



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

TEMA:

**“SIMULACIÓN DE CIRCUITOS EN ACOPLAMIENTO CON
CARGAS LINEALES PURAS EN CORRIENTE ALTERNA CON EL
SOFTWARE MULTISIM”**

**INFORME TÉCNICO PREVIO A OPTAR POR EL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y
CONTROL INDUSTRIAL**

AUTOR

Walter Mauricio González Armijos

DIRECTOR

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa

LOJA - ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

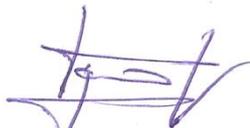
Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa,

DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación titulado ***“SIMULACIÓN DE CIRCUITOS EN ACOPLAMIENTO CON CARGAS LINEALES PURAS EN CORRIENTE ALTERNA CON EL SOFTWARE MULTISIM”***, desarrollado por el señor **Walter Mauricio González Armijos**, previo a optar el Título de ***Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial***, ha sido realizado bajo mi dirección, mismo que cumple con los requisitos exigidos en las normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal.

Loja, 07 de Noviembre del 2013



Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa
DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

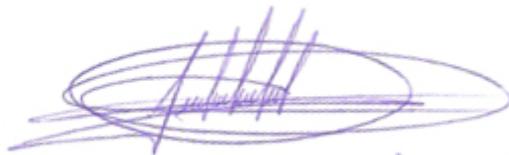
AUTORÍA

Yo **WALTER MAURICIO GONZÁLEZ ARMIJOS**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo Práctico en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: WALTER MAURICIO GONZÁLEZ ARMIJOS

Firma:

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and vertical strokes, positioned to the right of the 'Firma:' label.

Cédula: 1104786015

Fecha: 07/11/2013

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **RÓMULO EFRÉN QUEZADA COBOS**, declaro ser autor de la tesis titulada: **DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARLOS MORA CARRIÓN DE LA EERSSA**, como requisito para optar al grado de: **Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial**; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI; en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenido la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 22 días del mes de enero del dos mil catorce, firma el autor.



Firma:

Autor: Walter Mauricio González Armijos

Cedula: 1104786015

Dirección: Saraguro

Coreo: gwaltermauricio@yahoo.es

Teléfono: 072200 138

Celular: 0994440921

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa.

Tribunal de grado: Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera, Mg. Sc

Ing. Norman Augusto Jiménez León

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Loja, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes de la Tecnología en Electricidad y Control Industrial.

Especial agradecimiento a mi Director de Tesis el Ing. Ramiro Borrero por sus consejos, amistad e inmensa sabiduría.

WALTER M. GONZÁLEZ A.

DEDICATORIA

A Dios, verdadera fuente de amor y sabiduría.

A mi padre, porque gracias a él sé que la responsabilidad se la debe vivir como un compromiso de dedicación y esfuerzo.

A mi madre, cuyo vivir me ha mostrado que en el camino hacia la meta se necesita de la dulce fortaleza para aceptar las derrotas y del sutil coraje para derribar miedos.

A mis familiares, viejos amigos y a quienes recién se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo, entusiasmo y sobre todo apoyo.

WALTER M. GONZÁLEZ A.

RESUMEN

Un circuito eléctrico es el trayecto o ruta de una corriente eléctrica. El término se utiliza principalmente para definir un trayecto continuo compuesto por conductores y dispositivos conductores, que incluye una fuente de fuerza electromotriz que transporta la corriente por el circuito. Un circuito de este tipo se denomina circuito cerrado, y aquéllos en los que el trayecto no es continuo se denominan abiertos.

La corriente alterna es aquella en la que la intensidad cambia de dirección periódicamente en un conductor, como consecuencia del cambio periódico de polaridad de la tensión aplicada en los extremos de dicho conductor.

Un circuito en serie es aquél en que los dispositivos o elementos del circuito están dispuestos de tal manera que la totalidad de la corriente pasa a través de cada elemento sin división ni derivación.

En un circuito en paralelo los dispositivos eléctricos, por ejemplo las lámparas incandescentes o las celdas de una batería, están dispuestos de manera que todos los polos, electrodos y terminales positivos (+) se unen en un único conductor, y todos los negativos (-) en otro, de forma que cada unidad se encuentra, en realidad, en una derivación paralela.

En el presente informe técnico nos entrega una información general en la introducción al desarrollo y simulación de circuitos mediante el programa NI MultiSim. Y permitirá con el desarrollo de 10 proyectos prácticos, construir,

cablear y medir un circuito básico en AC en MultiSim utilizando las herramientas básicas del programa.

SUMMARY

An electric circuit is the itinerary or route of an electric current. The term is used mainly to define a continuous itinerary composed by drivers and conductive devices that it includes a source of electromotive force that transports the current for the circuit. A circuit of this type is denominated closed circuit, and those in those that the itinerary is not continuous are denominated open.

The alternating current is that in that the one that the intensity changes address periodically in a driver, as consequence of the periodic change of polarity of the voltage applied in this driver's ends.

A circuit in series is that in that the devices or elements of the circuit are willing of such a way that the entirety of the current passes through each element without division neither derivation.

In a circuit in parallel the electric devices, for example the incandescent lamps or the cells of a battery, are willing so that all the poles, electrodes and positive terminals (+) they unite in an only driver, and all the negatives (-) in other, so that each unit he/she is, in fact, in a parallel derivation.

Presently technical report gives us general information in the introduction to the development and simulation of circuits by means of the program NI MultiSim. And it will allow with the development of 10 practical projects, to build, to wire and to measure a basic circuit in AC in MultiSim using the basic tools of the program.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| CERTIFICACIÓN..... | ii |
| AUTORÍA | iii |
| CARTA DE AUTORIZACIÓN | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| RESUMEN..... | vii |
| SUMMARY | ix |
| ÍNDICE GENERAL | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 2 |
| II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD | 4 |
| 2.1. CARGA ELÉCTRICA..... | 5 |
| 2.2. CORRIENTE ELÉCTRICA..... | 5 |
| 2.2.1. Corriente Continua..... | 7 |
| 2.2.2. Corriente alterna..... | 8 |
| 2.3. MAGNITUDES ELÉCTRICAS..... | 9 |
| 2.3.1. Tensión..... | 9 |
| 2.3.2. Intensidad..... | 10 |
| 2.3.3. Resistencia | 10 |
| 2.3.4. Potencia y Energía Eléctrica..... | 10 |
| 2.4. LEY DE OHM | 11 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.5. | CIRCUITO ELÉCTRICO | 12 |
| 2.6. | CORRIENTE ALTERNA | 18 |
| 2.6.1. | Corriente Alterna (CA) | 18 |
| 2.6.2. | Corriente Continua (CC) | 19 |
| 2.6.3. | Frecuencia (f) | 20 |
| 2.6.4. | Periodo (T) | 21 |
| 2.6.5. | Frecuencia Angular (w) | 21 |
| 2.6.6. | Tensión Pico-Pico (Vpp) | 21 |
| 2.6.7. | Tensión RMS (Vrms) | 21 |
| 2.7. | PARÁMETROS RLC | 21 |
| 2.7.1. | Circuito Resistivo Puro | 21 |
| 2.7.2. | Circuito con parámetro R | 22 |
| 2.7.3. | Resistencias en Corriente Alterna de un Circuito Resistivo Puro | 23 |
| 2.7.4. | Potencia en Corriente Alterna de un Circuito Resistivo Puro. | 24 |
| 2.8. | CIRCUITO INDUCTIVO PURO..... | 24 |
| 2.8.1. | Circuito inductivo puro. | 25 |
| 2.8.2. | Efecto de la Frecuencia. Reactancia inductiva..... | 27 |
| 2.8.3. | Potencia de una Reactancia Inductiva | 27 |
| 2.9. | CIRCUITO CAPACITIVO PURO..... | 28 |
| 2.9.1. | Circuito capacitivo puro. | 28 |
| 2.9.2. | Efectos de la Frecuencia. Reactancia de capacidad..... | 30 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.9.3. | Potencia de un Circuito Capacitivo Puro..... | 30 |
| 2.10. | DEFINICIÓN DE IMPEDANCIA (Z)..... | 31 |
| 2.11. | CIRCUITO RL EN SERIE..... | 31 |
| 2.12. | CIRCUITO RC EN SERIE..... | 32 |
| 2.13. | CIRCUITO SERIE RLC..... | 33 |
| 2.14. | CIRCUITO PARALELO RLC..... | 34 |
| 2.15. | CORRIENTES TRIFÁSICAS..... | 36 |
| 2.15.1. | Generación de Tensiones Desfasadas..... | 37 |
| 2.15.1.1. | <i>Tensión de línea en la conexión en estrella</i> | 46 |
| 2.15.1.2. | <i>Tensión de línea en la conexión en triángulo</i> | 47 |
| 2.15.2. | Red Trifásica Cargada..... | 47 |
| 2.15.2.1. | <i>Conexión trifásica en estrella</i> | 47 |
| 2.15.2.2. | <i>Conexión en triángulo</i> | 52 |
| 2.15.2.3. | <i>Comparación entre la conexión en estrella y en triángulo</i> | 54 |
| 2.15.2.4. | <i>Cargas asimétricas</i> | 56 |
| III. | MATERIALES..... | 59 |
| 3.1. | Equipo Computacional..... | 60 |
| IV. | PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO..... | 61 |
| 4.1. | RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS RLC MEDIANTE TRIGONOMETRÍA..... | 62 |
| 4.1.1. | CIRCUITO RL..... | 62 |
| 4.1.2. | CIRCUITO RC..... | 63 |
| 4.2. | MANUAL DE USO DE MULTISIM..... | 65 |
| 4.2.1. | Ejecutando Multisim..... | 65 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 4.2.2. | Selección de Componentes | 65 |
| 4.2.3. | Búsqueda de Componentes | 71 |
| 4.2.4. | Guardado del Archivo | 72 |
| 4.2.5. | Conexión de los Componentes | 73 |
| 4.2.6. | Instrumentos Virtuales | 74 |
| V. | RESULTADOS..... | 75 |
| | PRÁCTICA 1..... | 76 |
| | <i>CIRCUITO RC ACOPLADO CON UNA CARGA.</i> | 76 |
| | PRÁCTICA 2..... | 81 |
| | <i>CIRCUITO RL ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA</i> | 81 |
| | PRÁCTICA 3..... | 87 |
| | <i>CIRCUITO RC ACOPLADA CON UNA CARGA FIJA.</i> | 87 |
| | PRÁCTICA 4..... | 94 |
| | <i>CIRCUITO RL ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA</i> | 94 |
| | PRÁCTICA 5..... | 100 |
| | <i>CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.</i> | 100 |
| | PRÁCTICA 6..... | 106 |
| | <i>CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.</i> | 106 |
| | PRÁCTICA 7..... | 111 |
| | <i>CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.</i> | 111 |
| | PRÁCTICA 8..... | 118 |

| | |
|---|------------|
| <i>CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA</i> | 118 |
| PRÁCTICA 9 | 124 |
| <i>CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA</i> | 124 |
| PRÁCTICA 10 | 130 |
| <i>CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA</i> | 130 |
| VI. CONCLUSIONES | 136 |
| VII. RECOMENDACIONES | 139 |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA | 141 |
| IX. ANEXOS | 144 |
| PROYECTO | 145 |

**“SIMULACIÓN DE CIRCUITOS EN ACOPLAMIENTO
CON CARGAS LINEALES PURAS EN CORRIENTE
ALTERNA CON EL SOFTWARE MULTISIM”**

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de los circuitos eléctricos ha sido de primordial importancia para el desarrollo de la humanidad. Su uso en los circuitos integrados ha traído al mercado productos cada vez más pequeños, más eficientes, baratos y multifuncionales, como las computadoras, entre otros. De ahí la importancia de comprender los principios de su funcionamiento, entendiendo que en su inicio este tipo de circuitos estuvieron formados únicamente por resistores, capacitores e inductores.

Hoy, el uso de la tecnología brinda un gran apoyo en la vida cotidiana, ya que se puede usar las computadoras para facilitar el análisis de varios dispositivos. Para poder analizar un circuito eléctrico, hay varios programas computacionales que pueden ayudar a comprender el funcionamiento y el sentido que lleva la corriente eléctrica así como también la tensión que es transmitido a un elemento en específico del circuito. Entre los más conocidos tenemos: Isis de Proteus Profesional, CircuitMaker, LiveWire, Multisim, entre otros.

El entorno de captura de esquemáticos y simulación electrónica Multisim se puede considerar como la evolución natural del software de aplicación, Electronic Work Bench (EWB), y también es conocido como Banco de Trabajo de Electrónica.

El uso de un instrumental caro, fácil de deteriorar y la posibilidad de accidentes son una constante común en los laboratorios de hardware. Multisim además de eliminar estos inconvenientes, proporciona una herramienta poderosa de cómputo, muy versátil y con un interfaz de usuario muy sencillo, intuitivo y poco complicado en su empleo. Dispone capacidad gráfica e interactiva para construir y verificar circuitos analógicos (y/o) digitales. Dispone de una biblioteca de componentes analógicos y digitales que cumple y satisface las necesidades de todo diseñador.

De ahí surge la iniciativa de plantearse en el presente proyecto técnico los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Simular circuitos que se encuentren acoplados con cargas lineales puras, en corriente alterna, a través del software Multisim.

Objetivos Específicos:

- Plantear 10 proyectos prácticos de circuitos formados por resistores, capacitores e inductores, acoplados con una carga en corriente alterna.
- Familiarizarse con la interfaz general de Multisim.
- Familiarizarse con la configuración de los parámetros del área de trabajo.
- Construir y cablear un circuito básico digital
- Familiarizarse con diferentes instrumentos de medición y presentación
- Adquirir destrezas y habilidades en el uso, manejo del entorno Multisim, en el análisis, diseño y comprobación de circuitos

II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

2.1. CARGA ELÉCTRICA

Todos los cuerpos están formados por átomos, y éstos a su vez, están compuestos por protones, electrones y neutrones. En el núcleo se encuentran los protones (partículas con carga positiva) y los neutrones (partículas sin carga). Girando alrededor del núcleo se encuentran los electrones (partículas con carga negativa).

Normalmente, los cuerpos son eléctricamente neutros, es decir, existe una compensación de cargas positivas y negativas. Al frotar un cuerpo sobre otro, al cepillarnos el pelo se produce una descompensación de cargas y el cuerpo adquiere **carga electrostática**. Este fenómeno desaparece al cabo de unos segundos porque nuevamente se compensan las cargas y el cuerpo vuelve a ser eléctricamente neutro. La carga eléctrica se mide en **culombios** ($1 \text{ cul} \rightarrow 6,25 \cdot 10^{18} \text{ e}^-$).

2.2. CORRIENTE ELÉCTRICA

La corriente eléctrica es una corriente de electrones que atraviesa un material. Algunos materiales como los "conductores" tienen electrones libres que pasan con facilidad de un átomo a otro.

Estos electrones libres, si se mueven en una misma dirección conforme saltan de un átomo a átomo, se vuelven en su conjunto, una corriente eléctrica.

Para lograr que este movimiento de electrones se de en un sentido o dirección, es necesario una fuente de energía externa.

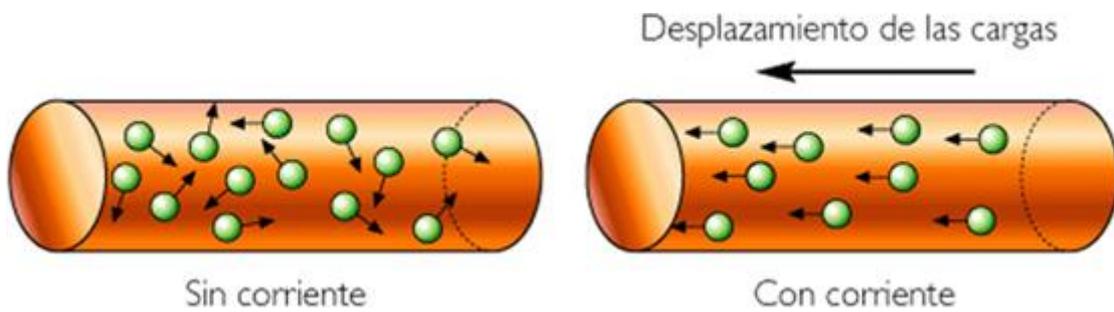


Figura 2.1. *Electrones en un conductor*

Cuando se coloca un material eléctricamente neutro entre dos cuerpos cargados con diferente potencial (tienen diferente carga), los electrones se moverán desde el cuerpo con potencial más negativo hacia el cuerpo con potencia más positivo, como se muestra en la figura 2.2.

Los electrones viajan del potencial negativo al potencial positivo. Sin embargo se toma por convención que el sentido de la corriente eléctrica va desde el potencial positivo al potencial negativo.

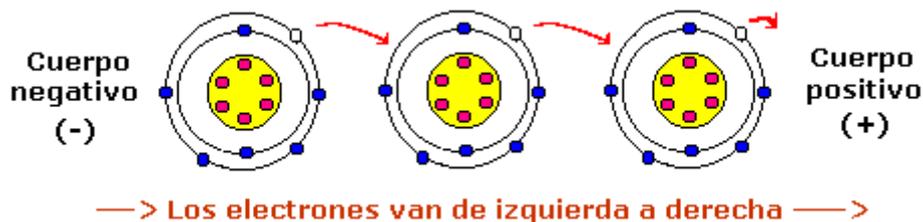


Figura 2.2. *Dirección del movimiento de electrones*

Esto se puede visualizar como el espacio (hueco) que deja el electrón al moverse de un potencial negativo a un positivo.

Este hueco es positivo (ausencia de un electrón) y circula en sentido opuesto al electrón.

En cambio, como el fenómeno de la electricidad se descubrió antes que la existencia de los electrones (y por tanto no se sabía que tenían cargas negativas), se decidió por acuerdo entre todos los científicos, que el sentido de circulación de la corriente eléctrica sería desde el polo positivo al polo negativo. Esto es lo que se conoce como **el sentido convencional** de circulación de la corriente. Por eso, cuando representamos el movimiento de los electrones en un circuito eléctrico, lo hacemos desde el polo positivo al polo negativo (de este modo es como aparece en todos los libros).

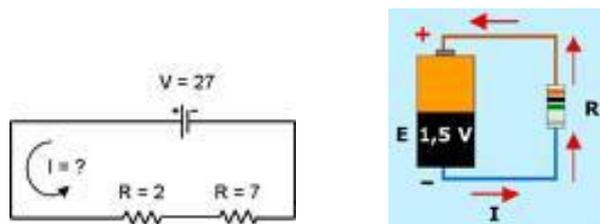


Figura 2.3. Dirección convencional y real de la corriente eléctrica

2.2.1. Corriente Continua

Es aquella corriente en donde los electrones circulan en la misma cantidad y sentido, es decir, que fluye en una misma dirección. Su polaridad es invariable y hace que fluya una corriente de amplitud relativamente constante a través de una carga. A este tipo de corriente se le conoce como corriente continua (cc) o corriente directa (cd), y es generada por una pila o batería.



Figura 2.4. Circuito de Corriente Continua

Este tipo de corriente es muy utilizada en los aparatos electrónicos portátiles que requieren de una tensión relativamente pequeño. Generalmente estos aparatos no pueden tener cambios de polaridad, ya que puede acarrear daños irreversibles en el equipo.

2.2.2. Corriente alterna

La corriente alterna es aquella que circula durante un tiempo en un sentido y después en sentido opuesto, volviéndose a repetir el mismo proceso en forma constante. Su polaridad se invierte periódicamente, haciendo que la corriente fluya alternativamente en una dirección y luego en la otra. Se conoce en castellano por la abreviación CA y en inglés por la de AC.

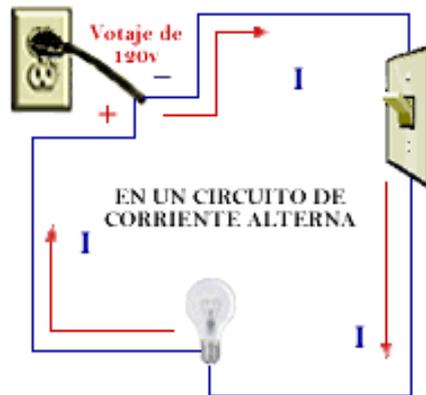


Figura 2.5. Circuito de Corriente Alterna

Este tipo de corriente es la que nos llega a nuestras casas y sin ella no podríamos utilizar nuestros artefactos eléctricos y no tendríamos iluminación en nuestros hogares. Este tipo de corriente puede ser generada por un alternador o dinamo, la cual convierten energía mecánica en eléctrica.

El mecanismo que lo constituye es un elemento giratorio llamado rotor, accionado por una turbina el cual al girar en el interior de un campo magnético (masa), induce en sus terminales de salida un determinado tensión. A este tipo de corriente se le conoce como corriente alterna (a).

2.3. MAGNITUDES ELÉCTRICAS

2.3.1. Tensión

Es la energía que se transfiere a cada culombio de carga para que pueda atravesar el circuito eléctrico. Se mide en voltios (V).

2.3.2. Intensidad

Se define como la cantidad de carga eléctrica que pasa por una sección de conductor por unidad de tiempo. Se mide en amperios (A).

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{V}{R}; \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

- I: intensidad (amperios)
- Q: carga (culombios)
- t: tiempo (segundos)
- V: tensión (voltios)
- R: resistencia (ohmios)

2.3.3. Resistencia

Es la oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica a través de él. Se mide en ohmios (Ω). Cuanto mayor es la resistencia de un material, menor es la intensidad de corriente que circula por él.

2.3.4. Potencia y Energía Eléctrica

La energía eléctrica es medida en Julios y se define como:

$$E = V * I * t; \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Por otro lado, potencia eléctrica es la cantidad de energía que es capaz de proporcionar dicha corriente eléctrica en un tiempo determinado. En el sistema internacional se mide en vatios (W).

$$P = \frac{E}{t}; \quad \text{Ecuación 2.3}$$

A partir de esta fórmula podemos despejar la energía y nos resulta la siguiente expresión:

$$E = P * t; \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Si la potencia se expresa en vatios (W) y el tiempo en segundos (s), la energía se mide en Julios (J).

Si la potencia se expresa en kilovatios (kW) y el tiempo en horas (h), la energía se mide en kilovatio-hora (kWh).

Si sustituimos la primera expresión de la energía en la fórmula anterior de la potencia resulta esta otra fórmula (que es la que emplearemos para calcular la potencia en circuitos eléctricos):

$$P = V * I; \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

- P es potencia y se mide en vatios (W)
- V es el tensión y se mide en voltios (V)
- I es la intensidad y se mide en amperios (A)

2.4.LEY DE OHM

La tensión y la intensidad son magnitudes directamente proporcionales, de modo que manteniendo constante la resistencia si se dobla el tensión, la intensidad se duplica; si el tensión se triplica, la intensidad también lo hará...

Esta relación se conoce como ley de Ohm y se expresa como:

$$V = I * R; \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

- V es tensión medido en voltios (V)
- R es la resistencia medida en ohmios (Ω)
- I es la intensidad medida en amperios (A)

2.5. CIRCUITO ELÉCTRICO

Un circuito eléctrico es un conjunto de elementos que unidos de forma adecuada permiten el paso de electrones.

Está compuesto por:

- Generador o acumulador.
- Hilo conductor.
- Receptor o consumidor.
- Elemento de maniobra.

El sentido real de la corriente va del polo negativo al positivo. Sin embargo, en los primeros estudios se consideró al revés, por ello cuando resolvamos problemas siempre consideraremos que el sentido de la corriente eléctrica irá del polo positivo al negativo.

De otra forma también, un circuito eléctrico es un arreglo que permite el flujo completo de corriente eléctrica bajo la influencia de una tensión.

Un circuito eléctrico típicamente está compuesto por conductores y cables conectados a ciertos elementos de circuito como aparatos (que aprovechan el flujo) y resistencias (que lo regulan).

La analogía sería al flujo de un circuito de agua que funciona bajo la presión del flujo.

Generador o acumulador: Son aquellos elementos capaces de mantener una diferencia de potencial entre los extremos de un conductor.

- **Generadores primarios:** tienen un sólo uso: pilas.
- **Generadores secundarios:** pueden ser recargados: baterías o acumuladores.

Hilo Conductor: Formado por un MATERIAL CONDUCTOR, que es aquel que opone poca resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Receptores: Son aquellos elementos capaces de aprovechar el paso de la corriente eléctrica: motores, resistencias, bombillas

Elementos de maniobra: Son dispositivos que nos permiten abrir o cerrar el circuito cuando lo necesitamos.

- **Pulsador:** Permite abrir o cerrar el circuito sólo mientras lo mantenemos pulsado.
- **Interruptor:** Permite abrir o cerrar un circuito y que este permanezca en la misma posición hasta que volvamos a actuar sobre él.
- **Conmutador:** Permite abrir o cerrar un circuito desde distintos puntos del circuito. Un tipo especial es el conmutador de cruce que permite invertir la polaridad del circuito, lo usamos para invertir el giro de motores.

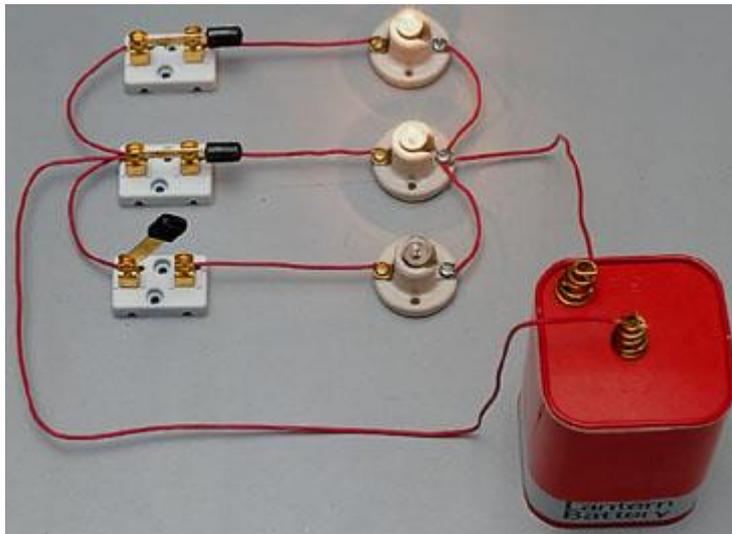


Figura 2.6. Circuito Eléctrico

Para que exista un circuito eléctrico, la fuente de electricidad debe tener dos terminales: una terminal con carga positiva y una terminal con negativa.

Si se conecta el polo positivo de una fuente eléctrica al polo negativo, se crea un circuito. Entonces la carga se convierte en energía eléctrica cuando los polos se conectan, permitiendo el flujo continuo de energía cinética.

Los electrones siempre se desplazarán por medio de energía cinética de cuerpos con carga negativa hacia cuerpos con carga positiva con cierta tensión a través de un vínculo o un puente entre ambas terminales que usualmente llamamos "circuito". El nombre "positivo" o "negativo" únicamente sirve para indicar el sentido de las cargas.

