

**ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN SERIE DE CORRIENTE ALTERNA**

**PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA**

**Presentado por:**

**JUAN CAMILO QUINTERO MOGOLLÓN**

**Director:**

**JOSE FRANCISCO MALAGÓN**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN: Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural.**

**Bogotá-Colombia**

**2017**

## RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

1. Información General	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN SERIE DE CORRIENTE ALTERNA
<b>Autor(es)</b>	Quintero Mogollón, Juan Camilo
<b>Director</b>	Malagón Sánchez, Jose Francisco
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad pedagógica Nacional, 2017. 64 pág.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional.
<b>Palabras Claves</b>	CIRCUITOS EN SERIE, CORRIENTE ALTERNA, ESTUDIO BASADO EN EXPERIMENTOS.

2. Descripción
<p>En el presente trabajo se realiza un estudio de circuitos de corriente alterna con el fin de describir el comportamiento de la corriente alterna y demás fenómenos asociados a estos circuitos tanto de manera teórica como experimental. La pregunta que orientó el trabajo es: <i>¿Cómo, mediante la experimentación y análisis de circuitos de corriente alterna, se puede describir las características y el comportamiento de la corriente alterna en diferentes elementos de un circuito?</i> El marco teórico de este trabajo se construyó, por una parte, los textos consultados de circuitos, y, por otra parte, trabajos de investigación y/o revistas científicas. La mirada investigativa que orientó el trabajo fue basada en la experimentación como parte importante en comprender los conceptos asociados a los circuitos eléctricos.</p>

3. Fuentes
<p>Aller, José Manuel;. (2008). <i>Maquinas eléctricas rotativas</i>. Venezuela: Equinoccio.</p> <p>Beléndez, Augusto. (1989). Temas de física para ingeniería"corriente alterna". <i>Temas de física para ingeniería"corriente alterna"</i>. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.</p>

- Chamizo, J.A. (2009). Historia experimental de la química. *Revista Tecne Episteme Y Didaxis, memorias del IV congreso sobre formación de profesores de ciencias*. 7-12.
- Dorf, S. (2003). *Circuitos eléctricos* (5 edición ed.). Mexico: Alfaomega.
- Gil, D.; (1986). La orientación de las prácticas de laboratorio como una investigación. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 14(2), 155-153.
- Gil, D & Valdes;. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel, y la realización de prácticas de laboratorio? *Revista Enseñanza de las ciencias*, 17(2), 311-320.
- Gómez Hernández, Alba Rocio;. (2011). El papel del experimento en la enseñanza de las ciencias. Bogotá, Colombia.
- M. J. Sánchez, A. F. (2011). Enseñanza Del Comportamiento Caótico De Un Circuito RLC De Corriente Alterna Conectado A Un Dispositivo Electrónico No Lineal, Mediante Una Simulación Computarizada. *Revista colombiana de física.*, 2,3.
- N.carlin, E. (2005). Comportamento Caótico em um circuito RLC ão-linear. *Ensino de Física*, 27, 225-230.
- Palacios Castillo, Luis;. (2013). fenómeno de resonancia-circuito RLC. Bogotá.
- Pedro F.T. Dorneles<sup>1</sup>, I. S. (2008). Simulação e modelagem computacionais no auxílio a aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade. Parte II - circuitos RLC. *Ensino de Física*, 30, 330.
- Tesla, N. (1919). My Inventions. *Electrical Experimenter*.
- Ubaque Brito, Carol ;. (2007). *Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la física*. Bogotá: U.D Francisco José de caldas.

#### 4. Contenidos

Este trabajo de grado consta de cuatro capítulos organizados de la siguiente manera:

- **Capítulo 1: PRESENTACIÓN.**

En este capítulo se presentan la temática y la problemática a resolver; los circuitos de corriente alterna. Primero a través de unas pautas que se deben tener en cuenta cuando se aborda el tema de corriente alterna y sus circuitos. También se plantean los objetivos que serán cumplidos en el presente trabajo a través de experimentos y simulaciones.

- **Capítulo 2: MARCO TEÓRICO.**

En este capítulo se aborda, por un lado, el contexto histórico que ha tenido la corriente alterna, las diferencias entre la corriente alterna y continúa según las posiciones de sus dos máximos exponentes Nikola Tesla y Thomas Edison, además, se puntualiza de una forma teórica la generación de corriente alterna, la cual se define el base a está, se explica tanto los circuitos de corriente alterna y los componentes que se utilizan en esta investigación, describiendo los fenómenos asociados a estos componentes cuando pasa corriente alterna en ellos. Se tiene en cuenta unas bases pedagógicas, que sustentan y argumenta las practicas experimentales tanto simuladas hechas en el software Multisim (versión estudiante) como en el laboratorio, las cuales dan paso a la metodología utilizada en esta investigación la cual se define para el caso de esta investigación.

- **Capítulo 3: PRACTICA EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS.**

En este capítulo se realiza prácticas experimentales, primero de forma simulada y luego en el laboratorio, se toman ciertos datos y se observan las gráficas que se obtiene por medio del osciloscopio, las cuales son analizadas con los datos y la teoría de circuitos de corriente alterna, finalmente se simula y experimenta con señales que sólo se pueden obtener con circuitos de corriente alterna en serie, las cuales son fenómenos amortiguamiento.

- **Capítulo 4: CONCLUSIONES.**

Por último, en este capítulo se realizan las conclusiones alcanzadas en la investigación de circuitos de corriente alterna respecto a lo ya mencionado anteriormente.

## 5. Metodología

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque mixto ya que representa un conjunto de procesos sistemáticos, críticos de investigación e implica la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno de la corriente alterna (Hernández, 2008).

Con el objeto de recolectar datos se realizará la simulación y montaje práctico de los circuitos y llegar a un análisis descriptivo del comportamiento de la corriente en los circuitos AC.

## 6. Conclusiones

Al realizar mediciones con diferentes aparatos electrónicos se debe tener en cuenta su manual, para poder conocer los valores de resistencia etc, y así tener precisión en la toma de datos. Por otro lado se necesita que en cada curso de electromagnetismo, como en cualquier otro de física, se conozcan bien los aparatos de medida, que el docente tenga una total comprensión acerca de los aparatos para facilitar la utilización de

componentes y elementos como el osciloscopio con los estudiantes y estos no se vean frustrados cuando realicen las experiencias de laboratorio en otros espacios donde quieran volver a realizar los laboratorios.

Se tiene que tener en cuenta la teoría de los circuitos para una mayor comprensión de los laboratorios tanto en simulación, como en la experiencia en el laboratorio. La realización de experiencias en física son importantes puesto que nos dan una imagen del mundo físico, en este caso el de circuitos de corriente alterna. A través de la experimentación y la simulación se puede evidenciar un fenómeno como el de la corriente alterna, qué pasa a través de diferentes componentes y cómo estos se ven alterados según sus propiedades o características.

Las prácticas de laboratorio y la simulación son importantes en el aprendizaje de montajes y solución de ecuaciones de corriente alterna. Si bien es cierto que comprender los conceptos desde la teoría es importante para apropiarse del tema, en definitiva las prácticas de laboratorio son un recurso fundamental para interactuar y poner en práctica los diferentes conceptos físicos, lo cual permite unificar la teoría y la práctica para poder dar solución a una serie de montajes hechos en este trabajo de investigación.

El montaje experimental permite reconocer las variables asociadas a los circuitos, en los experimentos resultan nuevas variables y conceptos que son relevantes para poder entender los circuitos de corriente alterna. En una constante búsqueda de investigación acerca de la forma en que varían físicamente cada componente, necesariamente se empiezan a relacionar conceptos con comportamientos descritos en la vida cotidiana. Con solo pensar en la forma en que cambia y por qué la corriente alterna a continua o viceversa, tiene una repercusión importante en la forma que se piensa acerca del funcionamiento de los circuitos de corriente alterna y más aún en este fenómeno.

La parte experimental acompañada de la simulación, ayudan a comprender los conceptos en los circuitos, está comprobado por medio de otros trabajos como los de (Pedro F.T. Dorneles1)(2008) que para estudiantes que trabajan con simulación y experimentos permite un aprendizaje significativo, además las técnicas y los equipos utilizados son un gran apoyo para otras prácticas experimentales, diferentes al estudio de circuitos.

Se puede analizar y describir fenómenos físicos por medio de los experimentos y la simulación. Estas son de gran apoyo para entender los conceptos asociados a los circuitos de corriente alterna. Además esta investigación apoya los trabajos que sirvieron de antecedentes.

<b>Elaborado por:</b>	Quintero Mogollón, Juan Camilo
<b>Revisado por:</b>	Jose Francisco Malagón Sánchez

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	06	06	2017
--	----	----	------

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3. OBJETIVO.....	15
3.1.1    GENERAL: .....	15
3.1.2    ESPECIFICOS.....	15
4. ANTECEDENTES.....	15
5. MARCO TEÓRICO.....	17
5.1.1    GENERADORES .....	19
5.1.2    CORRIENTE ALTERNA .....	24
5.1.3    Circuitos (AC) .....	24
5.1.4    RESISTENCIA.....	24
5.1.5    INDUCTOR.....	25
5.1.6    REACTANCIA INDUCTIVA.....	25
5.1.7    CONDENSADOR.....	26
5.1.8    REACTANCIA CAPACITIVA .....	27
5.1.9    CIRCUITO RLC EN SERIE .....	27
5.1.10   IMPEDANCIA .....	27
5.1.11   CIRCUITO RLC EN SERIE, AMORTIGUADO, SOBRE AMORTIGUADO Y SUB AMORTIGUADO .....	29

6. MARCO PEDAGÓGICO .....	30
7. METODOLOGÍA .....	31
7.1.1 SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE MULTISIM.....	32
7.1.2 GUÍA DE CIRCUITOS.....	32
8. EXPERIMENTO Y SIMULACIÓN.....	33
8.1.1 SIMULACIÓN CON RESISTENCIAS.....	33
8.1.2 CIRCUITO RC EN MULTISIM.....	36
8.1.3 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA EN SERIE RC EXPERIMENTO EN EL LABORATORIO .....	37
8.1.4 CIRCUITO RL EN MULTISIM. ....	44
8.1.5 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA EN SERIE RL EN EL LABORATORIO.....	46
PRACTICA #2.....	46
8.1.6 CIRCUITO RCL EN MULTISIM .....	51
8.1.7 CIRCUITO EN SERIE RLC .....	52
PRÁCTICA #3.....	52
8.1.8 SIMULACIÓN Y EXPERIMENTO DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE, AMORTIGUADO, SOBRE AMORTIGUADO Y SUB AMORTIGUADO.....	56
8.1.9 PRACTICA EXPERIMENTAL #4 EN UN CIRCUITO RLC.....	57
9. CONCLUSIONES .....	61

10. BIBLIOGRAFÍA.....	63
-----------------------	----

## LISTA DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS.

### TABLA.

Tabla 1: datos tomados en un circuito RC .....	36
Tabla 1: datos tomados en un circuito RL.....	44
Tabla 1: datos tomados en un circuito RLC .....	50

### FIGURAS.

FIGURA 1: Primer motor de corriente alterna hecho por Tesla.....	15
FIGURA 2: Alternador trifásico.....	17
FIGURA 3: Alternador monofásico.....	17
FIGURA 4: Piezas de un Alternador elemental.....	19
FIGURA 5: Campo magnético respecto a la superficie.....	19
FIGURA 6: Tipos de resistencias .....	21
FIGURA 7: Clases de bobinas.....	22
FIGURA 8: Diferentes tipos de condensadores.....	23
FIGURA 9: Multisim, usada para modelar diferentes circuitos electrónicos.....	25
FIGURA 10: Simulación de circuitos con resistencias en Multisim.....	30
FIGURA 11: Señal de voltaje generada en cada resistencia.....	31
FIGURA 12: Circuito RC realizado en multisim.....	32

FIGURA 13: Oscilación del voltaje y corriente alterna.....	33
FIGURA 14: Montaje en el laboratorio de un circuito RC.....	35
FIGURA 15: Señal de voltaje en una resistencia y un capacitor.....	35
FIGURA 16: Variak para generar corriente eléctrica alterna.....	35
FIGURA 17: Se observa el voltaje y la corriente en función del tiempo desfasado. ....	37
FIGURA 18: Corriente contra voltaje en un desfase de 90 grados.....	40
FIGURA 19: Simulación de un circuito RL en multisim.....	42
FIGURA 20: Señales de voltaje y corriente en un circuito RL.....	42
FIGURA 21: Montaje en la Protoboard de un circuito RL.....	44
FIGURA 22: Señal de voltaje y corriente en un circuito RL con un osciloscopio digital..	44
FIGURA 23: Circuito RCL en multisim.....	48
FIGURA 24: Oscilación del voltaje y corriente en un osciloscopio multisim.....	48
FIGURA 25: Montaje experimental de un circuito RLC en serie.....	49
FIGURA 26: Multímetro y LCR con las cuales se tomaron las medidas.....	50
FIGURA 27: Simulación de un circuito RLC, la forma de señal sub-amortiguado.....	53
FIGURA 28: Simulación de un circuito RLC, la señal sobre-amortiguado.....	53
FIGURA 29: Circuito RLC con generador de funciones.....	54
FIGURA 29: Generador de funciones o señales.....	54
FIGURA 30: Señal de una onda sub-amortiguada.....	54
FIGURA 31: Señal de una onda sobre amortiguada.....	55

## **ANEXOS**

Anexo 1. Solución de la ecuación de corriente y voltaje alterno en una resistencia.....	62
Anexo 2. Solución de la ecuación de voltaje en un circuito RLC en serie.....	63

Anexo 3. Solución de la ecuación para la reactancia inductiva.....	64
Anexo 4. Solución de la ecuación para la reactancia capacitiva.....	65
Anexo 5. Guía circuitos de corriente alterna en serie.....	65

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza un estudio de circuitos de corriente alterna con el fin de describir el comportamiento de la corriente alterna y demás fenómenos asociados a estos circuitos tanto de manera teórica como experimental. Esta necesidad surge del estudio de circuitos reales, que conlleva un trabajo poco eficiente, demanda mucho tiempo y hace difícil la comprensión de la teoría de los circuitos eléctricos, cuando se realizan los montajes se hace con mucha cautela puesto que se corre el riesgo de dañar elementos y/o equipos de laboratorio, además suele requerir de concepciones abstractas y de difícil comprensión (Pontes & Jiménez 2005) lo cual implica tener por parte del estudiante un alto grado de razonamiento físico-matemático para entender y solucionar circuitos eléctricos. Por lo tanto, esta investigación es pertinente para la pedagogía que se enfoque en esta temática, puesto que se realizan algunos de los experimentos que puede implementar, de forma práctica y simulada incluyendo medios tecnológicos en el aula (Brito, 2011).

Dentro de la física los experimentos y estudios llevados a cabo por diferentes científicos se constituyen en un factor de gran importancia dado que contribuyen al conocimiento sobre el comportamiento de diferentes fenómenos, que mediante el análisis permite la construcción de teorías que aportan no sólo para la comunidad científica sino también a la sociedad. Es por esto que en el Seminario de la Línea de Profundización De La Enseñanza de las Ciencias Desde Una Perspectiva Cultural de la Universidad Pedagógica Nacional se abordan cuestiones tan importantes como ¿qué?, ¿cómo? y ¿para qué? se enseña, como factor determinante en el desarrollo de los educandos. Una de las formas de responder a estos cuestionamientos es utilizar como metodología lo experimental y valerse de herramientas que pueden asociarse de tal manera que contribuyan al papel investigativo, científico y tecnológico por parte del docente, lo que implícitamente genera un pensamiento creativo, descriptivo e investigativo no sólo en él sino en el mismo estudiante en donde además podrá interactuar con los mencionados experimentos, que brindan un modelo o acercamiento de lo que pasa en el laboratorio y la teoría (Márquez, 2006).

En lo que particularmente se refiere al fenómeno de la corriente alterna se evidencia la necesidad de ser abordado teniendo en cuenta todos los parámetros y cuestiones anteriormente.

mencionados, necesidad que surge ya que, aunque efectivamente se le aborda, el tratamiento que éste recibe suele ser un poco rápido y sin experiencias que permitan asociar la teoría y la práctica de circuitos de corriente alterna. Además, se le da mayor relevancia al estudio de circuitos y generadores de corriente continua, puesto que en un laboratorio de circuitos de corriente continua suele ser más fácil de entender y realizar, se comprende las señales que se generan a través de las diferentes combinaciones con componentes. Esto se realiza con mayor detalle en un curso de circuitos, como se evidencia en los cursos de electromagnetismo I y/o tópicos como física electrónica o en clases a nivel de bachillerato, mientras que en la licenciatura electrónica y/o ingenierías afines están al mismo nivel al abordar la corriente continua como la alterna (Palacios 2013).

La presente investigación tiene como objetivo principal responder a dicha necesidad, pues se considera que es relevante abordar el tema de corriente alterna de tal manera que, realizando un análisis del comportamiento de dicho fenómeno tanto de forma práctica como simulada, se logrará describir el comportamiento del mismo mediante conceptos inherentes al electromagnetismo, lo que se constituirá en un punto de referencia para aquellos docentes que deseen abordar la temática y retroalimentar sus clases con algunos experimentos y circuitos que les permita describir de una forma físico- matemática la corriente alterna.

Por consiguiente, el trabajo se presenta de la siguiente forma; en el capítulo I se presentan la temática y la problemática a resolver; los circuitos de corriente alterna. Primero a través de unas pautas que se deben tener en cuenta cuando se aborda el tema de corriente alterna y sus circuitos. También se plantean los objetivos que serán cumplidos en el presente trabajo a través de experimentos y simulaciones.

