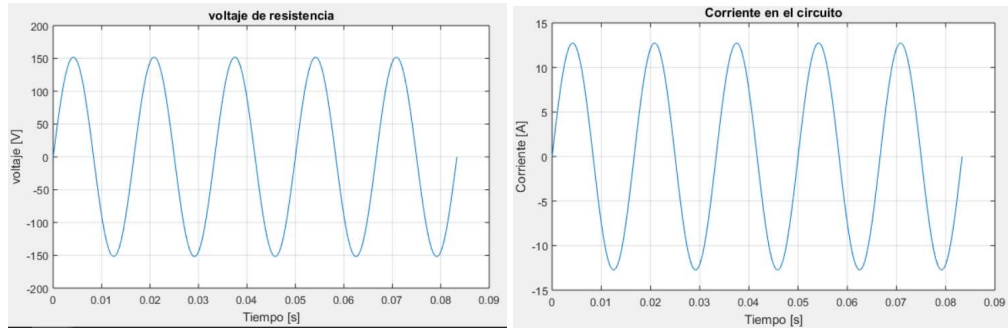
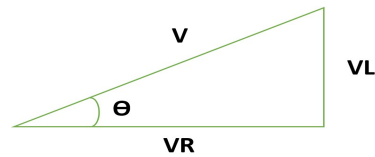


Figura II 8. Respuestas gráficas del circuito RL en AC

Triángulo de voltajes



e) Calcular P, S y Q.

$$P = R * I^2$$

$$Q = XL * I^2$$

$$S = Z * I^2$$

$$P = 12 \Omega * 12,67 A^2$$

$$Q = 6 \Omega * 12,67 A^2$$

$$S = 13,41 \Omega * 12,67 A^2$$

$$P = 1926,34 W$$

$$Q = 963,17 VAR$$

$$S = 2152,69 VA$$

2. Resolución de ejercicios de segundo grado, circuito RLC:

❖ Circuito RLC serie

- **Caso subamortiguado**

Se tiene el siguiente circuito RLC serie subamortiguado con los siguientes datos:

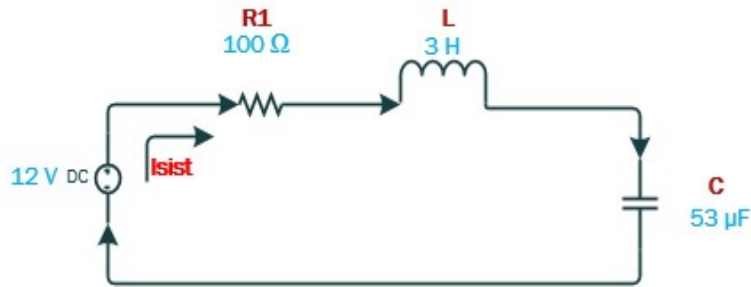


Figura II 9. Circuito RLC en serie

Determinar:

- El coeficiente de amortiguamiento
- La frecuencia de oscilación
- Calculo de raíces para el cálculo del tiempo
- La corriente del sistema
- El voltaje de la resistencia
- El voltaje del capacitor

Resolución:

- El coeficiente de amortiguamiento

$$\alpha < \omega$$

$$\alpha = \frac{R1}{2L}$$

$$\alpha = \frac{100\Omega}{2 \cdot 3H} = 16.67 \text{ Np/seg}$$

- La frecuencia de oscilación

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$79.30 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(3H \cdot 53\mu f)}}$$

$$\omega =$$

- Calculo de raíces para cálculo del tiempo.

$$s1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$$

$$\sqrt{16.67^2 - 79.30^2}$$

$$s1 = -16.67 \text{ Np/seg} +$$

$$s1 = -16.6667 + 77.5341i$$

$$s2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$$

$$\sqrt{16.67^2 - 79.30^2}$$

$$s2 = -16.67 \frac{Np}{seg} -$$

$$s1 = -16.6667 - 77.5341i$$

$$tsf = 10 * \max(\text{abs}(1/s1), \text{abs}(1/s2))$$

$$tsf = 0.1261 \text{ s}$$

$$t = 0.1261 * 6 = 0.7566 \text{ s}$$

c) La corriente del sistema

$$I_T = \frac{V * e^{(-\alpha * t)}}{L(\sqrt{-\alpha^2 + \omega^2})} * \sin(\sqrt{-\alpha^2 + \omega^2} * t)$$