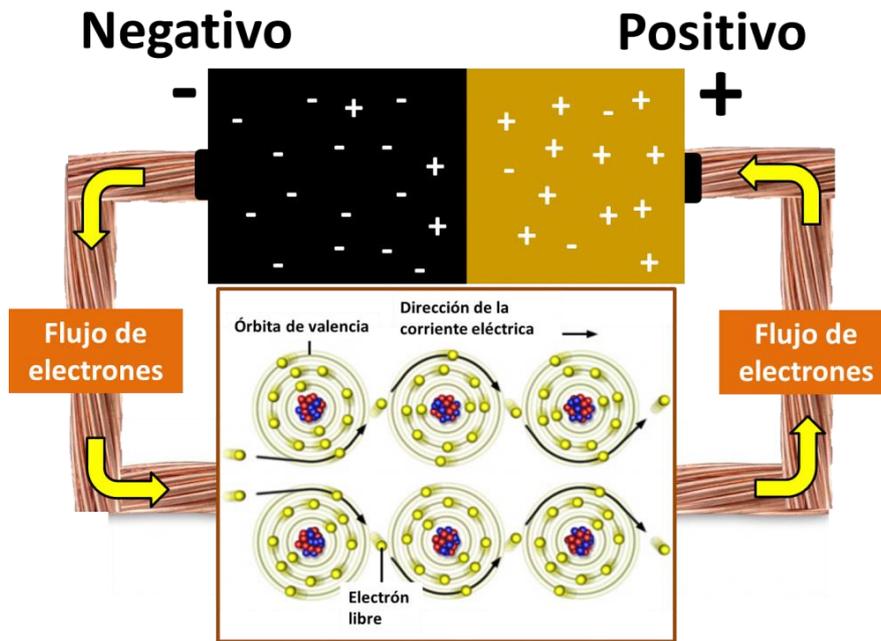


Figura 2.7. Flujo de electrones

Al crearse un puente, dependiendo de la resistencia de las partículas que compongan al puente será la velocidad de transportación de los electrones de los átomos con exceso de electrones (iones negativos) hacia los átomos con falta de electrones (iones positivos).

Si demasiados electrones cruzan al mismo tiempo el puente, pueden destruirlo en el proceso, por lo que el número de electrones que se intercambian en el circuito en un tiempo determinado puede ser limitado a través de la resistencia, que se traducirá en calor como pérdida de energía.

Dentro del circuito se puede estar conectado un motor que aproveche la energía cinética de los electrones para convertirlo en trabajo al crear un campo magnético que interactúe con otras magnetos, creando movimiento.

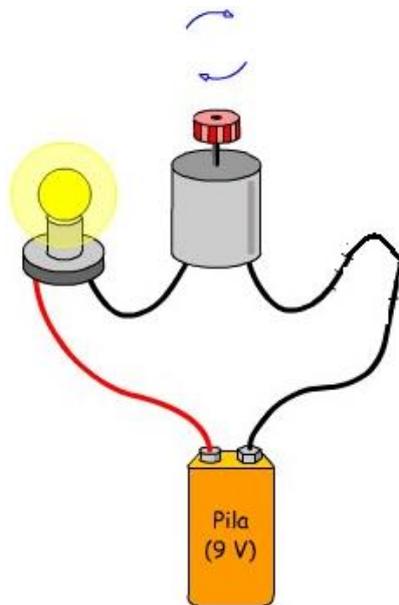


Figura 2.8. Circuito eléctrico con motor y bombilla

También se puede instalar un interruptor. Cuando presionas el interruptor conectando las puntas, el circuito se “cierra” y la corriente fluye, de lo contrario el circuito queda “abierto” y la corriente no puede fluir.

Al número de interacciones de electrones que ocurren dentro de un circuito al mismo tiempo se le llama “corriente” y se mide en “Amperes”. Un ampere equivale a 6.25×10^{18} electrones moviéndose por una corriente por segundo, a lo que se llama colombio.

La cantidad de carga entre los lados de un circuito se llama “tensión” y se mide en Voltios, que en otras palabras es la cantidad de carga eléctrica necesaria para que 1 colombio haga una cantidad de trabajo específica.

Una gran cantidad de tensión o una pequeña resistencia puede romper el circuito, una pequeña cantidad de tensión o una gran resistencia no producirá el suficiente trabajo para hacerlo útil.

Cuando tenemos sólo un circuito a través del cual los electrones pueden viajar para llegar al otro lado, tenemos un “circuito en serie”.

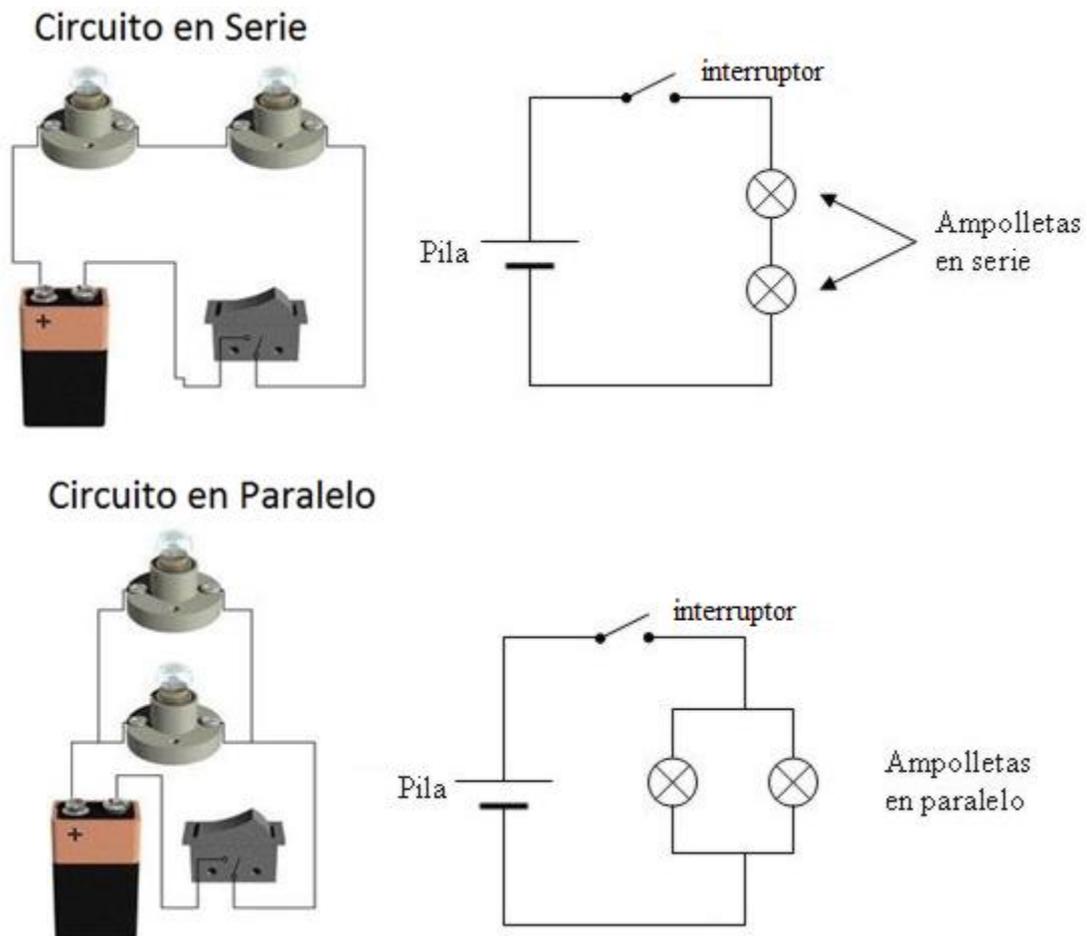


Figura 2.9. Circuitos eléctrico en serie y paralelo

Si ponemos otro circuito junto al primero, tendremos dos circuitos entre las cargas, llamando a esto un “circuito paralelo” porque corren paralelamente el uno del otro, compartiendo el mismo tensión pero permitiendo más caminos para el recorrido de la electricidad.

Los circuitos pueden volverse muy complejos con varios circuitos paralelos, y su comportamiento puede analizarse matemáticamente para determinar el comportamiento de su corriente.

Las partes en un circuito son los receptores o consumidores (dispositivos conectados al circuito en el que puede fluir la carga internamente), un generador o acumulador (transforma una energía en energía eléctrica) y el conductor (el medio por el que los electrones se transportan).

También en los circuitos por lo general se incluyen dispositivos de maniobra o protección contra sobrecargas de tensión como fusibles, los nodos (cuando concurren más de dos conductores), las ramas (el conjunto de todos los elementos entre dos nodos), o una malla (cualquier camino cerrado en un circuito),

Para diseñar cualquier circuito eléctrico es necesario predecir las tensiones y corrientes de todo el circuito y conocer la terminología y simbolismos de cada elemento que se usa convencionalmente.

2.6. CORRIENTE ALTERNA

2.6.1. Corriente Alterna (CA)

Corriente eléctrica que cambia su amplitud en forma periódica en el tiempo.

2.6.2. Corriente Continua (CC)

Es la corriente que fluye en una sola dirección. Las baterías, las celdas solares, etc. producen corriente continua. Este tipo de corriente no cambia su magnitud ni su sentido en el tiempo.

La diferencia con la corriente continua, es que circula solo en un sentido. La corriente alterna (como su nombre lo indica) tiene una corriente que circula durante un tiempo en un sentido y después en sentido opuesto, volviéndose a repetir el mismo proceso en forma constante.

Este tipo de corriente es la que nos llega a nuestras casas y la usamos para alimentar la TV, el equipo de sonido, la lavadora, la refrigeradora, etc.

El siguiente gráfico representara todo lo mencionado anteriormente.

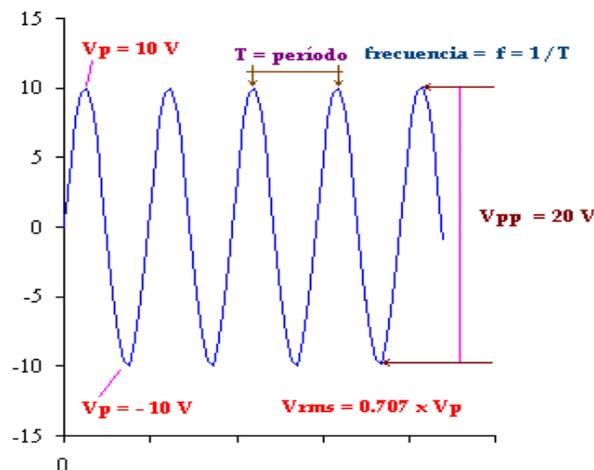


Figura 2.9. Parámetros de una gráfica de señal alterna

En este caso lo que se ha graficado es el tensión (que es también alterno) y tenemos que la magnitud de éste varía primero hacia arriba y luego hacia abajo

(de la misma forma en que se comporta la corriente) y nos da una forma de onda llamada: onda senoidal.

Esta tensión varía continuamente, y para saber que tensión tenemos en un momento específico, utilizamos la fórmula; $V = V_p \text{ Sen } (\alpha)$ donde V_p (V pico) es el valor máximo que obtiene la onda y α es una distancia angular y se mide en grados

Aclarando un poco esta última parte y analizando el gráfico anterior, se ve que la onda senoidal es **periódica** (se repite la misma forma de onda continuamente)

Si tomamos un período de ésta (**un ciclo completo**), se dice que tiene una distancia angular de 360° .

Bueno, pues con ayuda de la fórmula que ya dimos, e incluyendo α (distancia angular para la cual queremos saber el tensión) obtenemos el tensión instantáneo de nuestro interés.

Para cada distancia angular diferente el valor del tensión es diferente, siendo en algunos casos positivo y en otros negativo (cuando se invierte su polaridad.)

2.6.3. Frecuencia (f)

Si se pudiera contar cuantos ciclos de esta señal de tensión suceden en un segundo tendríamos: **la frecuencia de esta señal**, con unidad de ciclos / segundo, que es lo mismo que Hertz.

2.6.4. Periodo (T)

El tiempo necesario para que un ciclo de la señal anterior se produzca, se llama período (T) y tiene la fórmula: $T = 1 / f$, o sea el período (T) es el inverso de la frecuencia.

2.6.5. Frecuencia Angular (w)

Si el ángulo recorrido es una circunferencia completa (360° , 2π), el tiempo empleado para ello será un periodo T.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi * f ; \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Símbolo de la unidad (1/s)

2.6.6. Tensión Pico-Pico (Vpp)

Analizando el gráfico se ve que hay un tensión máximo y un tensión mínimo. La diferencia entre estos dos tensión es el llamado tensión pico-pico (Vpp) y es igual al doble del Tensión Pico (Vp).

2.6.7. Tensión RMS (Vrms)

Se puede obtener el tensión equivalente en corriente continua (**Vrms**) de este tensión alterno con ayuda de la fórmula $V_{rms} = 0.707 \times V_p$.

Este valor de tensión es el que obtenemos cuando utilizamos un voltímetro.

2.7. PARÁMETROS RLC

2.7.1. Circuito Resistivo Puro

Se realizara el análisis del efecto de la frecuencia y relación entre la tensión e intensidad, potencia, diagramas.

Los efectos que produce la corriente alterna en régimen permanente dependen de la naturaleza de los elementos pasivos del circuito. En este capítulo vamos a analizar esos efectos según los componentes del circuito sean resistivos puros, inductivos puros o capacitivos puros. Es decir vamos a estudiar los parámetros R, L, C. Llamamos circuitos resistivos puros a aquel cuyos elementos pasivos tienen solo resistencia óhmica.

2.7.2. Circuito con parámetro R

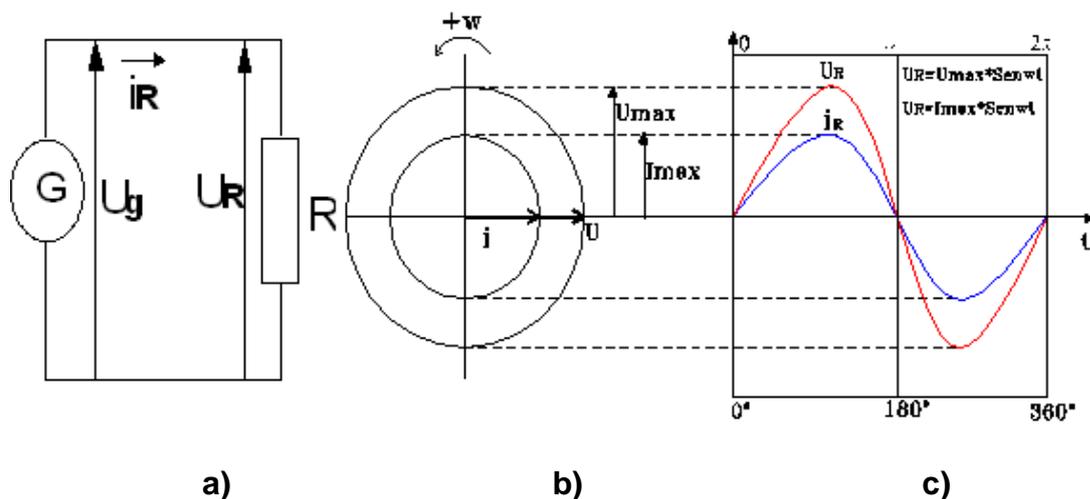


Figura 2.10. Circuito resistivo puro: a) Esquema y convenio de signos positivos.

b) Diagrama vectorial. C) Diagrama cartesianos de los valores instantáneos.

Si a la R del circuito de la figura 2.10 se le aplica una tensión alterna senoidal de la forma $U_g = U_{Max} * \text{sen}(wt)$, en cada instante nos produce una corriente alterna senoidal que va en fase con dicha tensión que la produce. Por tanto, a

esa intensidad óhmica instantánea le corresponde la siguiente expresión matemática.

$$I_R = I_{Max} * \text{sen}(\omega t); \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Como vemos las dos ondas del diagrama de la figura 2.10.c están en fase, son de la misma frecuencia y representan los valores instantáneos de las magnitudes de tensión, U_R y de intensidad i_R . Si se dividen (U_R / i_R), se obtienen los valores de la resistencia óhmica, y si se multiplica ($U_R * i_R$), se obtiene el valor de la potencia instantánea en corriente alterna.

2.7.3. Resistencias en Corriente Alterna de un Circuito Resistivo Puro

La relación que existe en todo instante entre la fem alterna senoidal y la intensidad que produce es una constante que como sabemos llamamos resistencia.

$$R = \frac{U_R}{i_R} = \frac{U_{Max} * \text{sen}(\omega t + \theta)}{I_{Max} * \text{sen}(\omega t + \theta)} = \frac{U_{Max}}{I_{Max}}; \quad \text{Ecuación 2.9}$$

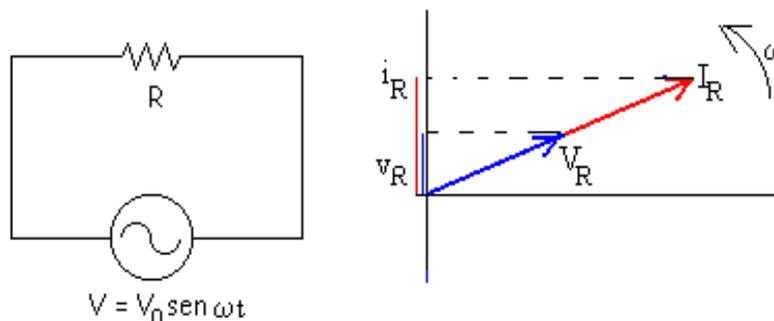


Figura 2.11. Una resistencia conectada a un generador de corriente alterna

En electrotecnia, para hallar el valor de la resistencia óhmica no se suele emplear la ecuación anterior y si se opera con valores eficaces, mediante la fórmula ya conocida de la ley de Ohm.

$$R = \frac{E}{I} = \frac{U}{I}; \quad \text{Ecuación 2.10}$$

En un circuito resistivo puro la intensidad es solo limitada por la resistencia óhmica y la frecuencia no influye para retardar o adelantar la intensidad, pues ya hemos visto que están en fase la onda de tensión aplicada y la de la intensidad que lo produce.

2.7.4. Potencia en Corriente Alterna de un Circuito Resistivo Puro.

Si en vez de dividir las expresiones U_R y de i_R , las multiplicamos, obtenemos la expresión de la potencia activa instantánea y los valores medios y máximos.

$$\begin{aligned} P &= U_R * I_R = \text{Potencia} \\ U_R &= U_{Max} * \text{sen}\omega t = U_{Max} * \text{sen}\alpha \\ I_R &= I_{Max} * \text{sen}\omega t = I_{Max} * \text{sen}\alpha \\ P &= U_{Max} * \text{sen}\alpha * I_{Max} * \text{sen}\alpha \quad ; \quad \text{Ecuación 2.11} \\ P &= U_{Max} * I_{Max} * \text{sen}^2\alpha \\ P &= \frac{U_{Max} * I_{Max}}{2} = \text{Potencia media} \end{aligned}$$

2.8. CIRCUITO INDUCTIVO PURO.

Se analizará el efecto de la frecuencia y relación entre tensión e intensidad, potencia y diagrama.

Llamamos inductancia a la propiedad de un circuito o elemento de un circuito para retardar el cambio en la corriente que circula por él. Es decir retarda la variación de la intensidad de la corriente y no a la corriente misma.

El retardo está acompañado por la absorción o cesión de energía, y se asocia con la variación en la magnitud del campo magnético que rodean los conductores.

2.8.1. Circuito inductivo puro.

Corresponde a una bobina o devanado en el que su resistencia óhmica es nula.

Según la ley de Lenz la fem tiene por expresión:

$$e_L = -N \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} ; \quad \text{Ecuación 2.12}$$

El signo menos quiere decir que en cualquier bobina la fem inducida (e_L) por un flujo magnético o intensidad variable, se opone a la variación que la produce.

Cuando un circuito inductivo puro se conecta a un generador, fuente de tensión a bornes de una red U_{ab} , Obliga a la corriente que se produce i_{ab} , en contra de la fem inducida e_L por el cambio de flujo. De esta forma la tensión de la red una caída tensión igual en magnitud, pero de signo contrario de la fem inducida. En esas condiciones el comportamiento del circuito de la figura 2.12 nos indica las representaciones gráficas y expresiones matemáticas que indicamos a continuación.

$$U_{ab} + e_L = 0 \quad \text{Ley de tensiones de kirchhoff}$$

$$U_{ab} + \left(-L \frac{di}{dt}\right) = 0$$

$$U_{ab} = L \frac{di}{dt}$$

; Ecuación 2.13

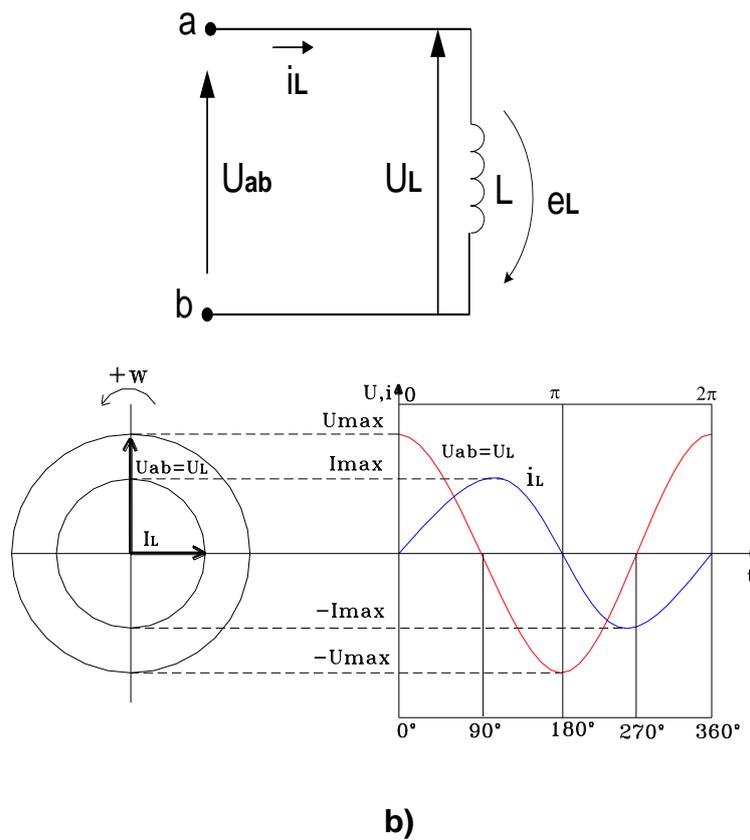


Figura 2.12. Circuito inductivo puro. a) Parámetro L y convenio de signos

b) Diagrama vectorial. c) Representación vectorial

$$U_{ab} = U_L = w * L * I_{Max} * \text{Sen}\left(wt + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$i_L = I_{Max} * \text{Sen}wt$$

$$e_L = w * L * I_{Max} * \text{Sen}\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)$$

;

Ecuación 2.14

2.8.2. Efecto de la Frecuencia. Reactancia inductiva.

La inductancia de un circuito sirve para retardar el aumento o disminución de la corriente. Pero en ningún caso previene ni limita el cambio. Ahora bien la frecuencia limita la amplitud de la corriente en un valor igual a $\omega L = 2 * \pi * f * L$ ohmios. A este valor ωL se le llama reactancia inductiva X_L , que crece al aumentar la frecuencia y disminuye si también lo hace la frecuencia.

$$\begin{aligned} X_L &= \omega * L \\ X_L &= 2 * \pi * f * L ; \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

2.8.3. Potencia de una Reactancia Inductiva

$$Q_L = X_L * I_L^2 = \frac{U_L^2}{X_L} ; \quad \text{Ecuación 2.16}$$

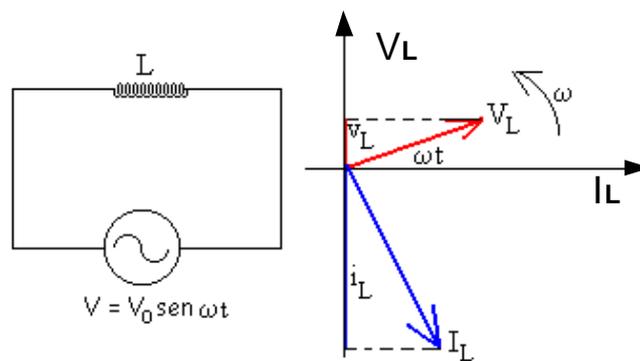


Figura 2.13. Dirección del tensión y corriente inductiva en AC

La **intensidad** i_L de la en la bobina **está retrasada 90°** respecto de la diferencia de potencial entre sus extremos U_L . La relación entre sus amplitudes es

$$I_L = \frac{V_L}{\omega * L} ; \quad \text{Ecuación 2.17}$$

2.9. CIRCUITO CAPACITIVO PURO

Se analizarán los efectos de la frecuencia y relación entre la tensión e intensidad, potencia y diagrama.

La capacidad (capacitancia) de un circuito eléctrico o elemento de un circuito sirve para retardar una variación en la tensión que se aplica entre sus bornes.

Ese retardo es causado por la absorción o cesión de energía y está asociado con la variación en la carga de electricidad.

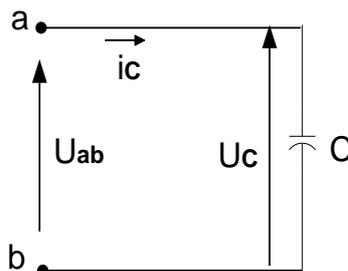
2.9.1. Circuito capacitivo puro.