En el capítulo II se aborda, por un lado, el contexto histórico que ha tenido la corriente alterna, las diferencias entre la corriente alterna y continúa según las posiciones de sus dos máximos exponentes Nikola Tesla y Thomas Edison, además, se puntualiza de una forma teórica la generación de corriente alterna, la cual se define en base a la corriente, se explica tanto los circuitos de corriente alterna y los componentes que se utilizan en esta investigación, describiendo los fenómenos asociados a estos componentes cuando pasa corriente alterna en ellos. Se tiene en cuenta unas bases pedagógicas, que sustentan y argumenta las practicas experimentales tanto simuladas hechas en el software Multisim (versión estudiante) como en el laboratorio, las cuales

dan paso a la metodología utilizada en esta investigación la cual se define para el caso de esta investigación.

En el capítulo III se realiza una descripción de prácticas experimentales, primero de forma simulada y luego en el laboratorio, se toman ciertos datos y se observan las gráficas que se obtiene por medio del osciloscopio, las cuales son analizadas con los datos y la teoría de circuitos de corriente alterna, finalmente se simula y experimenta con señales que sólo se pueden obtener con circuitos de corriente alterna en serie, las cuales son fenómenos amortiguamiento. Por último, en el capítulo IV se realizan las conclusiones alcanzadas en la investigación de circuitos de corriente alterna respecto a lo mencionado anteriormente.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los experimentos en la Física tienen gran importancia dado que a partir del análisis matemático y físico de su comportamiento permiten describir fenómenos que contribuyen a la construcción de leyes y teorías, por lo que el electromagnetismo y el fenómeno de la corriente alterna particularmente no son una excepción a este hecho. Como se conoce en la historia de la electricidad y su generación han sido muchos los autores que, desde Benjamín Franklin hasta Tesla, han experimentado con la corriente eléctrica y han generado las teorías ya conocidas. Un ejemplo de esto son los experimentos de electricidad de Oersted y la inducción electromagnética de Faraday, donde la generación del primer motor de inducción, creado por este último, permitió la transformación tanto científica como técnica de las sociedades de hoy, con lo cual la teoría de la corriente alterna tuvo mucho que ver con dicha transformación dado sus beneficios.

Por consiguiente, abordar mediante una práctica experimental y análisis dicho fenómeno para entenderlo permite describir su comportamiento y contribuye al hecho de que el estudiante de electromagnetismo II de la Universidad Pedagógica Nacional, se acerque de una forma descriptiva y analítica que propicia la construcción de ideas propias evitando llevar la temática de manera operativa y mecánica.

En cuanto a esto la bibliografía es escasa, dado que en los libros de electromagnetismo generalmente se aborda a grosso modo, haciendo énfasis en el análisis de circuitos sin proposición

de prácticas de laboratorio que permitan describir, entender y evidenciar lo que se aborda teóricamente.

Por lo tanto se hace necesario determinar cuáles son los circuitos a implementar, de una forma simulada, que es importante para la enseñanza y el aprendizaje pues el estudiante puede interactuar con esta y luego poder realizar sus prácticas experimentales en el laboratorio, minimizando los riesgos de dañar algún componente. ( Sánchez & Pedraza 2011)

Por consiguiente surge la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo, mediante la experimentación y análisis de circuitos de corriente alterna, se puede describir las características y el comportamiento de la corriente alterna en diferentes elementos de un circuito?*

Se delimita esta investigación a los circuitos de corriente alterna en serie, cuando son medidos no solo de forma sinusoidal, sino también de forma cuadrada, lo cual se realiza en el capítulo 3(8.1.9) en algunos comportamientos. No se abarca todos los fenómenos asociados a la corriente alterna en circuitos como lo son circuitos en paralelo u otras relaciones, respecto al análisis, los circuitos eléctricos se pueden analizar de diferentes maneras, con técnicas de análisis de circuitos, como también modelos matemáticos, planteamiento de ecuaciones diferenciales ordinarias o transformada de Laplace, existen una variedad de técnicas de análisis de circuitos. Por lo tanto se hace importante resaltar la dirección en la que está enfocada este estudio, donde primero se realiza un análisis de documentos que abordan la teoría de generación de corriente alterna y circuitos asociados a esta, segundo, se reconstruyen circuitos de corriente alterna de una manera experimental y simulada, y finalmente se analizan desde la señal que nos muestra el osciloscopio de una manera física.

### 3. OBJETIVO

#### 3.1.1 GENERAL:

Reconstruir experimentos en circuitos de corriente alterna en serie que permitan describir y analizar la corriente y fenómenos asociados a la corriente alterna mediante la teoría y conceptos inherentes a la Física y la Matemática.

#### 3.1.2 ESPECIFICOS

- Realizar una investigación bibliográfica tanto en libros de texto como en trabajos de investigación acerca de los circuitos de corriente alterna.
- Analizar el comportamiento de los circuitos de corriente alterna de forma matemática y mediante herramientas experimentales y/o software.
- Realizar una guía para el docente que permita analizar de forma práctica y teórica los circuitos de corriente alterna.

### 4. ANTECEDENTES

A continuación presentamos los resultados de la fase de indagación cuyo principal objetivo fue hacer una revisión bibliográfica de los antecedentes que aportaron significativamente al trabajo de investigación, donde se consolida el problema de estudio detallado anteriormente. Se realizó una búsqueda en los documentos de la Universidad Pedagógica Nacional y a través del sinab.

Se encontró la monografía de Luis Palacios cuyo título es:

*Fenómeno de resonancia -circuito RLC.*

En la Universidad Pedagógica Nacional yace una investigación sobre corriente alterna y directa en un circuito RLC, donde se aborda la teoría acerca del comportamiento de la corriente y el voltaje tanto DC como AC a través del fenómeno de resonancia, para concluir con una propuesta pedagógica y experimental para abordar el concepto apoyado con trabajos prácticos con estudiantes de la licenciatura en electrónica.

El trabajo de Palacios es útil como referente en tanto que aborda la corriente y el voltaje con base al fenómeno de resonancia de forma teórica y experimental, y apoya a esta investigación

en temáticas como los circuitos de corriente alterna, donde el análisis realizado acerca de un circuito RLC demuestra cómo se logra la resonancia en un circuito de este tipo evidenciando uno de los comportamientos de la corriente alterna en un circuito.

*Enseñanza Del Comportamiento Caótico De Un Circuito RLC De Corriente Alterna Conectado A Un Dispositivo Electrónico No Lineal, Mediante Una Simulación Computarizada.*

El trabajo hecho por M. J. Sánchez, y A. F. Pedraza, Marquez (2011) de la Universidad Nacional Bogotá, encontrado en las fuentes del sinab, aborda el cómo enseñar el comportamiento caótico de un circuito RLC de corriente alterna a un dispositivo no lineal, es decir transistores, diodos etc. Por medio de una herramienta computarizada llamada *java simulations* se pretende enseñar este comportamiento no lineal y determinista de un circuito simple RLC, para que el estudiante tenga apropiación de los diferentes temas de Física aplicados en circuitos de corriente alterna.

Trabajo que es útil como referente en tanto que aborda los circuitos RLC donde se muestran los parámetros y ecuaciones que se obtienen en una descripción de la carga cuando se conecta a una fuente de corriente alterna, donde aparece el fenómeno de amortiguamiento, sub-amortiguamiento de la carga.

*Simulacao e modelagem computacionais no auxílio á aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade. Parte II - circuitos RLC (Computational modelling and simulation activities to help a meaningful learning of electricity basic concepts. Part II - RLC circuits)*

En el trabajo de Pedro F.T. Dorneles<sup>1</sup>, Ives S. Araujo e Eliane A. Veit del Instituto de Física, en la Universidad Federal de Rio Grande de Sul, Porto Alegre. Analiza el comportamiento la energía electromagnética asociada a un circuito RLC, por otra parte discute las dificultades que tienen los estudiantes en comprender los conceptos asociados a los circuitos RLC, para solucionarlo propone una herramienta de ayuda a la comprensión, es el software de simulación Modellus.

Este trabajo sirvió como referente, primero para saber cuáles son las dificultades que tienen los estudiantes al trabajar con circuitos, segundo como apoya una herramienta simulada a la comprensión de estos circuitos.

## 5. MARCO TEÓRICO

En la historia de las ciencias existen muchos capítulos con nombres importantes, teorías y experimentos que han marcado una era, este es el caso de la llamada Guerra de las corrientes, Nikola Tesla desempeñó un papel decisivo en la historia de las ciencias y de la tecnología, aportó a los avances tecnológicos con los que hoy en día podemos contar y que han mejorado tanto la comunicación como la forma de generar electricidad. Tesla es conocido por su contribución en la generación de la corriente alterna (AC), su idea de transmisión de electricidad a larga distancia y más aún la modificación y mejoría del motor de corriente alterna producto de algunos retos que le planteara su profesor de la universidad (Mis inventos Nikola Tesla 1919)<sup>1</sup>. En 1875 Nikola Tesla se matriculó en la Universidad Politécnica de Graz, en aquel entonces el profesor Poeschl hacía una demostración de una máquina de corriente alterna que funcionaba con la ayuda de un interruptor. Tesla creía que se podía prescindir del interruptor, fue entonces cuando al profesor le pareció imposible que funcionara sin el interruptor, entonces Tesla pensaría en el reto impuesto por el profesor, pero duraría varios años pensado en él. Luego de trabajar por algunos años y mudarse por diferentes partes de Europa, finalmente una tarde estaba hablando con su mejor amigo y mientras veía el atardecer recitaba unos poemas, rápidamente al terminar se le vino a la mente de inmediato la solución al problema propuesto por el profesor Poeschl. Era la imagen de un sistema ingenioso y de la forma más sencilla utilizaba el fenómeno de la inducción magnética para hacer girar el rotor, esta fue la primera forma funcional de un motor de corriente alterna, sin necesidad de switch o interruptor.

Tesla finalmente viaja a Estados Unidos, con la imagen de ese motor, ahora lo que tenía que hacer era construirlo. Sabía que lo que había imaginado sería algo revolucionario. Tesla llevó sus ideas acerca del motor de inducción polifásico de campo magnético giratorio a diferentes personas que pudieran ayudar económicamente a realizar tal motor, fueron Brown y Peck dos empresarios quienes le ayudaron y consigo construyeron Tesla Electric Company y el primer laboratorio para que Tesla realizara todos sus experimentos. En 1888, Martin, quien fuese elegido presidente de la

---

<sup>1</sup> Léase los artículos publicados en Electrical experimenter llamado "My inventions" de Tesla escrita por el mismo en 1919.

AIEE<sup>2</sup>, le solicitó a Tesla que realizara una publicación para Electric World y presentara su ponencia en la Universidad de Columbia. El 15 de mayo Tesla dio a conocer su invento y dio por realizado el reto que le había planteado su profesor, pronunció, entonces el siguiente discurso:

*“..... Tengo el placer de traer ante ustedes un nuevo sistema de distribución y transmisión de energía a través de corrientes alternas, de cuya superior adaptabilidad estoy seguro que dejaré constancia y les mostraré que muchos resultados hasta ahora inalcanzables pueden conseguirse con su uso. En nuestros dinamos, como es sabido, generamos corrientes eléctricas que dirigimos a través de un interruptor , un artilugio complicado, y la fuente de la mayor parte de los problemas que experimentamos, ahora, las corrientes así dirigidas no pueden ser utilizadas en el motor, porque deben ser reconvertidas a su estado original , es más , en realidad , todas las maquinas son máquinas de corriente alterna ; la corriente alterna solo parece continua en el circuito externo, durante su desplazamiento desde el generador”*<sup>3</sup>. (Tesla, 2011) Después comenzó a explicar en detalle el nuevo sistema que cautivó de inmediato. Elihu Thomson quien estaba en dicha charla, también había tratado de solucionar el problema de conseguir un sistema de corriente alterna que funcionara de manera satisfactoria. Pero, la diferencia entre el modelo de Tesla y el de Thomson radica en el interruptor. El propio Tesla le hizo a saber a Thompson que el modelo planteado por este último no solucionaba el problema del todo al incluir un interruptor. Esta discusión luego se tornaría en una enemistad con este hombre que crearía junto a Edison: General Electric.



Figura 1. Primer motor de corriente alterna hecho por Tesla.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Asociación de ingenieros eléctricos y electrónicos

<sup>3</sup> Cita tomada del libro Nikola Tesla Yo y la energía, la cual fue tomada de la publicación de 1919 ELECTRICAL EXPERIMENTER “My Inventions” BY Nikola Tesla, otras publicaciones de acerca del motor y otros inventos se pueden ver en T.C. Martin 1894 en la obra “the inventions ,researches and writings of Nikola Tesla”.

<sup>4</sup> Imagen tomada de <https://www.preceden.com/timelines/297080-electricidad>.

Cuando Tesla viaja a Estados Unidos para trabajar en la compañía de Thomas Edison, no duró mucho tiempo para que los dos pelearan por procedimientos y diseño de diferentes componentes eléctricos. Edison no estaba a favor del uso corriente alterna, puesto que todos los sistemas que usaba se basaban en transporte de corriente continua, el único artefacto que construyó Edison que funcionaba con corriente alterna fue la silla eléctrica, la cual usó para demostrar que la corriente alterna que defendía Tesla era peligrosa para las personas. Es así que duraron en un sinnúmero de conflictos por mantener cada uno su postura hacia cuál de las dos corrientes sería el futuro de la sociedad. Hoy en día sabemos que tanto una como la otra sirve para diferentes fines y que las dos tienen igual importancia en el desarrollo de la humanidad.

La diferencia entre corriente continua y corriente alterna está en las ventajas de transporte de electricidad y ganancia de voltaje que ofrece la AC. Según Tesla pueden subirse los niveles de tensión de una manera muy fácil y con alto rendimiento, es decir se eleva la tensión con poca pérdida de energía, y puede también bajarse para facilitar el consumo en las industrias y las casas. Por otro lado, la corriente continua permite y facilita almacenar carga y mantener diferentes aparatos encendidos gracias a que mantiene constante el paso de carga. Desde una perspectiva física, cambia el fenómeno de la corriente es por esto que se hace interesante realizar un estudio sobre la corriente alterna, tanto en su creación en alternadores, como su uso en motores de AC, lo cual también implica un estudio de los circuitos de corriente alterna. En este trabajo se abordó un estudio de los circuitos de corriente alterna en serie y la teoría acerca de la generación de corriente alterna puesto que la forma, los usos que se pueden lograr con uno y con otro, es un aspecto a resaltar y tratar de diferenciar de una manera experimental que se tratará en este trabajo.

### 5.1.1 GENERADORES

Los generadores son máquinas eléctricas que cumplen la función de generar electricidad por medio de un movimiento mecánico. Existen dos tipos de generadores, de corriente continua y de corriente alterna, los cuales se pueden dividir en:

C.C.: Dinamo, puede ser independiente, serie, derivación,

C.A.: Alternador, puede ser monofásico, trifásico, polos lisos o polos salientes.

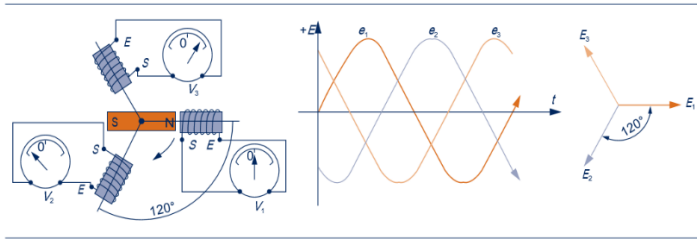


Figura 2. Alternador trifásico.<sup>5</sup>

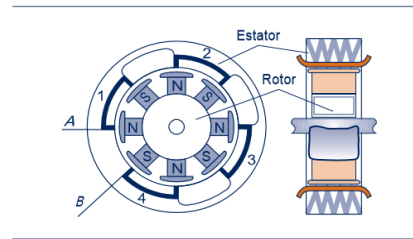


Figura 3. Alternador monofásico<sup>6</sup>

En las figuras 2 y 3 observamos dos tipos de alternadores de corriente alterna, uno monofásico, que cuenta con cuatro bobinas conectadas en serie con imanes de diferentes polos uno al lado del otro lo cual los hace rotar, pero su señal de voltaje de la fuente es la misma para todo el circuito. En el alternador trifásico tenemos un imán con tres bobinas, las cuales están desfasadas entre ellas generando de cada una un voltaje diferente como se observa en la figura.

Existen varias diferencias en la creación de corriente continua y alterna. Un dinamo, o pila puede generar corriente continua, la cual siempre tiene un voltaje establecido que no varía con el tiempo, es decir permanece constante al igual que la corriente. Un generador de corriente alterna, por lo general, es un alternador también llamado generador síncrono por la relación que existe entre la velocidad de giro y la frecuencia de tensión generada o voltaje. Generalmente los alternadores son de inducido fijo, donde el campo magnético es el que gira. Los alternadores se pueden clasificar según el tipo de inductor y la forma en que se disponen los polos. Un alternador está conformado por un **estator** o **inducido** que se construye con láminas de acero laminado en silicio y en su interior se dispone de bobinas donde se producen las corrientes inducidas. El **rotor** está formado por un número determinado de polos norte y sur rodeados de bobinas de excitación. Pero las características que interesan son las que puede generar, como subir la tensión o el voltaje muy fácilmente, lo cual permite la transmisión de corriente a largas distancias sin pérdida de energía por el efecto joule.

<sup>5</sup> Imagen tomada del artículo máquinas eléctricas rotativas Aller (2008).

<sup>6</sup> Imagen tomada del artículo máquinas eléctricas rotativas Aller (2008).