$$I_T = \left(\frac{12V}{3 * \sqrt{-16.67^2 + 79.3^2}} \right) * \sin(\sqrt{-16.67^2 + 79.3^2} * 0.0177)$$

$$I_T = 0.0377 \text{ A}$$

d) El voltaje de la resistencia

$$V_R = I * R \qquad V_R = 0.0377A * 100\Omega \qquad V_R = 3.77 \text{ V}$$

e) El voltaje del capacitor

$$V_C = \left(\frac{V}{\omega} \right)^{(\alpha * t)} * [\alpha * \text{sen}(\omega * t) - \omega * \text{cos}(\omega * t)] + V$$

$$V_C = \left(\frac{12 \text{ V}}{9,43} \right)^{(16.67 * 0.0117)} * (16.67 * \text{sen}(79.3 * 0,0177) - 79.3 * \text{cos}(79.3 * 0,0117))$$

$$V_C = 6.7622 \text{ V}$$

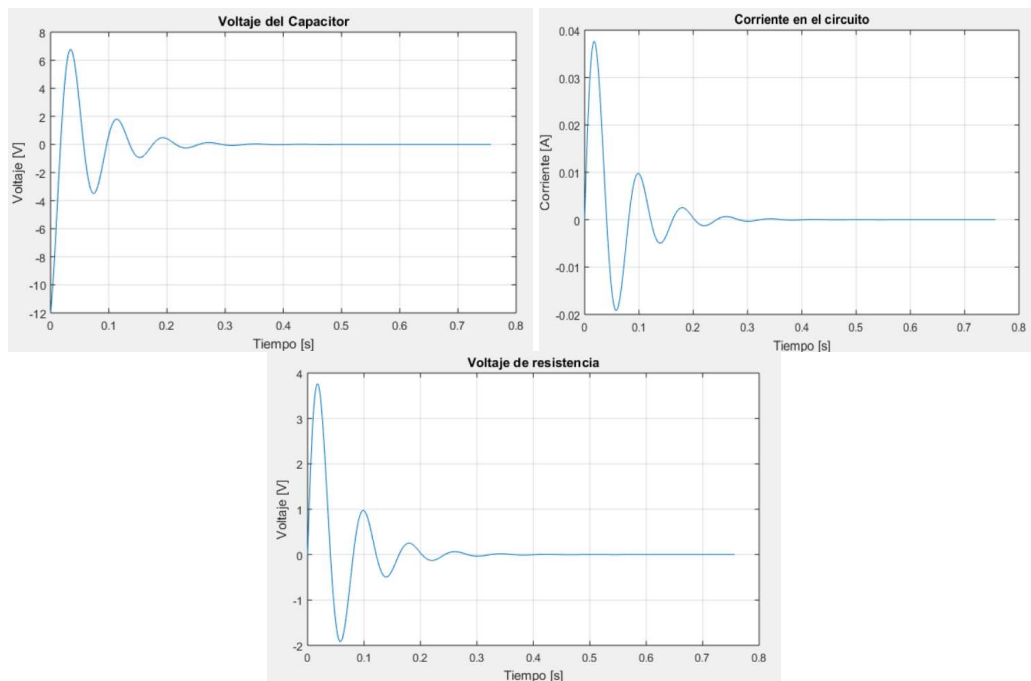


Figura II 10. Respuestas gráficas del caso subamortiguado

En el caso subamortiguado el voltaje y corriente oscila de abajo hacia arriba hasta estabilizarse como se muestra en la figura.