Es aquel cuya resistencia óhmica es cero. Por las leyes del campo eléctrico sabemos que la tensión entre las placas de un condensador es proporcional a la carga almacenada y que la relación (Q/U) es la capacidad. Es decir:

$$\text{Carga almacenada en un condensador} = Q = C * U; \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Si en vez de una tensión continua, se le aplica al condensador una tensión alterna senoidal será preciso una variación de la misma (du) para producir una variación de la carga $dq = i * dt$, en un tiempo infinitesimal (dt). Es decir despejando la intensidad tenemos:

$$\begin{aligned} dq &= i * dt = C * du \\ i &= C * \frac{du}{dt} \quad ; \quad \text{Ecuación 2.19} \end{aligned}$$



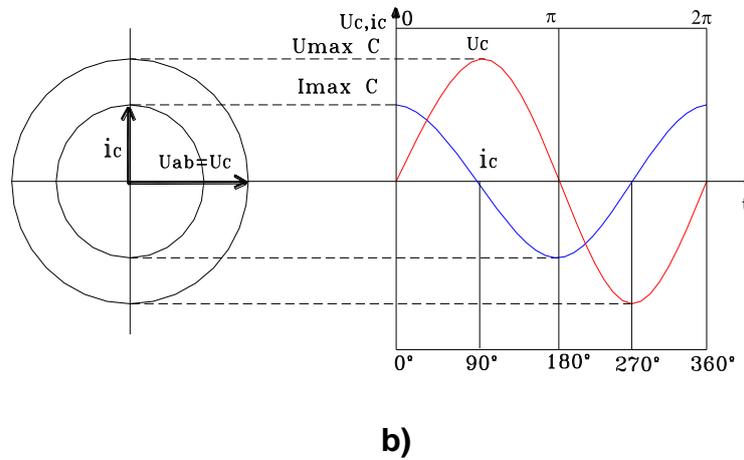


Figura 2.14. Circuito capacitivo puro a) Esquema y convenio de signos
 b) Diagrama vectorial de tensión c) Representación cartesiana

Si al circuito de la figura 2.14 le aplicamos una tensión alterna senoidal de la forma $U_{ab} = U_{Max} * \text{sen} \omega t$, sustituyendo en la ecuación anterior derivamos y obtenemos.

$$I_{Max} = \frac{U_{Max}}{1/\omega * C} = U_{Max} * \omega * C$$

$$U_{ab} = U_C = U_{Max} * \text{Sen}(\omega t + \psi) ; \quad \text{Ecuación 2.20}$$

$$i_{ab} = i_C = I_{Max} * \text{Sen}\left(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}\right)$$

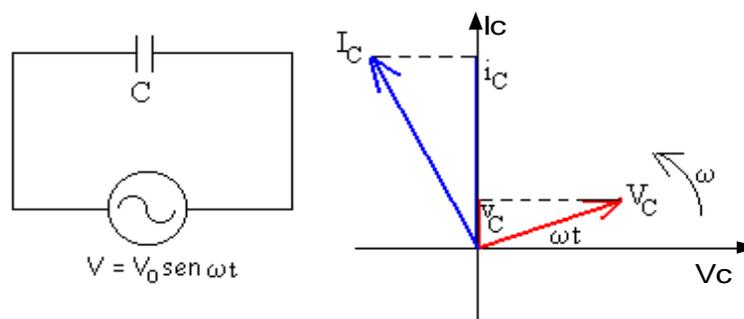


Figura 2.15. Dirección del tensión y la corriente de un condensador

Para un condensador, la **intensidad i_C está adelantada 90°** respecto a la diferencia de potencial v_C .

2.9.2. Efectos de la Frecuencia. Reactancia de capacidad.

La capacidad de un circuito sirve para retardar el aumento o disminución de la tensión pero en ningún caso previene ni limita el cambio. Ahora bien la frecuencia limita la amplitud de la corriente en este valor igual a

$C = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$ ohmios. A este valor $\frac{1}{2\omega * C}$ le llamamos reactancia capacitiva

X_C que crece al disminuir la frecuencia y disminuye si aumenta la frecuencia.

De ahí que en corriente continua como $f = 0$ Hz, el valor de la reactancia capacitiva sea infinito y el de la corriente cero amperios.

$$X_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad (\Omega); \quad \text{Ecuación 2.21}$$

2.9.3. Potencia de un Circuito Capacitivo Puro.

Operando con valores eficaces

$$I_C = \frac{U_C}{X_C}$$

$$Q_C = U_C * I_C = \frac{U_C^2}{X_C};$$

Ecuación 2.22

2.10. DEFINICIÓN DE IMPEDANCIA (Z).

La impedancia en circuitos de corriente alterna (Z) es el equivalente a la resistencia (R) en los circuitos de corriente continua, y al igual que R se expresa en ohmios.

2.11. CIRCUITO RL EN SERIE.

Un circuito inductivo es aquel que tiene una impedancia de la forma $Z = R + jX_L$ ohmios (Ω).

La intensidad está limitada por la impedancia **Z**, en función de los valores que tomen R y X_L . Si el circuito RL de la figura 4.7 aplicamos la segunda ley de kirchhoff o de las tensiones, para el convenio de signos la ecuación resulta.

$$U_{ab} + e_L + i * R = 0; \quad \text{Ecuación 2.23}$$

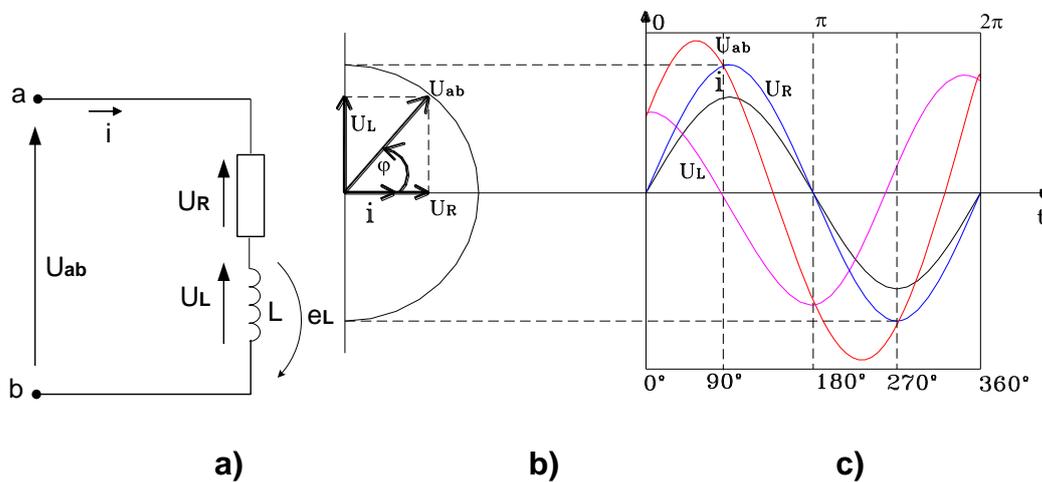


Figura 2.16. a) Circuito serie RL. b) Diagrama vectorial.

c) Diagrama cartesiano de los valores instantáneos.

2.12. CIRCUITO RC EN SERIE.

Un circuito capacitivo es aquel que tiene una impedancia de la forma

$$Z = R + jX_C.$$

La intensidad está limitada por la impedancia Z en función de los valores que tomen R y X_C .

Si en el circuito RC de la figura 4.9 aplicamos la segunda ley de kirchhoff o de las tensiones para el convenio de signos establecidos la ecuación que resulta es.

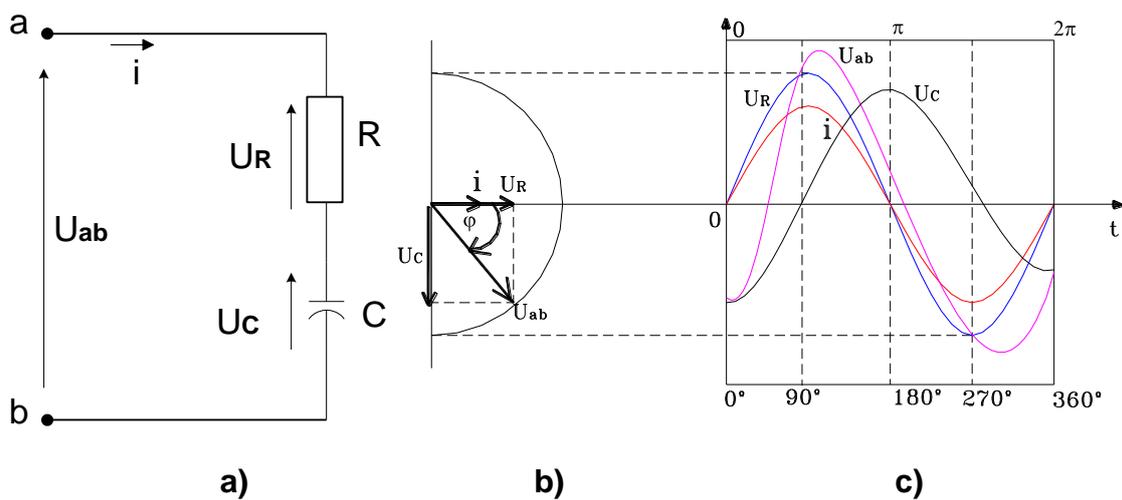


Figura 2.17. Circuito capacitivo a) Esquemas b) Diagrama Vectorial

c) Representación Cartesiana

$$U_{ab} - U_C - i * R = 0$$

$$U_{ab} = U_C + i * R = U_C + U_R;$$

Ecuación 2.24

2.13. CIRCUITO SERIE RLC.

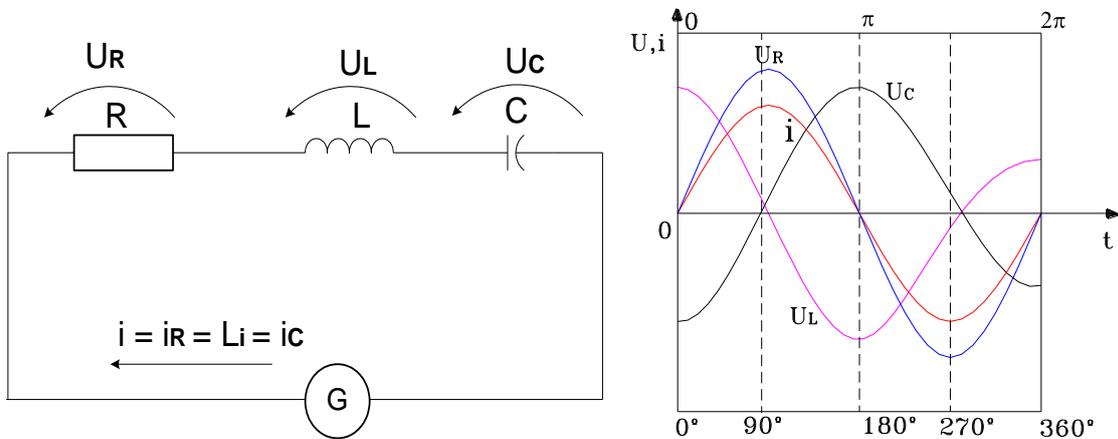


Figura 2.18. Circuito serie RLC

Para desarrollar un circuito RLC en configuración Serie es necesario utilizar las siguientes fórmulas para calcular las respectivas reactancias e impedancias.

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} ; \text{ Reactancia capacitiva}$$

$$X_L = \omega * L = 2 * \pi * f * L ; \text{ Reactancia inductiva}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} ; \text{ Impedancia cuando } X_C \supset X_L$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} ; \text{ Impedancia cuando } X_L \supset X_C ; \quad \text{Ecuación 2.25}$$

Con estos resultados es posible calcular las intensidades y cantidad de energía almacenada y disipada con las siguientes fórmulas.

$$i = \frac{U_{ab}}{Z}$$

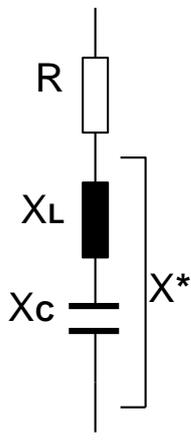
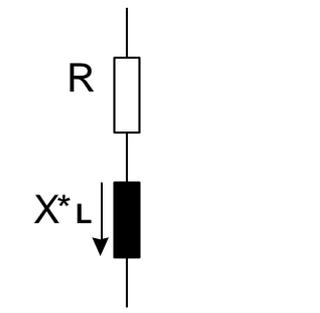
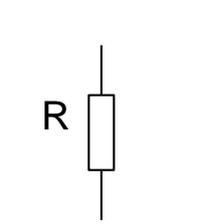
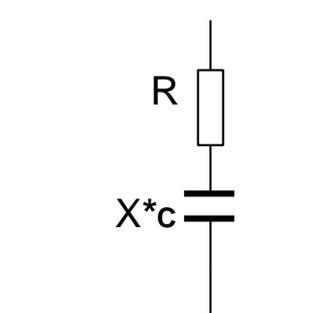
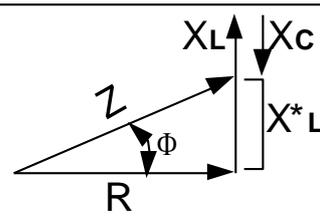
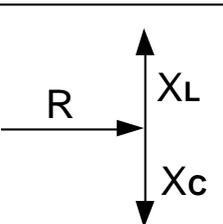
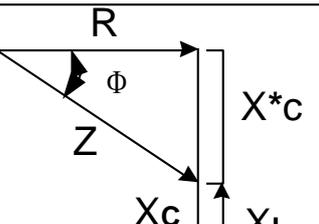
$$U_C = i * X_C$$

$$U_L = i * X_L$$

$$U_R = i * R ;$$

Ecuación 2.26

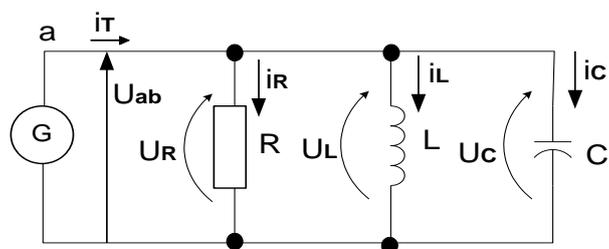
Tabla 2.1. Los tres casos posibles en la conexión en serie de R, L, C.

| | $X_L > X_C$ | $X_L = X_C$ | $X_L < X_C$ |
|---|--|---|---|
|  |  <p>La tensión total estará adelantado menos de 90 grados respecto a la corriente</p> |  <p>Tensión total y corriente en fase</p> |  <p>La tensión total estará retrasado menos de 90 grados respecto a la corriente</p> |
| |  |  |  |

2.14. CIRCUITO PARALELO RLC.

En la conexión de X_L , X_C y R también podemos distinguir los tres casos siguientes:

$$X_L > X_C \quad X_L = X_C \quad X_L < X_C$$



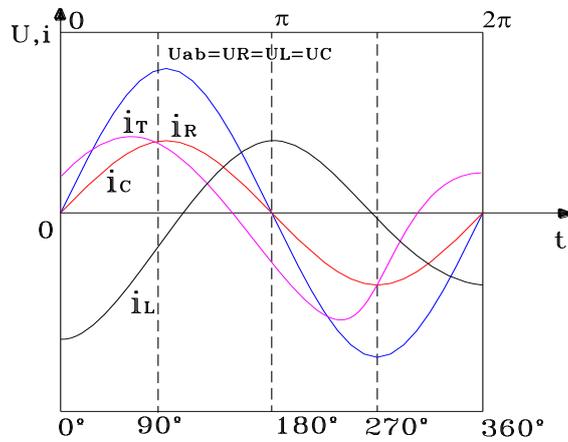


Figura 2.19. Circuito paralelo RLC

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} ; \text{ Reactancia capacitiva}$$

$$X_L = \omega * L = 2 * \pi * f * L ; \text{ Reactancia inductiva}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2} ; \text{ Impedancia cuando } X_L \subset X_C$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2} ; \text{ cuando } X_L \supset X_C$$

$$i = \frac{U_{ab}}{Z}$$

$$I_C = \frac{1}{X_C}$$

$$I_L = \frac{1}{X_L}$$

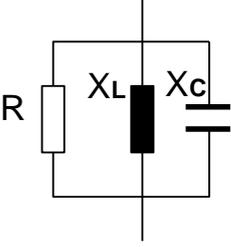
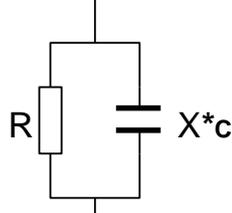
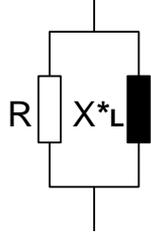
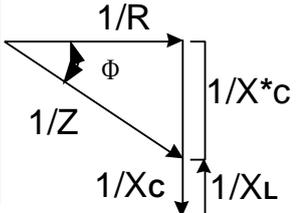
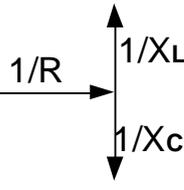
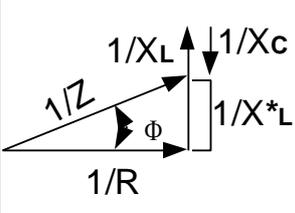
$$I_R = \frac{U}{R}$$

$$\text{tg } \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R}$$

;

Ecuación 2.27

Tabla 2.2. Los tres casos posibles en la conexión en serie de R, L, C.

| | $X_L > X_C$ | $X_L = X_C$ | $X_L < X_C$ |
|---|--|---|---|
|  |  <p>La corriente total estará adelantado menos de 90 grados respecto a la tensión</p> |  <p>La corriente total está en fase con la tensión</p> |  <p>La corriente total estará retrasado menos de 90 grados respecto a la tensión</p> |
| |  |  |  |

2.15. CORRIENTES TRIFÁSICAS.

Una red de alimentación con solo dos conductores resulta insuficiente en muchos casos debido al gran consumo de energía que precisan un gran número de instalaciones y aparatos.

Por ello, para la obtención y distribución de la energía eléctrica se suele utilizar el sistema de corrientes alternas trifásica, llamado también simplemente sistema trifásico.

De este modo se dispone de dos tensiones diferentes, por ejemplo 220 V y 380 V.

2.15.1. Generación de Tensiones Desfasadas.

Antes de entrar en detalle sobre la generación de tensiones desfasadas debemos concretar una serie de importantes conceptos.

Partamos de la conexión doméstica de corriente trifásica de la figura 2.20, que se compone de tres fases y un neutro, conectados al punto central (punto neutro) de la instalación generadora y simultáneamente a tierra.

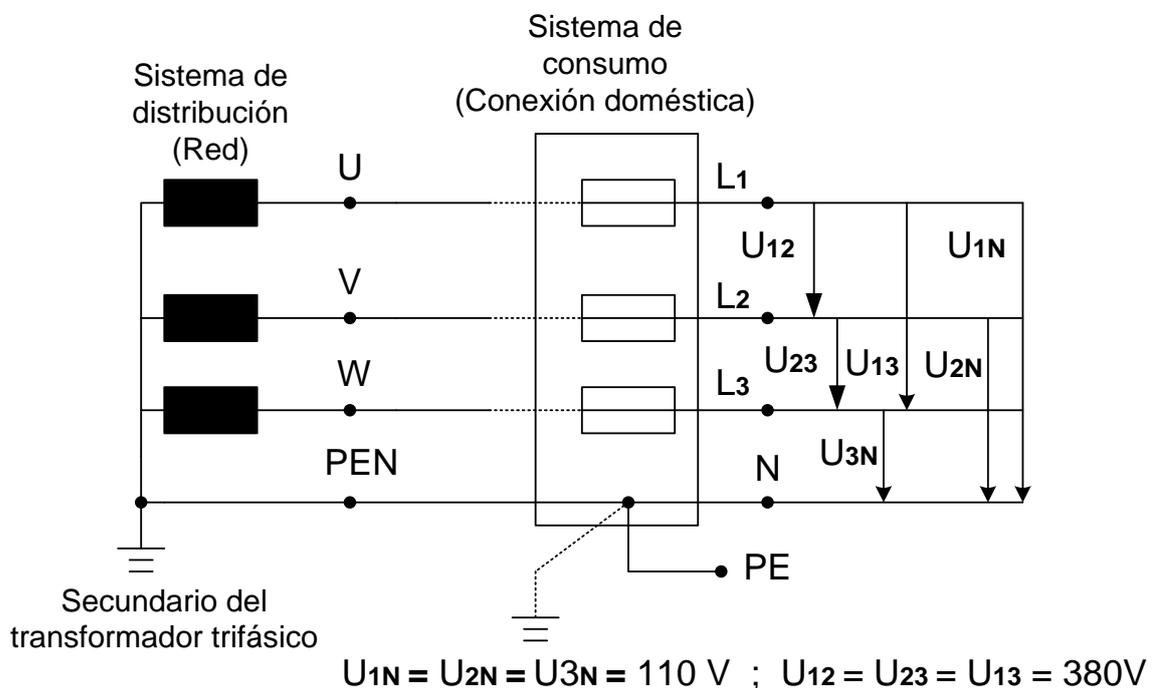


Figura 2.20. Conexión doméstica trifásica en la que se indican las diferentes tensiones

Entre todos estos conductores disponemos de seis tensiones, que en nuestro caso tendrán valores de 220 V y 380 V. Los subíndices de los símbolos de las tensiones indican los puntos de conexión; U_{23} por ejemplo, indica que se trata de la tensión entre el conductor de línea L_2 y L_3 .

Si seguimos la red de alimentación en dirección al generador pasaremos por el transformador trifásico hasta llegar al generador de la central eléctrica, del cual vamos a ocuparnos a continuación.

En la figura 2.21 nos muestra un generador trifásico muy simplificado. Un campo magnético giratorio atraviesa tres devanados, desplazados 120° unos de otros. Por tanto, en los tres bobinados se inducirán tensiones del mismo valor (a igual número de espiras).

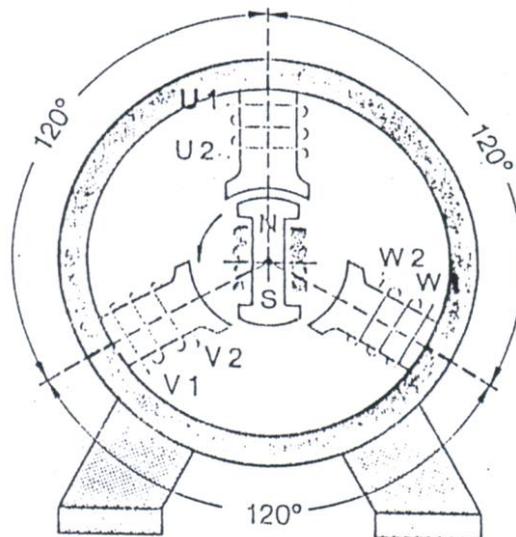


Figura 2.21. Modelo simplificado de un generador trifásico

Como el campo magnético atraviesa las bobinas con su valor máximo a intervalos de 120° , se obtendrán tres tensiones que presentarán una diferencia de fase de 120 grados entre cada dos de ellas.

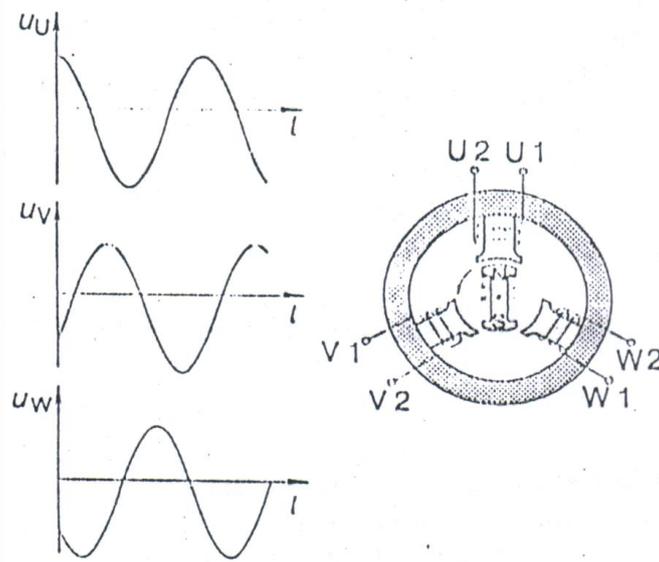


Figura 2.22. Curvas de tensión en los terminales de un generador trifásico

En la figura 2.23 muestra que la tensión del bobinado con las terminales U_1 y U_2 es máxima, mientras en las otras dos bobinas existen tensiones menores, pues la variación del flujo en ellas es también más reducida que en la primera.

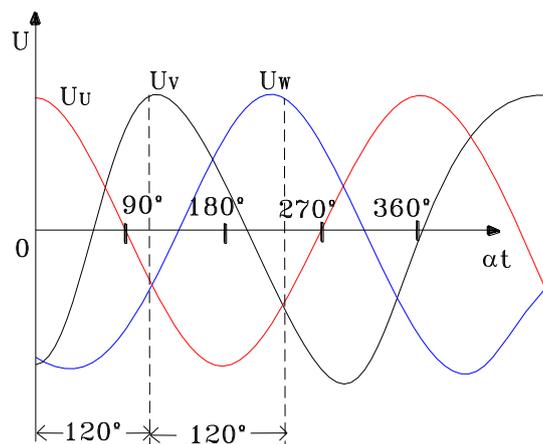


Figura 2.23. Desfases entre las diferentes tensiones de un sistema trifásico

Podemos trazar las curvas de las tres tensiones distintas de la figura 2.22 en una sola grafica común que se muestra en la figura 2.23 en la que queda de manifiesto que entre las diferentes tensiones existe una diferencia de fase de 120° . El desplazamiento de 120° en el espacio, debido a la disposición de las bobinas en el generador, se ha transformado en un desfase de 120° en el tiempo.

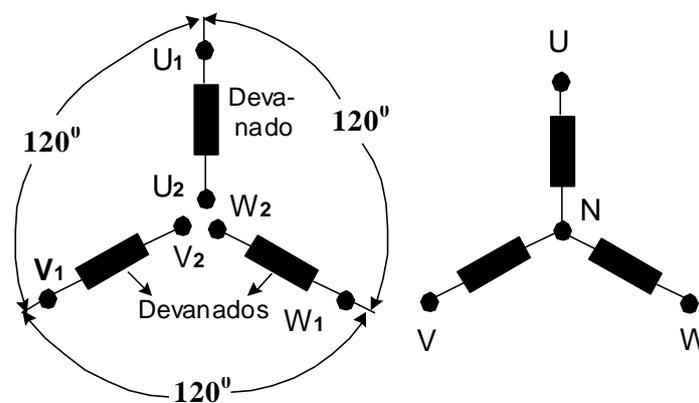


Figura 2.24. Disposición de los devanados y esquemas de conexión en un generador trifásico

En la figura 2.24 nos muestra el esquema de conexión del generador, en el que puede reconocerse la disposición de las bobinas en el espacio.

De entrada podríamos suponer que para llevar las tensiones inducidas en los tres devanados al consumidor sería seis conductores. Sin embargo, si unimos los terminales U_2, V_2 y W_2 en el generador podemos ahorrar dos conductores y diremos que las tensiones están concatenados.

Este circuito se denomina conexión en estrella debido a la forma de su esquema de conexión.

El punto central de la estrella será el punto neutro, al que puede conectarse el conductor neutro o simplemente el neutro. Los demás terminales, o sea los puntos exteriores de la estrella, se conectaran a otros tantos conductores activos, también llamados fases.

Un sistema de tensiones trifásicas se compone de tres tensiones alternas sinusoidales desfasadas 120° unas de otras y concatenadas.

La norma DIN 40108 contiene información sobre las características de los diferentes conductores y puntos de un sistema trifásico. La tabla 2.3 es un extracto de dicha norma. El orden o numeración de las letras indican la sucesión de las fases.

Tabla 2.3 Caracterización de los conductores y puntos de un sistema trifásico

| Parte | Terminales o Conductores activos (fases) | Punto neutro, conductor neutro | Tierra de Referencia | Conductor de Protección Puesto a Tierra | Neutro Puesto a Tierra |
|----------------------|--|--------------------------------|----------------------|---|------------------------|
| Red | Preferentemente L1 L2 L3 | N | E | PE | PEN |
| | También están permitidos, cuando no puede haber confusiones 1 2 3 | | | | |
| | También están permitidos R S T | | | | |
| Circuitos de consumo | En General: U V W | | | | |

Los símbolos de las tensiones se caracterizan en general con dos subíndices, cuyo orden representa el sentido de la referencia de la tensión correspondiente.