## GENERACIÓN DE UNA CORRIENTE ALTERNA SINUSOIDAL

Un generador ideal funcionaría con una inductancia -bobina de alambre y una barra magnética, la cual genera un campo magnético que giraría sobre su eje, que está confinado a una cierta región donde no se afecta a las terminales, el potencial que se obtiene entre las terminales será:

$$V = -\frac{d\phi}{dt} \text{ Ecuación (1)}$$

Esta integral describe a la fem producida en el circuito, que a su vez es igual a la razón de cambio del flujo magnético (Aránzazu, García, Martín & Vega 2009).

En el estudio de la corriente alterna trata su generación un caso sencillo, en el cual la corriente es una función sinusoidal del tiempo es decir:

$$I = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \text{ ecuación (2)}$$

En la que  $I_0$  es la intensidad máxima de corriente,  $\omega$  la pulsación,  $\omega \cdot t + \varphi$  es la fase, y  $\varphi$  la fase inicial, esto está dado para el caso en el que en un tiempo sea cero y el ángulo igual a cero tendrá una fase inicial. Esto se demostrará a continuación en la explicación de un generador simple de corriente alterna.

Como se genera una corriente sinusoidal, supongamos una espira rectangular, que gira con velocidad angular  $\omega$  constante en el interior de un campo magnético constante  $\vec{B}$  perpendicular al eje de giro, los extremos de la espira están conectados a dos anillos sobre los cuales se apoyan unas escobillas que toman la corriente y conducen el circuito, se tiene un vector  $\vec{s}$  que representa la superficie donde se presenta la espira ante las líneas de campo ( Beléndez 1989).

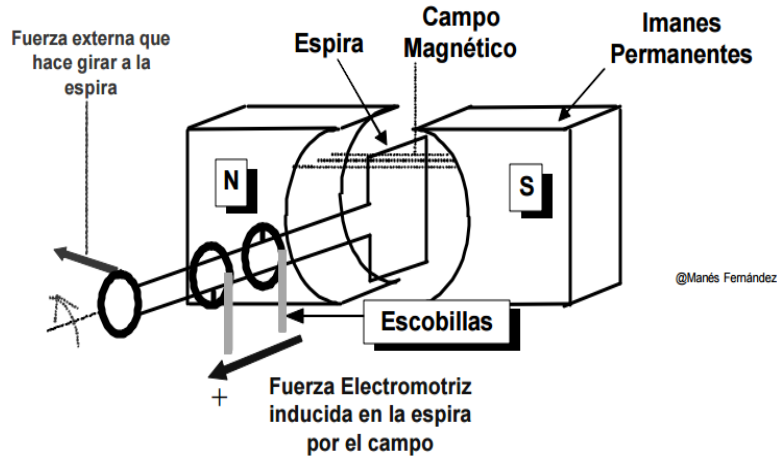


Figura 4. Piezas de un Alternador elemental<sup>7</sup>

Cuando gira la espira el flujo de campo magnético que atraviesa la superficie limitada por el cuadro experimenta una variación, respecto al tiempo de la siguiente forma:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{s} = B \cdot S \cdot \cos \theta \text{ ecuación (3)}$$

Siendo  $\theta$ , en función del tiempo, el ángulo que forma con el vector campo  $\vec{B}$  y el vector superficie  $\vec{s}$  de la espira.

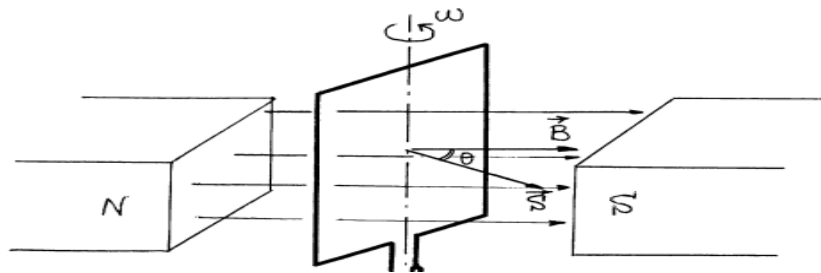


Figura5.Campo magnético respecto a la superficie<sup>8</sup>

En cierto momento el vector  $\vec{s}$  tiene la misma orientación de  $\vec{B}$ , por lo tanto el flujo será el máximo, después sigue girando, por lo tanto el flujo comenzará a disminuir, luego aparece una fuerza electromotriz inducida en la espira, por la ley de inducción Faraday.

<sup>7</sup> Imagen tomada de Aller, José Manuel;. (2008). *Maquinas eléctricas rotativas* pag 247.

<sup>8</sup> Imagen tomada de temas de física para ingeniería Augusto Beléndez 1989 pag.2

$$\theta = \omega t \text{ Ecuación (4)}$$

Tenemos que el ángulo varía en función del tiempo, reemplazamos en la ecuación 5 a  $\theta$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{s} = B.S. \cos(\omega.t) \text{ Ecuación (5)}$$

Por lo tanto el flujo varía sinusoidal respecto al tiempo, siendo el valor de la fem inducida:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ Ecuación (6)}$$

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = B.S. \sin(\omega.t) \text{ Ecuación (6.1)}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin \omega.t \text{ Ecuación (6.2)}^9$$

Donde  $\varepsilon_0 = B.S. \omega$  Es el valor máximo de la fem inducida sinusoidal.

La fem alterna instantánea para este caso se da cuando  $t=0$ ,  $\theta = 0$ , si existe  $\Phi$  en un  $t=0$  se puede escribir  $\theta = \omega t + \varphi$  entonces:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega.t + \varphi) \text{ Ecuación (7)}^{10}$$

La velocidad angular  $w$  está relacionada con el periodo  $T$  y la frecuencia  $f$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} ; T = \frac{1}{f} ; w = 2\pi f \text{ Ecuación (8)}$$

$T$  es el tiempo que tarda la espira en dar una vuelta completa, es decir  $2\pi$  radianes y  $f$  representa el número de vueltas por segundo.

La implicación que se deduce de las ecuaciones es que al tener una espira girando en medio de dos imanes que generan campo magnético, se genera una fem alterna que varía con el ángulo, la fase y la frecuencia. Una de las implicaciones más importantes, es el papel que juega la frecuencia en la variación del voltaje dado por la rotación de la espira que se demuestra en la ecuación (8) si la sustituimos en la ecuación (7), entonces al tener una fuente alterna, podemos subir la tensión de cualquier aparato modificando su frecuencia.

---

<sup>9</sup> Solución tomada de temas de física para ingeniería Augusto Beléndez 1989 pág. 3

<sup>10</sup> Ecuación tomada de temas de física para ingeniería Augusto Beléndez 1989 pág. 3

### 5.1.2 CORRIENTE ALTERNA

De lo descrito anteriormente se deduce que la corriente alterna es aquella que varía en el tiempo de forma sinusoidal o que invierte su sentido periódicamente, donde cada variación del ángulo, como se demuestra en la ecuación (7) tendrá una fase en la cual cada momento en que la espira va rotando, la corriente alterna generada por la f.e.m. subirá hasta llegar a un máximo y descendiende hasta un mínimo pero manteniéndose en los diferentes momentos de fase.

### 5.1.3 Circuitos (AC)

Un circuito está definido como una combinación de diferentes compuestos electrónicos, (Dorff 2003). Los circuitos de corriente alterna están compuestos por resistores, condensadores e inductores con una fuente de corriente alterna. Estos componentes tienen propiedades eléctricas diferentes a las de un circuito con corriente continua, esas diferencias son las que se destacan y sobresalen en el estudio de los circuitos de corriente alterna. Por ejemplo la resistencia se opone al paso de corriente, la inductancia se opone a cambios de corriente y la capacitancia se opone a cambios de voltaje. Estas diferencias dan como resultado relaciones de voltaje-corriente totalmente distintas. Es en estos componentes donde sus figuras tienen varias características importantes que se descubrirán a partir de la investigación en estos circuitos.

### 5.1.4 RESISTENCIA

Resistencia es una característica de los materiales, que se diferencia de otras porque impide el paso de corriente si le generamos una diferencia de potencial en dos extremos. Esta resistencia varía dependiendo de diferentes factores, uno de ellos llamado resistividad, es una característica de los materiales la resistividad, depende del área y la longitud del material.



Figura. (6) Tipos de resistencias.<sup>11</sup>

Las resistencias usadas en esta investigación son de dos tipos: fijas y variables, estas últimas más conocidas como potenciómetros y pueden cambiar fácilmente de una resistencia de  $100\Omega$  a  $5000\Omega$ , mientras que las fijas tienen un solo valor. Cada una sirve para diferentes propósitos, como sintonizar alguna señal entre otros.

### 5.1.5 INDUCTOR.

Una bobina es un alambre recubierto u otro material conductor que por lo general se forman cuando se realizan varias vueltas para formar un solenoide, genera un campo magnético, el cual almacena energía en forma de campo magnético que se concentra en el núcleo de la bobina.



Figura (7). Clases de bobinas.<sup>12</sup>

Las bobinas usadas en esta investigación son de diferentes valores y hechas de diferentes materiales. Un ejemplo es la bobina de espiras las cuales tienen valores pequeños en henrios que se puede hacer de una forma casera, las otras son industriales y de componentes muy pequeños, las cerámicas, cuyo valor puede estar entre los micro henrios hasta 1 henrio.

### 5.1.6 REACTANCIA INDUCTIVA.

La reactancia inductiva es la oposición que presenta un inductor al flujo de la corriente alterna y se demuestra con la siguiente ecuación:

La tensión entre los extremos de una bobina es:  $V = L \frac{di}{dt}$  Ecuación (9)

<sup>11</sup> Imagen tomada de <http://slideplayer.es/slide/3872032/>.

<sup>12</sup> Imagen tomada de <http://electronica2docselmtm.blogspot.com.co/2014/05/bobinas.html>

Donde  $\omega L$  será una resistencia y se denomina reactancia inductiva denominada con las letras  $X_L$ , luego  $X_L = \omega L$  expresado en ohmios. Ecuación (10). La demostración de cómo se llega a esta ecuación está en el anexo 3.

### 5.1.7 CONDENSADOR.

Un condensador básicamente son dos placas electrizadas y aisladas una de la otra. En el espacio que hay entre ellas existe un material llamado dieléctrico que no permite el contacto entre estas placas, cuyo objetivo es almacenar carga. Por lo cual el condensador al ser conectado a una fuente, una de las placas queda cargada negativa y otra positiva, generando una diferencia de potencial que alcanza el valor del voltaje de la fuente.

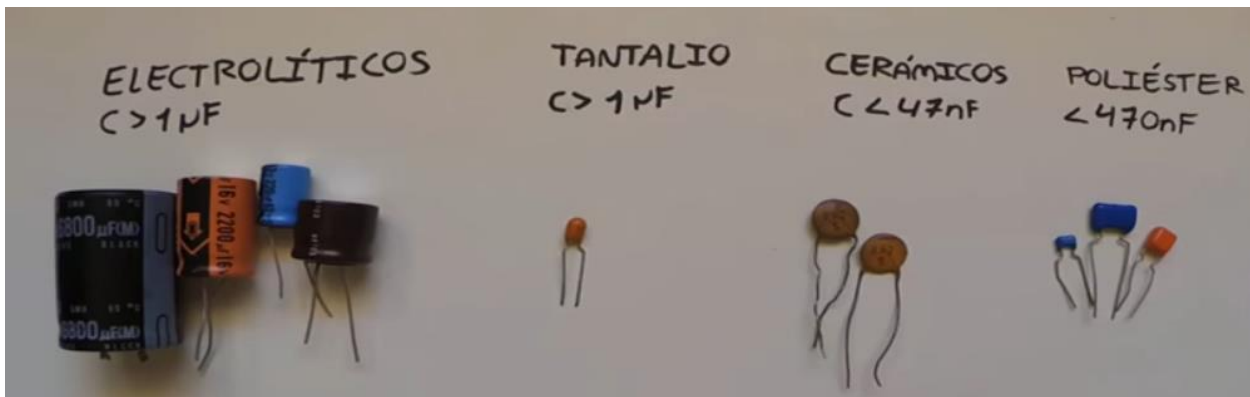


Figura (8) Diferentes tipos de condensadores.<sup>13</sup>

Los condensadores usados en esta investigación son de diferentes valores y hechos de diferentes materiales. Uno de los más usados en experimentos, son los electrolíticos, algunos de estos por sus características que al pasar corriente alterna por un circuito, rectifica la corriente y la vuelve a la señal continua. Están las de tantalio no usadas es este laboratorio y las cerámicas que fue la más usada, en especial para las señales amortiguadas de corriente alterna puesto que estas no tienen polaridad y permiten la variación del flujo de corriente.

<sup>13</sup> Imagen tomada de [https://www.youtube.com/watch?v=bBs8WT730\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=bBs8WT730_c).

### 5.1.8 REACTANCIA CAPACITIVA

La reactancia capacitiva se da cuando un condensador presenta una oposición al flujo de corriente alterna y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{q}{c} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Siendo  $\frac{1}{\omega c}$  la reactancia capacitiva o capacitancia  $X_c$ , y se mide en ohmios.

$$X_c = \frac{1}{\omega c} \quad \text{ecuación (12)}$$

La solución de la ecuación (12) está en el anexo 4 y es la que se usará para calcular la reactancia capacitiva o capacitancia en un circuito RC Y RLC, nos ayudará a entender cómo actúa el condensador y las implicaciones de tener una capacitancia en un circuito.

### 5.1.9 CIRCUITO RLC EN SERIE

Gran cantidad de circuitos de corriente alterna usan la combinación de resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva en serie puesto que tiene muchas aplicaciones, a estos circuitos se les denomina: circuitos RLC, uno de los fenómenos que se obtienen de esos circuitos son las frecuencias que se generan por la reactancia de los dos componentes mencionados, este circuito al igual que los RC y RL tienen una respuesta forzada y otra natural.

### 5.1.10 IMPEDANCIA

La impedancia es la oposición al paso de corriente, se mide en todo el circuito y no como una sola resistencia, por lo tanto es la suma de todas las resistencias incluidas, las de aparatos y componentes como lo son la reactancia capacitiva y la inductancia capacitiva. Calculamos la impedancia en un circuito; el voltaje para el circuito RLC en serie, la cual es una ecuación diferencial de segundo orden, primero determinamos que en cada instante:

$$V = V_R + V_L + V_C$$

$$\text{Donde } V_R = IR$$

$$V_L = L \frac{di}{dt};$$

$$V_C = \frac{q}{c} = \frac{1}{c} \int I dt$$

Por lo tanto

$$V_0 \sin \omega t = IR + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{c} \int I dt \text{ ecuación (13)}$$

La solución de la ecuación diferencial se encuentra en el anexo 2 y da como resultado la siguiente ecuación.

$$V_0 = I_0 \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{\omega c})^2} \text{ Ecuación (14)}$$

La ecuación anterior es la que nos muestra cuál es el voltaje de la fuente y el voltaje total instantáneo entre los extremos de la serie de elementos. Para la suma vectorial donde también podemos hallar el voltaje total, primero se resta el  $V_C$  de  $V_L$ . Estos fasores siempre se encuentran a lo largo de la misma línea en direcciones opuestas por el desfase, esto da el fasor  $V_L - V_C$ , que siempre forma un ángulo recto con el fasor  $V_R$  de modo que por el teorema de Pitágoras podemos encontrar, la magnitud de  $V$  es:

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ ecuación (15)}$$

De la ecuación (15) podemos definir la impedancia  $Z$  de un circuito de corriente alterna, como la proporción de la amplitud del voltaje entre los extremos del circuito respecto a la amplitud de corriente en el circuito. Entonces la impedancia en un circuito LRC en serie es:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad 0 \quad Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{\omega c})^2} \text{ ecuación (16) impedancia en un}$$

circuito RLC.

Se plantea entonces que  $V=IR$  siendo  $R=Z$  que es la impedancia que actúa en todo el circuito, donde  $R$  se utiliza para corriente continua y la impedancia  $Z$  en corriente alterna, por lo cual se reformula y se dice que  $V=IZ$  (cálculo para la amplitud voltaje entre los extremos de un circuito de AC) (Sears y Zemansky 2009).

- Si  $X_L > X_C$ , es  $\varphi > 0$  y la intensidad está retrasada respecto de la tensión.
- Si  $X_L < X_C$ ,  $\varphi < 0$  y la intensidad está adelantada respecto a la tensión.

Se define la impedancia compleja de un circuito RLC,  $\vec{Z}$ , como:

$$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L + \vec{X}_C \text{ Ecuación (17)}$$

Donde  $\vec{X} = \vec{X}_L + \vec{X}_C$  es la reactancia compleja se cumple que:

$$\vec{Z} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}} = \frac{V_0 \angle 0^\circ}{I_0 \angle -\varphi} = Z \angle \varphi, \text{ es decir } \vec{Z} = Z \angle \varphi \text{ (forma polar) o } \vec{Z} = R + jX \text{ (forma binómica).}$$

El papel que juega la impedancia  $Z$  en un circuito de corriente alterna es la misma que la resistencia en un circuito de corriente continua, no varía respecto a la corriente, sin embargo sí se diferencia en la capacitancia reactiva y la inductancia reactiva que se obtiene en el circuito en un circuito RLC.

### 5.1.11 CIRCUITO RLC EN SERIE, AMORTIGUADO, SOBRE AMORTIGUADO Y SUB AMORTIGUADO

Entraremos a hablar acerca de un fenómeno que se da también en corriente alterna. Se sabe que en un circuito existen diferentes respuestas. Por ejemplo, la forma en que oscila un circuito de corriente continua es muy diferente a la de un circuito de corriente alterna, veremos a continuación cuales son esos fenómenos que se pueden describir en un circuito.

Los términos amortiguado, sobre amortiguado y sub amortiguado describen el impacto del elemento disipador ( $R$ ) sobre la respuesta a través del análisis de la frecuencia neper en comparación con la frecuencia resonante. Así, existen tres tipos de amortiguamiento, ahora, la naturaleza de la corriente dependerá de los valores de la resistencia, el capacitor y el inductor. Por ello, existen tres casos en los que se involucra al coeficiente de amortiguamiento y la frecuencia de resonancia (Dorf, 2003).