- **Caso sobreamortiguado**

Se tiene el siguiente circuito RLC en serie sobreamortiguado con los siguientes datos:

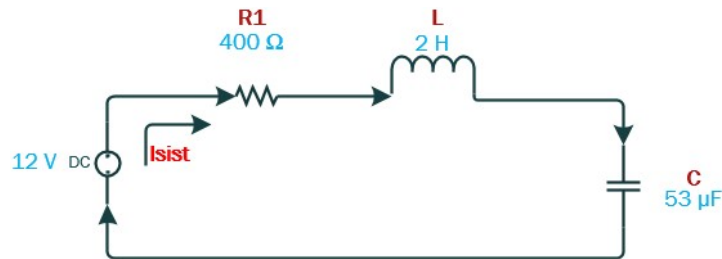


Figura II 11. Circuito RLC en serie

Determinar:

- El coeficiente de amortiguamiento
- La frecuencia de oscilación
- El tiempo del sistema
- La corriente del sistema
- El voltaje de la resistencia
- El voltaje del inductor
- El voltaje del capacitor

Resolución:

- El coeficiente de amortiguamiento

$$\alpha > \omega \quad \alpha = \frac{R}{2L} \quad \alpha = \frac{400\Omega}{2 \cdot 2H} = 100$$

- La frecuencia de oscilamiento

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{(2H \cdot 53\mu f)}} \quad \omega = 97,12 \text{ rad/s}$$

- Calculo de raíces para cálculo del tiempo.

$$s1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega^2} \quad s1 = -100 \text{ Np/seg} + \sqrt{100^2 - 97.12^2}$$

$$s1 = -76.2085$$

$$s_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$$

$$s_2 = -100 \text{ Np/seg} + \sqrt{100^2 - 97.12^2}$$

$$s_2 = -123.7915$$

$$tsf = 10 * \max(\text{abs}(1/s_1), \text{abs}(1/s_2))$$

d) El tiempo del sistema

$$tsf = 10 * \max(\text{abs}(1/-76.17), \text{abs}(1/-123.82))$$

$$tsf = 0.1312 \text{ seg}$$

e) La corriente del sistema

$$I(t) = \frac{V_0}{L\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}} e^{-\alpha t} \text{sen}(\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} t)$$

$$I(t) = \frac{12 \text{ V}}{L\sqrt{100^2 - 97.12^2}} e^{-100t} \text{sen}(\sqrt{100^2 - 97.12^2} t) = 0,022 \text{ A}$$

f) El voltaje de la resistencia

$$V_R = I * R$$

$$V_R = 0,022 \text{ A} * 400\Omega$$

$$V_R = 8.80 \text{ V}$$

g) El voltaje del inductor

$$V_L = \left(\frac{V}{2 * \omega}\right) * (\alpha + \omega)^{((\alpha+\omega)*t)} - (\alpha - \omega)^{((\alpha-\omega)*t)}$$

$$V_L = \left(\frac{12V}{2 * 97,12}\right) * (100 + 97,12)^{((100+97,12)*t)} - (100-97,12)^{((100-97,12)*t)}$$

$$V_L = -0,1415$$

h) El voltaje del capacitor

$$V_C = \left(\frac{V}{2 * \omega}\right) * (\alpha - \omega)^{((\alpha+\omega)*t)} - (\alpha + \omega)^{((\alpha-\omega)*t)}$$

$$V_C = \left(\frac{12V}{2 * 97,12}\right) * (100 - 97,12)^{((100+97,12)*t)} - (100+97,12)^{((100-97,12)*t)}$$