Puede suprimirse uno de los subíndices cuando las tensiones están orientadas mediante vectores de referencia o cuando no puede haber lugar a confusiones.

La tabla 2.4 indica algunos ejemplos.

Los símbolos de las corrientes También se escribirán con uno o dos subíndices, que coincidirán con los símbolos de las fases (ver tabla 2.3).

Cuando se emplean dos subíndices éstos indican el sentido de referencia de la corriente. En las tensiones pueden utilizarse también I_R , I_S , I_T o también I_{RS} , I_{ST} ,

I_{TR} .

Tabla 2.4 Caracterización de las tensiones en los sistemas trifásicos

| Tipo de tensión | Sistemas de corrientes | Símbolos de las tensiones |
|---|---|--------------------------------|
| Tensión entre fase y fase o tensión de línea | Sistema trifásico | U_{12} , U_{23} , U_{31} |
| | Generadores Motores y Transformadores Trifásicos | U_{uv} , U_{vw} , U_{wu} |
| Sistema entre fase y neutro o tensión de fase | Sistema trifásico en estrella | U_{1N} , U_{2N} , U_{3N} |
| | Generadores Motores y Transformadores | U_{uN} , U_{vN} , U_{wN} |
| Tensión entre fase y tierra | Trifásicos Sistemas trifásicos | U_{1E} , U_{2E} , U_{3E} |

Existen pues diversas posibilidades para caracterizar los sistemas trifásicos.

Solo se empleara aquellas denominaciones que facilite la comprensión del sistema en cuestión.

La figura 2.25 muestra una de las posibles denominaciones de los diferentes puntos del sistema, los conductores, las tensiones y las corrientes.

En la figura 2.26 pueden verse las tensiones de un sistema trifásico con sus correspondientes sentidos. También puede trazarse el diagrama vectorial de las tensiones.

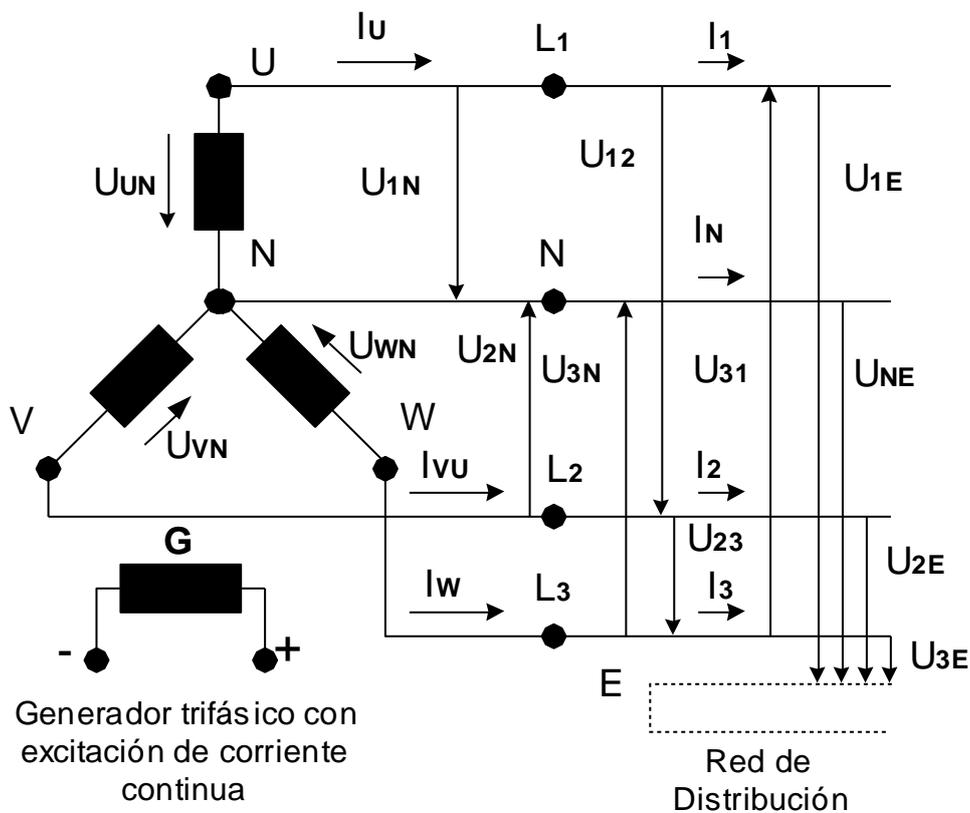


Figura 2.25. Una de las posibles denominaciones de los puntos del sistema, las tensiones y las corrientes en un sistema trifásico

Cada una de las tensiones de línea (tensiones entre fase y fase) es la suma (geométrica) de dos tensiones de fase (tensiones en los devanados). Su valor (380 V) es mayor que la de este último. Podemos obtener el factor de aumento dividiendo la tensión de línea por la tensión de fase. En nuestro caso tenemos.

$$\frac{U_{UV}}{U_{UN}} = \frac{380\text{ V}}{110\text{ V}} = 3.45$$

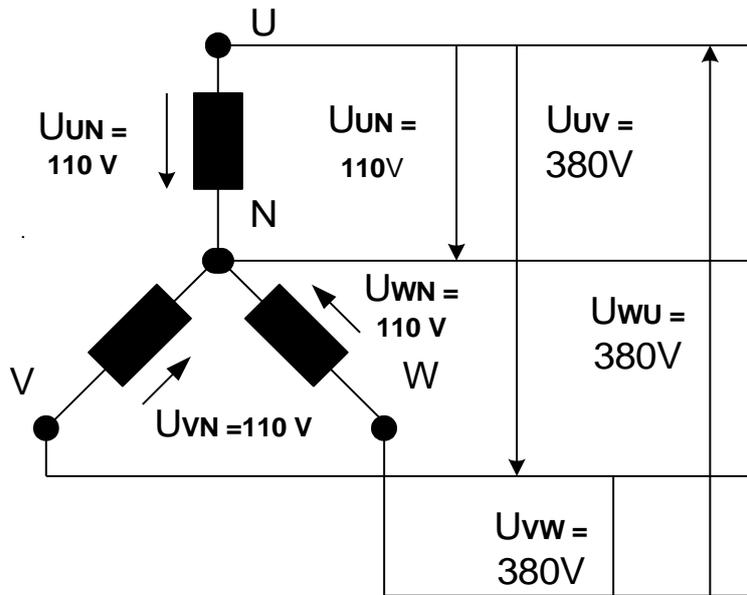


Figura 2.26. Tensiones en un generador trifásico

Con las gráficas y los diagramas vectoriales podemos explicar el hecho de que las tensiones de línea sean mayor. Como en cada caso tenemos las tensiones de dos bobinados generadores conectados en serie, la tensión de la línea será la diferencia de tensiones entre los puntos terminales de la estrella. Las diferencias de tensión están indicadas en la figura 2.27 mediante rayas negras verticales o trazos.

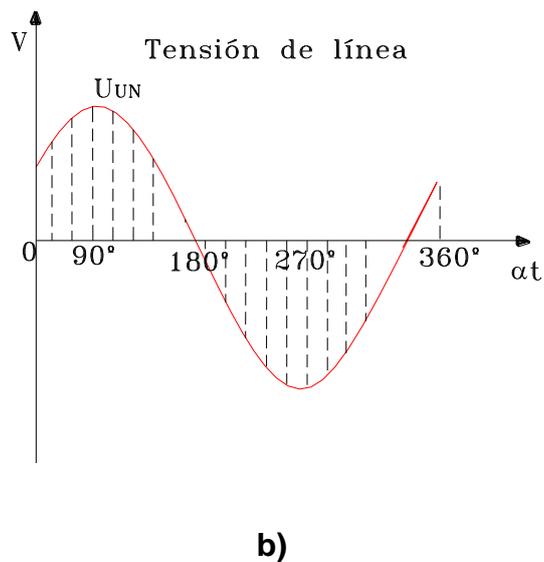
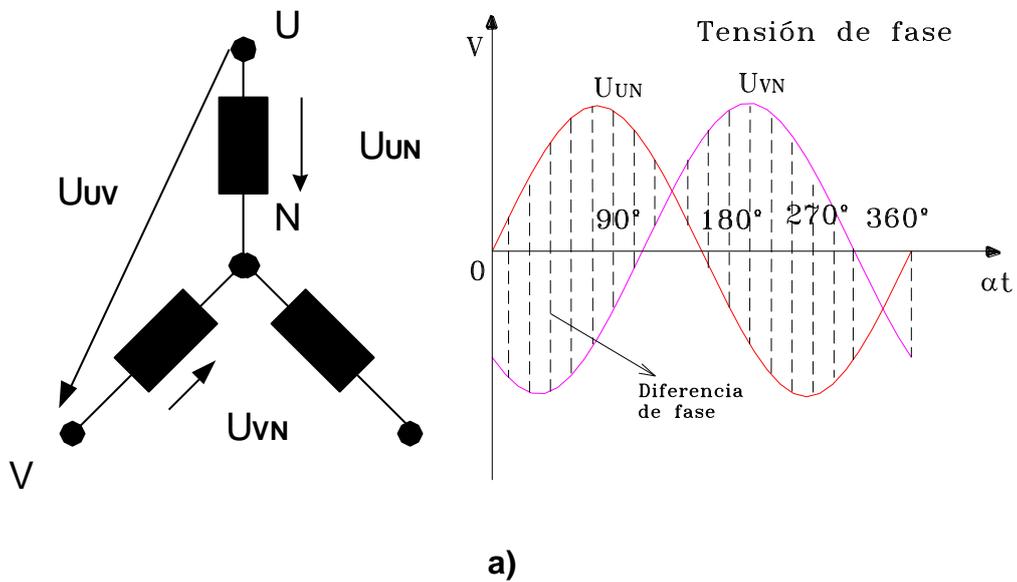


Figura 2.27 Obtención de la tensión de línea a partir de las tensiones de los devanados (tensión de fase)

Si partimos de ellas trazamos una nueva curva obtendremos la gráfica de la figura 2.27 b, que corresponderá a la tensión resultante entre los terminales, o sea, la tensión de línea.

La curva puede construirse más fácilmente invirtiendo el signo de la tensión U_{WN} , o sea, desfasándolo 180° . La tensión resultante será entonces la suma de las tensiones instantáneas.

El valor exacto se puede deducir del diagrama vectorial (figura 2.28) Para ello se divide el triángulo de tensiones en dos triángulos rectángulos iguales y, empleando las funciones trigonométricas correspondientes, se calcula el valor de la tensión de línea.

2.15.1.1. Tensión de línea en la conexión en estrella

$$U = \sqrt{3} * U_f ; \quad \text{Ecuación 2.28}$$

El factor $\sqrt{3}$ se denomina también factor de concatenación.

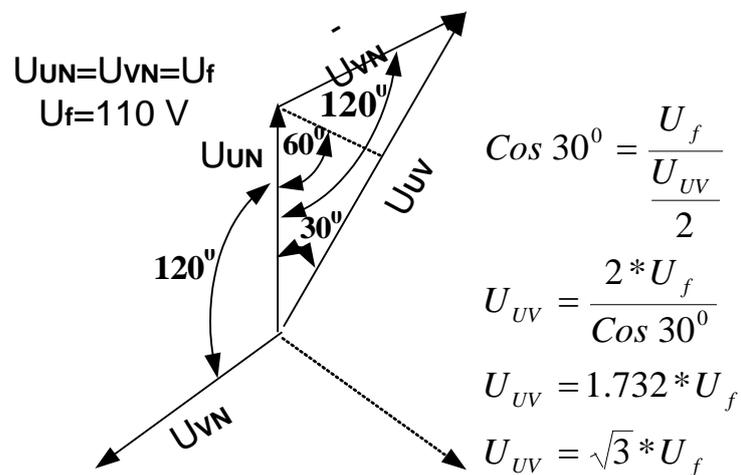


Figura 2.28. Obtención de las tensiones de línea a partir del diagrama vectorial de las tensiones de fase

Los bobinados de los generadores pueden conectarse también en triángulo (figura 2.29). En este caso la tensión de línea será igual a la de un devanado, o sea, a la tensión de fase U_f .

2.15.1.2. Tensión de línea en la conexión en triángulo

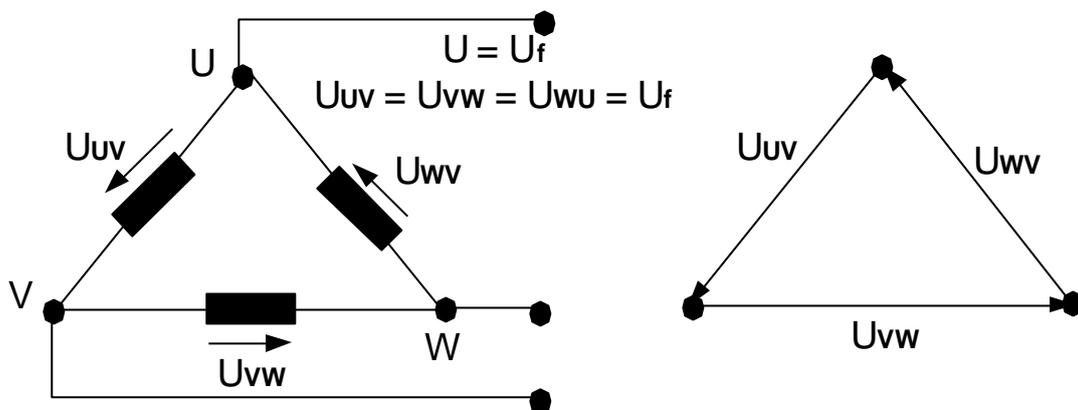


Figura 2.29. Tensiones en un generador conectado en triángulo

2.15.2. Red Trifásica Cargada.

2.15.2.1. Conexión trifásica en estrella.

Después de habernos ocupado de la obtención de tensiones trifásicas, de los conceptos fundamentales y de las diferentes posibilidades de caracterización vamos a tratar los circuitos de consumo de redes de alimentación trifásica. Empezaremos con la conexión en estrella en la que estudiaremos las relaciones existentes entre corrientes, tensiones y potencias.

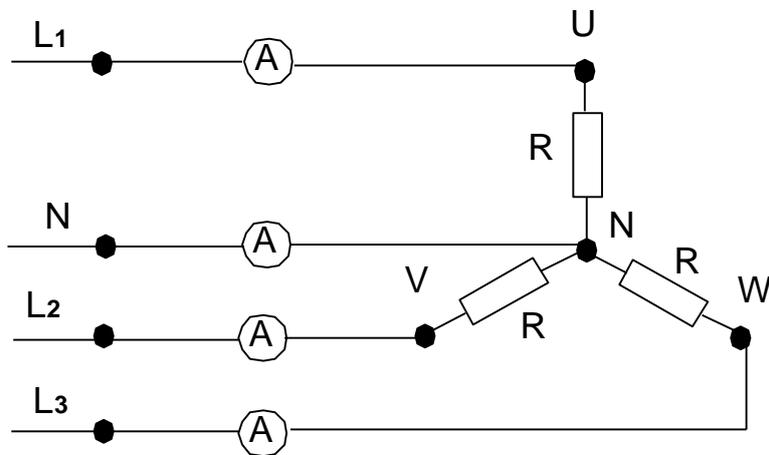


Figura 2.30. Medidas de intensidad en una conexión en estrella

En la figura 2.30 puede verse una carga compuesta de resistencias óhmicas (por ejemplo una calefacción eléctrica), conectada en estrella. En cada uno de los conductores se encuentra conectado un amperímetro con los que podríamos medir al conectar tal carga simétrica (todas las resistencias son de igual valor) las siguientes intensidades.

$$I_1 = I_2 = I_3 \quad ; \quad I_N = 0; \quad \text{Ecuación 2.29}$$

El resultado es sorprendente. El conductor común a todos los devanados no conduce corriente alguna, por tanto, podríais prescindirse de él.

Cuando la carga sea simétrica no circulará corriente por el neutro N.

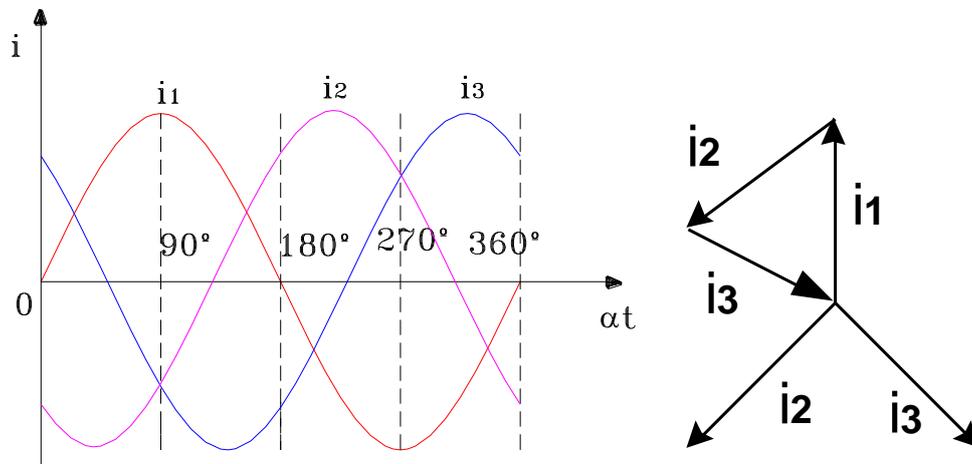


Figura 2.31. Gráfica y diagrama vectorial de las intensidades de línea en una conexión en estrella con carga simétrica

Estudiamos el porqué de este resultado. Para ello nos ayudaremos de la figura 2.31, en la que podemos ver las curvas de las intensidades que circulan por los conductores activos, también llamadas intensidades de línea. Estas tres corrientes confluyen en el neutro, por el que circulará pues la suma de las tres. Sin embargo, con el diagrama vectorial podemos demostrar que la suma de las tres intensidades es nula en todo instante. Por tanto, las tres corrientes se compensan mutuamente al llegar al neutro, con lo que podemos prescindir de este siempre que las cargas sean simétricas.

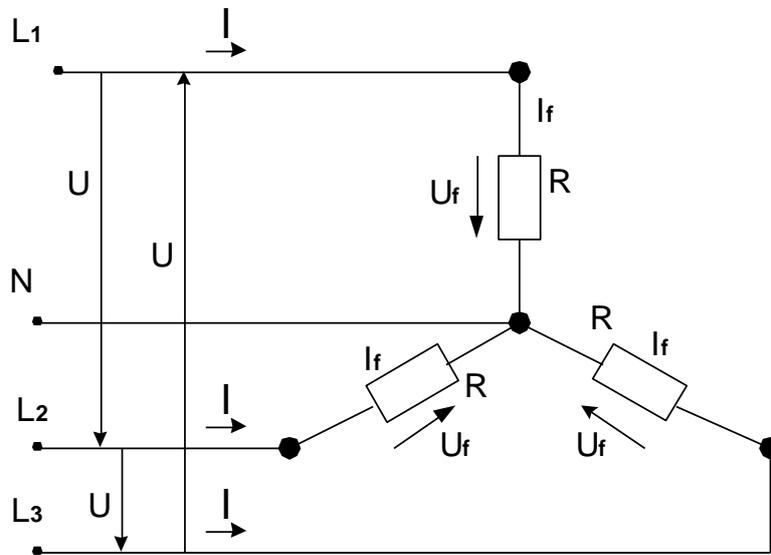


Figura 2.32. Magnitudes de línea y de fase en la conexión estrella

$$U = \sqrt{3} * U_f$$

$$I = I_f \quad ; \quad \text{Ecuación 2.30}$$

En la figura 2.32 hemos representado las tensiones y corrientes en la carga. Podemos ver que las corrientes de línea I_1, I_2, I_3 son las mismas que las de los devanados del generador, o sea, las corrientes de fase I_f .

Intensidad de línea

$$I = I_f \quad ; \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Las tensiones en los devanados (tensión de fase) son menor que las tensiones de línea, pues estas se dividen entre dos devanados, en anterior oportunidad dijimos que el factor de concatenación es igual a $\sqrt{3}$, que también es válido para las tensiones en la carga.

En la conexión en estrella la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase.

Tensión de línea

$$U = \sqrt{3} * U_f$$

Podemos ahora calcular la potencia con la ayuda de las relaciones ya obtenidas para tensiones e intensidades. La potencia aparente se calcula mediante la expresión $S = U * I$. Como tenemos en total tres cargas, la potencia total habrá de ser tres veces mayor que la calculada para una de ellas.

$$S = U_f * I_f \quad ; \text{Potencia aparente de una carga}$$

$$S = 3 * U_f * I_f \quad ; \text{Potencia aparente total} \quad ; \quad \text{Ecuación 2.32}$$

Si sustituimos los valores de fase por los valores de línea, obtendremos.

Potencia aparente total:

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad ; \quad \text{Ecuación 2.33}$$

Potencia Activa total:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \text{Cos} \phi \quad ; \quad \text{Ecuación 2.34}$$

Potencia Reactiva total:

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \text{Sen} \phi \quad ; \quad \text{Ecuación 2.35}$$

2.15.2.2. Conexión en triángulo.

Las cargas trifásicas pueden conectarse también en triángulo, tal como podemos ver en la figura 2.33.

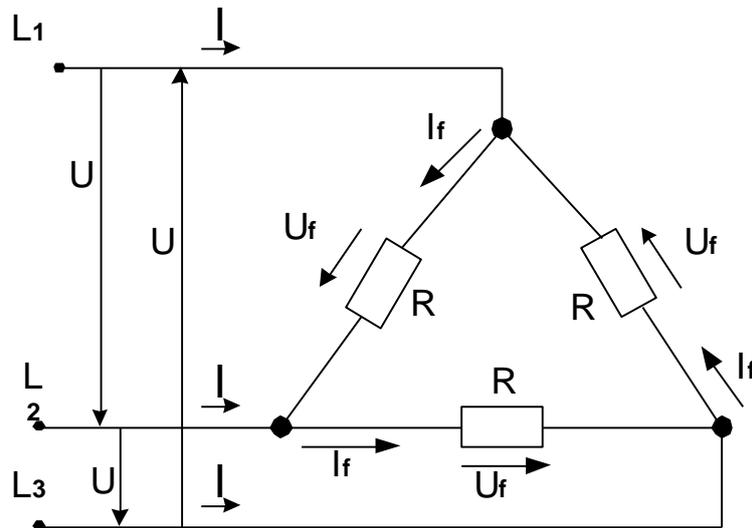


Figura 4.33. Magnitudes de línea y las de fase en la conexión en triángulo

$$U = U_f$$

$$I = \sqrt{3} * I_f; \quad \text{Ecuación 2.36}$$

Las intensidades de línea I_1 , I_2 , I_3 , se dividen en los puntos terminales, de manera que deberán ser mayores que las intensidades de fase, que son las que circulan por cada una de los ramales de la carga, tal como podemos ver en la figura 2.33 las corrientes de línea son $\sqrt{3}$ veces más intensas que las de fase.

En la conexión en triángulo con carga simétrica la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces más intensa que la de fase.

Intensidad de línea

$$I = \sqrt{3} * I_F$$

Las tensiones en los distintos ramales de la carga, o sea, las tensiones de fase, serán iguales a las tensiones de línea.

Tensión de fase.

$$U = U_f$$

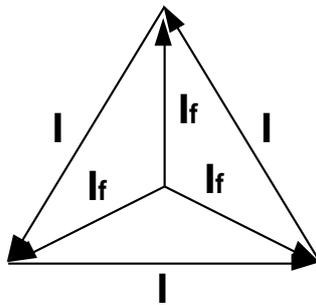


Figura 2.34. Relaciones entre las intensidades de línea y las de fase en la conexión en triángulo con carga simétrica

La potencia de la conexión en triángulo se puede calcular como la suma de las potencias en cada una de las ramas.

$$S = U_f * I_f \quad ; \text{Potencia aparente de una carga}$$

$$S = 3 * U_f * I_f \quad ; \text{Potencia aparente total}$$

Si sustituimos los valores de fase por los valores de línea, obtendremos.

Potencia aparente total:

$$S = \sqrt{3} * U * I$$

Potencia Activa total:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \text{Cos}\phi$$

Potencia Reactiva total:

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \text{Sen}\phi$$

Si comparamos estas fórmulas con las de la conexión en estrella observamos que son las mismas. No obstante, debemos tener presente que en ambos casos deben expresarse las fórmulas en función de los valores de línea.

2.15.2.3. Comparación entre la conexión en estrella y en triángulo

Los circuitos de consumo conectados en estrella pueden transformarse en la mayoría de los casos en conexión en triángulo y viceversa. Como este cambio de conexión supone una variación de las corrientes y tensiones en las cargas, también se modificará el consumo de potencia. Veamos mediante un ejemplo cuales son las diferencias entre ambas conexiones.

En la figura 2.35 podemos ver tres resistores, conectados en estrella a la izquierda y en triángulo a la derecha. En la conexión en estrella la tensión de línea está aplicado a los resistores R_1 y R_2 , mientras en la conexión en triángulo solamente está aplicado al resistor R_1 . Por tanto en este último caso circulará una corriente de mayor intensidad por el resistor R_1 , con lo que

también será mayor su consumo de potencia. Comparemos las fórmulas de tensión para los dos casos.

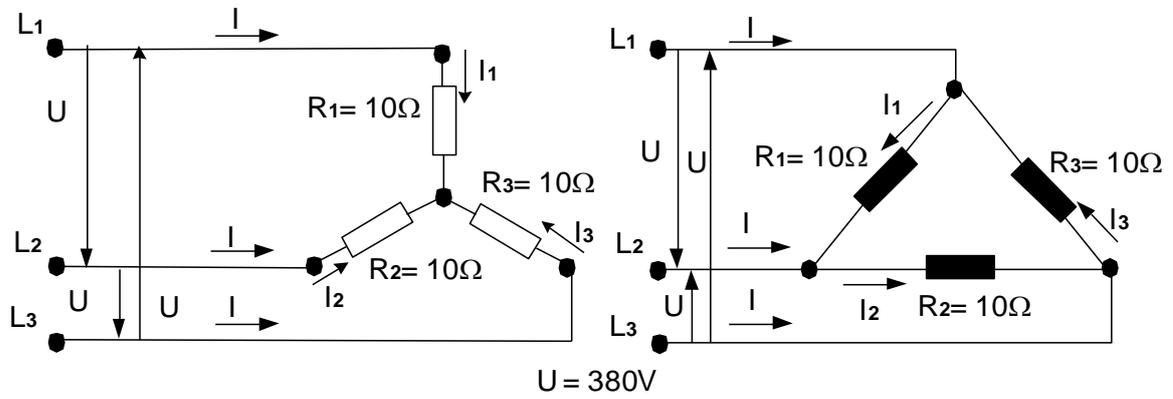


Figura 2.35. Conexión en estrella y Conexión en triángulo

$$P_1 = \frac{U}{\sqrt{3}} * I_1$$

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{3} R_1}$$

$$I_1 = \frac{U^2}{3 * R}$$

$$I_1 = 4.8 \text{ KW}$$

$$U_1 = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$P_f = \frac{U_f^2}{R}$$

$$P_f = \frac{U^2}{3R}$$

$$P_1 = \frac{U}{\sqrt{3}} * I_1$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{U^2}{R_1}$$

$$I_1 = 14.4 \text{ KW}$$

$$U_1 = U$$

$$P_f = \frac{U_f^2}{R}$$

$$P_f = \frac{U^2}{3R}$$

Si los resistores de carga son iguales, cada ramal de la conexión en estrella consume solamente 1/3 de la potencia que consume en la conexión en triángulo. Obtenemos pues la siguiente fórmula para la potencia total

$$P_{\Delta} = 3P_Y; \text{ Ecuación 2.37}$$

Una carga conectada en triángulo consume el triple de potencia que conectada en estrella.