Para un circuito en serie RLC se tiene en cuenta las siguientes variables para  $\alpha$  y  $w_0$  en función de la resistencia, la inductancia y la capacitancia:

$$\alpha = \frac{R}{2 \times L} \text{ ecuación (18)}$$

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ ecuación (19)}$$

Para  $\alpha > w_0$  es el caso sobre amortiguado.

Para  $\alpha = w_0$  es el caso críticamente amortiguado.

Para  $\alpha < w_0$  es el caso sub-amortiguado.

Existen varias respuestas para la oscilación en un circuito alimentado con corriente alterna, las que se analizan en esta investigación son los de caso sobre amortiguado, caso críticamente amortiguado y el caso sub-amortiguado.

## 6. MARCO PEDAGÓGICO

Se cree que el diseño de algunas prácticas de laboratorio puede apoyar el proceso de comprensión del concepto (Becerra, 2010) en este caso el de corriente alterna en circuitos eléctricos. El cual se trata de abordar en este documento relacionando la teoría y prácticas experimentales que puedan reflejar los conceptos abordados en la clase, siendo una ayuda para el profesor que quiera enseñar esta temática tanto teórica como experimentalmente, donde los estudiantes relacionen el complejo mundo real con el de los conceptos construidos a lo largo de la historia (Chamizo, 2009)

Se hace entonces necesario entender el lugar que ocupa el experimento en el desarrollo de los conceptos y modelos, luego entonces se piensa en el papel que juega el experimento en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Ya que se evidencia la necesidad de reflexionar sobre la manera en que aparece y debe ser abordada la experimentación tanto en la escuela como en la universidad, entonces hay autores que desean orientar la práctica en el laboratorio acercando la teoría a la práctica experimental (Gil, 1986).

Cuando se aborda una temática un poco apartada de la educación en física convencional, el profesor está limitado a la teoría y se vuelve una enseñanza tradicional, que se desarrolla en un espacio pasivo de marcador y tablero. Por otro lado, la disposición del estudiante y su grado conceptual no le permiten fácilmente apropiarse de los temas o de los conceptos físicos bajo este tipo de ambiente (Barbosa, 2008), lo cual implica que la experimentación no puede ser tomada como simple práctica de laboratorio que pretenda corroborar teorías o contenidos enseñados, ni mucho menos el ejercicio exclusivamente de manipulación o la técnica de utilizar los instrumentos que alineen, complementen o evidencien la parte conceptual (Chamizo, 2009).

Para mejorar las experiencias tanto en aula como en el laboratorio, y facilitar la comprensión de los conceptos abordados en lo que se refiere al análisis y descripción de circuitos de corriente alterna

y la generación de la misma, se realiza una serie de experimentos y simulaciones que permiten evidenciar, contrastar, analizar y describir el comportamiento de la corriente y el voltaje en los circuitos que permita una mayor comprensión en los estudiantes. Puesto que ellos y el docente no se verán limitados cuando se aborde este tema, podrán manipular desde la simulación los diferentes circuitos hechos en el programa Multisim (versión estudiante) que provee diferentes herramientas para poder realizar la práctica (figura 9) Multisim es un entorno de simulación SPICE estándar, su principio básico es la solución para la enseñanza de circuitos, construyendo experiencia a través de la aplicación práctica del diseño, generación de prototipos y pruebas de circuitos eléctricos. El enfoque de diseño de Multisim le ayuda a al usuario reducir las iteraciones de prototipos y a optimizar los diseños de tarjetas de circuito impreso (PCB) al inicio del proceso (Instruments National, 2017). Luego se presenta la realización en el laboratorio, en el cual ya realizada la simulación y utilizado las herramientas podrá hacer los montajes de una manera más fácil y conocer cómo ubicar cada componente en su sitio, claro está que antes el docente tendrá que haber dado una cierta clase de normas y dificultades que se presenta en los aparatos de medida, como en los componentes electrónicos en el cual se aborda en el capítulo 4.

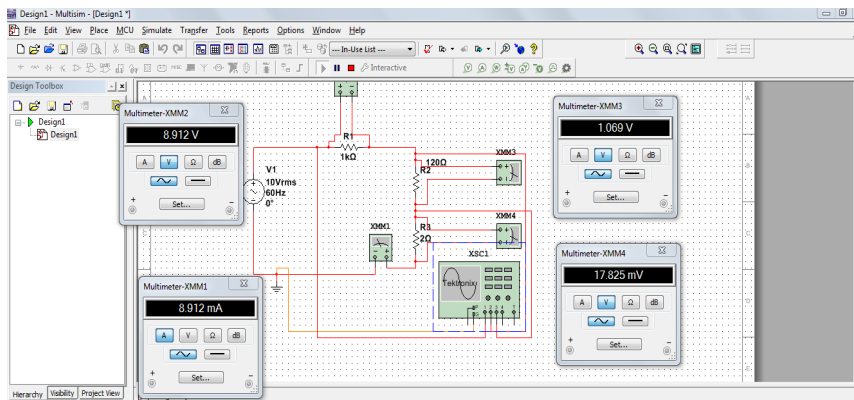


Figura (9) Multisim, usada para modelar diferentes circuitos electrónicos.

## 7. METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque mixto ya que representa un conjunto de procesos sistemáticos, críticos de investigación e implica la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias

producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno de la corriente alterna (Hernández, 2008).

Con el objeto de recolectar datos se realizará la simulación y montaje práctico de los circuitos y llegar a un análisis descriptivo del comportamiento de la corriente en los circuitos AC.

### **7.1.1 SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE MULTISIM**

En el software Multisim, versión estudiantil, se pueden modelar diferentes tipos de circuitos que permiten una mayor aproximación a la realidad. Además tiene gran variedad de elementos que facilitan el trabajo del laboratorio virtual con circuitos. Es muy importante entender que por actividad experimental llamamos a la forma de simular y las prácticas de laboratorio.

Para el presente trabajo se realizó la simulación en circuitos con sólo resistencias como una introducción para entrar a los siguientes circuitos RC,RL,RLC. Se tomaron los valores para luego realizar la actividad experimental, entendiendo por esta la forma de simular y las prácticas de laboratorio empleadas en este trabajo, se usaron circuitos con resistencias porque muestran a la corriente en su forma normal, debido a que no hay desfases en las resistencias. Se observó en el osciloscopio Tektronix la señal generada por la corriente alterna, luego en los multímetros se observa la corriente y el voltaje obtenidos, cabe recordar que la corriente en circuito en serie siempre es la misma y el voltaje cambia, debido a las caídas de tensión en los diferentes componentes. Se utilizó el software Multisim ya que su diseño de circuitos facilita el modelamiento de estos, para este trabajo resultó una herramienta útil sobre todo en su variedad de osciloscopios puesto que es una de las grandes diferencias con otros Softwares, permitiendo un fácil manejo del osciloscopio, para los montajes en el laboratorio que se hacen después.

### **7.1.2 GUÍA DE CIRCUITOS**

Se realiza una guía la cual se deja como anexo 5. Esta guía puede modificarse según el requerimiento o la pertinencia encontrada por el docente. No es una regla que hay que seguir paso a paso. Pero se recomienda tener en cuenta la calibración de los instrumentos de medida, la utilización del software que ayudará a realizar experimentos y contrastar las medidas obtenidas,

por otra parte no se dañarán los diferentes componentes por el mal uso ya que desde la simulación podrá variar diferentes medidas y componentes sin que estos sean afectados. Luego podrá pasar al laboratorio y realizar los montajes propuestos, esta guía se realiza con el fin de aportar en la actividad docente y a estudiantes que quieran realizar prácticas de laboratorio de circuitos alimentados con corriente alterna.

## **8. EXPERIMENTO Y SIMULACIÓN.**

En este capítulo se aborda la simulación de circuitos de corriente alterna por medio de un software, luego se realizan experimentos con los diferentes componentes RLC, una fuente que genera corriente alterna y un osciloscopio. El objetivo de la práctica es llevar a cabo simulaciones y experimentos, luego realizar un análisis y descripción que permita entender y conceptualizar los fenómenos y variables asociadas a un circuito de corriente alterna.

### **8.1.1 SIMULACIÓN CON RESISTENCIAS**

Para la siguiente simulación se toma una fuente de corriente alterna de 10v puede ser con cualquier voltaje, pero se debe tener en cuenta la escala de voltaje cuando miremos la señal en el osciloscopio, una frecuencia de 60 Hz puesto que es la más usada en esta zona de Suramérica. Resistencias de 1k, 120, 2,  $\Omega$ , se escogen resistencias de diferentes valores para observar cómo la corriente pasa en diferentes valores de resistencias, se pueden usar resistencias de cualquier otro valor, 4 multímetros tres para voltaje y uno para corriente. Un osciloscopio Tektronix.

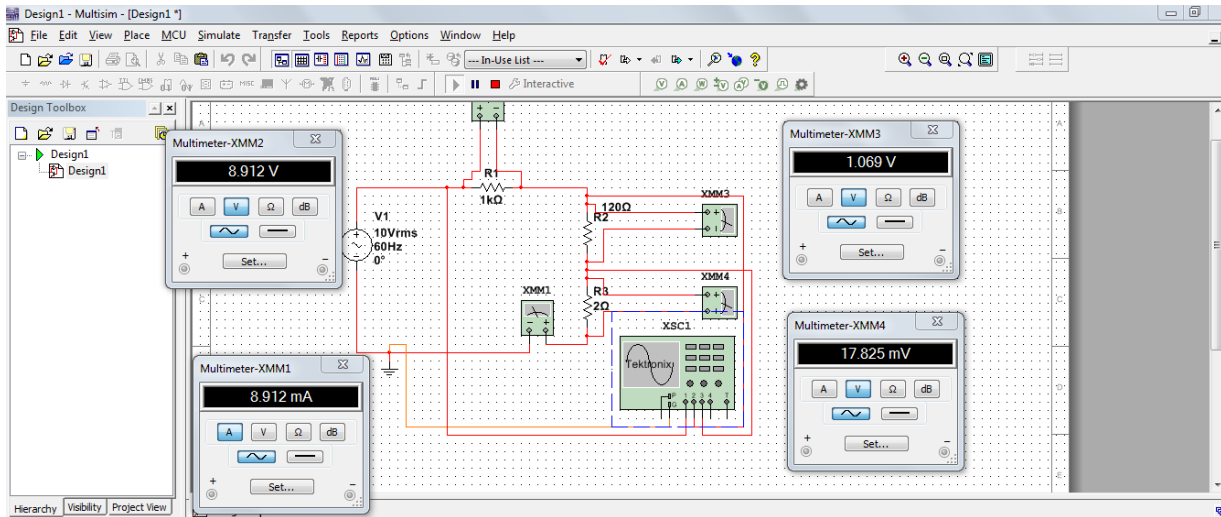


Figura (10). Simulación de circuitos con resistencias en Multisim.

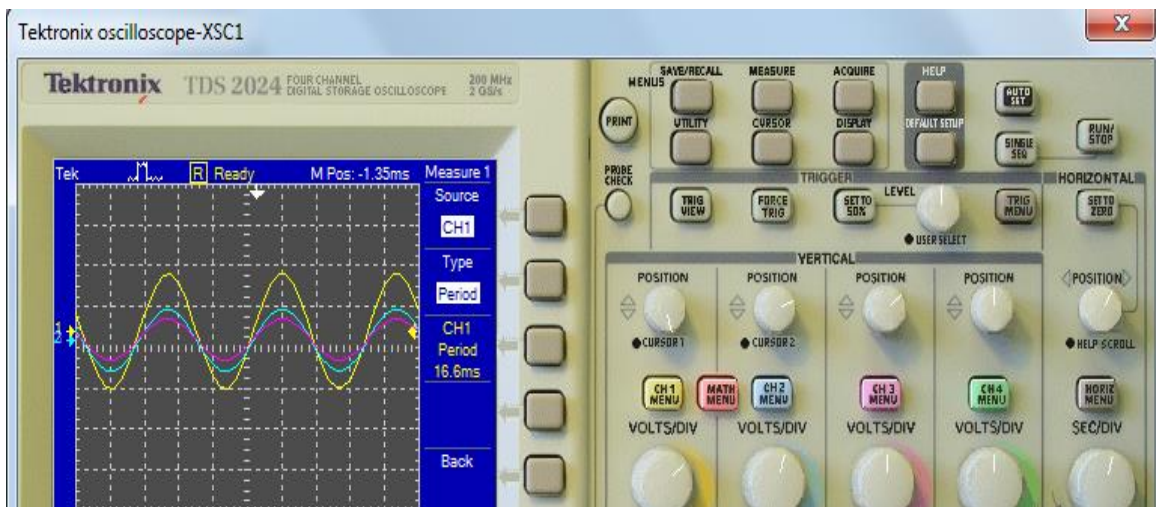


Figura (11) señal de voltaje generada en cada resistencia.

En la figura (10) se obtiene una corriente de 8.912mA pasado por todo el circuito, los voltajes son para la Resistencia #1 8.912v, para Resistencia # 2 1.069v, para Resistencia #3 17.825mv, al sumar los voltajes da un resultado de 9.99v que está muy cercano al valor de la fuente alterna. Recordemos que en un circuito de estos la corriente varía con el tiempo, por lo tanto se obtienen valores máximos y mínimos de corriente y voltaje. La señal que se obtiene en la simulación (figura 10) muestra los voltajes obtenidos desde el valor más grande que corresponde a la señal que se obtiene con mayor amplitud, donde se observan los valores voltaje sobre división por cuadro (v/div) de cada uno, por ejemplo para R2 el valor de cuadro es de 2v, la frecuencia para todos es de 60Hz, el periodo es de 16,6ms, para las tres resistencias, en el caso del voltaje pk-pk (pico a

pico) se mide sumando las amplitudes así sean negativas es para R#1 de 27,7v R#2 3.02v, R#3 49,4mv, voltaje máximo y mínimo que se miden mirando la amplitud máxima que alcanza, para las resistencias es R#1 13 y -13 v, R#2 1,51 y -1,51 v R#3 24,7 y -24,7, tiempo de crecimiento y caída para todas las resistencias es de 4,86ms.

## ANÁLISIS

En este experimento se puede deducir que la corriente alterna mantiene una diferencia de potencial constante, pero su polaridad varía con el tiempo, se comporta como una señal sinusoidal en función del tiempo  $I(t)$  se puede expresar matemáticamente según los parámetros característicos (figura 13, 14, 15), como una función del tiempo por medio de la siguiente ecuación:

$$I(t) = I_0 \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \text{ecuación (20)}$$

Debemos tener en cuenta que ninguna de las señales se desfasa, lo que quiere decir, que el ángulo de fase es 0. Lo mismo pasa con la corriente, se observa que con respecto al voltaje de cada resistencia no cambia y se encuentra en la misma fase que el voltaje (figura 11). Las señales seno que se obtienen, adquieren la misma frecuencia que la fuente, sólo se diferencian por las magnitudes y ángulos de fase (figura 11).

Un circuito ideal como se observa en la simulación (figura 11) con resistencia, usando una fem senoidal, este voltaje genera una corriente senoidal totalmente en fase con el voltaje aplicado y a la misma frecuencia, por lo tanto las variaciones de corriente siguen las mismas variaciones del voltaje, donde alcanzan su nivel máximo, es decir cuando alcanza el pico, luego cambia de dirección cuando el voltaje cambia de polaridad, se deduce primero que la corriente varía con el tiempo al mismo tiempo que lo hace el voltaje, luego si variamos la frecuencia aumentaremos el voltaje, pero la corriente seguirá siendo la misma y no habrá cambios en la fase de la corriente con respecto al voltaje, es una de las implicaciones que se tiene cuando se usa solo resistencias, lo cual muestra que no afecta en el desfase la resistencia, pero como los circuitos que usamos en casa necesitan de más componentes para funcionar, se hace necesario observar las implicaciones en la combinación de circuitos RC Y RL, RLC, que se presentan a continuación.

### 8.1.2 CIRCUITO RC EN MULTISIM

Para la realización de la simulación se toma una fuente de corriente alterna de 12 v y una frecuencia de 60Hz, una resistencia de  $100\Omega$ , un condensador de  $470\ \mu\text{faradyos}$ , tres multímetros, un osciloscopio Tektronix.

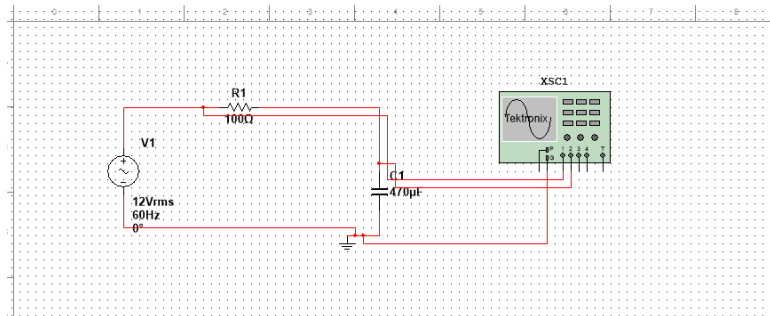


Figura (12) Circuito RC. Realizado en multisim.