$$V_C = 3.022 \text{ V}$$

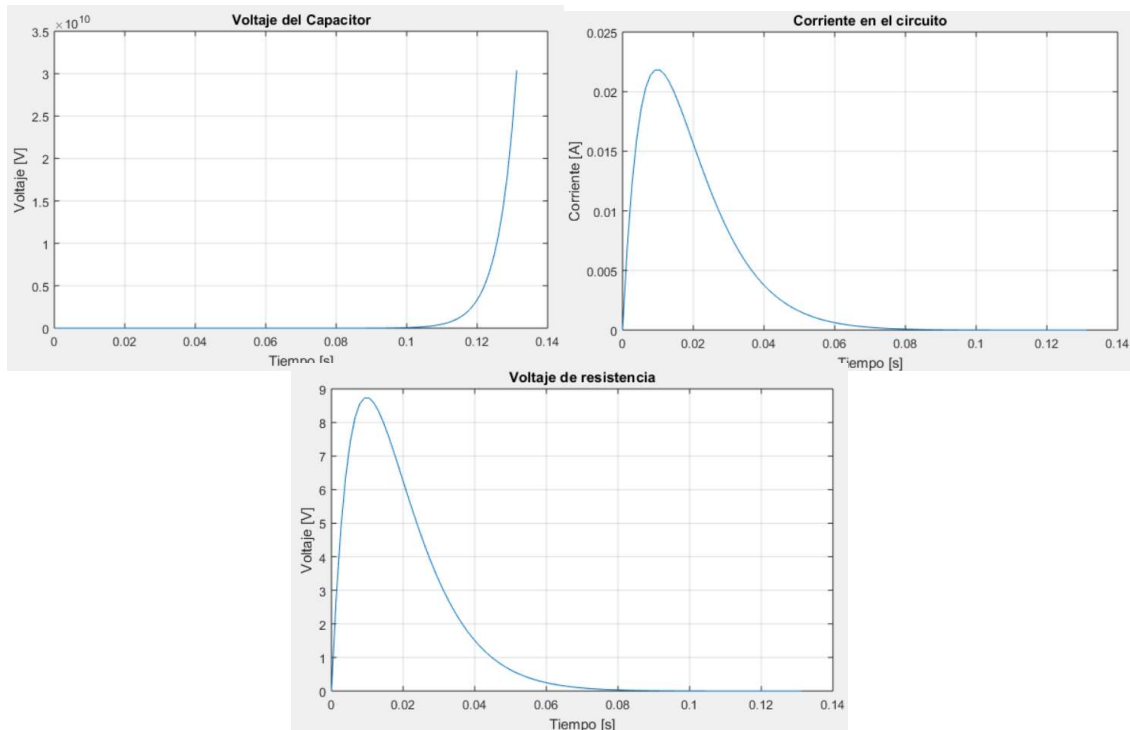


Figura II 12. Respuestas gráficas del caso sobreamortiguado

En el caso sobreamortiguado cuando $\alpha > \omega$ la respuesta transitoria subirá sube súbitamente y luego desciende con el transcurso del tiempo hasta estabilizarse.

- **Caso críticamente amortiguado**

Se tiene el siguiente circuito RLC serie críticamente amortiguado con los siguientes datos:

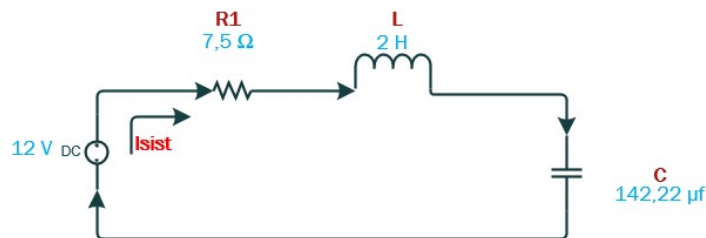


Figura II 13. Circuito RLC en serie

Determinar:

- El coeficiente de amortiguamiento
- La frecuencia de oscilamiento
- El tiempo del sistema
- La corriente del sistema

- e) El voltaje de la resistencia
- f) El voltaje del inductor
- g) El voltaje del capacitor

Resolución:

- a) El coeficiente de amortiguamiento

$$\alpha = \omega \qquad \alpha = \frac{R}{2L} \qquad \alpha = \frac{7,5\Omega}{2*2H} = 1,875$$

- b) La frecuencia de oscilamiento

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad \omega = \frac{1}{\sqrt{(2H*142,22mf)}} \qquad \omega = 1,875 \text{ rad/s}$$

- c) El tiempo del sistema

$$t_s = 5.33 \text{ seg}$$

- d) La corriente del sistema

$$I_s = \left(\frac{V_{dc} * t}{L}\right) * e^{(-\alpha * t)} \qquad I_s = \left(\frac{12 \text{ V} * 0.533}{2H}\right) * e^{(-1,875 * 0.533)} \qquad I_s = 1.1772 \text{ A}$$

- e) El voltaje de la resistencia

$$V_R = I * R \qquad V_R = 1.1772 \text{ A} * 7.5 \Omega \qquad V_R = 8.82 \text{ V}$$