2.15.2.4. Cargas asimétricas.

Hasta Aquí hemos considerado siempre la red trifásica cargado con tres resistores iguales la carga era por tanto simétrica. Estudiemos ahora el comportamiento de tensiones y corrientes cuando los resistores de carga sean diferentes.

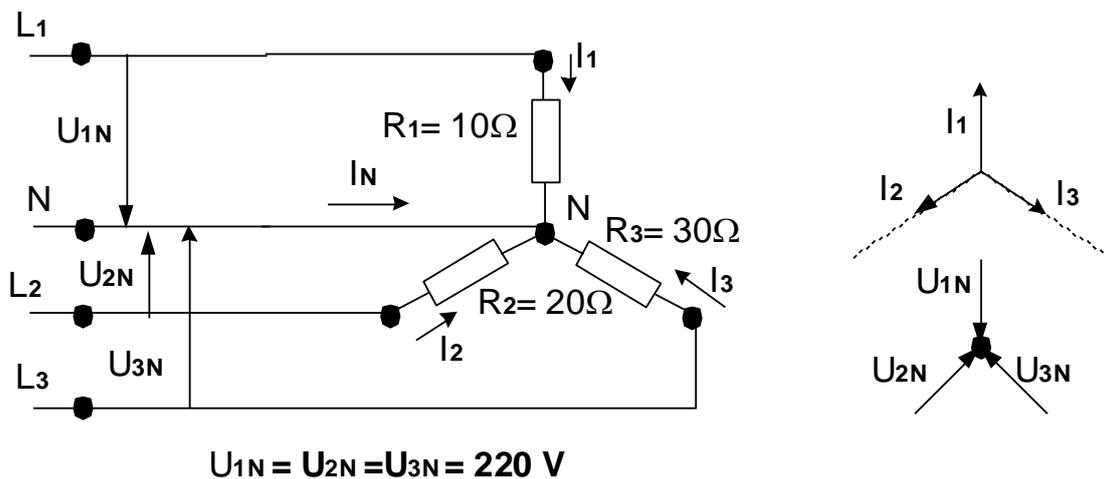


Figura 2.36. Cargas asimétricas trifásico con neutro

En la figura 2.36 nos muestra un circuito de consumo conectado en estrella con resistores de 10Ω , 20Ω y 30Ω . Al punto central de la estrella hemos conectado el neutro de la instalación.

La red de alimentación nos fija las tensiones, que son constantes en este caso 220 V para cada resistor. Debido a la tensión y a los correspondientes resistores se obtendrán las siguientes corrientes de intensidades diferentes.

$$I_1 = 22\text{ A}$$

$$I_2 = 11\text{ A}$$

$$I_3 = 7.3\text{ A}$$

Como sigue existiendo una diferencia de fases de 120° entre las diferentes tensiones y también entre las intensidades, pues se trata de resistores óhmicos, la suma de las intensidades ya no será nula y, por lo tanto circulará una corriente por el neutro.

En las redes de baja tensión se suelen presentar cargas diferentes para cada ramal, por lo que suelen existir redes de cuatro conductores. Sin embargo, en las redes de alta tensión sólo se emplea en la mayoría de los casos tres conductores. Estudiamos ahora el comportamiento de corrientes y tensiones en estas redes con carga asimétrica que se muestra en la figura 2.37.

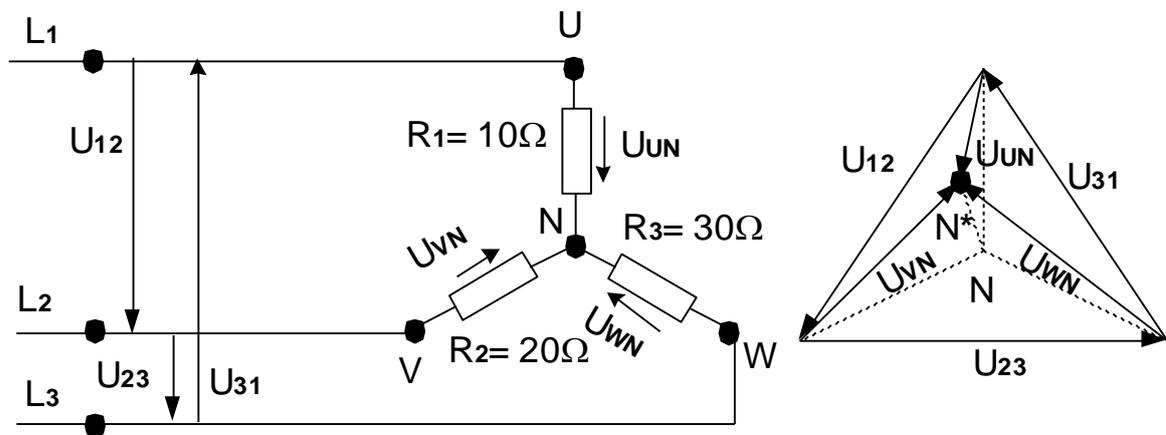


Figura 2.37. Carga asimétrica en un sistema trifásico sin neutro

La red mantiene constantes las tensiones U_{12} , U_{23} y U_{31} . No obstante, al medir las tensiones en las diferentes cargas se obtienen valores distintos. Sumando estas tensiones (suma geométrica, figura 2.37) resulta que el punto neutro ya no se encuentra en el centro geométrico del triángulo formado por U_{12} , U_{23} y U_{31} . Existe pues una diferencia de tensión en el punto neutro para cargas simétricas y para cargas asimétricas.

III. MATERIALES

3.1. Equipo Computacional

Para la simulación de las prácticas planteadas en el presente proyecto es necesaria la instalación de los Software Multisim, en los computadores del laboratorio de electrónica, mismos que poseen las siguientes características:

| COMPUTADOR | |
|-------------------|--|
| Cantidad | Descripción |
| 1 | Mother Intel dp 67de sock 1155 ddr3-1333 Soport 13/15/17 (bulk). |
| 1 | Memoria RAM 4GbAdata 1333 MHZ/ddr3 |
| 1 | Disco Duro 1Tb Samsung/Hitachi 7200 rpm |
| 1 | Tarjeta Video 1GbZogisPciExpGforce Ddr3 |
| 1 | Tarjeta de Red TrhndnetPci 10/100/1000 GhipRealtek/Teg-Pcitxr |
| 1 | Monitor 19 HP Compaq LCD W185q |
| 1 | Super Case Power a TX 6246 |
| 1 | Procesador Intel Core 15-2500 a 3.30 GHZ MB Sock 1155 |
| 1 | Unidad de DVD WriterSamsung SH-222AB 22x Sata |
| 1 | Mouse Genius KB06XE Negro USB |

IV. PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO

4.1. RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS RLC MEDIANTE TRIGONOMETRÍA.

4.1.1. CIRCUITO RL

En este caso trabajamos con los segmentos de los lados de los triángulos rectángulos de impedancias y potencias indicados en la figura 2.8 a los que les aplicamos la ley de ohm mediante la fórmula.

$$I = \frac{U}{Z} \quad ; \text{Intensidad que absorbe el circuito}$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad ; \text{Componente activo de la intensidad}$$

$$I_L = \frac{U_L}{X_L} \quad ; \text{Componente reactivo de la intensidad}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad ; \text{Impedancia}$$

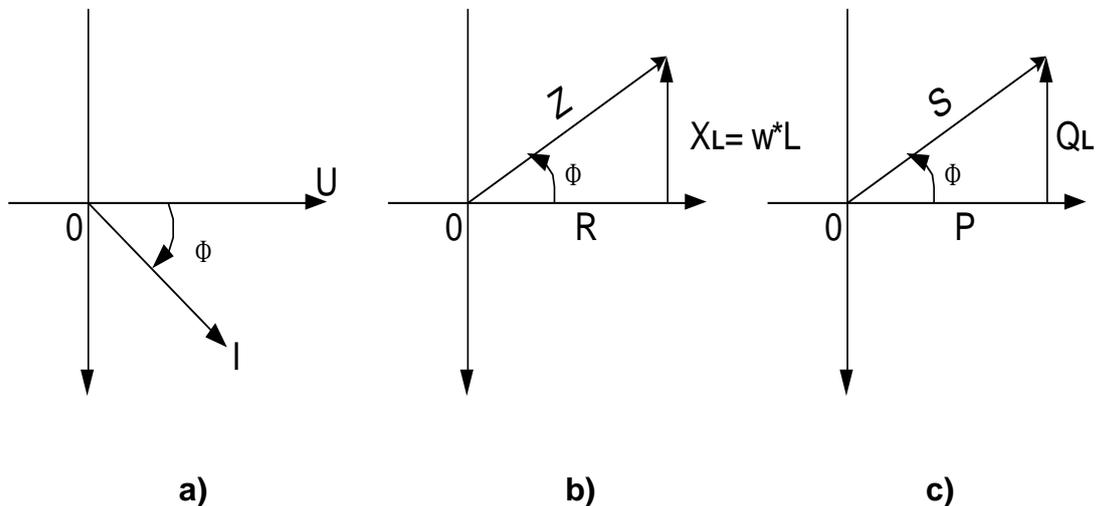


Figura 4.1 Diagramas vectoriales de un circuito RL: a) De tensión e intensidad.

b) triángulo de impedancia. c) triángulo de potencia

$$X_L = \omega * L = 2 * \pi * f * L \quad ; \text{ Reactancia inductiva}$$

$$X_L = Z * \text{Sen} \phi$$

$$\text{Cos} \phi = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S} \quad ; \text{ Factor de potencia}$$

$$S = U * I = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \quad ; \text{ Potencia aparente}$$

$$P = U * I * \text{Cos} \phi = R * I^2 \quad ; \text{ Potencia activa}$$

$$Q = U * I * \text{Sen} \phi = X_L * I^2 \quad ; \text{ Potencia reactiva}$$

4.1.2. CIRCUITO RC.

En este caso trabajamos con los segmentos de los lados de los triángulos rectángulos de impedancias y potencias indicados en la figura 4.10 a los que les aplicamos la ley de ohm mediante la fórmula.

$$I = \frac{U}{Z} \quad ; \text{ Intensidad que absorbe el circuito}$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad ; \text{ Componente activo de la intensidad}$$

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} \quad ; \text{ Componente reactivo de la intensidad}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad ; \text{ Impedancia}$$

$$R = Z * \text{Cos} \phi \quad ; \text{ Resistencia}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad ; \text{ Reactancia capacitiva}$$

$$X_C = Z * \text{Sen}(-\phi)$$

$$\phi = \text{arctg} \left(\frac{-1}{\omega * C * R} \right); \quad \text{Cos}(-\phi); \text{ Factor de potencia}$$

$$S = U * I = \sqrt{P^2 + Q_c^2} \quad ; \text{Potencia aparente}$$

$$P = U * I * \text{Cos } \phi = R * I^2 \quad ; \text{Potencia activa}$$

$$Q = U * I * \text{Sen}(-\phi) = -X_c * I^2 \quad ; \text{Potencia reactiva}$$

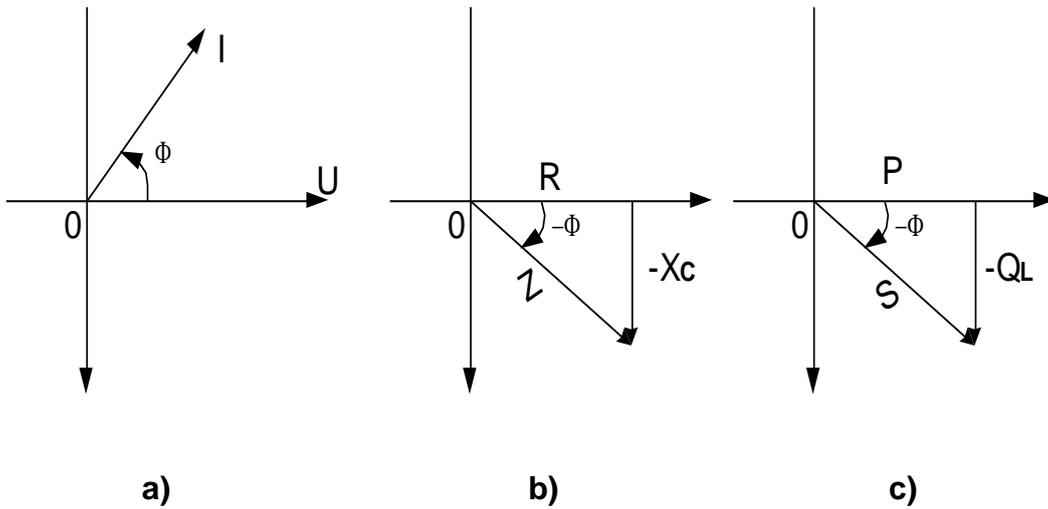


Figura 4.2. Diagramas vectoriales de un circuito RL: a) De tensión e intensidad. b) triángulo de impedancia. c) triángulo de potencia

4.2. MANUAL DE USO DE MULTISIM

4.2.1. Ejecutando Multisim

Si Multisim no está abierto seleccione **Programas»National Instruments»Circuit Design Suite 10.1»Multisim 10.1**. Multisim abre y presenta de manera automática el archivo Circuit1.

La interfaz gráfica de usuario de Multisim es muy intuitiva y permite rápido acceso a las funciones comúnmente más utilizadas. Es posible personalizar el ambiente de Multisim, incluyendo colores utilizados en los circuitos, tamaño de página, tipo de símbolo utilizado (ANSI o DIN), entre otros.

4.2.2. Selección de Componentes

Utilice el **Component Browser** (Buscador de Componentes) para seleccionar los componentes requeridos. Seleccione **Place»Component**.

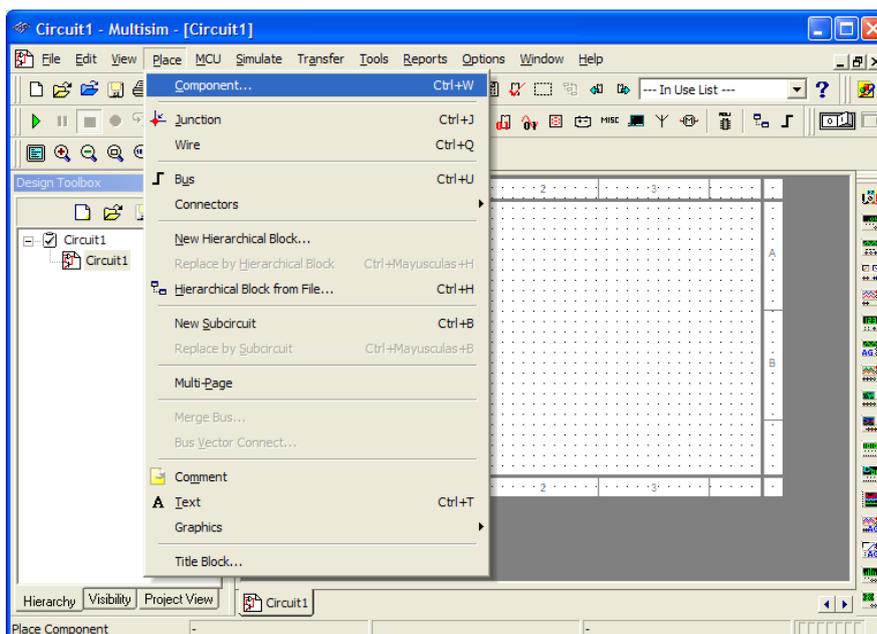


Figura 4.3. Pantalla de Component

La ventana de diálogo **Select a Component** (también conocida como **Component Browser**) aparece (**Figura 4.4**).

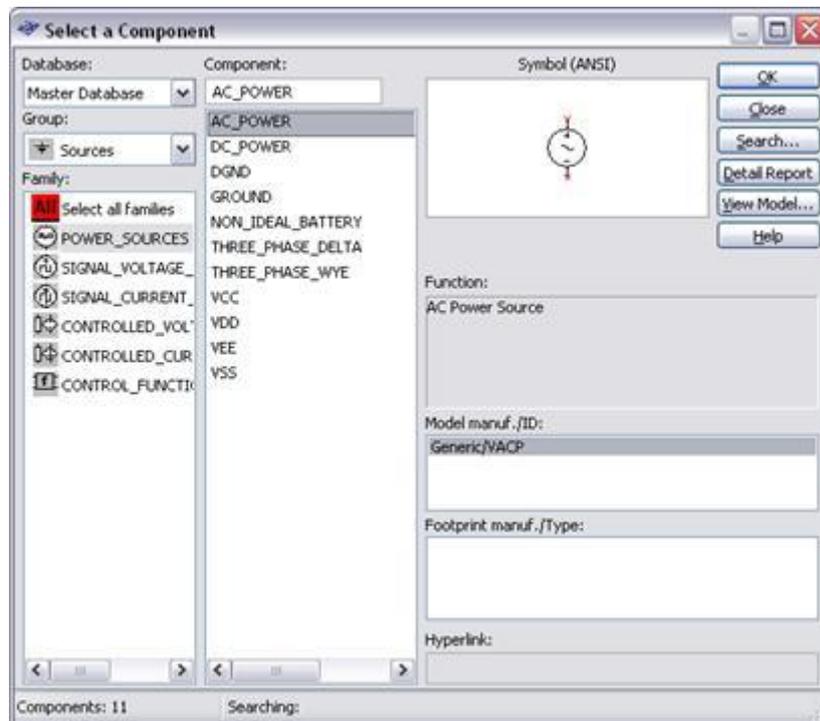


Figura 4.4. Component Browser.

El **Component Browser** organiza los componentes de la base de datos en tres niveles.

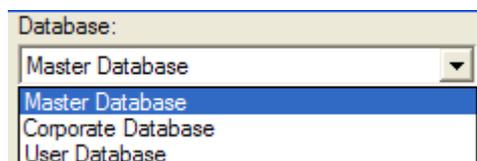


Figura 4.5. Base de datos del Component Browser.

La **Master Database** (Base de Datos Maestra) contiene todos los componentes incluidos dentro de Multisim.

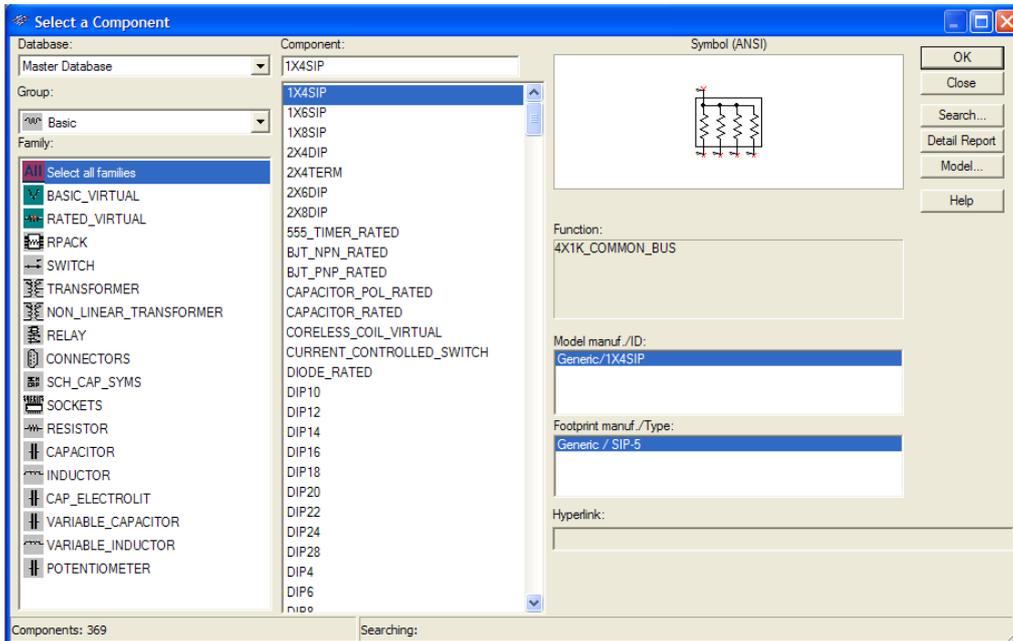


Figura 4.6. Base de datos Maestra (Master Database).

La **Corporate Database** (Base de Datos Corporativa) es una base de datos donde se pueden guardar componentes que requieren ser compartidos con otras personas (por ejemplo, vía red).

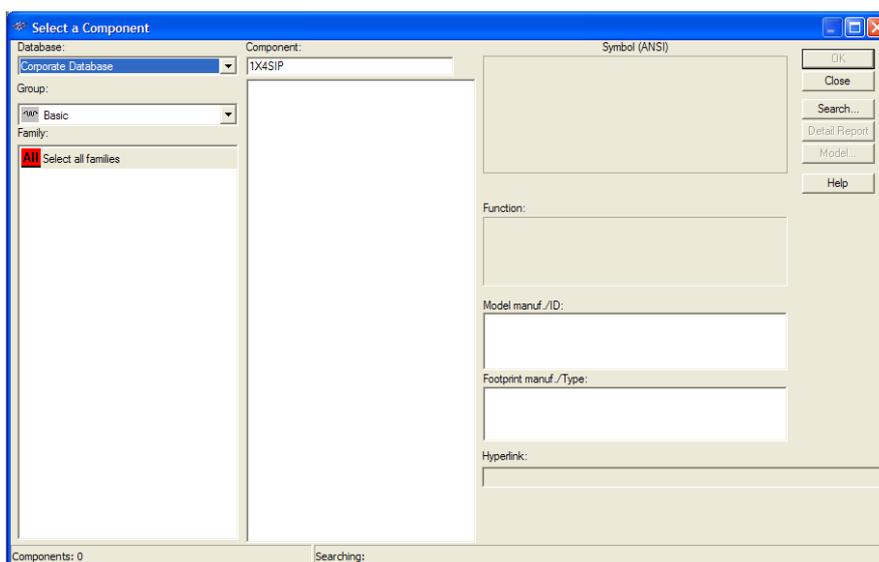


Figura 4.7. Base de datos Corporativa.

Finalmente, la **User Database** (Base de Datos de Usuario) es el lugar donde se pueden guardar componentes personalizados que solo pueden ser utilizados por el diseñador en específico.

Note también que en **Master Database** los componentes están organizados en Grupos y Familias lo cual hace que la búsqueda de un componente en particular sea más fácil.

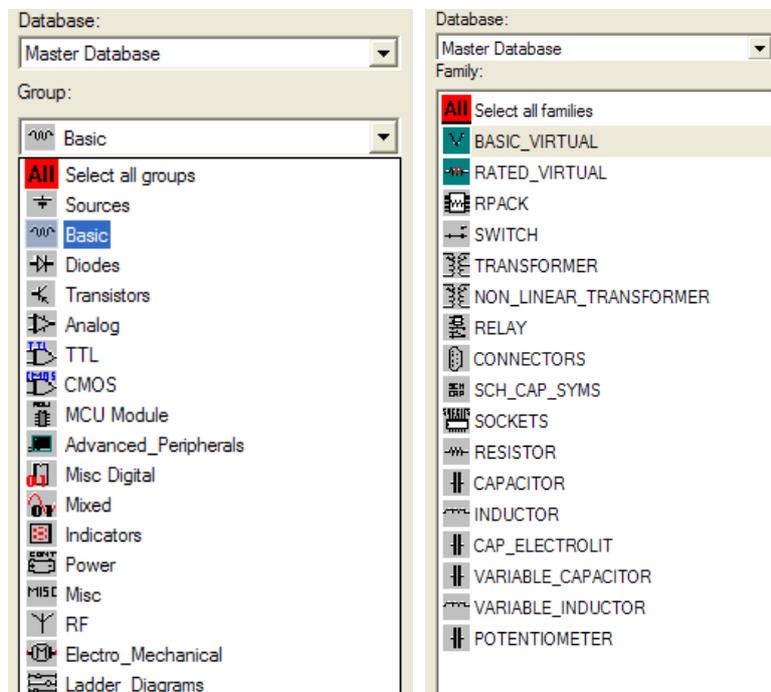


Figura 4.8. Grupos y Familias de la Base de datos Maestra.

Para colocar una referencia de tierra seleccione el Grupo **Sources**, y de un clic en la Familia **POWER_SOURCES**.

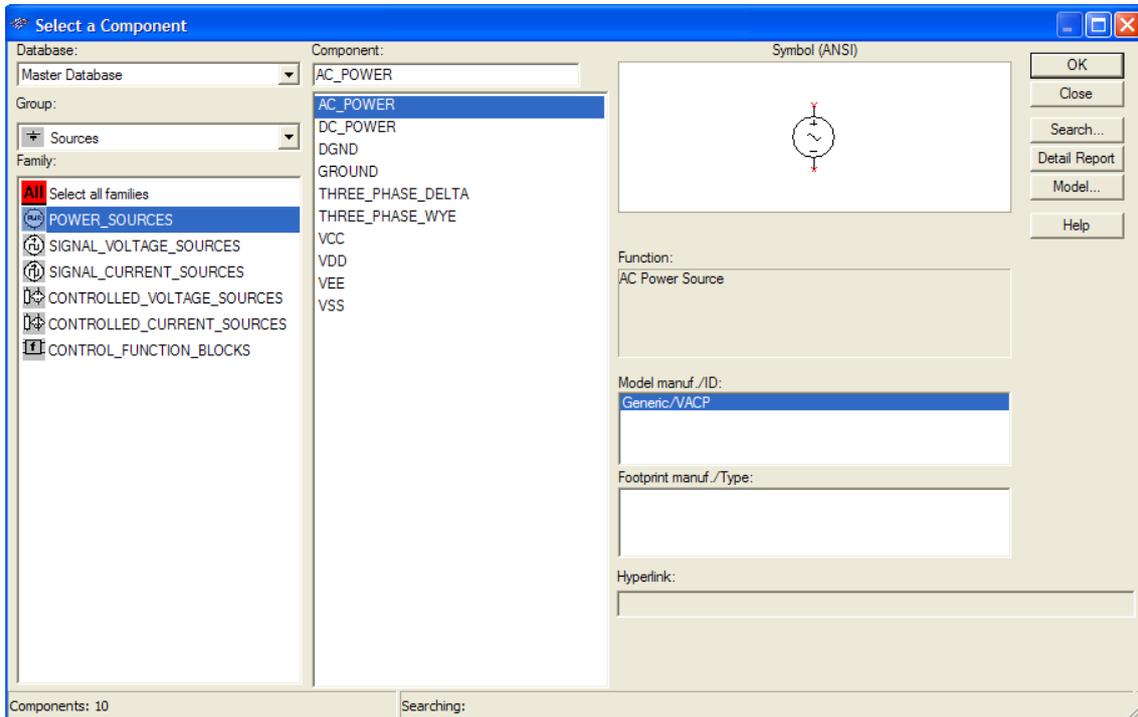


Figura 4.9. Componentes del Grupo Sources y POWER_SOURCES.