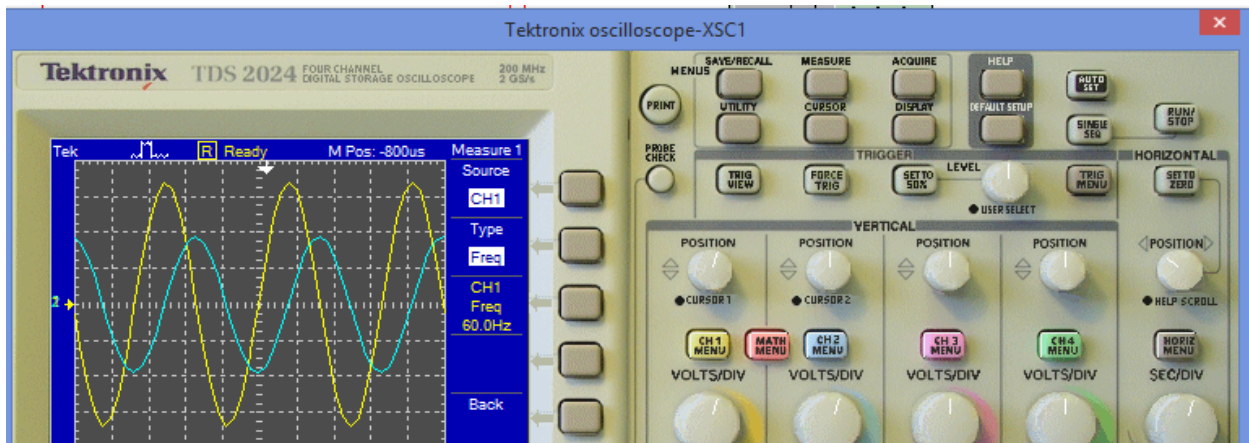


Figura (13) Oscilación del voltaje y corriente alterna.

En la figura (12) se muestra un circuito RC, en el cual se tiene una fuente de voltaje alterno donde la frecuencia es de 60hz para la resistencia (señal amarilla) el período es de 16.6ms, el voltaje pk-pk es de 22.7 v, el mínimo y máximo voltaje es de 16.9 v, se tiene una división por voltio para la resistencia de 5v, con una corriente medida de 119.813mA. Para el condensador (señal azul) se tiene un período de 16.6 ms, un voltaje pk-pk de 1.89v, con un máximo y mínimo de voltaje de 942mV, la corriente medida es de 119.813mA y el voltaje medido con un multímetro es de 667.949mV.

## ANÁLISIS

Para un circuito RC (figura 12) se observa que los periodos de variación son los mismos para el condensador como para la resistencia. Los voltajes cambian para la resistencia, el voltaje que recibe es más grande que el del condensador, esto se debe a la capacitancia que tiene el condensador, es muy pequeña por lo tanto el tiempo de almacenamiento de carga y de descarga son muy rápidos, como consecuencia la frecuencia varía de igual forma que la producida por la fuente. La corriente que pasa por este circuito es la misma, pero lo interesante aquí son los desfases que hay entre el voltaje en la resistencia y la corriente en el condensador. Se obtiene midiendo en el osciloscopio un desfase de 90 grados entre la corriente (señal azul) y el voltaje (señal amarilla) Se puede deducir y entender de dos formas, o la corriente se adelanta respecto al voltaje o el voltaje se atrasa respecto a la corriente. En el montaje que se repite en el laboratorio se explicarán las implicaciones de estos desfases, una de las consecuencias de medir es entender ciertas mediciones, por ejemplo, definir el voltaje pk-pk se calcula como el voltaje de subida máximo y el voltaje de bajada máximo, que se encuentra en el máximo valor de la amplitud como es para una señal seno donde los valores máximos serán 1 y -1, para el valor pk-pk se calcula como  $2xV_p$ , es decir, se multiplica por dos el voltaje pico que se mide, en este caso 12, de estos voltajes máximos se pueden calcular el voltaje y corriente eficaz los cuales se calculan en la tabla 1 y se analizarán las implicaciones de esta.

### 8.1.3 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA EN SERIE RC EXPERIMENTO EN EL LABORATORIO

#### PRACTICA #1

En la primera práctica se realiza el experimento con un circuito RC, recordemos que todos los circuitos que se hicieron son en serie, se utilizó un variak (figura 16) el cual genera corriente alterna y se mantuvo más o menos entre 12 voltios.

Objetivo: medir la diferencia de voltaje en un condensador y una resistencia, calcular la corriente y observar por medio del osciloscopio el desfase entre el voltaje y la corriente en un circuito RC.

## Materiales

Dos multímetros, una Protoboard, una fuente de corriente alterna, dos cables banana –caimán, un osciloscopio, tres sondas, cables, LCR.

## MONTAJE

Se usa la fuente alterna (variak) tratando de comenzar con voltajes bajos para después ir aumentando, se verifica la corriente uniendo en serie el circuito con el multímetro y en paralelo el voltaje en cada componente, se monta el circuito en la Protoboard cambiando los diferentes componentes resistencias y condensadores, se usa el osciloscopio para medir la señal de la corriente y el voltaje (figura 15).



Figura (14).Montaje en el laboratorio de un circuito RC.

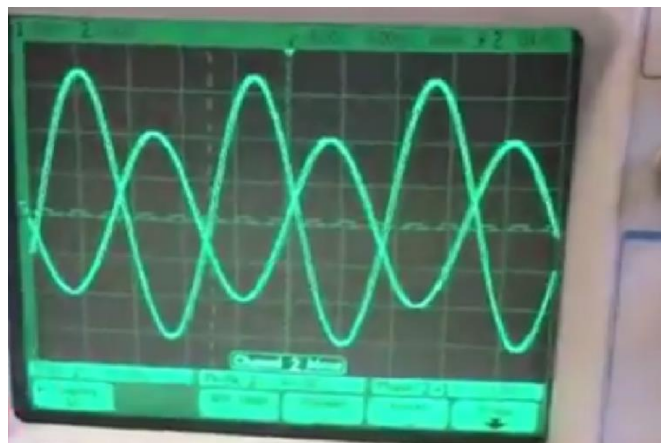


Figura (15).señal de voltaje en una resistencia y un capacitor.

En la figura (15) se observan las señales que se obtienen en un osciloscopio donde la señal 1 que tiene una amplitud más grande, es la de la resistencia, mientras que la segunda señal cuya amplitud

es más pequeña es la del condensador, mostrando un desfase entre la señal de la resistencia y la señal del condensador.



Figura (16) Variak para generar corriente eléctrica alterna.

**Tabla #1**

C ( $\mu$ )faradyos	R( $\Omega$ )	voltaje pk-pk (C)	pk-pk (R)	corriente eficaz
10	100	21.3v	22.3v	42.812mA
100	10	22.4v	23.9v	21.2 mA
470	100	1.34v	22.4v	119.8mA
1000	100	885mv	22.7v	119.958mA
270	150	2.19v	22.7v	79833mA
320	300	922mv	22.7v	39.985mA
120	250	2.95v	22.7v	47.818mA
370	120	2v	22.7v	99.826mA
450	100	1.97	22.7v	119.797mA

En la tabla 1 se presentan condensadores y resistencias de diferentes valores que se utilizaron para el montaje experimental, se mide el voltaje pk-pk, tanto en la resistencia como en el condensador por medio del osciloscopio, y la corriente eficaz se calcula con el valor medido en el osciloscopio, la forma de calcularlo se presenta en el análisis.

## ANÁLISIS

Al aplicar un voltaje senoidal se genera una corriente alterna de la misma frecuencia que el voltaje de alimentación, esta corriente provoca dos caídas de voltajes diferentes en la resistencia y en el condensador, nótese el desfase que hay entre la intensidad en la resistencia y el voltaje alterno en el condensador aproximado de 90 grados, en la simulación (figura 13), comparado con los desfases que se encontrarán en el laboratorio (figura 15) se evidencia que si disminuye la capacitancia y se mantiene la resistencia, el desfase entre corriente y voltaje será de un cuarto de la señal (figura 15), en cambio cuando se aumenta la capacitancia dejando la misma resistencia, el desfase entre corriente y voltaje alternos es de casi 90 grados como en la (figura 13).

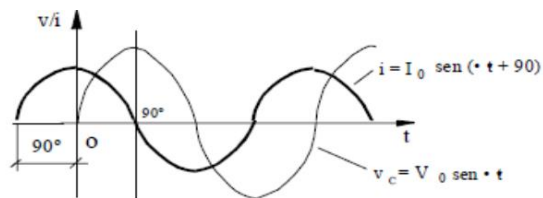


Figura (17). Se observa el voltaje y la corriente en función del tiempo desfasados.<sup>14</sup>

La figura (17) ayuda a entender cómo varía la corriente en función del tiempo respecto al voltaje. Los desfases mostrados son el reflejo de lo que se observó en la figura 13, el desfase de 90 grados. La diferencia de potencial carga el condensador, el hecho de encontrarse el condensador cargado con el voltaje máximo de la fuente el condensador neutraliza el voltaje de la fuente y la corriente es nula, el voltaje de la fuente decrece y aumenta la del condensador y produce una corriente de descarga, la corriente es máxima cuando el voltaje es nulo, los polos del condensador cambian de signo y vuelve a ocurrir lo mencionado. Esto explica entonces cómo ocurre el desfase entre la corriente generada en un condensador y el voltaje en la resistencia, no obtendrán los valores máximos y nulos en el mismo instante. Como la carga y descarga ocurre casi que instantáneamente como la variación de la corriente alterna, no se puede dar cuenta cuándo el voltaje o la corriente son cero y máximos a la vez a través de un multímetro, en vez de eso las señales en el osciloscopio nos permiten ver esas variaciones y deducirlas.

<sup>14</sup> Imagen tomada de temas de física para ingeniería.

Para la tabla 1 se mide el voltaje pk-pk en cada resistencia y condensador, cuando se experimentó con condensadores que podían almacenar más carga su voltaje pk-pk aumentó, no importaba el valor de resistencia. Mientras que para la resistencia, el voltaje pk-pk se mantiene siempre igual con pequeñas variaciones, dadas por la carga y descarga del condensador. Ahora se define otro concepto; la corriente eficaz que se designa como el valor de la corriente que pasa por una resistencia y produce los mismos efectos caloríficos tanto en corriente continua como en alterna, se define matemáticamente como la magnitud de la variación de corriente en el tiempo y se expresa como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos alcanzados durante un periodo, pero se puede reducir a un término:

$$I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \text{ Ecuación (21)}^{15}$$

Ecuación (21) para el cálculo de la corriente eficaz, donde  $I_e$  es la corriente eficaz,  $I_0$  la corriente de máxima amplitud en la señal, medida con el osciloscopio.

El valor de la corriente eficaz es útil cuando se quiere calcular la potencia consumida por unidad de carga. En el campo industrial es muy útil, ya que en las operaciones que se hacen con máquinas se tiene en cuenta la corriente eficaz para saber el desgaste energético o el valor de la potencia que se necesita para ciertas máquinas. Aquí es donde las funciones de motores de corriente alterna y continua como generadores se hacen presentes. Para saber la potencia y voltaje necesario para efectuar algún trabajo, se necesita del voltaje eficaz, que como se dijo con la corriente es necesario para saber el valor efectuado o verdadero para realizar trabajo en las máquinas. Por lo tanto, la diferencia de potencial tanto en corriente continua como en alterna produce el mismo efecto de disipación de calor, luego la misma potencia para mover una carga con una determinada diferencia de potencial en alterna es la misma que para continua y se puede calcular análogamente con la ecuación de corriente, lo que cambia es la variable  $V$  estos valores eficaces tan bien son comúnmente llamados valor RMS (root mean square o raíz media cuadrática) estos valores son los que vienen en diferentes dispositivos que muestran el valor eficaz de voltaje o corriente y para el voltaje se calcula con la siguiente ecuación:

---

<sup>15</sup> La demostración de la solución de la ecuación se puede obtener en el libro Temas de física para ingeniería por (Beléndez 1989) pág 9.

$$V_e = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \text{ Ecuación (22)}^{16}$$

En la ecuación (22) se tiene  $V_e$  que es el voltaje eficaz,  $V_0$  el voltaje pico que se obtiene en la máxima amplitud de la señal que se observa en la figura 17 y se mide en el osciloscopio.

De la ecuación (21) y la ecuación (22) podemos calcular corriente eficaz y voltaje eficaz respectivamente si se tiene los valores del voltaje pico. Una de las formas de calcular el voltaje pico es dividiendo por dos el voltaje pk-pk, así si sabemos que el voltaje pk-pk es el producto de multiplicar 2 por el voltaje pk. Entonces se toma un valor de los voltajes obtenidos en la tabla 1 y se calcula a modo de ejemplo:

Para el caso de una resistencia de  $10 \Omega$  y un condensador de  $100 \mu\text{f}$  se utiliza una fuente de 12 voltios. Se calcula por medio del osciloscopio el voltaje pk-pk, después se mide la corriente en el circuito que es de un valor de 299.99mA con estos valores podemos calcular la corriente eficaz y el voltaje eficaz.

Voltaje pk-pk en la resistencia es de 23.9v, se divide en dos y nos da un valor pk de 11.95, que es el de la fuente, para el condensador el voltaje pk-pk es de 22.4 v dividimos por dos y nos da 11.2 v pk luego utilizamos la ecuación (22):

$$V_e = \frac{11.95}{\sqrt{2}} = 8.44 \text{ v calculado para la resistencia.} \quad V_e = \frac{11.2}{\sqrt{2}} = 7.9 \text{ v calculado para el condensador}$$

Es el valor eficaz del voltaje, el cual si tendremos que calcular el factor de potencia para una máquina y saber el verdadero valor de voltaje que tenemos sería utilizando este valor de voltaje, como solo interesa saber estos valores como descripción, para tener en cuenta como medidas que se pueden obtener y calcular después de realizar experiencias con el circuito y osciloscopio, este valor obtenido muestra que el voltaje se reduce en un cuarto del voltaje de la fuente, lo cual implica que voltaje se transforma en calor, ese otro porcentaje de voltaje, esto ocurre por el efecto joule, los voltajes que se obtienen para la resistencia y el condensador varían muy levemente lo que implica que se tiene menos voltaje en el condensador.

---

<sup>16</sup> La demostración de la solución de la ecuación se puede obtener en el libro Temas de física para ingeniería por (Beléndez1989)pág 9.

La corriente eficaz se calcula con la ecuación (21):

$$I_e = \frac{299.99\text{mA}}{\sqrt{2}} = 212\text{mA}$$

Al igual que cuando calculamos el voltaje, este valor nos indica cuánta corriente es disipada por el calor y nos permite tener una cifra exacta de la corriente que llega a los diferentes componentes.

Para mostrar una gráfica que represente qué tanto las corrientes, como los voltajes así sean eficaces siempre están desfasados y lo podemos apreciar en la figura (18) entonces los valores en forma de variación del ángulo son para  $\vec{I} = I_e \angle 90^\circ$  y  $\vec{v} = v_e \angle 0^\circ$  siendo  $I_e$  y  $v_e$  los valores eficaces de la corriente y el voltaje, podemos observar en la siguiente gráfica cuando la corriente es máxima, el voltaje es cero lo que indica que el condensador se está descargando.

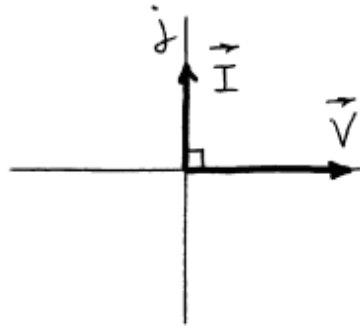


Figura (18) Corriente contra voltaje en un desfase de 90 grados.<sup>17</sup>

Se tiene para un voltaje  $V$  y corriente  $I$ :

$$\frac{\vec{V}}{\vec{I}} = \frac{v_e \angle 0^\circ}{I_e \angle 90^\circ} \text{ Ecuación (23)}$$

La ecuación 23 permite identificar una razón de cambio entre el voltaje y la corriente en relación a sus cambios de fase o ángulo.

Después de calcular y entender el voltaje y la corriente eficaz, observamos otro comportamiento que tiene la corriente alterna cuando pasa por un condensador y es la llamada reactancia capacitiva. Se da cuando un condensador presenta una oposición al flujo de corriente alterna. Se demostró la

<sup>17</sup> Imagen tomada de Temas de física para ingeniería.

solución a la ecuación y se utilizará la ecuación (17), se utilizan el mismo valor del condensador y resistencia usado en el ejemplo anterior.

Se utiliza la ecuación (12) para realizar el cálculo de la reactancia capacitiva.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 100} = 26.5 \Omega$$

Se obtiene el valor y se nota que las unidades de la reactancia están dadas en unidades de resistencia, luego se deduce que el comportamiento que tiene la corriente cuando está descargando y no deja pasar corriente, es cuando se obtienen la reactancia capacitiva y el adelanto de la corriente respecto al voltaje, este tipo de reactancia disminuye la potencia pero no genera gasto de energía.

Finalmente usamos la última descripción del circuito, tiene que ver con la impedancia del circuito, luego podemos calcular la impedancia en el circuito con la ecuación (17) tenemos en cuenta calcularlo con el valor de la resistencia que tiene el osciloscopio para tener una mayor aproximación a los datos.

$$Z = 10\Omega + 26.525\Omega + 5\Omega = 41.5\Omega$$

La impedancia calculada para el circuito es la suma de cada resistencia de cada componente, la cual sirve para calcular la corriente que pasa por el circuito o el voltaje, se puede verificar usando la ley de ohm y se llega a valores muy cercanos a los de la corriente y el voltaje.

En fin en este experimento de análisis del circuito RC, sirve de base para los siguientes circuitos pues en ellos también se calcularon valores de corriente eficaz, voltaje eficaz e impedancia, ya según sea el circuito varían otros parámetros y se tienen otras implicaciones, en corriente continua esos desfases que se ven en la figura (17) no se obtienen en corriente continua puesto que al pasar la corriente por el condensador actúa casi igual que una resistencia, ahora si se varía la frecuencia la reactancia capacitiva varía de forma inversamente proporcional, como está dado en la ecuación (17) es decir, a cambios grandes de frecuencia la reactancia capacitiva disminuye.