- f) El voltaje del inductor

$$V_L = [V (\alpha * t) + 1]^{\alpha * t} \qquad V_L = 12 \text{ V} * ((1,875 * 0,1012) + 1)^{(1,875 * 0,1012)}$$

$$V_L = 8.0428 \text{ V}$$

- g) El voltaje del capacitor

$$V_C = [V (\alpha * t) - 1]^{\alpha * t} + V_{dc}$$

$$V_C = 12 \text{ V} * ((1,875 * 1,0667) - 1)^{(-1,875 * 1,0667)} + 12 \text{ V}$$

$$V_C = 13.62 \text{ V}$$

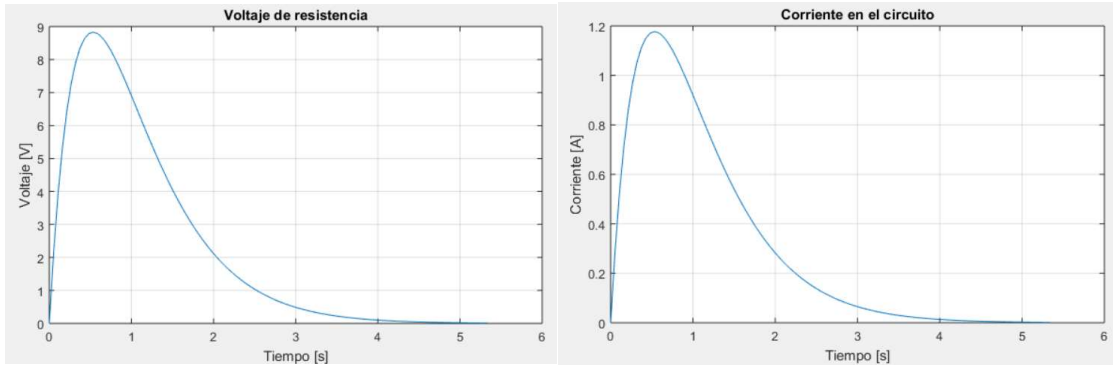


Figura II 14. Respuestas gráficas del caso críticamente amortiguado

- **Circuito RLC serie en AC**

Se tiene el siguiente circuito RLC serie en corriente alterna con los siguientes datos.

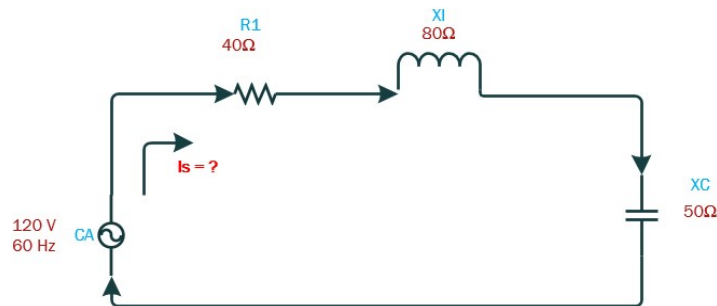


Figura II 15. Circuito RLC en serie en AC

Determinar:

- Hallar L, C y Z.
- Corriente del sistema.
- Voltajes de R, L y C.
- Voltaje total del sistema mediante suma vectorial.
- Potencias P, S y Q.

Solución:

- Hallar L, C y Z

$$XL = 2\pi fL$$

$$XC = \frac{1}{2\pi f}$$

$$L = \frac{XL}{2\pi f}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f}$$

$$L = \frac{80 \Omega}{2 * \pi * 60 \text{ Hz}}$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * 60 \text{ Hz} * 50}$$

$$L = 212,20 \text{ mH}$$

$$C = 53,03 \mu\text{f}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

$$Z = \sqrt{40\Omega^2 + (80\Omega - 50\Omega)^2}$$

$$Z = 50\Omega$$

b) Corriente del sistema.