Bajo la columna **Component**, el diseñador puede seleccionar el dispositivo que necesite para la alimentación de su simulación. **AC_POWER**, **DC_POWER**, **GROUND**, etc.

Una vez seleccionado el circuito se debe dar clic en el botón **OK**. El **Component Browser** desaparece temporalmente y el símbolo del elemento seleccionado estará fijo al puntero del mouse en la pantalla principal de simulación. Mueva el mouse a un lugar apropiado en el diagrama y de un clic para colocar el componente. El **Component Browser** aparecerá de nuevo, para ubicar un nuevo componente.



Figura 4.10. Colocando un componente.

Para que la simulación se ejecute en Multisim es requisito tener al menos una referencia de tierra y una fuente de poder en el diagrama.

Seleccione ahora el Grupo **Basic**. En este grupo el diseñador encontrara a su disposición todos los componentes básicos de un circuito, como: **RESISTOR**, **CAPACITOR** (Electrolit y Ceramic), **INDUCTOR**, **TRANSFORMER**, **SWITCH**, etc. Todos estos elementos en las nomenclaturas existentes comercialmente.

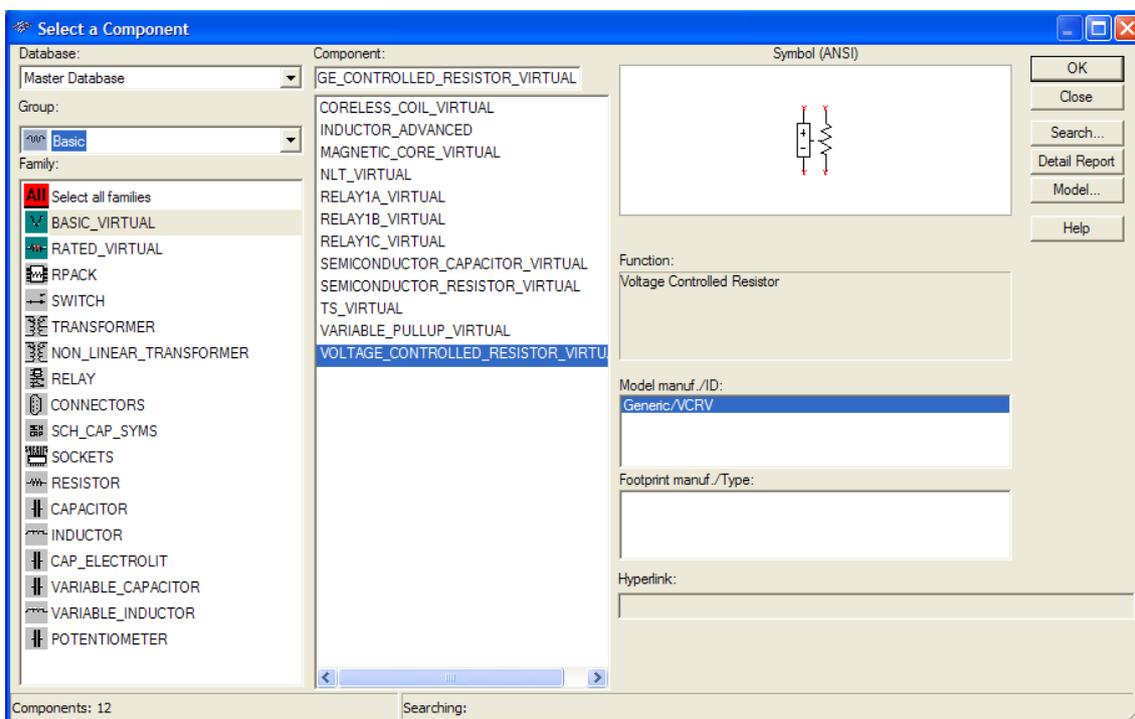


Figura 4.11. Componentes del Grupo Basic.

En el Grupo **Diodes**, el diseñador encontrara a su disposición todos los tipos de diodos en las nomenclaturas existentes comercialmente, y entre ellos los: **ZENER, SCR, DIAC, TRIAC**, etc.

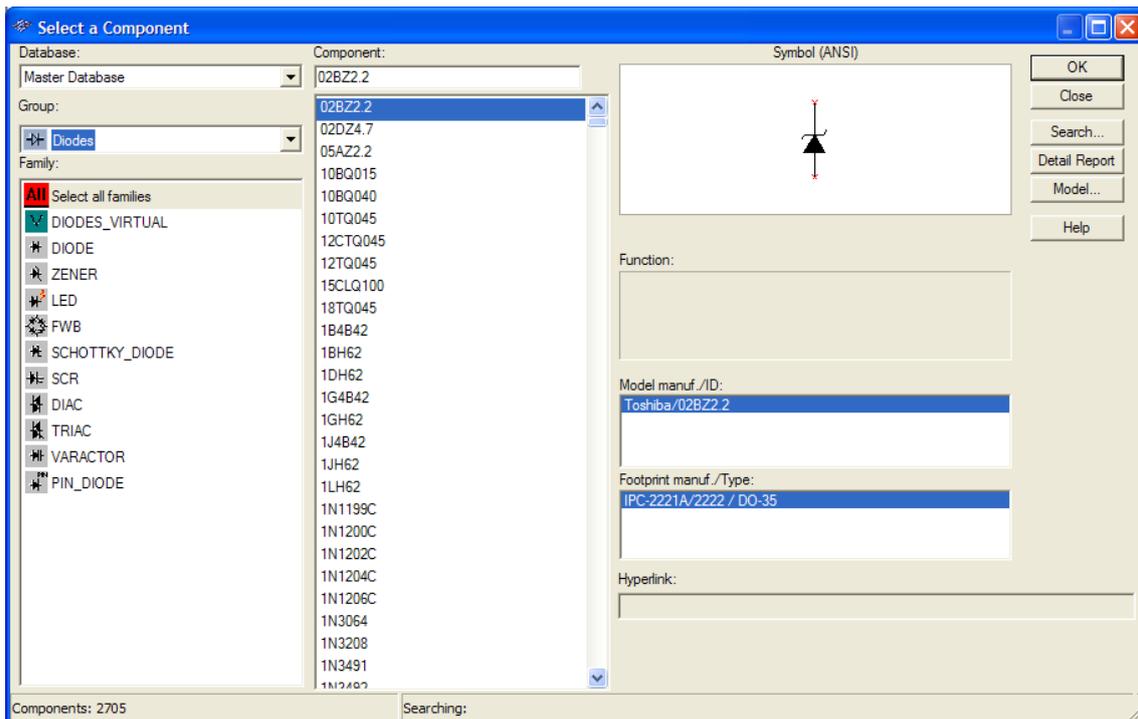


Figura 4.12. Componentes del Grupo Diodes.

Y así sucesivamente, el diseñador tiene total libertad para ubicar en un determinado grupo el componente que desee ubicar en su diagrama.

4.2.3. Búsqueda de Componentes

En el **Component Browser** de clic en el botón **Search**. La ventana **Search Component** se abre. Esta es una herramienta práctica para buscar componentes.

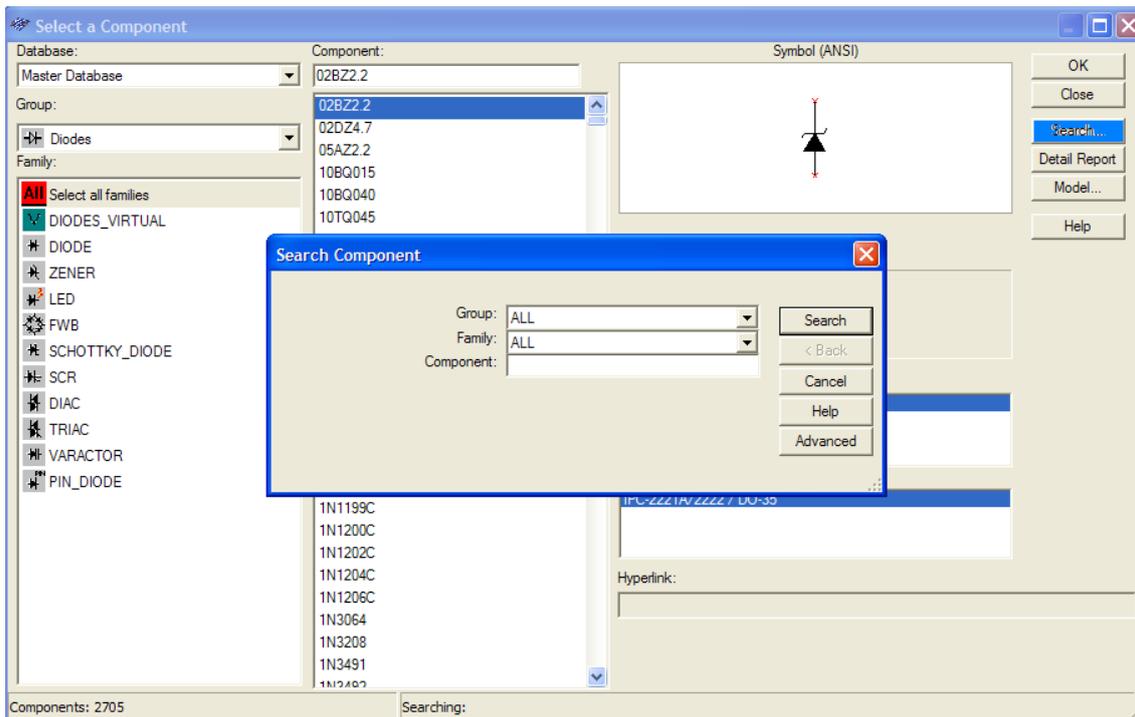


Figura 4.13. Pantalla para buscar componentes por nombre.

En el campo **Component** el diseñador debe escribir el nombre del dispositivo, o en su defecto el modelo de un componente específico, se da clic en **Search**. Aparecerá una lista con todos los componentes que contienen el texto escrito en su nombre. Clic **OK** para colocar el componente.

4.2.4. Guardado del Archivo

Guarde su archivo con el nombre Ejercicio1 o uno que describa al diagrama. Seleccione **File»Save As...** En el directorio de su elección guarde el archivo con el nombre deseado.

4.2.5. Conexión de los Componentes

En los siguientes pasos se conectarán los componentes previamente seleccionados.

Para realizar una conexión, el diseñador debe mover el puntero del mouse cerca de la terminal de un componente. El puntero del mouse cambia a la forma de una cruz. De un clic y mueva el mouse para iniciar una conexión.

De un clic en la terminal destino. Multisim creará automáticamente la conexión entre las dos terminales.

Termine de realizar las conexiones del circuito haciendo referencia a la **Figura 4.14.**

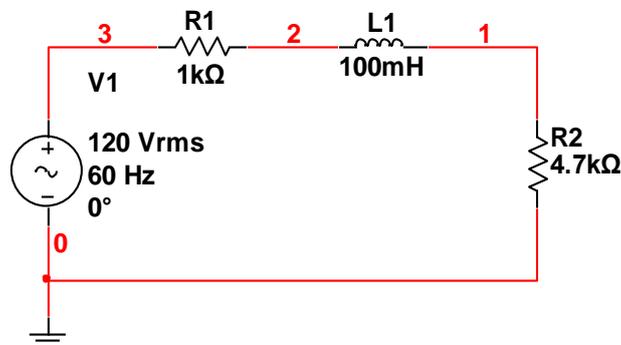


Figura 4.14. Conexión de los componentes.

Los números que se observan sobre las conexiones son los nombres que Multisim le asigna a cada nodo (Net). Multisim realiza esta asignación de manera secuencial al ir conectado el circuito, por lo que el diseñador no se debe preocupar si los nombres utilizados en la Figura 7 son distintos a los de su circuito. El nodo 0 es siempre asignado a las referencias de tierra.

V. RESULTADOS

PRÁCTICA 1

1. TEMA:

CIRCUITO RC ACOPLADO CON UNA CARGA.

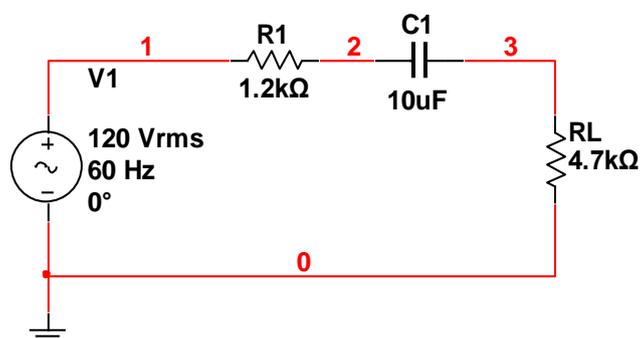
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RC en serie acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $1,2k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $10\mu F$. |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Fuentes de corriente Alterna

Un circuito de CA se compone de elementos de circuito de un generador que brinda la corriente alterna. El principio básico del generador de CA es una consecuencia directa de la ley de inducción de Faraday. Cuando una bobina se hace girar en un campo magnético a frecuencia angular constante w , un tensión sinusoidal (FEM) se induce en la bobina, este tensión instantáneo es:

$$v = V_{\max} \cdot \text{Sen } wt$$

Donde V_{\max} es el tensión de salida máximo del generador de CA, o la amplitud de tensión, la frecuencia angular está dada por $w = 2\pi f = 2\pi/T$, donde f es la frecuencia de la fuente y T es el periodo. Las plantas de generación eléctrica comerciales en estados unidos usan una frecuencia de 60 Hz lo que corresponde a una frecuencia angular de 377 rad/s.

Considere un generador de CA conectado a un circuito en serie que contiene elementos R , L , C . Si se da la amplitud de tensión y la frecuencia del generador, junto con los valores de R , L y C , encuentre la amplitud y constante de fase de la corriente. Con el propósito de simplificar nuestro análisis de circuitos que contiene dos o más de elementos, empleamos construcciones gráficas conocidas como diagramas de fasores. La longitud del fador representa la amplitud (Valor máximo) de la cantidad en tanto que la proyección del fador sobre el eje vertical representa el valor instantáneo de esa cantidad.

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**,

lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.

6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.

6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

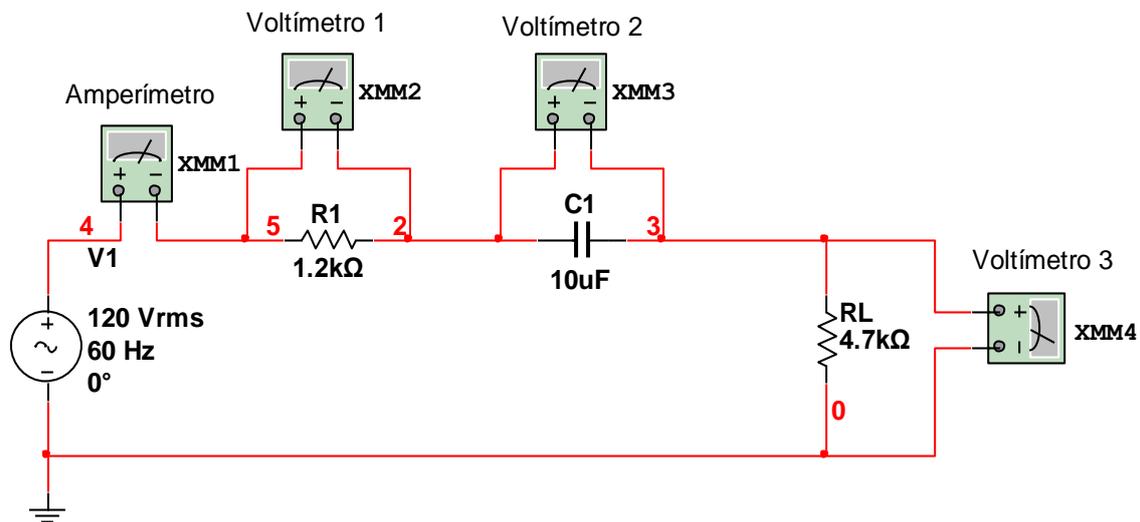


Figura 5.1. Esquema para medición de tensiones y corrientes.

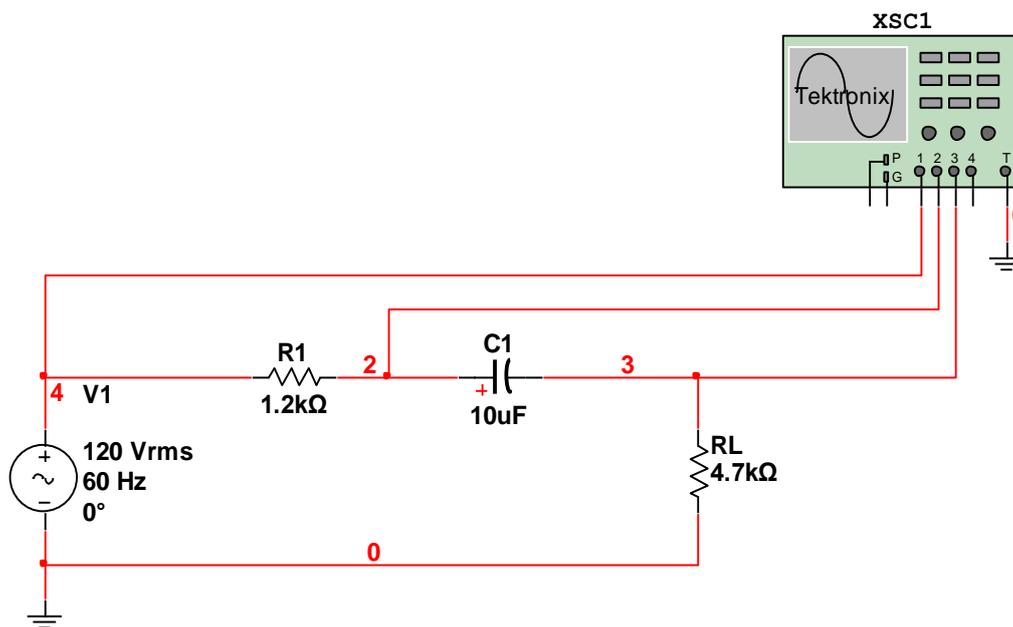
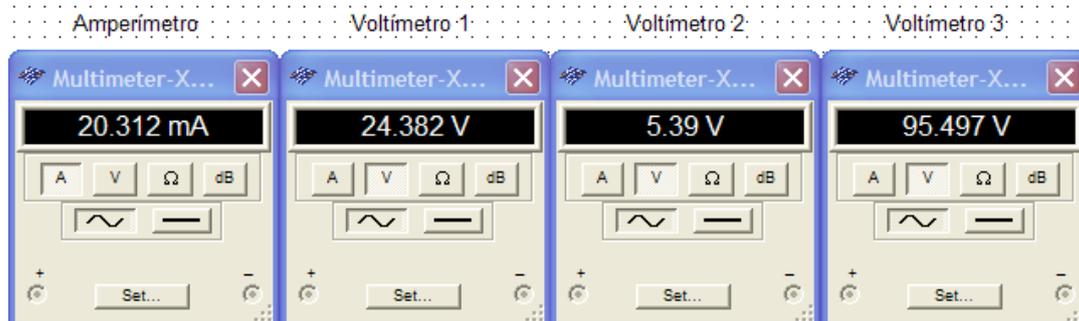
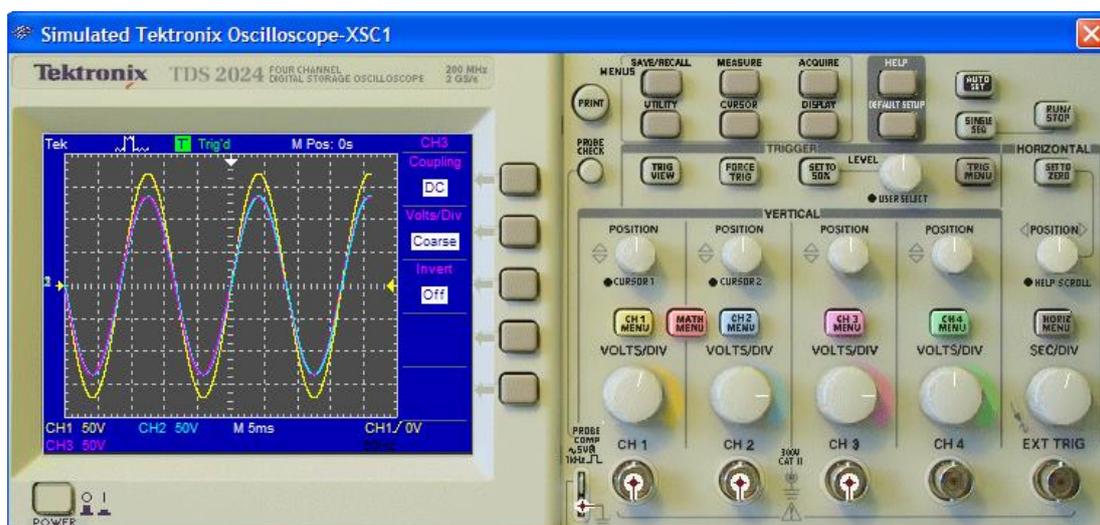


Figura 5.2. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 2

1. TEMA:

CIRCUITO RL ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

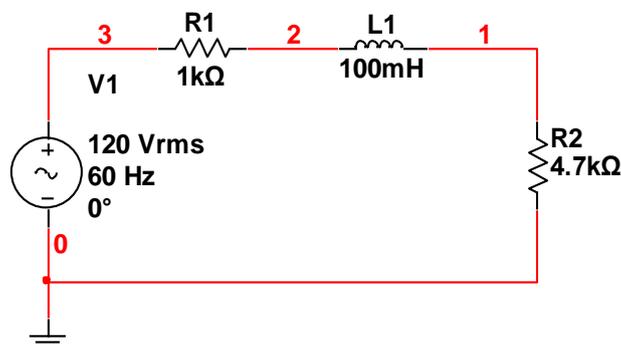
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RL en serie acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $1k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Inductor | $100mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Resistores de un circuito de CA

Considere un circuito de CA simple compuesto por un resistor y un generador de C, en cualquier instante la suma algebraica del potencial que aumente o disminuye alrededor de un lazo cerrado en un circuito debe ser 0, por lo tanto, $V - V_r$ es igual a cero, o $V = V_r = V_{\max} \cdot \text{sen } \omega t$ donde V_r es la caída de tensión instantánea a través del resisto, por consiguiente, la corriente instantánea en el resistor es $I_r = V/R = V_{\max} / R \cdot \text{sen } \omega t = I_{\max} \cdot \text{Sen } \omega t$ donde I_{\max} es la corriente máxima: $I_{\max} = V_{\max}/R$, de acuerdo con esto vemos que la caída de tensión instantánea a través del resistor es:

$$V_r = I_{\max} \cdot r \cdot \text{Sen } \omega t.$$

Debido a que I_r y V_r varían ambas como $\text{Sen } \omega t$ y alcanzan sus valores máximos al mismo tiempo, como se muestra en la figura se dice que están en fase. Las longitudes de las flechas corresponden a V_{\max} y I_{\max} . Las proyecciones de la flecha sobre el eje vertical dar I_r y V_r . En el caso de un circuito resistivo de un solo lazo, los fasores de corriente y tensión se encuentran a lo largo de una misma línea como en la figura, debido a que I_r y V_r están en fase.

Advierta que el valor de la Corriente sobre un ciclo es cero, es decir la corriente se mantiene en la dirección positiva durante el mismo tiempo y en la misma magnitud que se mantiene en la dirección negativa. Sin embargo la dirección de la corriente no tiene efecto en el comportamiento del resistor, esto puede

entenderse reconociendo que los choques entre los electrones y los átomos fijos del resistor, originan un aumento en la temperatura del resistor. A pesar de que este aumento de la temperatura en el resistor depende de la corriente pero a su vez es independiente de ella.

Este análisis se establece sobre bases cuantitativas recordando que la tasa en la cual la corriente se convierte en calor en un resistor es la potencia $P=I^2R$, donde I es la corriente instantánea en el resistor, puesto que el efecto de calentamiento de una corriente es proporcional al cuadrado de ella no existe diferencia si la corriente es directa o altera, si el signo es positivo o negativo. No obstante el calentamiento producido por una corriente alterna es proporcional a la corriente de pico de ella misma, por el contrario de una corriente continua ya que en esta el valor de corriente de pico no existe por ser una línea recta constante. Lo que es importante en un circuito de CA es un valor promedio de corriente referido como la corriente **rms** lo cual se refiere a la raíz cuadrada del valor promedio del cuadrado de la corriente. Ya que I^2 varia como $\text{sen}^2 \omega t$, de acuerdo con la expresión $I = I_{\text{max}} \text{sen} \omega t$.

$$I^2 = I_{\text{max}}^2 \text{sen}^2 \omega t$$

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.

6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.

6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

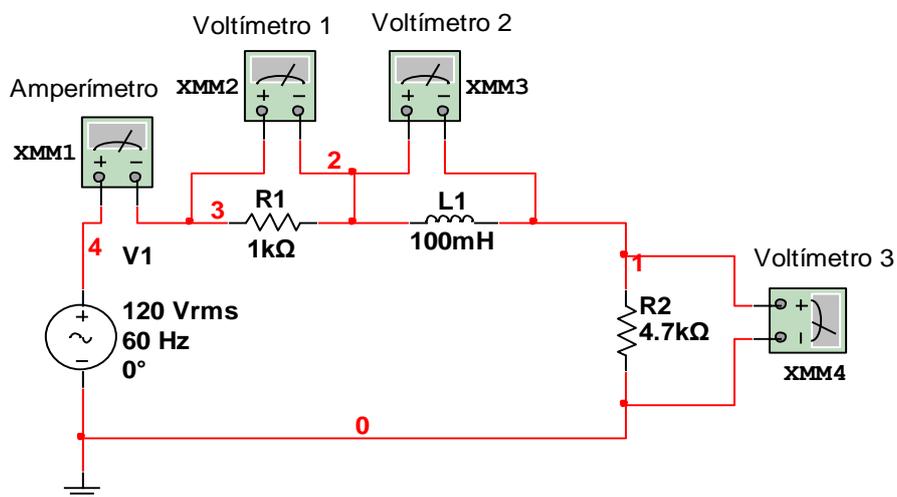
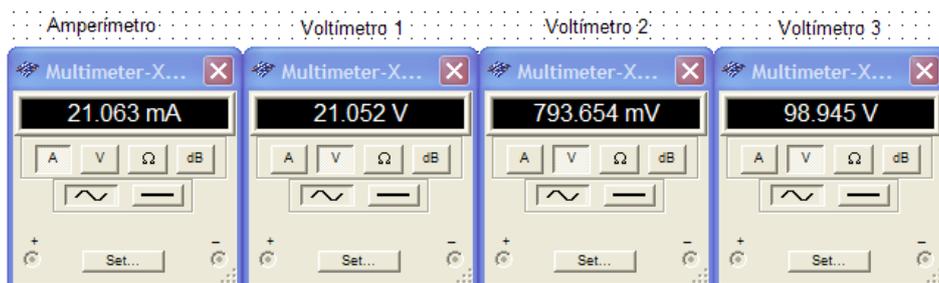


Figura 5.3. Esquema para medición de tensiones y corrientes.