#### 8.1.4 CIRCUITO RL EN MULTISIM.

Para la realización de la simulación se toma una fuente de corriente alterna de 12 v y una frecuencia de 60Hz, que es la más utilizada en países de Suramérica por lo tanto, usada en cada aparato

electrónico que usamos a diario en el país, una resistencia de  $100\Omega$ , una bobina de  $10.09\mu\text{H}$ , tres multímetros, un osciloscopio Tektronix, estos valores escogidos se usan porque por lo general en tiendas son lo que más se encuentra, lo que no quiere decir que solo con estos se pueda hacer, por el contrario existen numerosos tipos de bobinas y resistencias.

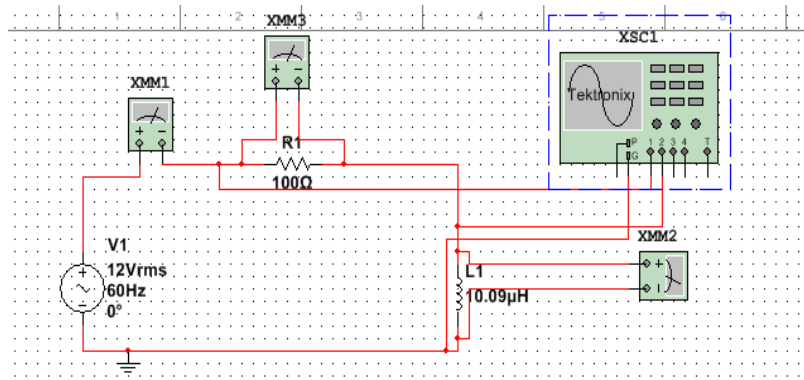


Figura (19) simulación de un circuito RL en multisim.

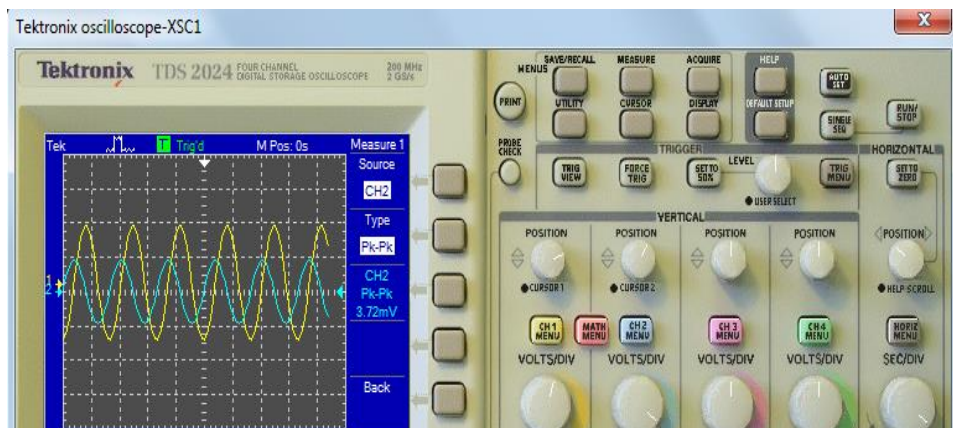


Figura (20) Señales de voltaje y corriente en un circuito RL.

En la figura (19) se muestra un circuito RL que está conectado a una fuente de voltaje alterno donde la frecuencia es de 60hz, para la resistencia el periodo es de 16.6ms, el voltaje pk-pk es de 22.7 v, el mínimo y máximo voltaje es de 16.8 v, se tiene una división por voltio para la resistencia de 10v, con una corriente medida de 119.996mA, el voltaje medido con multímetro es de 12v, para la bobina se tiene un periodo de 16.6 ms, un voltaje pk-pk de 1.32mv, con un máximo y mínimo de voltaje de  $671\mu\text{V}$ , la corriente medida es de 119.996mA y el voltaje medido con un multímetro es de  $462.494\mu\text{V}$ , la división por voltio es de 2mv.

## **ANÁLISIS**

Para un circuito RL figura (20) se observa que los periodos de variación son los mismos para la bobina como para la resistencia. Los voltajes cambian, el voltaje que recibe la resistencia es más grande que el de la bobina, esto se debe a la pequeña inductancia que tiene el condensador, por lo tanto los tiempos de almacenamiento de carga y de descarga son muy rápidos, recibe energía en forma de campo magnético, la frecuencia que varia es la misma que la fuente, pero al variar la frecuencia los desfases se hacen más grandes puesto que variaciones en la frecuencia implican variaciones en la corriente ocurriendo lo mismo que en el circuito RC, la corriente que pasa por este circuito es la misma pero lo interesante aquí son los desfases que hay entre la corriente en la resistencia y la corriente en la bobina la cual difiere del circuito RC. Se obtiene midiendo en el osciloscopio una desfase de 90 grados entre la corriente (señal azul) y voltaje (señal amarilla), esto se puede deducir y entender de dos formas: o el voltaje se adelanta respecto a la corriente o la corriente se atrasa respecto al voltaje, en el montaje que se repite en el laboratorio se explicarán las implicaciones de estos desfases, por otra parte el voltaje calculado para la bobina es muy pequeño respecto al de la resistencia esto representa cambios muy rápidos en la corriente.

### **8.1.5 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA EN SERIE RL EN EL LABORATORIO.**

#### **PRACTICA #2**

En la primera práctica se realizó el experimento con un circuito RL, recordemos que todos los circuitos que se hicieron son en serie en los que se utilizaron una fuente, el variak que genera corriente alterna con un voltaje estable de 12v.

Objetivo: Medir el voltaje en una bobina y una resistencia, calcular la corriente y observar por medio del osciloscopio el desfase entre el voltaje y la corriente en un circuito RL.

Materiales: Resistencias, Inductancias, dos multímetros, una Protoboard, una fuente de corriente alterna, dos cables banana – caimán, un osciloscopio, dos sondas, cables.

## MONTAJE

Se usa un variac que genera corriente alterna, se verifica la corriente y el voltaje uniendo en serie con el multímetro y en paralelo el voltaje se mantiene de 12v, se monta el circuito en la Protoboard cambiando los diferentes componentes Inductancia y resistencias, se usa el osciloscopio para medir la señal de la corriente y el voltaje (figura 22).

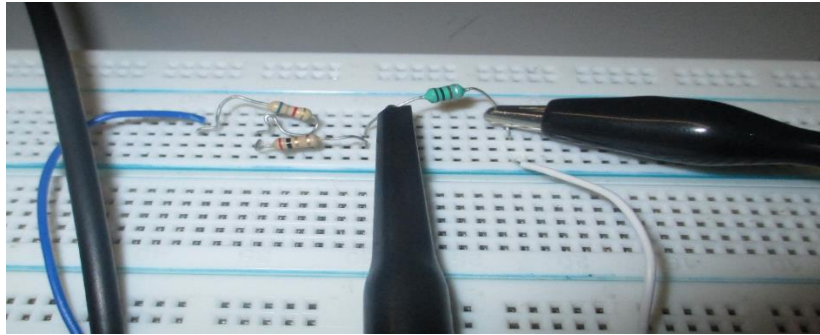


Figura (21) Montaje en la Protoboard de un circuito RL.

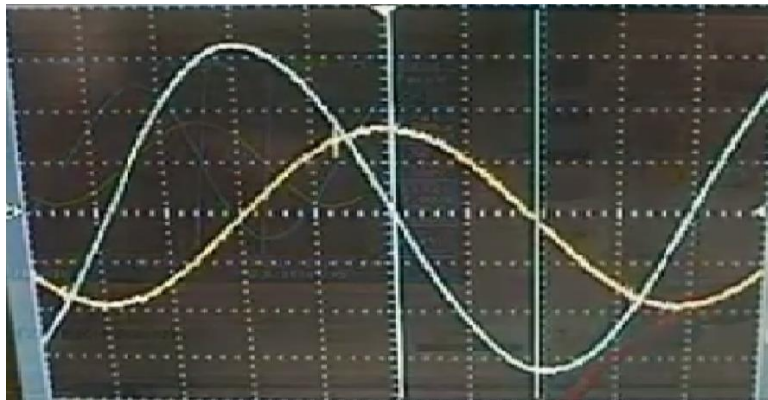


Figura (22) Señal de voltaje y corriente en un circuito RL con un osciloscopio digital.

Tabla #2

L H	R( $\Omega$ )	voltaje pk-pk (bobina)	pk-pk (resistencia)	corriente eficaz
10.29( $\mu$ )	100	17.7v	22.9v	119.996mA
910m	10	23v	48.9mv	34.514mA
040.4( $\mu$ )	140	17.9v	22.7v	85.711mA
6245m	5.7k	22.3v	22.4v	2.105mA

100.3( $\mu$ )	150	18v	22.7v	79.997mA
6245( $\mu$ )	300	19v	22.3v	39.998mA
100,3( $\mu$ )	250	18v	22.4v	47.99mA
30.29( $\mu$ )	120	19v	22.7v	99.9mA
024.3( $\mu$ )	100	22mv	22.7v	119.995mA
040.4( $\mu$ )	2.3k	19v	23.8v	5.21mA

## ANÁLISIS

Para los diferentes circuitos se obtiene el voltaje aproximado en la resistencia de 11.4v y en la bobina de 462mv. Para la bobina de 0.296 se practicó primero con una resistencia de 1k con lo cual no se pudo ver la señal de salida en la bobina, se cambió por una de 10  $\Omega$  y se percibe la señal aunque muy pequeña, pero se logró detallar el desfase. Para una bobina de 100H, con una resistencia de 250  $\Omega$  se obtiene que el desfase entre los voltajes es muy pequeño, tanto que a primera vista parecen estar en fase casi parecido a la figura (20), pero lo que realmente se percibe es lo mostrado en la figura (22). Se tiene entonces que para valores de resistencias grandes la señal es difícil de ver, puesto que el voltaje disminuye drásticamente y cuando llega a la bobina sus efectos no son percibidos, por lo tanto se utiliza una resistencia con un valor grande para que el paso de corriente no sea instantáneo, sino que demore un tiempo para poder observar las señales que se quieren encontrar.

Si se conecta una fuente a una bobina y la corriente gira en sentido de las manecillas dentro de la espira se genera una fem auto inducida, pero el valor del voltaje de la fuente no será el mismo que el de fem inducida, es decir  $\varepsilon$  es diferente de  $v_l$ , esto pasa puesto que cuando giran en contra la corriente con respecto a  $v_l$  disminuye o aumenta según el giro de la corriente en el circuito (Purcell, s.f).

El voltaje  $v_l$  en el inductor es en todo momento proporcional a la rapidez de cambio de la corriente (Sears 2009), el voltaje y la corriente están fuera de fase en un cuarto de ciclo, puesto que en los máximos de voltaje se presenta ese cuarto ciclo antes que los máximos de corriente, entonces se dice que el voltaje se adelanta  $90^\circ$  a la corriente para dar una solución a la ecuación que a continuación se presenta, debemos tener en cuenta la identidad de  $\cos(A + 90^\circ) = -\sin A$ .

En la figura (22) se observa la intensidad que está retrasada respecto a la tensión aplicada, en  $90^\circ$  fuera de fase, cuando la inductancia es muy grande, mayor será la oposición en el circuito al paso de corriente.

En el experimento se obtuvo un desfase de 89.4 grados, el cual se aproxima al esperado que es de 90 grados entre la intensidad y el voltaje, la corriente se atrasa respecto al voltaje o el voltaje (señal azul) se adelanta respecto a la corriente, quiere decir entonces que mientras se carga el voltaje se opone al paso de la corriente lo cual es la reactancia inductiva. Ahora la figura (20) nos muestra dos señales de corriente y voltaje, asimilamos que la señal que tomamos de la resistencia es la corriente (señal amarilla), puesto que sabemos por la figura (11) que la forma de la señal de voltaje y corriente en la resistencia son iguales y no se desfasan, por lo tanto podemos hacer esa similitud donde no hay desfase de voltaje y corriente en la resistencia, pero sí al contrastar el voltaje de la bobina y la corriente de la resistencia.

La bobina genera un voltaje inducido que se conoce como fuerza contra electromotriz que siempre es de sentido inverso, cuando el voltaje aplicado en la bobina aumenta la fuerza electromotriz aumenta en sentido inverso, la corriente disminuye en sentido contrario mientras el voltaje va aumentando, cuando el voltaje alcanza su valor máximo figura (22). El voltaje y la corriente tiene un valor mínimo, después de los 90 grados donde el voltaje empieza a disminuir, sin embargo la corriente aumenta, lo que quiere decir es que mientras el voltaje aumenta empieza a almacenar energía generando una fuerza contra electromotriz que se opone al cambio, cuando disminuye el voltaje genera una corriente eléctrica sobre el circuito que aumenta el campo magnético, que a su vez por la fuerza electromotriz genera una corriente que aumenta, mientras disminuye el voltaje.

En la realización de la experiencia en el laboratorio se observa que en un circuito RL al aumentar la frecuencia, aumenta la reactancia inductiva, que al medir la impedancia del circuito se tiene en cuenta la resistencia que provoca la resistencia y la bobina, si aumentamos la frecuencia y calculamos la reactancia inductiva, por medio de la ecuación 10 y se demuestra a continuación variando con frecuencias de 120 Hz 350 Hz hasta 500 Hz lo cual es lo máximo que se puede obtener en un generador de señales si quiere observar de forma experimental con una misma inductancia de 910mH .

$$X_L = \omega L = 2\pi f * L \quad X_L = \omega L = 2\pi 120 * 910\text{mH} = 686.1\text{H}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi 350 * 910\text{mH} = 200000\text{H}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi 500 * 910\text{mH} = 285000\text{H}$$

Como podemos apreciar, al aumentar la frecuencia aumenta la inductancia capacitiva, es decir que son directamente proporcionales y sus efectos sobre el paso de corriente y voltaje, como ya se ha comentado, implica retrasos mayores de corriente respecto al voltaje.

Observamos en la tabla que los valores que toma el voltaje pk-pk se mantienen entre cierto rango de valores, luego podemos relacionar que el voltaje de la fuente es casi el mismo que en voltaje medido en la bobina, puesto que al tener una resistencia pequeña el voltaje cae todo en la inductancia, el cual es el máximo que es de 11.35 v, mientras que en la resistencia es muy pequeño para el caso que realizamos a continuación.

Ahora analizamos con las ecuaciones y reemplazamos con el valor de un componente del circuito, para una bobina de 910mH se tiene una resistencia de  $10\Omega$  y una frecuencia de 60hz y un voltaje de 12v de la fuente el cual es el valor máximo que alcanza.

Podemos calcular la impedancia Inductiva con la siguiente ecuación (10).

$$X_L = \omega L = 2\pi f * L$$

$$X_L = 343\Omega$$

Si la frecuencia es mayor, es decir entre valores de kHz, se tiene que la tensión de entrada entre toda en la bobina, ahora también influye en el valor de la impedancia inductiva son proporcionales a mayor frecuencia mayor impedancia por la ecuación anterior.

Usamos la ecuación (9) para calcular el voltaje y ecuación para la corriente (11)

$$V_L = 12 \text{ Sin } (2\pi * 60t)$$

$$V_L = 12 \text{ Sin } (376.9t)$$

Calculamos la corriente eficaz con la ecuación (21)

$I_{ef} = \frac{12V}{343\Omega}$  La cual tendrá un valor calculado de 34,9mA un estimado cerca a el tomado por el multímetro.

Para calcular el valor de la impedancia en el circuito usamos la ecuación (17) teniendo en cuenta que no está el condensador se tiene que:

$$Z = R + X_L \quad \text{por lo tanto} \quad Z = 10\Omega + 343\Omega = 353\Omega$$

### 8.1.6 CIRCUITO RCL EN MULTISIM

Para la simulación de este laboratorio se toma una fuente de corriente alterna de 60v y una frecuencia de 60Hz, una resistencia de 100Ω, un condensador de 470 μfaradyos, una inductancia de 400mH, usamos un osciloscopio Tektronix.

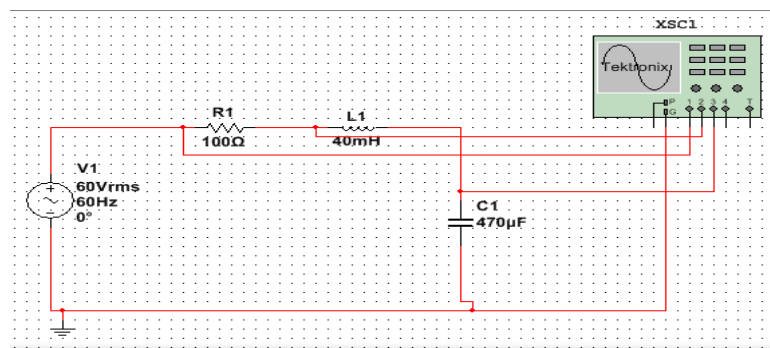


Figura (23) Circuito RCL en multsim.

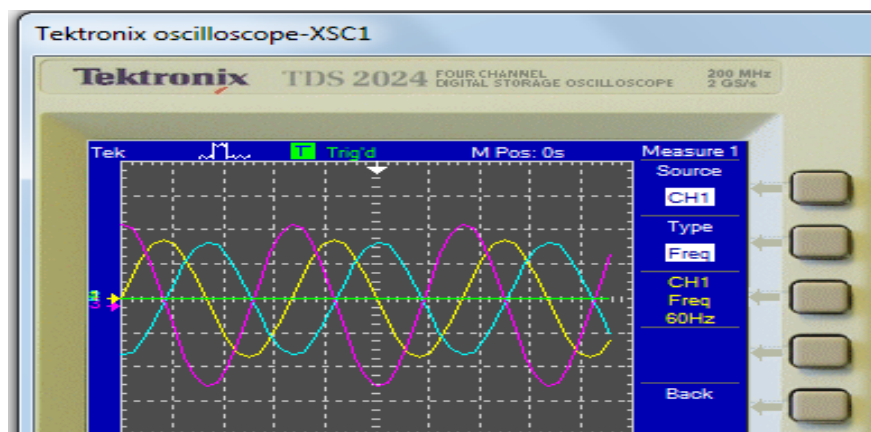


Figura (24) Oscilación del voltaje y corriente en un osciloscopio multsim.