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I = \frac{120\text{ V}}{50\ \Omega}$$

$$I = 2,4\text{ A}$$

c) Voltajes de R, L y C.

$$Vr = R * I$$

$$VL = XL * I$$

$$Vc = XC * I$$

$$Vr = 40\Omega * 2,4\text{ A}$$

$$VL = 80\Omega * 2,4\text{ A}$$

$$Vc = 50\Omega * 2,4$$

$$Vr = 96\text{ V}$$

$$VL = 192\text{ V}$$

$$Vc = 120\text{ V}$$

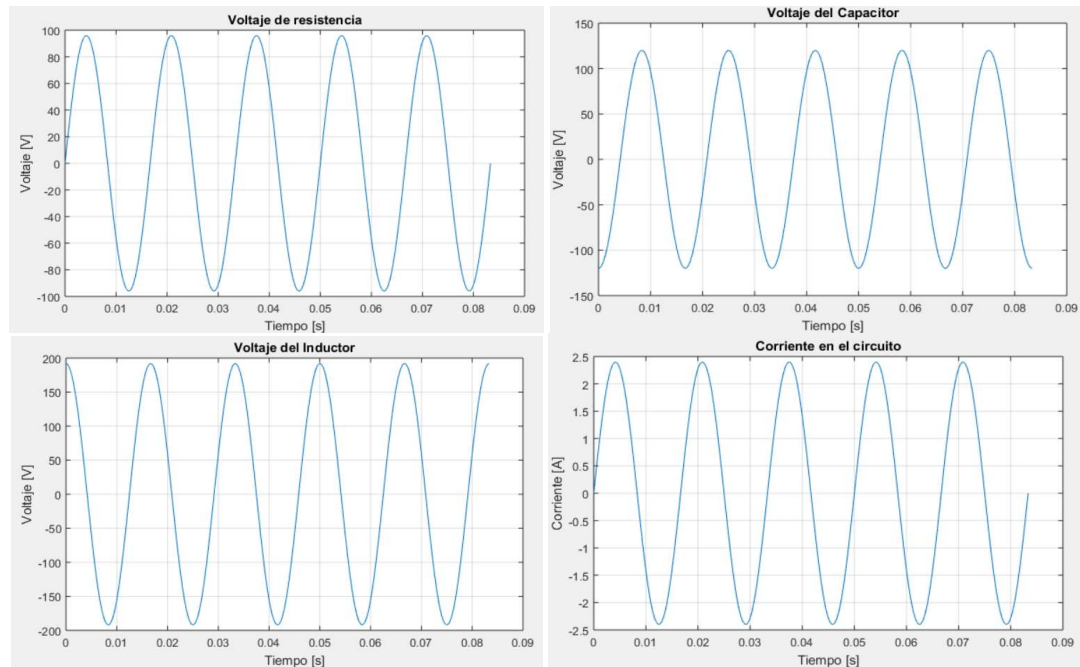
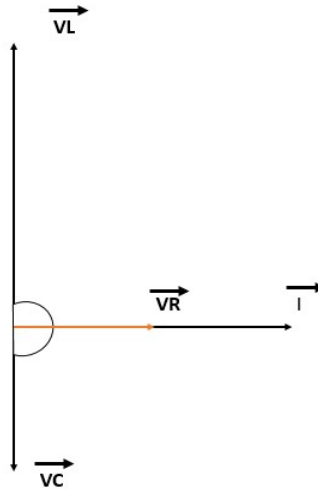


Figura II 16. Respuestas gráficas de un circuito RLC en serie

Teniendo en cuenta el origen de los fasores, el fasor de la corriente (I) debido a que ésta magnitud tiene el mismo valor para todos los elementos que integran el circuito serie.

Tenemos el fasor que representa la tensión de (V_r) en los bornes de la (R) va en fase con el fasor de la corriente el fasor de la inductancia (V_L), en los bornes de la inductancia (L) va en

adelanto en 90° con respecto a la corriente, el fasor que representa el capacitor (VC) en los bornes de la capacitancia (C) va en retraso con 90° con respecto a la corriente.



d) Voltaje total des sistema mediante suma vectorial.

$$V_{red} = \sqrt{V_r^2 + (V_L - V_C)^2} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad \varphi = \operatorname{tg}^{-1}(0,78)$$

$$V_{red} = \sqrt{96 V^2 + (192 V - 120 V)^2} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{192 V - 120 V}{96 V} \quad \varphi = 42,27^\circ$$

$$V_{red} = 120 V \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,78$$

e) Potencias P, S y Q.

$$P = R * I^2 \quad Q = XC * I^2 \quad S = P^2 + Q^2$$

$$P = 40 \Omega * 2,4^2 A \quad Q = 50 \Omega * 2,4^2 A \quad S = (230,4^2 W + 288^2 VAR)$$

$$P = 230,4 W \quad Q = 288 VAR \quad S = 136.02 VA$$

- **Circuito RLC paralelo en corriente alterna**

Se tiene el siguiente circuito RLC paralelo en corriente alterna con los siguientes datos.