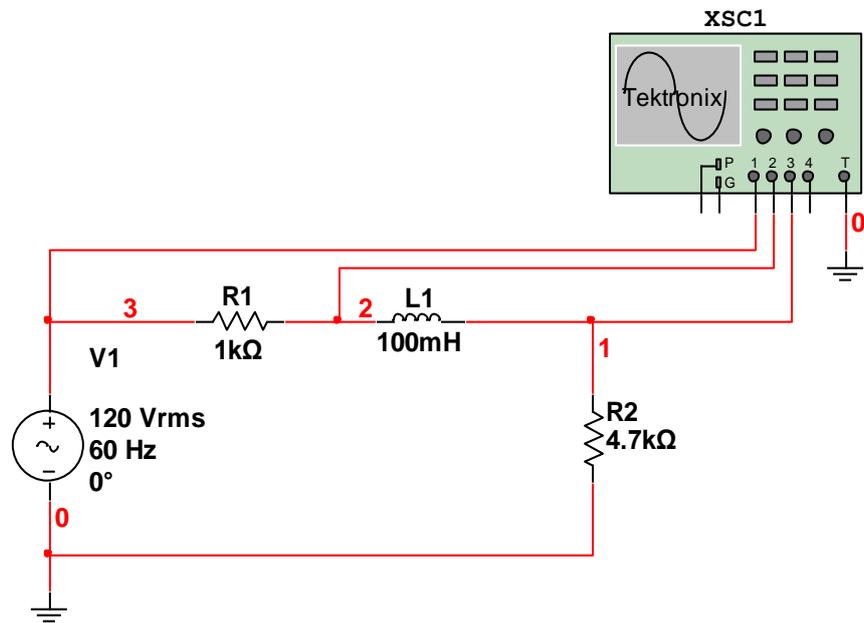
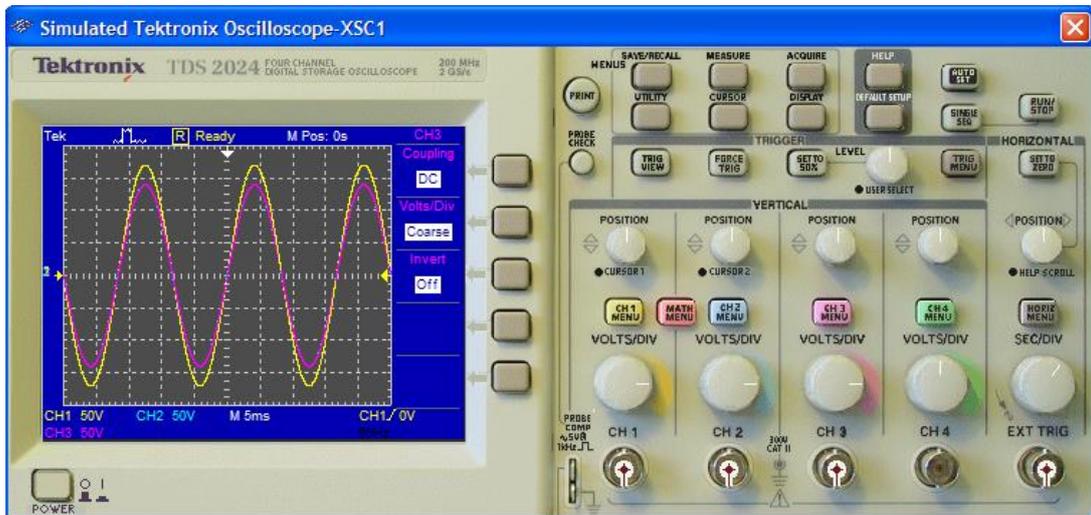


Figura 5.4. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 3

1. TEMA:

CIRCUITO RC ACOPLADA CON UNA CARGA FIJA.

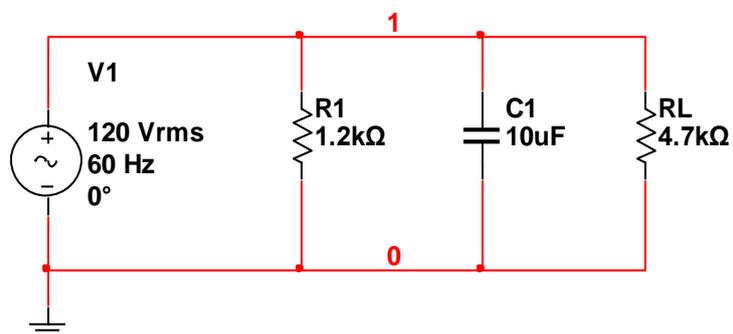
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RC en paralelo acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $1.2k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $10\mu F$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

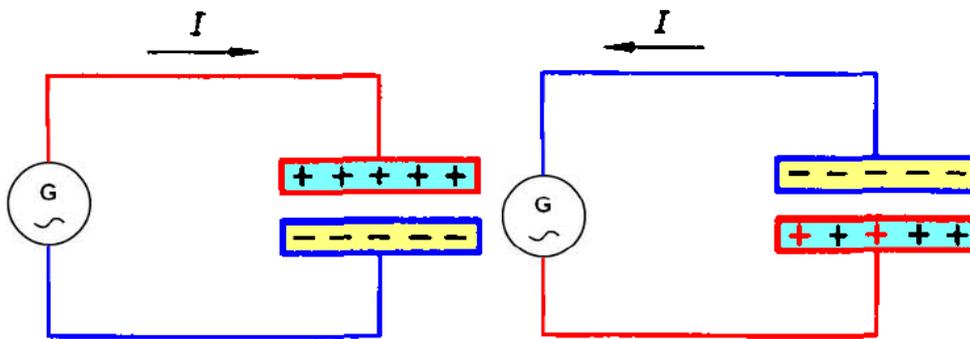
4. ESQUEMA:



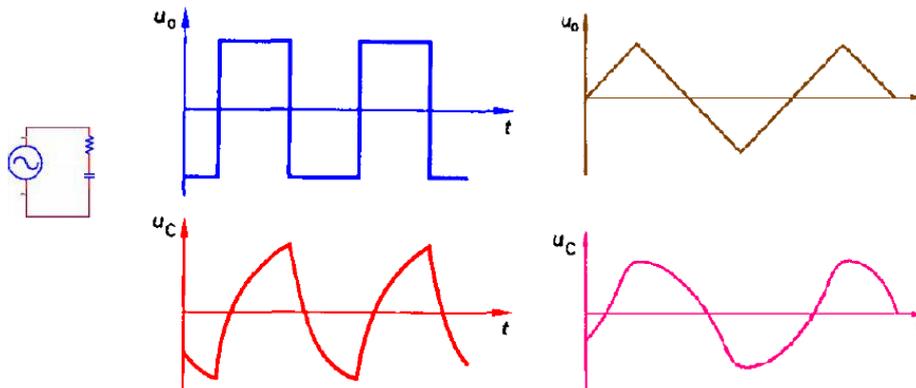
5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ El capacitor en CA

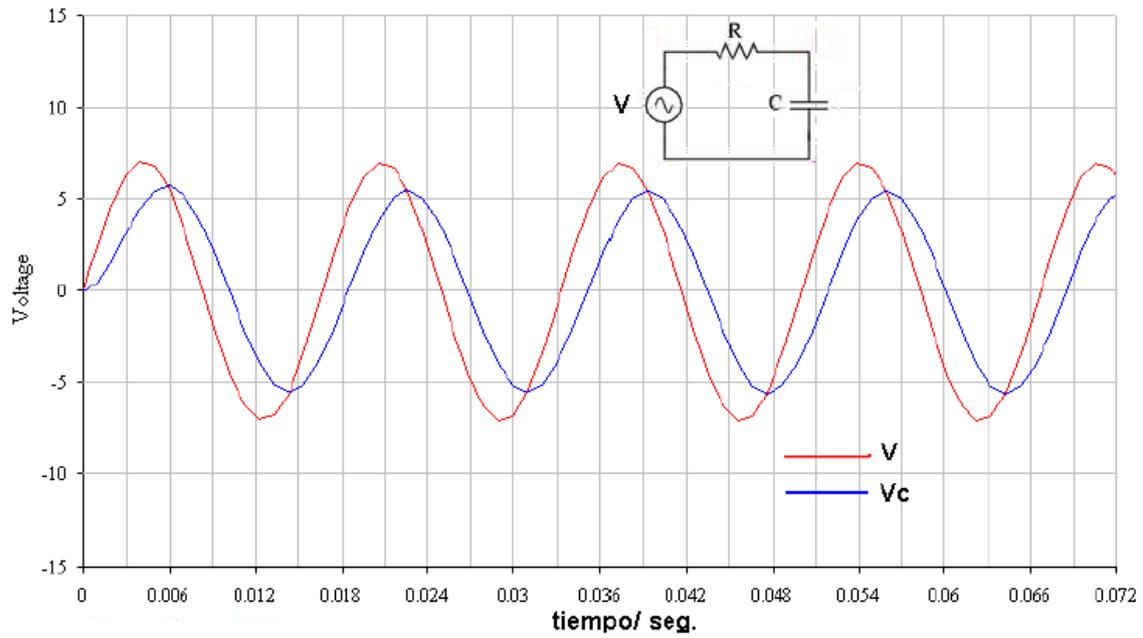
Si se conecta un capacitor a una fuente de corriente alterna las placas se cargan alternadamente.



La forma de la tensión de carga del capacitor depende de la forma de la tensión aplicada.

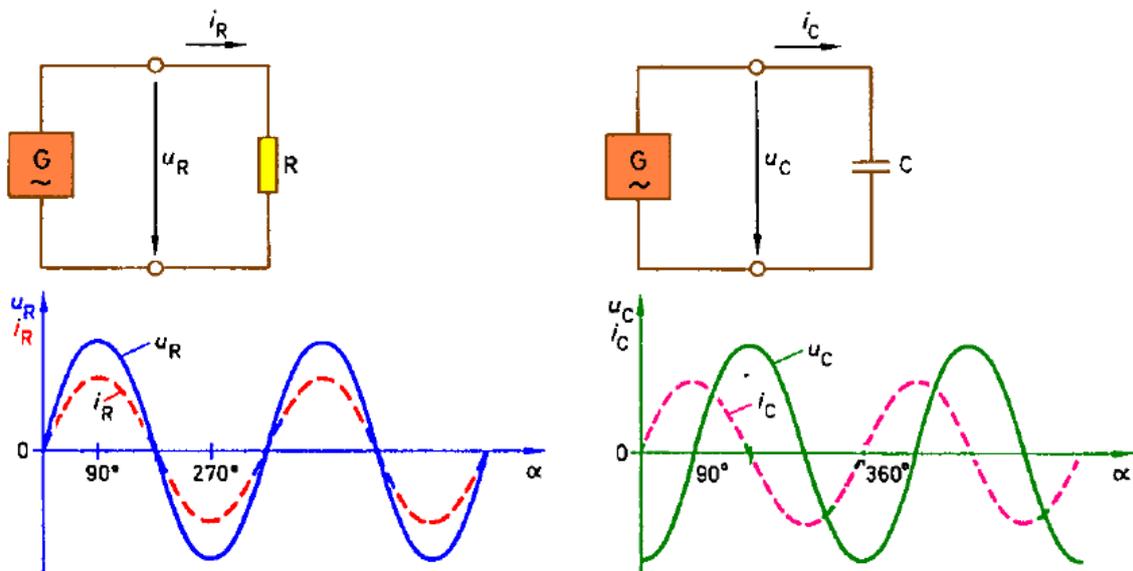


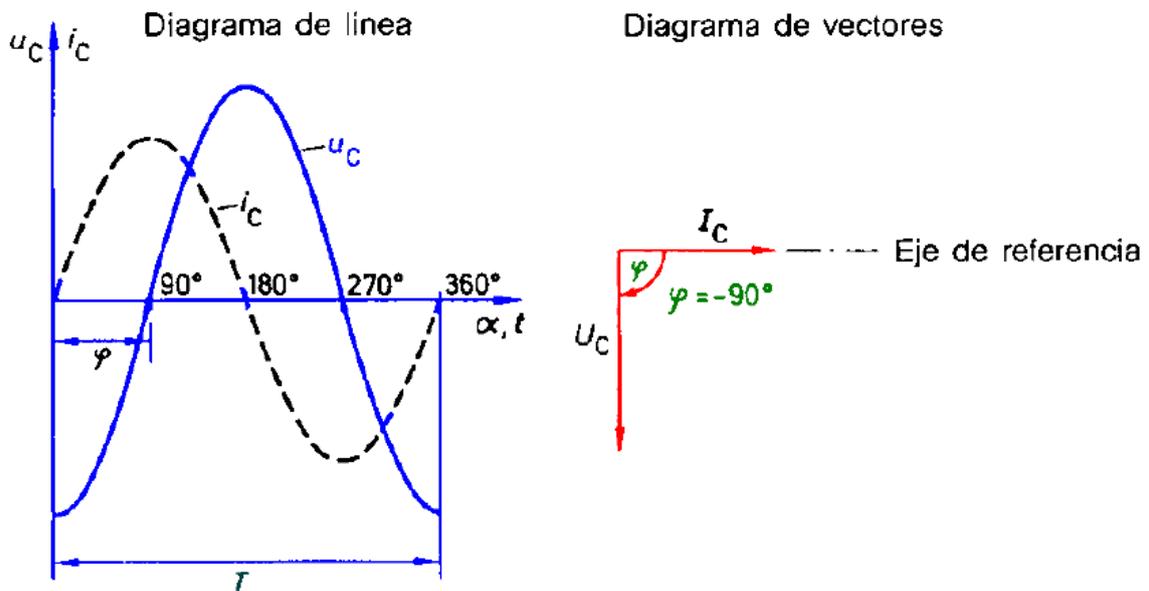
Con tensión senoidal la tensión en el capacitor mantiene la forma pero desfasada.



En un capacitor debido a la carga y descarga la corriente sufre un desplazamiento de fase.

La corriente en un capacitor se adelanta 90° con respecto a su tensión.





6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

- 6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.
- 6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.
- 6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.
- 6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.
- 6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

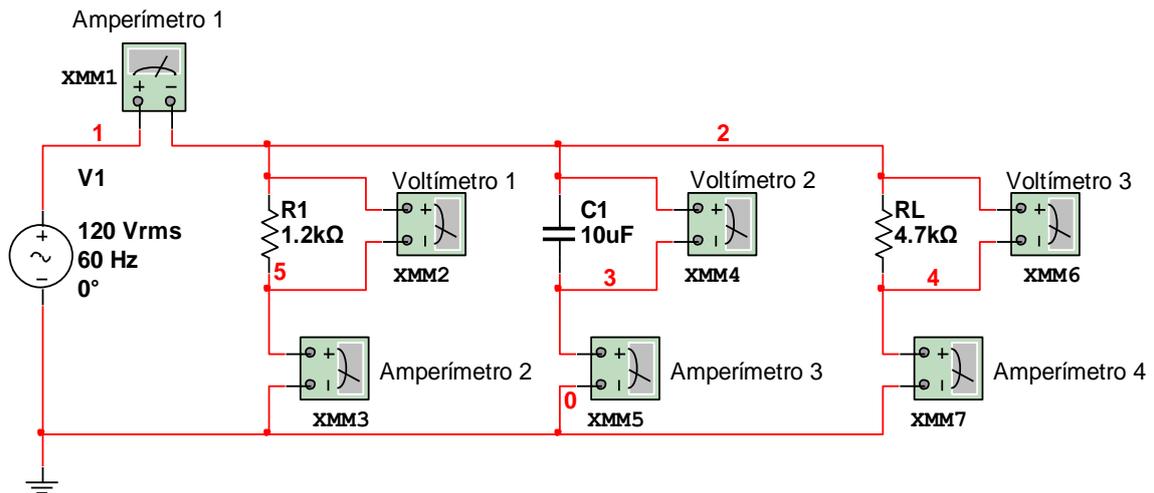
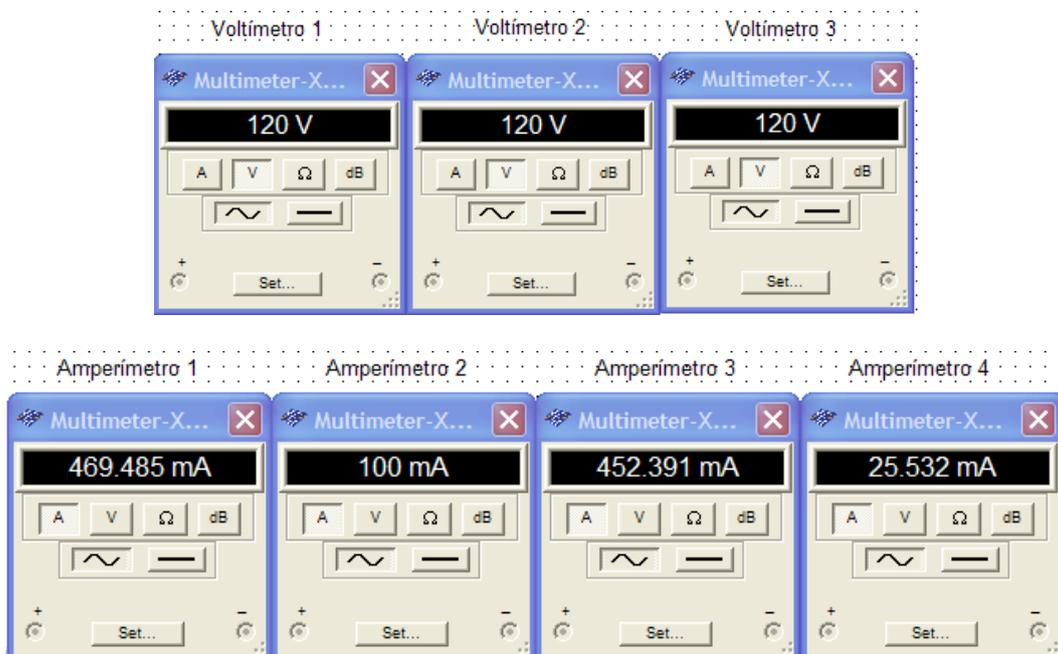


Figura 5.5. Esquema para medición de tensiones y corrientes.



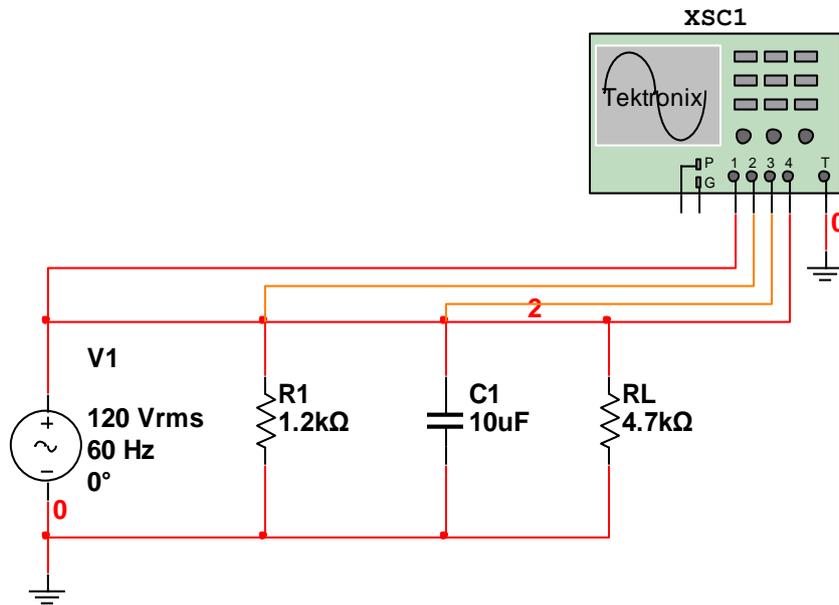
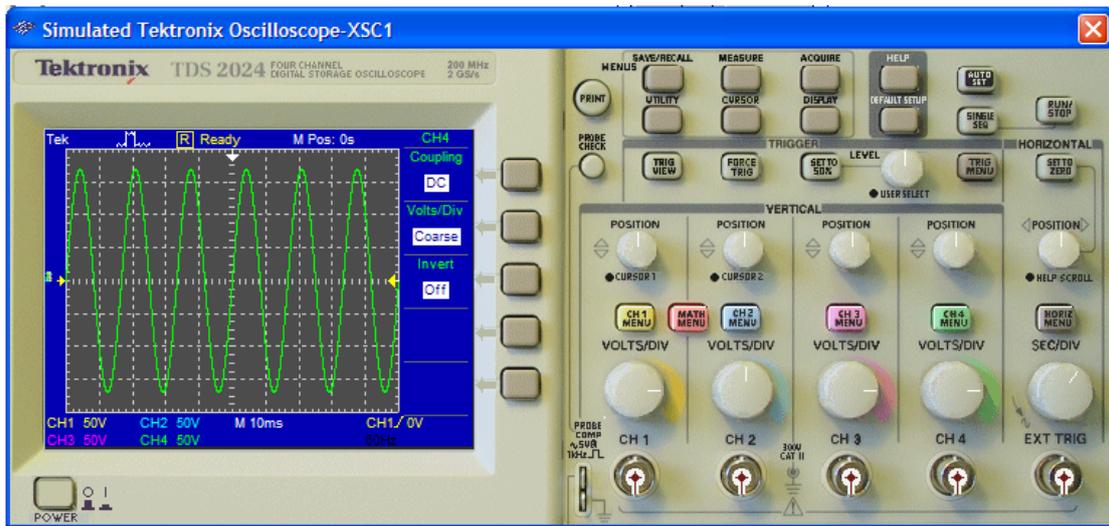


Figura 5.6. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 4

1. TEMA:

CIRCUITO RL ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

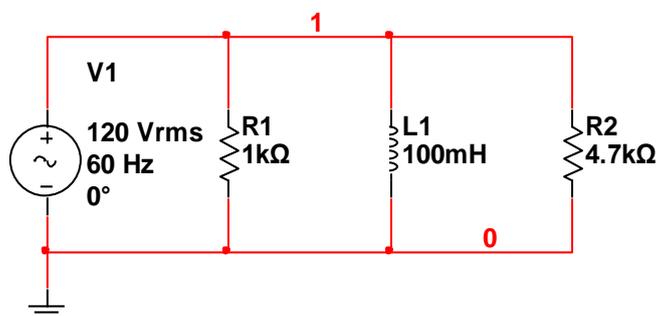
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RL en paralelo acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $1k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Inductor | $100mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Reactancia Capacitiva

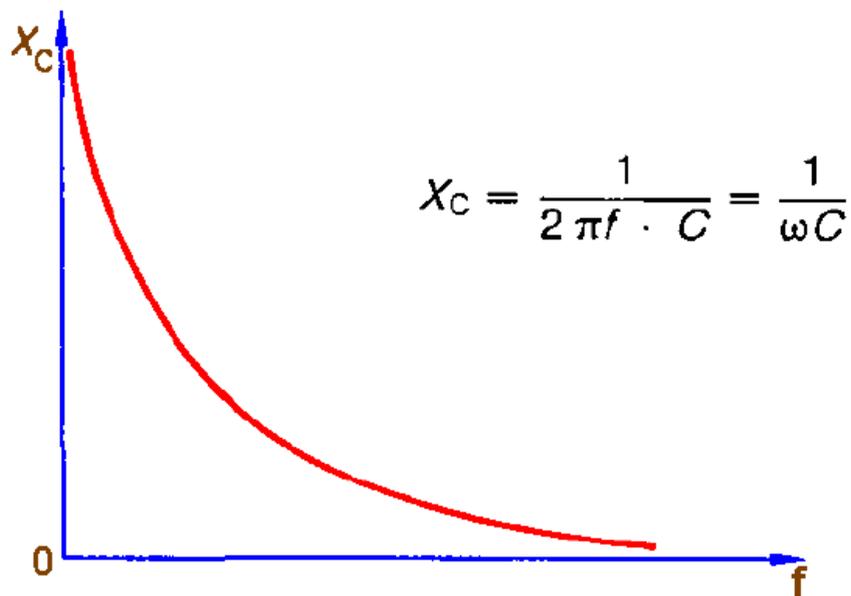
Si se aplica una tensión alterna senoidal a un capacitor, fluye corriente senoidal.

Entonces hay una relación entre la tensión y la corriente.

El capacitor actúa como si fuera una resistencia en corriente alterna llamada **reactancia capacitiva**.

La reactancia se mide en ohmios y su símbolo es **X_c**.

X_c depende del valor del capacitor y de la frecuencia de la tensión CA.



6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.

6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.

6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

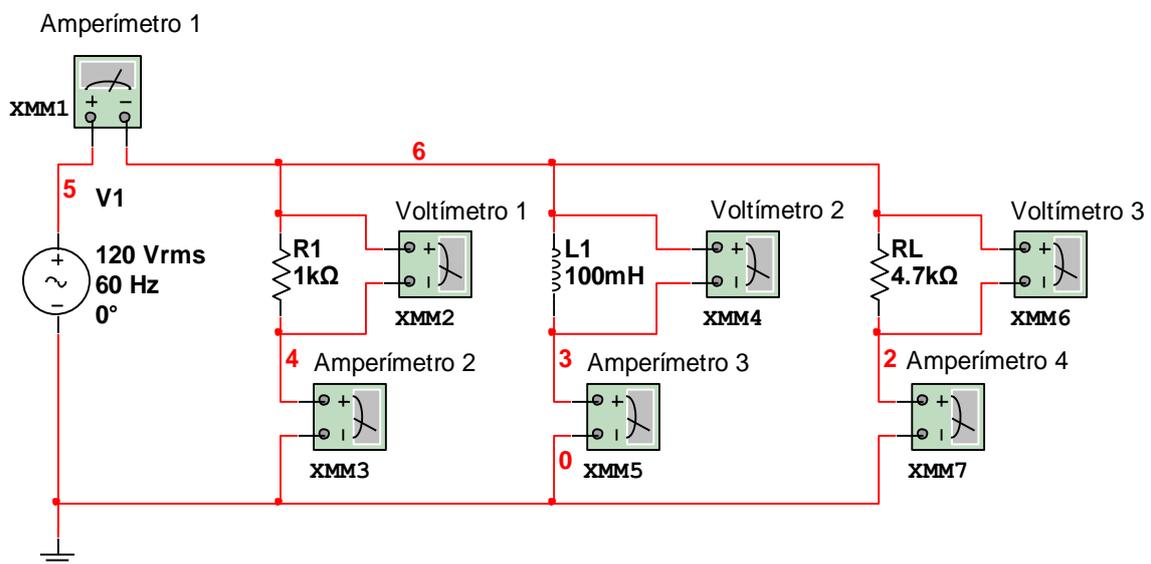


Figura 5.7. Esquema para medición de tensiones y corrientes.