En la imagen (23) observamos un circuito en serie RLC conectado a una fuente de voltaje alterna que tiene una frecuencia de 60Hz, se miden con un multímetro los voltajes que pasan por cada componente, para la resistencia el voltaje es de 59.717 v, para la inductancia el voltaje es de 9.123v, en el condensador es de 3.327v. La corriente es de 597.174 miliamperios para los tres componentes. En la figura (24) se observa la forma de la señal de cada componente, el período es de 16,6ms, para la RLC, en el caso del voltaje pk-pk(pico a pico) para R es de 167v, para L 16.2v, y para C 9, 34v, voltaje máximo y mínimo para R 83,67 y -83,67 v, L 8,14 y -8,14 v, C 4,67 y -4,67, tiempo de crecimiento y caída para la resistencias es de 4,98ms, y para la bobina y el capacitor 4,94ms. Lo que debemos tener en cuenta en las señales es que se desfasa, lo que quiere decir que el ángulo de fase es diferente de cero, lo mismo pasa con la corriente, se observa que con respecto al voltaje de cada resistencia cambia y se no se encuentra en la misma fase que el voltaje.

### 8.1.7 CIRCUITO EN SERIE RLC

#### PRÁCTICA #3

En la primera práctica se realizó el experimento con un circuito RLC, se usó un voltaje de 12v alterno dado por el variac.

Objetivo: Medir el voltaje en un condensador, una resistencia y una bobina, calcular la corriente y observar por medio del osciloscopio el desfase entre el voltaje y la corriente en un circuito RLC.

Materiales: Inductancias, resistencias, condensadores, dos multímetros, una Protoboard, una fuente de corriente alterna, dos cables banana –caimán, un osciloscopio, cables, LCR.

#### MONTAJE

Se usa la fuente de corriente alterna, se verifica la corriente y el voltaje uniendo en serie con el multímetro y en paralelo el voltaje, se monta el circuito en la Protoboard cambiando los diferentes componentes, resistencias, condensadores e inductancias, se usa el osciloscopio para medir la señal de la corriente y el voltaje.



Figura (25).Montaje experimental de un circuito RLC en serie.



Figura (26) Multímetro y LCR con las cuales se tomaron las medidas.

El LCR permite medir los valores de las bobinas, condensadores y resistencias, incluso la resistencia de cada componente.

TABLA#3

C( $\mu$ )Faradios	L henr	R( $\Omega$ )	voltaje pk-pk (L)	pk-pk (R)	pk-pk (C)	corriente eficaz
10	10.29	100	1.3mv	23.7v	31.3v	119.996mA
100	910m	10	22 $\mu$ v	487mV	885mv	319mA
470	040.4	140	3.72mv	23.5v	1.88v	85.711mA
1000	6245	5.7k	14.0mv	23.4v	885mv	2.105mA

270	100.3	150	8.62mv	23.7v	2.19v	79.997mA
320	6245	300	264mv	22.3v	922mv	39.998mA
120	100,3	250	5.17mv	20.4v	2.95v	47.99mA
370	30.29	120	3.25v	22.7v	2v	99.9mA
450	024.3	100	13.13mv	20.7v	1.97v	119.995mA
220	040.4	2.3k	231 $\mu$ v	21.8v	2v	5.21mA

## ANÁLISIS

La respuesta forzada de un circuito RLC, que es objeto de interés en este trabajo, se da cuando se conecta a una fuente de corriente alterna. Aparece un término que sobresale para describir este circuito, llamado impedancia, que se describe como la oposición al paso de corriente, la cual está dada por los diferentes elementos del circuito incluido la fuente, esta afecta el flujo de la corriente cuando llega al máximo de resistencia, el valor de la reactancia es cero y la corriente entra en resonancia, llegando al máximo flujo de corriente alterna, de aquí se deduce lo siguiente: cuando el circuito entra en resonancia interna dada por los tres componentes RLC y se iguala al de la frecuencia de entrada, se produce el fenómeno de resonancia, el cual permite sintonizar diferentes emisoras y cambiar de canal con el control remoto, para entender más acerca de este fenómeno leer el trabajo de (Palacios Castillo, 2013) (Sánchez, y Pedraza, 2011).

Se cuenta con una corriente  $I$ , puesto que la corriente es la misma para todos los componentes, los voltajes son los que cambian, para la resistencia  $v_R$  siendo el voltaje instantáneo y  $V_C$  el máximo, en el condensador  $v_C$  el voltaje instantáneo y  $V_C$  el máximo, y en la inductancia  $v_L$  siendo el voltaje instantáneo y  $V_L$  el máximo. El voltaje en la resistencia está en fase con la corriente, en el condensador el voltaje se retrasa 90 grados a la corriente y en la inductancia el voltaje se adelanta 90 grados a la corriente.

En la tabla 3 se mide el voltaje pk-pk en cada resistencia y condensador, cuando se experimentó con condensadores que podían almacenar más carga su voltaje pk-pk aumentó, no importaba el valor de resistencia. Mientras que para la resistencia, el voltaje pk-pk se mantiene siempre igual

con pequeñas variaciones, dadas por la carga y descarga del condensador. Para las bobinas se tenía que los voltajes pk-pk no alcanzaban a los de la resistencia, pero no disminuían drásticamente si no que se mantenían entre 18 y 19 vpk-vpk, ahora para un montaje de circuito RLC, se tiene que los valores vpk-vpk cambian drásticamente, puesto los voltajes alcanzados tiene valores pequeños, esto se debe a varios factores, como lo son la reactancia capacitancia y la reactancia inductiva, además, la impedancia del circuito, lo cual implica un aumento de la resistencia en un circuito RLC, y sin olvidar los efectos caloríficos dados por el efecto joule.

Para el experimento en un circuito RLC se tuvo en cuenta que el osciloscopio sólo tenía dos salidas de señales, no se pudo conseguir una tercera para observar la forma de la señal de la corriente y voltaje desfasados, por lo tanto sólo se observa, se hacen mediciones en dos señales, las cuales tienen la misma forma que la figura (15) y la figura (22), se nota el desfase entre la corriente alterna y los voltajes, se tienen casi las mismas expresiones matemáticas para calcular el voltaje, se utiliza la ecuación (10), pero antes necesitamos saber el valor de la capacitancia reactiva y la inductancia reactiva que ya se había calculado:

$$X_L = 343\Omega, \quad X_C = 26.525\Omega, \quad R = 10\Omega;$$

La corriente eficaz o el valor máximo lo calculamos con el multímetro es de 319mA

Para calcular la corriente eficaz, primero hallamos la impedancia Z. con la ecuación (17)

$$Z = 10\Omega + 343\Omega + 26.525\Omega = 379.525\Omega$$

$$I = \frac{12}{379.525\Omega} = 31.6\text{mA}, \text{ como apreciamos se acerca al valor tomado en las medidas}$$

$$V_0 = I_0 \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

La frecuencia de resonancia para un circuito RLC se encuentra con la ecuación  $F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Cuando en un circuito de AC se compone de R, L, y C en serie y están conectados a una fuente sinusoidal, todas las corrientes y voltajes serán sinusoidales. La corriente se adelanta  $90^\circ$  con respecto al voltaje en un circuito RC, es decir, el voltaje se retrasa  $90^\circ$  con respecto de la corriente, lo cual demuestra que los condensadores tienen un comportamiento diferente a las bobinas.

### 8.1.8 SIMULACIÓN Y EXPERIMENTO DE UN CIRCUITO RLC EN SERIE, AMORTIGUADO, SOBRE AMORTIGUADO Y SUB AMORTIGUADO.

Caso Sub-amortiguado, se usan los componentes que se utilizaron en casos anteriores, se pueden usar diferentes valores para cada componente, exceptuando el caso de críticamente –amortiguado, en el que la señal no se ha podido obtener puesto se necesitan de valores muy grandes, por lo tanto se tiene una resistencia de  $330\ \Omega$ , una capacitor de  $0.01\ \mu\text{Faradios}$  de cerámica ya que estos no tienen polaridad como los electrolíticos, una bobina de  $0.048\ \text{H}$ , un osciloscopio Tektronix, un generador de señales o funciones el XF02 para la simulación.

RLC (subAmortiguado)

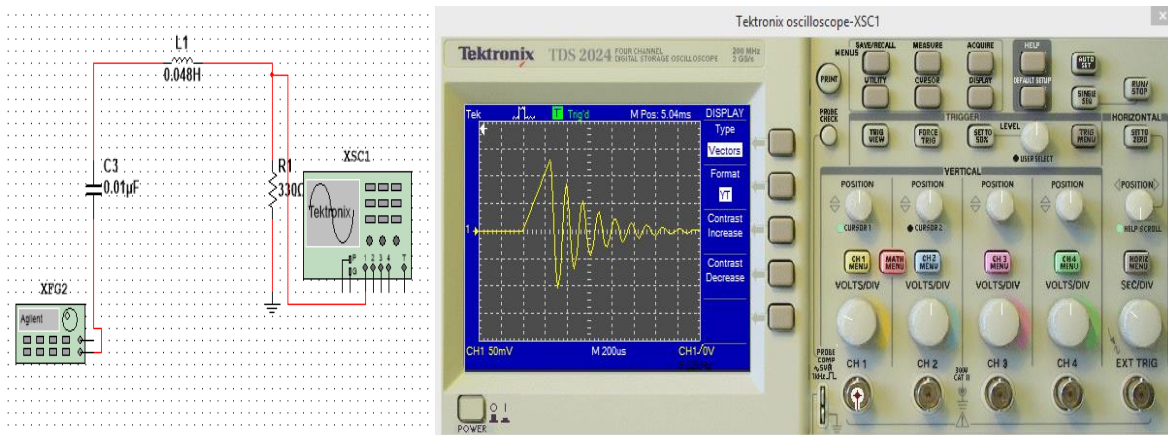


Figura (27) Simulación de un circuito RLC, la forma de señal sub-amortiguado.

Con generador de señales o funciones, visualización de la forma de onda en el osciloscopio Tektronix.

Se observa la forma de la señal que se obtuvo de un circuito RLC donde se tuvo, un voltaje pk-pk de 5v, una frecuencia de 50Hz

## RLC (Sobre-amortiguado)

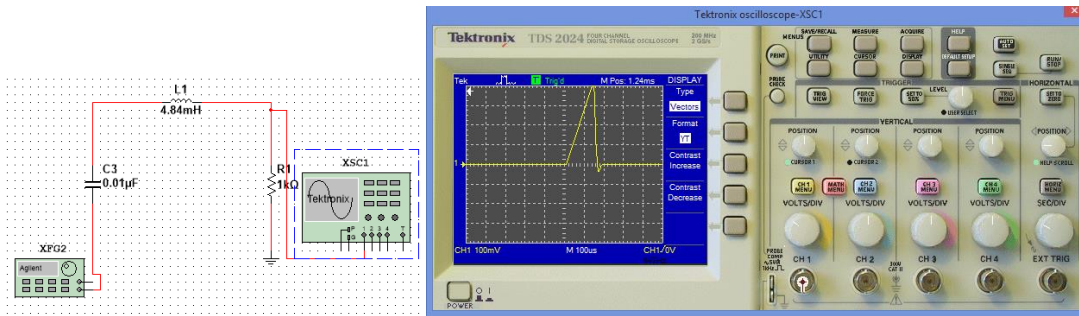


Figura (28) Simulación de un circuito RLC, la señal sobre-amortiguado

### 8.1.9 PRACTICA EXPERIMENTAL #4 EN UN CIRCUITO RLC.

Se usó un solo circuito RLC donde se cambia el valor de la resistencia. Esta práctica se realizó experimental en el laboratorio, donde se utilizó una resistencia de  $330\Omega$  y una de  $1k\Omega$ , dos condensadores cerámicos de  $0.01\mu\text{f}$  y  $0.02\mu\text{f}$  se usa estos condensadores puesto que no tienen polaridad, dejan pasar la corriente en ambos sentidos, en cambio el electrolítico funciona como un rectificador de corriente dejando pasar corriente en un solo sentido, una bobina de  $0.4\mu\text{H}$  y una de  $980\text{mH}$ , dos sondas, cables caimán, osciloscopio y un generador de funciones u señales.

La práctica consistió en buscar estos fenómenos que se ven en un circuito RLC en serie, que tiene que ver con la resonancia del circuito, que se describen como críticamente amortiguado, sub-amortiguado y sobre-amortiguado.

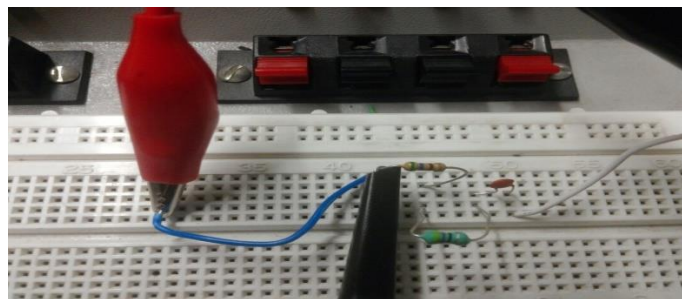


Figura (29) Circuito RLC con generador de funciones.



Figura (30) Generador de funciones o señales.

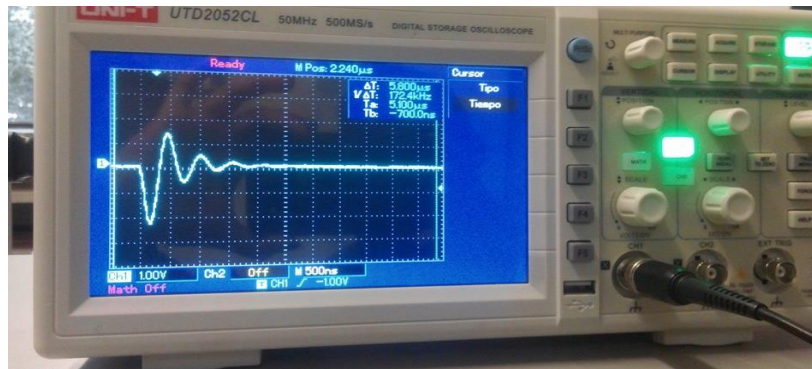


Figura (31) Señal de una onda sub-amortiguada.

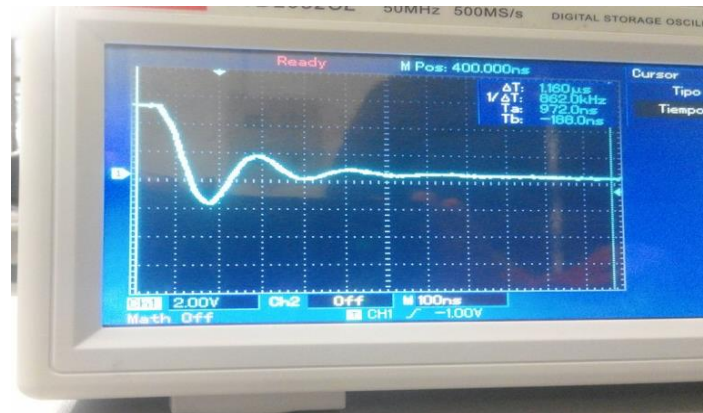


Figura (32) Señal de una onda sobre amortiguada.

En serie para un circuito en serie RLC se tienen en cuenta las siguientes variables para  $\alpha$  y  $w_0$  en función de la resistencia, la inductancia y la capacitancia:

$$\alpha = \frac{R}{2 \times L} \text{ ecuación (34)}$$

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ ecuación (35)}$$

Para  $\alpha > w_0$  es el caso sobre amortiguado.

Para  $\alpha = \omega_0$  es el caso críticamente amortiguado.

Para  $\alpha < \omega_0$  es el caso sub-amortiguado.

Para el caso críticamente amortiguado es muy difícil de obtener. Dado que es un caso ideal en el laboratorio no se pudo llegar con las resistencias que se tienen al valor que se debe obtener que es de  $773.67\text{k}\Omega$  porque es difícil de conseguir en las tiendas especializadas, usando una bobina de  $146\mu\text{H}$ , un condensador de  $100\mu\text{f}$ , y dos resistencias de  $263\Omega$  y  $10\Omega$ . Se necesita que la frecuencia  $\alpha$  que es la frecuencia neperiana y  $\omega_0$  la frecuencia de resonancia sean iguales, igualando la ecuación 34 y 35 obtenemos la siguiente ecuación.

$$R = \frac{2 \times L}{\sqrt{LC}} \text{ ecuación (36)}$$

Solucionando con los valores dio el valor de  $773.67\text{ k}\Omega$ .

En este tipo de circuitos se pueden obtener dos tipos de respuesta, una forzada y una natural, además existe una tercera que se logra con la combinación de las mencionadas. La respuesta forzada se logra cuando se conecta a una fuente de corriente alterna y se obtiene el proceso de carga de un condensador, la natural no necesita de una fuente y muestra el proceso de descarga de un condensador, para esta investigación no se entra en detalles de los procesos de carga descarga de un condensador con corriente alterna, pero sin embargo es necesario tenerlo en cuenta para observar el comportamiento de un circuito RLC en serie con corriente alterna. Al igual que el condensador, la bobina también tiene una respuesta forzada y natural, en cuanto se conecta a una fuente de corriente alterna, el voltaje que se mide en la bobina es el mismo que el de la fuente, a medida que pasa corriente por el inductor aumenta la corriente y disminuye el voltaje casi hasta cero.