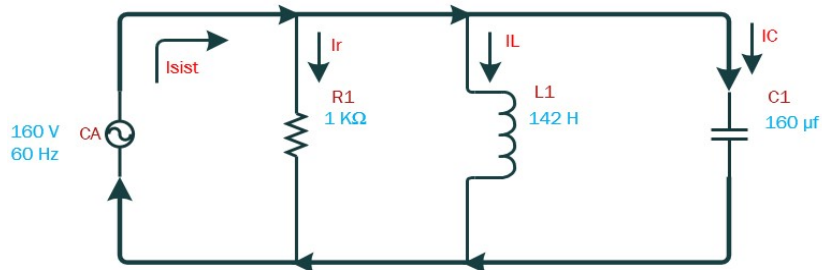


Figura II 17. Circuito RLC en serie en AC

Determinar:

- XL y XC
- IR, IL e IC.
- La impedancia Z.
- La corriente del sistema.
- La corriente del sistema por suma vectorial.

Resolución:

- Determinar XL y XC

$$XL = 2\pi f L$$

$$XC = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$XL = 2 * \pi * 60 \text{ Hz} * 142 \text{ H}$$

$$XC = \frac{1}{2 * \pi * 60 \text{ Hz} * 160 \mu\text{F}}$$

$$XL = 53,53 \text{ k}\Omega$$

$$XC = 16,57 \Omega$$

- Hallar IR, IL y IC.

$$IR = \frac{V}{R} \quad IR = \frac{160 \text{ V}}{1 \text{ K}\Omega}$$

$$IR = 0,16 \text{ A}$$

$$IL = \frac{V}{XL} \quad IL = \frac{160 \text{ V}}{53,53 \text{ k}\Omega}$$

$$IL = 2,98 \text{ mA}$$

90° Retrazada con respecto al voltaje

$$IC = \frac{V}{XC}$$

$$IC = \frac{160 \text{ V}}{16,57 \Omega}$$

$$IC = 9,65 \text{ A}$$

90° Adelantada con respecto al voltaje

- Calcular Z.

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)^2}} Z$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{1 \text{ K}\Omega}\right)^2 + \left(\frac{1}{53,53 \text{ k}\Omega} - \frac{1}{16,57 \Omega}\right)^2}}$$

$$Z = 16.621 \Omega$$

d) Calcular la corriente del sistema.

$$I_{sist} = \frac{V_s}{z} \qquad I_{sist} = \frac{160 V}{16.62 \Omega} \qquad I_{sist} = 9.62 A$$

e) Calcular corriente del sistema por suma vectorial.

$$I_{sist} = \sqrt{IR^2 + (IL - IC)^2} \qquad I_{sist} = \sqrt{0,16^2 + (0,0298 - 9,65)^2} = 9,62 A$$

3. Resolución de respuestas fasoriales

- **Circuito RLC serie en AC**

Se tiene el siguiente circuito RLC serie en corriente alterna con los siguientes datos.

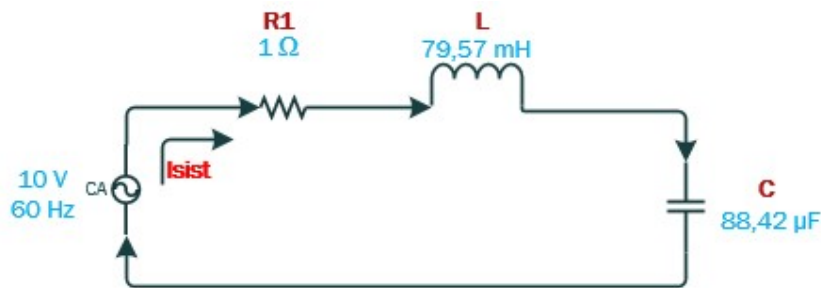


Figura II 18. Circuito fasorial en serie

Hallar:

- L, C y Z
- La corriente del sistema
- Voltajes de R, L y C
- Voltaje total des sistema mediante suma vectorial.

Solución:

- Hallar L, C y Z.

$$XL = 2\pi fL \qquad L = \frac{XL}{2\pi F} \qquad L = \frac{30 \Omega}{2 * \pi * 60 Hz} = 79.57 m H$$

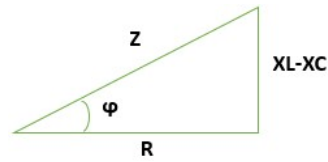
$$XC = \frac{1}{2\pi fC} \qquad C = \frac{1}{2\pi fXC} \qquad C = \frac{1}{2 * \pi * 60 Hz * 30} =$$

$$88.42 \mu f$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (XL - XC)^2}$$

$$Z = 1\Omega$$

$$Z = \sqrt{1\Omega^2 + (30\Omega - 30\Omega)^2}$$



b) Corriente del sistema.

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I = \frac{10V}{1\Omega}$$

$$I = 10A$$

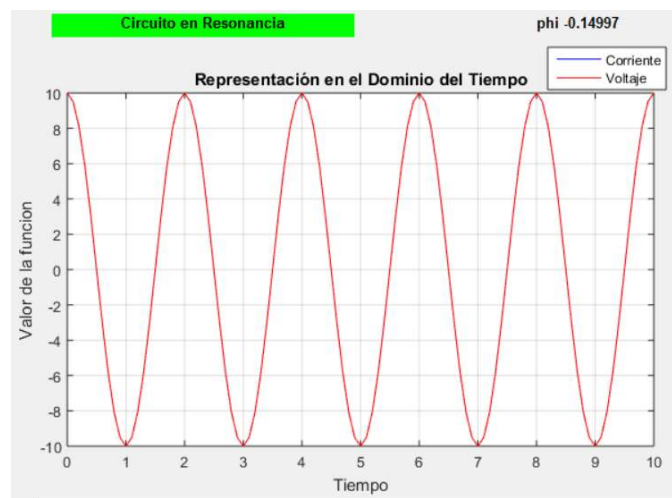


Figura II 19. Circuito resonancia en serie

c) Voltajes de R, L y C

$$VR = R * I$$

$$VR = 1\Omega * 10A$$

$$VR = 10V$$

$$VL = XL * I$$

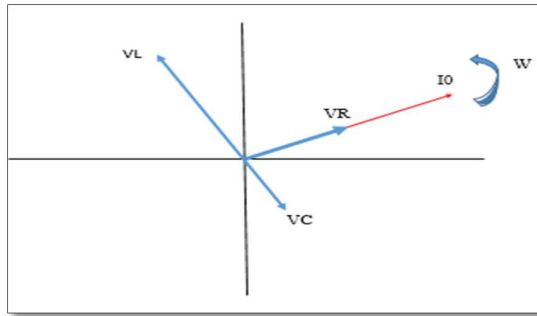
$$VL = 30\Omega * 10A$$

$$VL = 300V$$

$$VC = XC * I$$

$$VC = 30\Omega * 10A$$

$$VC = 300V$$



d) Voltaje total del sistema mediante suma vectorial.

$$V_{red} = \sqrt{V_r^2 + (V_L - V_C)^2} \quad V_{red} = \sqrt{10 V^2 + (30V - 30 V)^2} = 10 V$$

$$tg\varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad tg\varphi = \frac{300 V - 300 V}{10 V} \quad tg\varphi = 0$$

$$\varphi = tg^{-1}(0) \quad \varphi = 0$$

Anexo 3. Diagrama de flujo de las interfaz gráficas

Anexo 4. Diagrama de conexiones eléctricas

Anexo 5. Diseño del MDT-01

Anexo 6. Vista frontal y lateral izquierda del MDT-01

Anexo 7. Vista superior del MDT-01

Anexo 8. Cortes para estructurar el MDT-01

Anexo 9. Diseño de la mesa metálica