Debido a que en la mayoría de circuitos se utilizan tres componentes básicos como son la resistencia, la inductancia y el condensador, se puede conectar tanto a una fuente de corriente alterna como a una de corriente continua. Si se realizan diferentes configuraciones se tiene respuestas de amortiguamiento, en el caso de la corriente continua se puede tomar como referencia el trabajo de (Palacios Castillo, 2013) donde aborda de manera teórica estos comportamientos y sus respectivas señales, lo que cabe resaltar es el comportamiento para un circuito RLC con fuente de corriente continua la respuesta sobre amortiguada la constante de amortiguación es mayor que el

valor de la frecuencia de oscilación, en el críticamente amortiguado la constante de amortiguación y la frecuencia de oscilación tiene el mismo valor, cabe resaltar que este es el fin del trabajo de Palacios llegar al fenómeno de resonancia que se da en un circuito de estos, para una subamortiguada la constante es mayor que la frecuencia de oscilación, esto implica tanto efectos distintos en circuitos de corriente continua como alterna, sin embargo la respuesta natural que se da en un circuito RLC con corriente alterna y continua es la misma y es el único caso.

Por último, el voltaje total que se alcanza es el resultado de los tres voltajes, pero se tienen resultados en los desfases si se tiene en cuenta primero si el resultado del voltaje total se adelanta a la corriente si  $X_L > X_C$ , se atrasa si  $X_C > X_L$  y estará en fase si  $X_C = X_L$ .

Un circuito resonante tiene ciertas características, se componen por una resistencia, un condensador y una bobina en el cual se alimenta por medio de una corriente alterna, existen dos tipos de circuitos resonantes en serie y paralelo, cuando entra en resonancia, tanto en serie como paralelo, la tensión en la bobina es la misma tensión del condensador, entonces eso quiere decir que el valor óhmico se iguala ( $X_L = X_C$ ). La reactancia de un condensador o de una bobina se opone al paso de corriente, cuando la frecuencia crece la reactancia de la bobina aumenta, en tanto que al del condensador disminuye. Pero hay una determinada frecuencia en la que los dos valores absolutos de ambas reactancias se igualan y a este fenómeno se llama “frecuencia de resonancia”.

## 9. CONCLUSIONES

- Al realizar mediciones con diferentes aparatos electrónicos se debe tener en cuenta su manual, para poder conocer los valores de resistencia etc, y así tener precisión en la toma de datos. Por otro lado se necesita que en cada curso de electromagnetismo, como en cualquier otro de física, se conozcan bien los aparatos de medida, que el docente tenga una total comprensión acerca de los aparatos para facilitar la utilización de componentes y elementos como el osciloscopio con los estudiantes y estos no se vean frustrados cuando realicen las experiencias de laboratorio en otros espacios donde quieran volver a realizar los laboratorios.
- Se tiene que tener en cuenta la teoría de los circuitos para una mayor comprensión de los laboratorios tanto en simulación, como en la experiencia en el laboratorio. La realización de experiencias en física son importantes puesto que nos dan una imagen del mundo físico, en este caso el de circuitos de corriente alterna. A través de la experimentación y la simulación se puede evidenciar un fenómeno como el de la corriente alterna, qué pasa a través de diferentes componentes y cómo estos se ven alterados según sus propiedades o características.
- Las prácticas de laboratorio y la simulación son importantes en el aprendizaje de montajes y solución de ecuaciones de corriente alterna. Si bien es cierto que comprender los conceptos desde la teoría es importante para apropiarse del tema, en definitiva las prácticas de laboratorio son un recurso fundamental para interactuar y poner en práctica los diferentes conceptos físicos, lo cual permite unificar la teoría y la práctica para poder dar solución a una serie de montajes hechos en este trabajo de investigación.
- El montaje experimental permite reconocer las variables asociadas a los circuitos, en los experimentos resultan nuevas variables y conceptos que son relevantes para poder entender los circuitos de corriente alterna. En una constante búsqueda de investigación acerca de la forma en que varían físicamente cada componente, necesariamente se empiezan a relacionar conceptos con comportamientos descritos en la vida cotidiana. Con solo pensar en la forma en que cambia y por qué la corriente alterna a continua o viceversa,

tiene una repercusión importante en la forma que se piensa acerca del funcionamiento de los circuitos de corriente alterna y más aún en este fenómeno.

- La parte experimental acompañada de la simulación, ayudan a comprender los conceptos en los circuitos, está comprobado por medio de otros trabajos como los de (Pedro F.T. Dorneles1)(2008) que para estudiantes que trabajan con simulación y experimentos permite un aprendizaje significativo, además las técnicas y los equipos utilizados son un gran apoyo para otras prácticas experimentales, diferentes al estudio de circuitos.
- Se puede analizar y describir fenómenos físicos por medio de los experimentos y la simulación. Estas son de gran apoyo para entender los conceptos asociados a los circuitos de corriente alterna. Además esta investigación apoya los trabajos que sirvieron de antecedentes.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Moscoso, César;. (2007). Recursos experimentales para la construcción del concepto dualidad onda-partícula. Bogotá. Universidad pedagógica nacional.
- Aller, José Manuel;. (2008). *Maquinas eléctricas rotativas*. Venezuela: Equinoccio.
- Barbosa. (2008).
- Becerra Rodríguez, Diego;. (2010). Tablero Inalámbrico y software tipo experimental como herramienta para completar el proceso de enseñanza aprendizaje de circuitos eléctricos. Bogotá. Universidad pedagógica nacional.
- Beléndez, Augusto. (1989). Temas de física para ingeniería "corriente alterna". *Temas de física para ingeniería "corriente alterna"*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Boylestad, Robert; Nashelsky, Louis;. (1982). *Electrónica teoría de circuitos*. Prentice/hall, internacional.
- Brito, K. Y. (2011). una herramienta fundamental Para la enseñanza de la física. *Revista, góndola*, 4.
- Chamizo, J.A. (2009). Historia experimental de la química. *Revista Tecne Episteme Y Didaxis, memorias del IV congreso sobre formación de profesores de ciencias.*, 7-12.
- D.L, C. (1962). Electrotecnología. Mexico.
- Derrick, William;. (1987). *Variable compleja con aplicaciones*. Iberoamerica.
- Dorf, S. (2003). *Circuitos eléctricos* (5 edición ed.). Mexico: Alfaomega.
- Duff, J. (s.f.). Fundamentos de corriente alterna.
- Edward m . Purcell. (1985). *Berkeley Electricity and magnetism* (Vol. 2). INTERNATIONAL EDITION.
- French, A.P;. (2001). *Vibraciones y ondas*. Reverte s.a.
- García, Aránzazu; García, Roció; Rodríguez, Martín; Sepúlveda, Andrés;. (2009). *Leyendo a Feynman*. (Universidad de Colima , Ed.) México.
- Gil , D;. (1986). La orientación de las prácticas de laboratorio como una investigación. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 14(2), 155-153.

- Gil, D & Valdes;. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos ,resolución de problemas de lápiz y papel , y la realización de practicas de laboratorio? *Revista Enseñanza de las ciencias,17(2),311-320.*
- Gómez Hernandez, Alba Rocio;. (2011). El papel del experimento en la enseñanza de las ciencias. Bogotá, Colombia.Universida pedagógica nacional.
- Gómez Rojas, Javier;. (2010). Algunos experimentos con condensadores y dieléctricos para ser implementados en un curso de electromagnetismo básico. Bogotá.
- Guerra, Luz; Jaime, Luz;. (2014). Herramienta de apoyo para el desarrollo de practicas de circuitos electricos básicos en un ambiente de realidad virtual controlado con visión artificial. Bogotá, Colombia.
- Hernández, S. M. (15 de junio de 2008). *Los métodos mixtos*. Obtenido de [uss.edu.pe](http://uss.edu.pe): [www.uss.edu.pe/inv/seminter2011/pdf/9-Los\\_Metodos\\_Mixtos-Dr.\\_Roberto\\_Hernandez\\_Sampiere.pdf](http://www.uss.edu.pe/inv/seminter2011/pdf/9-Los_Metodos_Mixtos-Dr._Roberto_Hernandez_Sampiere.pdf)
- Hurtado Márquez, Alejandro;. (2006). *Expermiendo y simulación.Opciones didácticas en la enseñanza -aprendizaje de la física*. Bogotá: U.Distrital José de C.
- Instruments, N. (2017). *Instruments, National*. Obtenido de Instruments, National: <http://www.ni.com/multisim/esa/>
- M. J. Sánchez, A. F. (2011). Enseñanza Del Comportamiento Caótico De Un Circuito RLC De Corriente Alterna Conectado A Un Dispositivo Electrónico No Lineal, Mediante Una Simulación Computarizada. *Revista colombiana de física.*, 2,3.
- Malagón Sánchez, José Francisco; Ayala Manrique, María ; Sandoval Osorio, Sandra ;. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentodo para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Márquez, A. H. (2006). *Experimento y Simulación. Opciones didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la Física*. Bogotá: U. Distrital Francisco José de C.
- Marulanda, J.I; Vargas, G; Restrepo, D;. (2001). Recupetación de la energía radiada por conductores de corriente alterna. *Revista Colombiana de física*.
- Meinke, HANS;. (1974). *Análisis de ciruitos de corriente alterna por magnitudes complejas* . Labor s.a.
- Morales Guerrero, Alberto. (2010). Estrategia de hipóteis y argumentación en el modelamiento de circuitos eléctricos. Bogotá.

N.carlin, E. (2005). Comportamento C otico em um circuito RLC  o-linear. *Ensino de Física*, 27, 225-230.

optometría, I. d. (s.f.). Articulo Medidas de diferencias de fase con el osciloscopio desfases en circuitos de corriente alterna y en ondas sonoras.

Pontes. Alfonso J.Pilar, M. P. (2005). Aplicaciones didácticas en un laboratorio virtual Ce. *Enseñanza de las ciencias.(Artículo de revista)*.

Palacios Castillo, Luis;. (2013). fenómeno de resonancia-circuito RLC. Bogotá.

Pedro F.T. Dorneles1, I. S. (2008). Simulacao e modelagem computacionais no auxílio a aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade. Parte II - circuitos RLC. *Ensino de Física*, 30, 330.

Perilla , Juan Gabriel;. (2010). Trama evolutiva de las lineas de investigación en didactica de las ciencias experimentales , tendencias y perspectivas. Bogotá, Colombia.

Purcell, Edward;. (s.f.). *Electricidad y Magnetismo* (Vol. II).

Resnick; Hallyday;. (1994). *Fisica* (cuarta edición ampliada. ed., Vol. II). E.E.U.U.: Continental s.a.

Rodriguez, Angela;. (2015). Detección de fallas en equipos electrónicos a partir del análisis de señales. Bogotá, Colombia.

Ruiz, Oscar Andrés;. (2012). Diseño de una herramienta computacional basada en el experimento de Stern-Gerlach para la enseñanza de la preparación de estados y la naturaleza probabilistica de la mecánica cuántica. Bogotá, Colombia.

Sánchez, M.J; Pedraza, A.F;. (2011). Enseñanza del comportamiento caótico de un circuito RLC de corriente alterna conectado a un dispositivo electrónico no lineal, mediante una simulación computarizada. *Revista colombiana de física*.

Sears; , Zemansky; Young; Fredman;. (2009). *Física universitaria* (11 ed., Vol. II). Pearson.

Tesla, N. (1919). My Inventions. *Electrical Experimenter*.

Tesla, N. (2011). *Yo y la Energía*. Editorial Tuner publicaciones S.A.

Ubaque Brito, Carol ;. (2007). *Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la física*. Bogotá: U.D Francisco José de caldas.

Wilson, F.A;. (1979). *Elementos de electrónica, teoría de la corriente alterna* (Vol. II). Ediciones CEAC.

## ANEXO 1

En un circuito con valores instantáneos la ley de ohm será:

$$\varepsilon = IR \text{ Ecuación (1)}$$

Como r es constante la intensidad será igual en el circuito que es:

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

$$I = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

Podemos escribir en forma compleja polar.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_0 \angle \varphi^{18}$$

$$I = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \rightarrow I = I_0 \angle \varphi$$

A la resistencia se le asigna un número complejo, con lo cual que da:

$$\vec{R} = \frac{\vec{\varepsilon} \angle \varepsilon_e \angle \varphi}{\vec{I} \angle I_e \angle \varphi} \text{ ecuación (2)}$$

Con  $\varepsilon_e$  como el valor eficaz y  $I_e$  como la corriente eficaz.

$$\frac{\varepsilon_e \angle 0^\circ}{I_e \angle 0^\circ} = \frac{\varepsilon_0 / \sqrt{2}}{I_0 \cdot \sqrt{2}} \angle 0^\circ \text{ ecuación (3)}$$

$$\text{Por lo tanto la resistencia } R \quad \vec{R} = R \angle 0^\circ \text{ Ecuación (4)}$$

Lo que demuestra que la resistencia con respecto a la corriente nunca se desfasa es decir la señal ni se atrasa ni se adelanta.

---

<sup>18</sup> forma polar de las ecuaciones tomada de temas de física para ingeniería Augusto Beléndez 1989

<sup>19</sup> Ecuación tomada de temas de física para ingeniería Augusto Beléndez 1989

<sup>20</sup> Ecuación tomada de temas de física para ingeniería Augusto Beléndez 1989

## ANEXO 2

Se soluciona de la forma  $I = I_0 \sin(\omega t - \varphi)$  puesto que la intensidad tiene forma sinusoidal.

Derivando se tiene:  $\frac{dI}{dt} = I_0 \omega \cos(\omega t - \varphi)$  ecuación (4)

$$\int I dt = -\frac{I_0}{\omega c} \cos(\omega t - \varphi) \text{ Ecuación (5)}$$

Sabemos que:  $\sin(A + B) = \sin A \cos B + \sin B \cos A$

$$\cos(A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

Podemos decir:  $\sin(\omega t - \varphi) = \sin \omega t \cos \varphi - \sin \varphi \cos \omega t$

$$\cos(\omega t - \varphi) = \cos \omega t \cos \varphi + \sin \omega t \sin \varphi$$

Sustituimos en la ecuación del circuito RLC.

$$V_0 \sin \omega t = R I_0 [\sin \omega t \cos \varphi - \sin \varphi \cos \omega t] + I_0 \omega L [\cos \omega t \cos \varphi + \sin \omega t \sin \varphi] - \frac{I_0}{\omega c} [\cos \omega t \cos \varphi + \sin \omega t \sin \varphi]$$

Es decir,  $V_0 \sin \omega t = [R \cos \varphi - (L\omega - \frac{1}{\omega c}) \sin \varphi] I_0 \sin \omega t - [R \sin \varphi - (L\omega - \frac{1}{\omega c}) \cos \varphi] I_0 \cos \omega t$ .

Identificando los términos de los dos miembros de esta ecuación, resulta:

$$\varepsilon_0 = [R \cos \varphi - (L\omega - \frac{1}{\omega c}) \sin \varphi] \text{ ecuación (6)}$$

$$R \sin \varphi - (L\omega - \frac{1}{\omega c}) \cos \varphi = 0 \text{ Ecuación (7)}$$

De la ecuación (1) se despeja:

$$\tan \varphi = L\omega - \frac{1}{\omega c} / R \text{ ecuación (8)}$$

Pero  $X_L = L\omega$  y  $X_C = \frac{1}{\omega c}$ , con lo cual.

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}, \text{ ecuación (9)}$$

Elimino el ángulo  $\varphi$  entre las dos ecuaciones y resulta:

$$V_0 = I_0 \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{\omega C})^2} \text{ Ecuación (10)}$$

### ANEXO 3

Demostración de la solución, para calcular la reactancia inductiva.

$$dI = \frac{1}{L} V dt (11)$$

Entonces el voltaje como varía con el tiempo en forma senoidal es:

$$dI = \frac{1}{L} v \cdot \sin \omega \cdot t dt \text{ Ecuación (12)}$$

Integrando a ambos lados obtenemos:

$$I = \frac{1}{L} v_{max} \int_0^t \sin \omega \cdot t dt \text{ Ecuación (13)}$$

$$I = \frac{v_{max}}{\omega L} (-\cos \omega t)$$

Luego:

$$-\cos \omega t = \sin (\omega t - 90^\circ)$$

Entonces nos quedará que:

$$I = \frac{v_{max}}{\omega L} \sin (\omega \cdot t - \pi/2) \text{ Ecuación (14)}$$

Por lo tanto se tendrá para una corriente que llegue a máximo valor en  $I_{max}$  se tendrá un voltaje  $V_{max}$  y se cumple que:

$$I_{max} = \frac{v_{max}}{\omega L} \text{ Ecuación (15)}$$

$$I_{ef} = \frac{v_{ef}}{\omega L} \text{ Ecuación (16)}$$

## ANEXO 4

Demostración de la ecuación para calcular la reactancia capacitiva.

$$V = \frac{q}{c} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$\frac{dq}{dt} = c \frac{dv}{dt} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Derivamos respecto al tiempo.  $I = c \frac{dv}{dt}$  Ecuación (19)

Sabemos que  $V = v_0 \sin \omega t$ :

$$I = c\omega v_0 \cos \omega t = c\omega v_0 (\sin \omega t + 90^\circ) \quad \text{ecuación (20)}$$

Entonces:  $I = I_0 \sin (\omega t + \frac{\pi}{2})$

Donde:  $I_0 = \frac{v_0}{\omega c}$

Siendo  $\frac{1}{\omega c}$  la reactancia capacitiva o capacitancia  $X_c$ , y se mide en ohmios.

$$X_c = \frac{1}{\omega c} \quad \text{ecuación (21)}$$