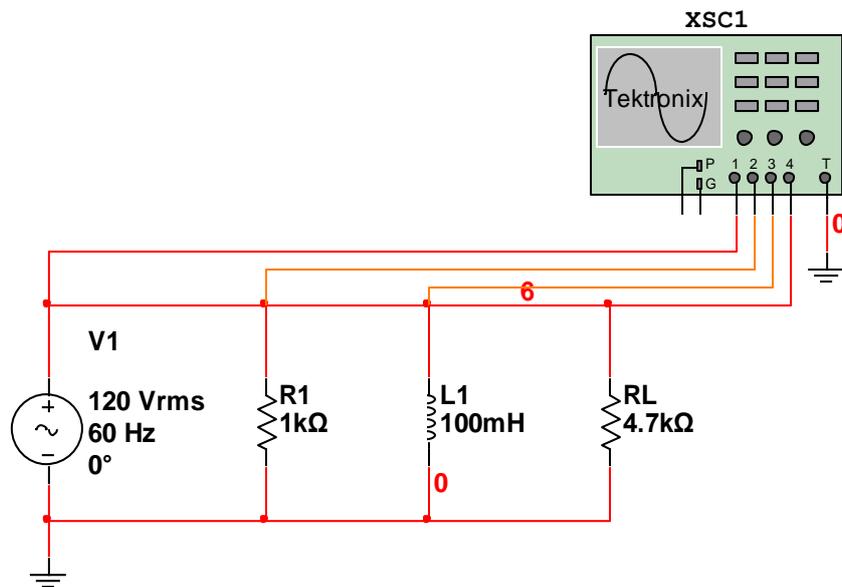


Figura 5.8. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 5

1. TEMA:

CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

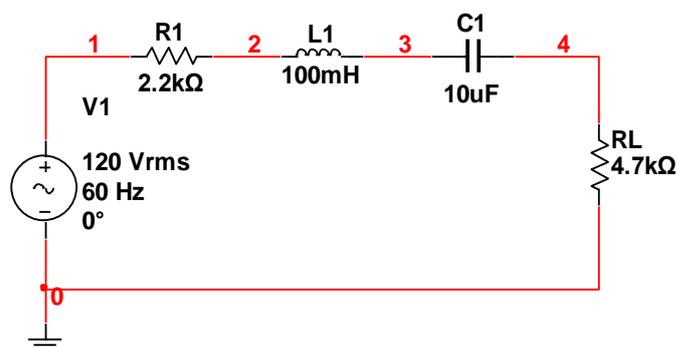
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RLC en serie acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $2,2k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $10\mu F$ |
| 1 | Inductor | $100mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:

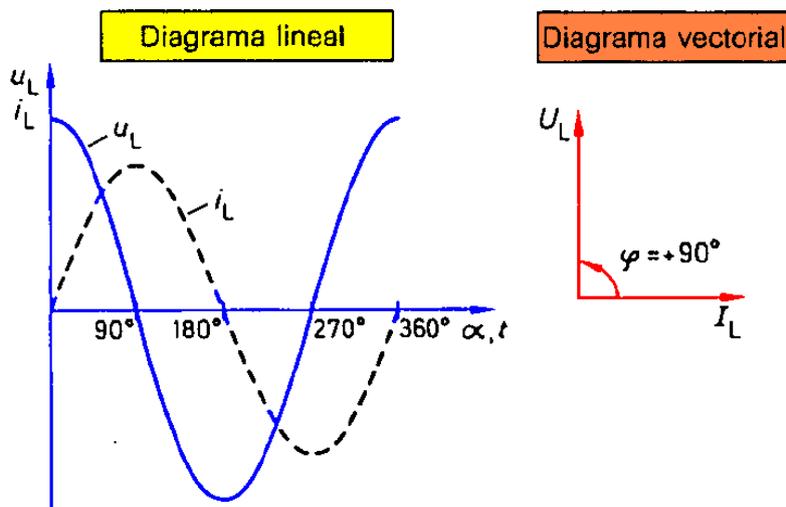
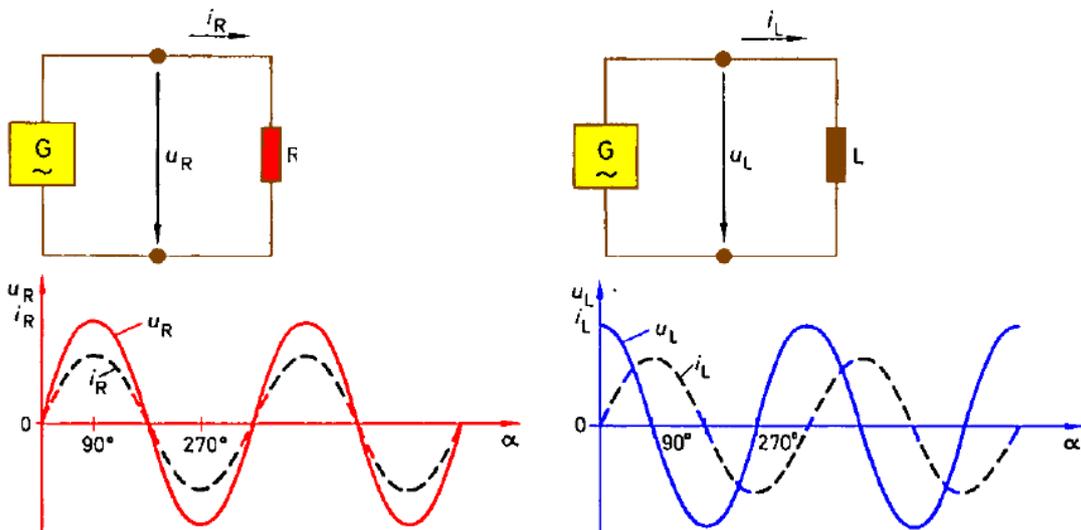


5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ La bobina en CA

Al igual que un capacitor al conectar la bobina a una tensión senoidal fluye corriente senoidal.

Esa corriente sufre un desplazamiento de fase en atraso con respecto a su tensión de 90° .



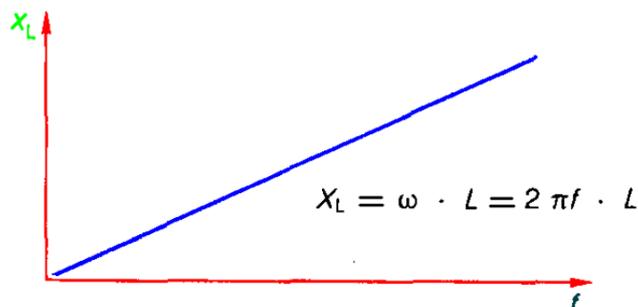
Reactancia Inductiva

Si se aplica una tensión alterna senoidal a una bobina, fluye corriente senoidal.

Entonces hay una relación entre la tensión y la corriente en la bobina

La bobina actúa como si fuera una resistencia en corriente alterna llamada **reactancia inductiva**.

La reactancia se mide en ohmios y su símbolo es **X_L**



6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

- 6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.
- 6.1.4. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.
- 6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.
- 6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.
- 6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.
- 6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.
- 6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

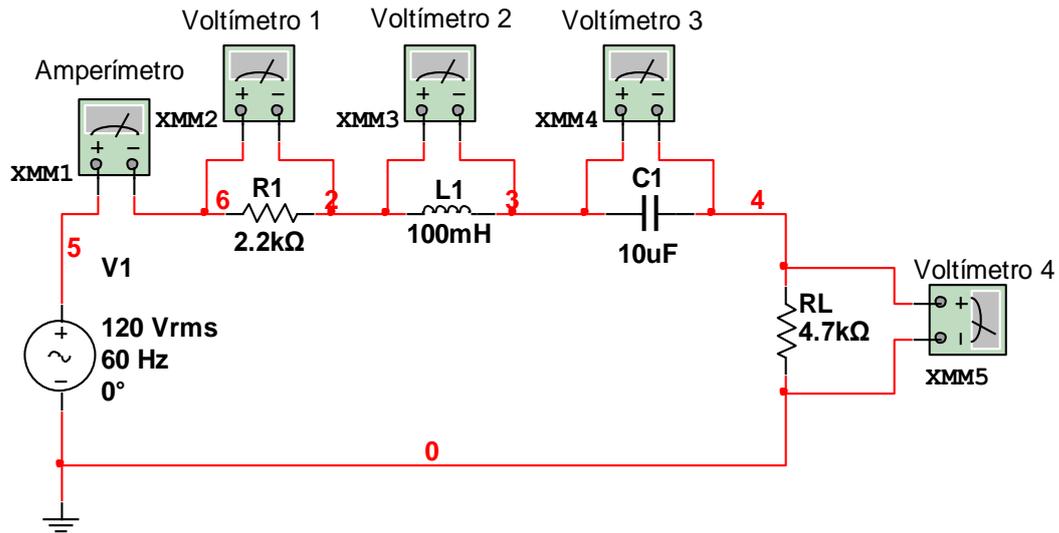
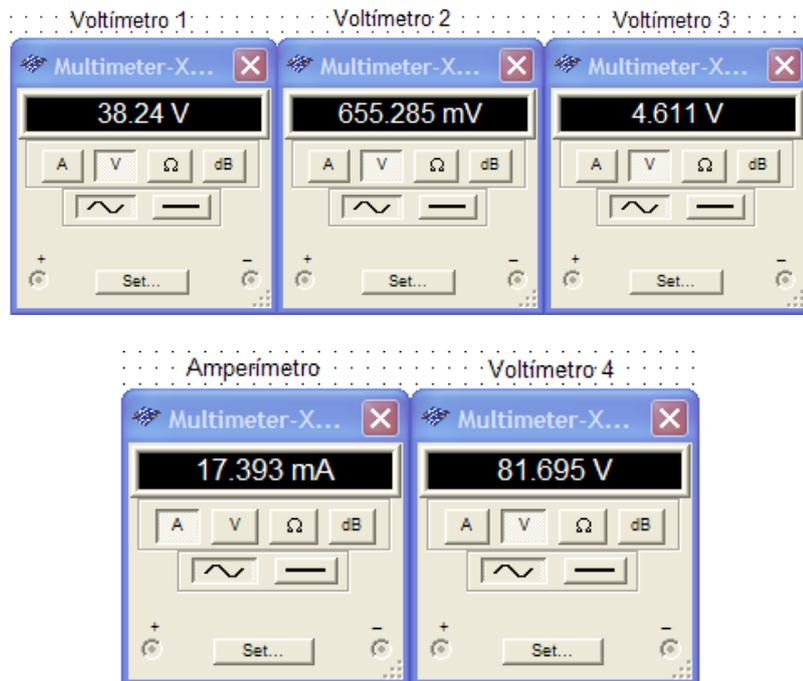


Figura 5.9. Esquema para medición de tensiones y corrientes.



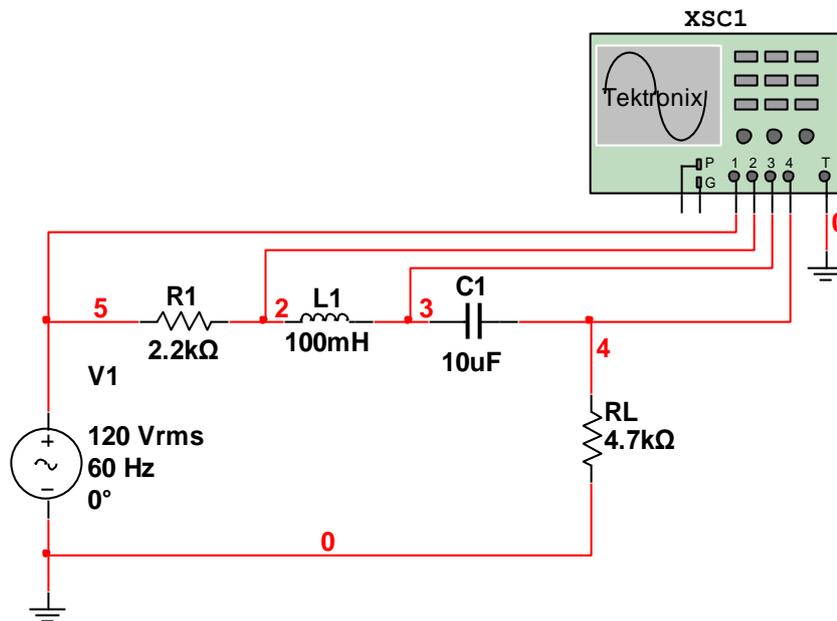
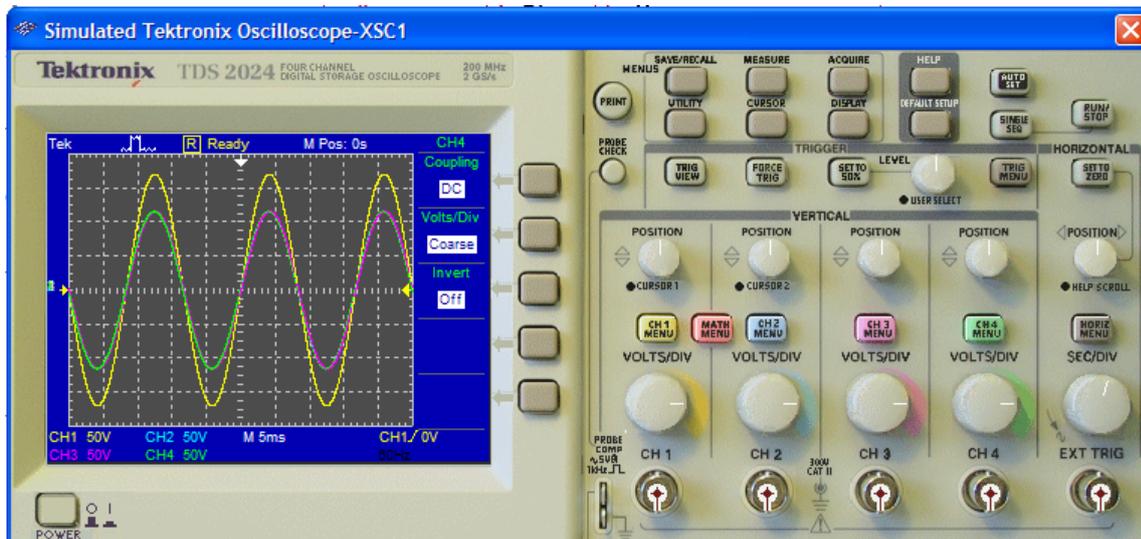


Figura 5.10. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 6

1. TEMA:

CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

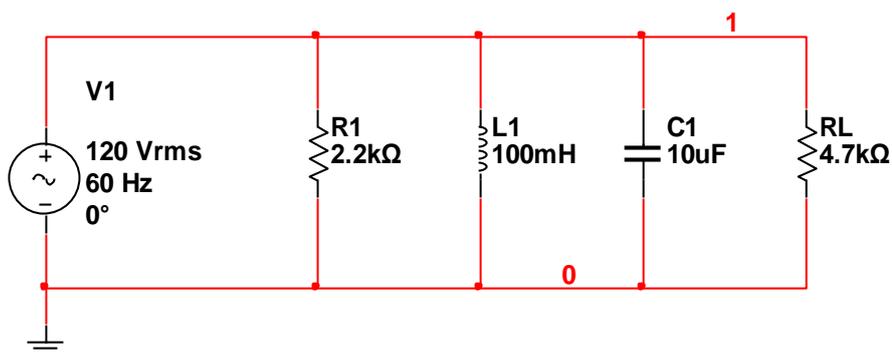
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RLC en paralelo acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $2,2k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $10\mu F$ |
| 1 | Inductor | $100mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Impedancia

Es la oposición al flujo de la corriente alterna debido a combinaciones de resistencias, capacitores y bobina. La impedancia se simboliza con una Z y se mide en ohmios. A diferencia de la resistencia, la impedancia incluye los efectos de acumulación y eliminación de carga (capacitancia) e/o inducción magnética (inductancia). Este efecto es apreciable al analizar la señal eléctrica implicada en el tiempo.

Es una magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, el tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico.

❖ Admitancia Y

Es la facilidad con que puede fluir la corriente alterna debido a combinaciones de resistencias, capacitores y bobina. La **admitancia** es el inverso de la impedancia:

$$Y = \frac{1}{Z} = y_c + jy_s$$

La conductancia y_c es la parte real de la admitancia y la Susceptancia y_s la parte imaginaria de la admitancia. La unidad de la admitancia, la conductancia y la Susceptancia es el siemens (símbolo **S**). Un siemens es el inverso de un ohmio.

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.

6.1.4. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

- 6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.
- 6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.
- 6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

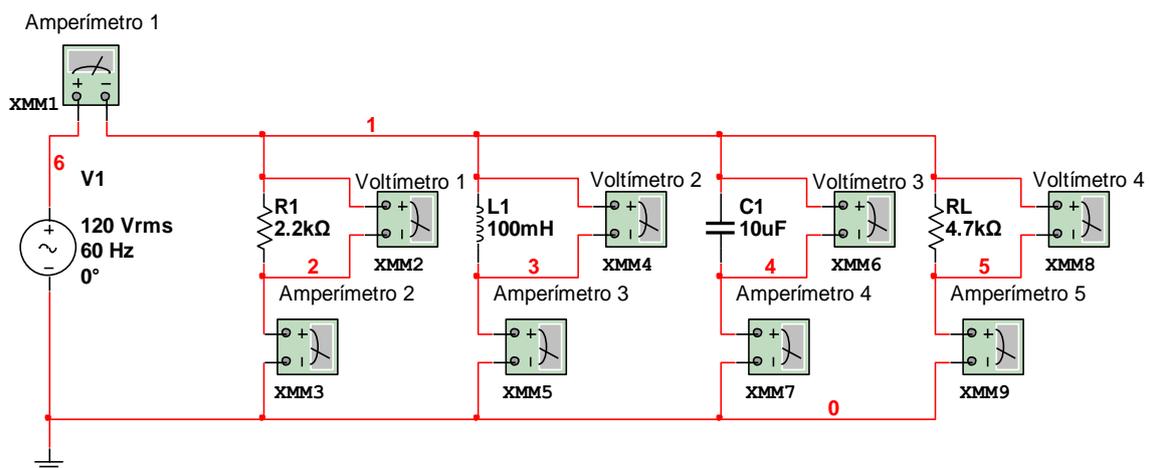
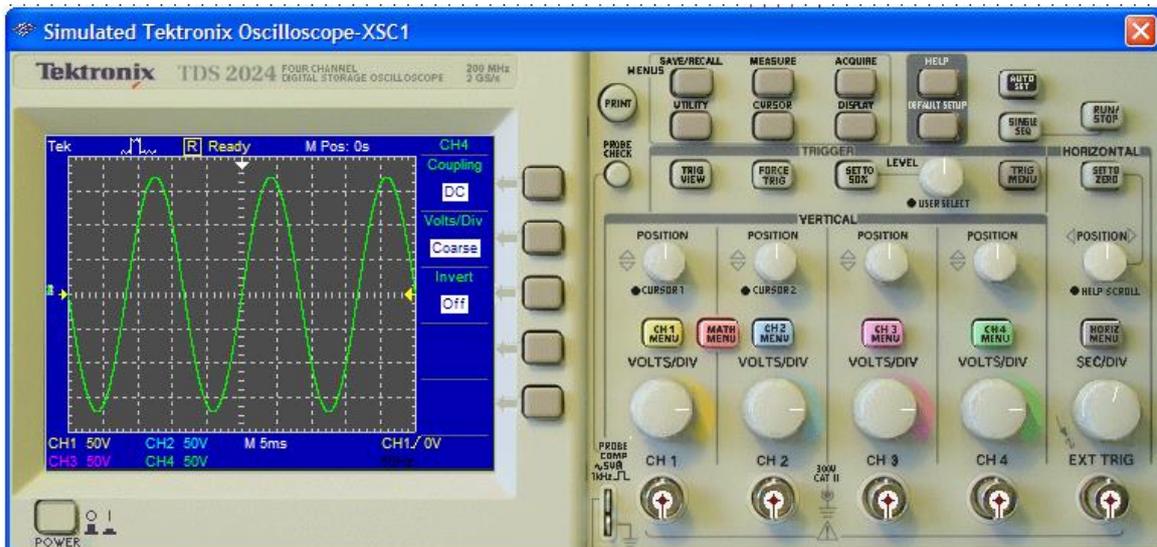
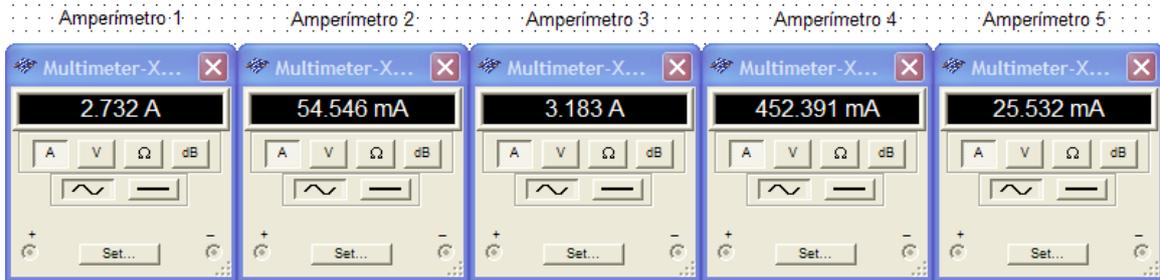
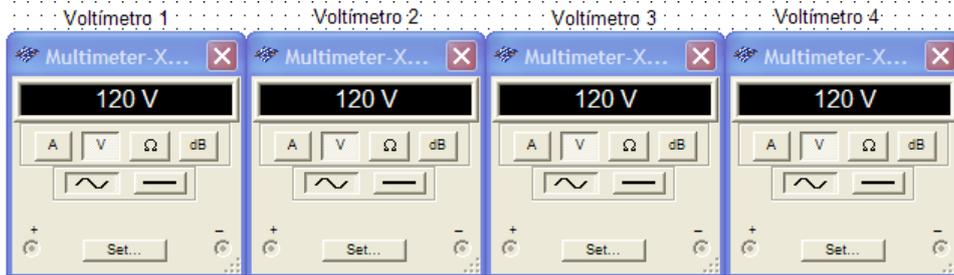


Figura 5.11. Esquema para medición de tensiones y corrientes.



PRÁCTICA 7

1. TEMA:

CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

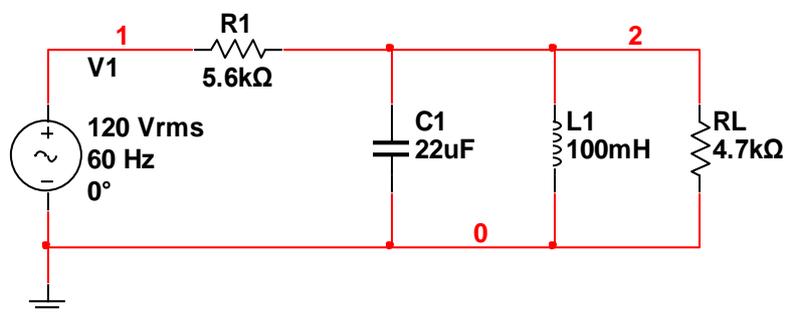
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RLC mixto acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $5,6k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $22\mu F$ |
| 1 | Inductor | $100mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Capacitores en serie

Un capacitor puede ser armado acoplando otros en serie y/o en paralelo. De esta manera se obtiene una capacidad total equivalente para el conjunto de capacitores que se puede calcular mediante expresiones simples. También es posible conocer las caídas de potencial y la carga almacenada en cada capacitor.

El acoplamiento de capacitores en serie se realiza conectando en una misma rama uno y otro capacitor, obteniendo una capacidad total entre el primer borne del primer capacitor y el último del último.

❖ Capacidad total en serie

La capacidad total (o equivalente) en serie se calcula sumando las inversas de cada una de las capacidades y calculando la inversa del resultado.

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

❖ Tensión de capacitores en serie

La suma de las caídas de tensión de cada capacitor da como resultado la tensión total aplicada entre los bornes A y B.

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

❖ Carga de capacitores en serie

La carga de cada uno de los capacitores de una rama en serie es igual a la de los demás y es igual a la carga equivalente acumulada en toda la rama (entre A y B).

$$q_t = q_1 = q_2 = q_3$$

A su vez, cada carga puede ser calculada como $q = C V$ de cada capacitor, con lo que:

$$\begin{aligned}q_1 &= C_1 V_1 \\q_2 &= C_2 V_2 \\q_3 &= C_3 V_3\end{aligned}$$

Y la carga total (q_t) que es igual a la carga sobre cualquier capacitor se puede calcular sobre el capacitor equivalente como:

$$q_t = C_e V_{AB}$$

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.

6.1.4. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

- 6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.
- 6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.
- 6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

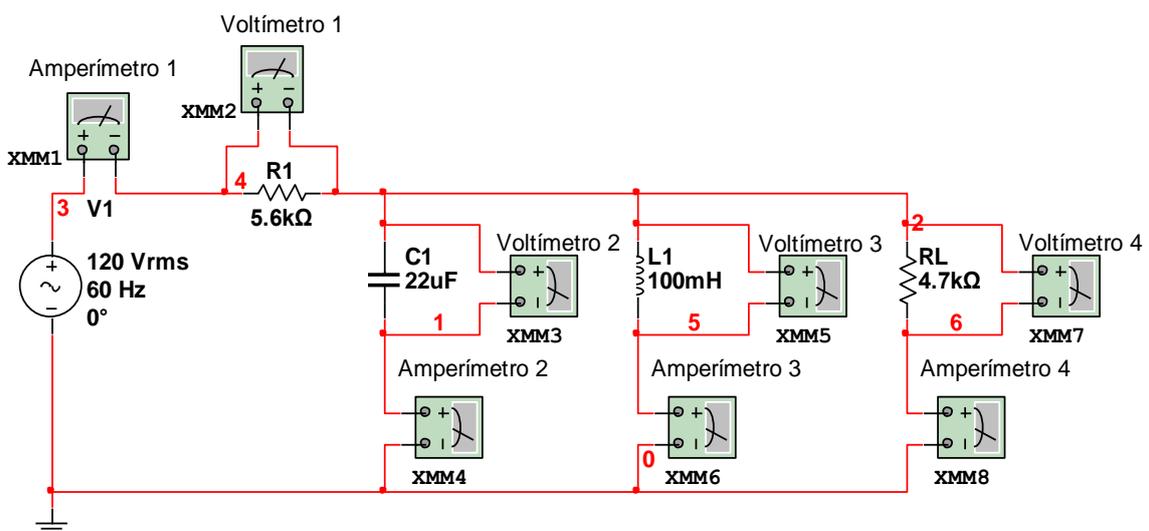


Figura 5.12. Esquema para medición de tensiones y corrientes.

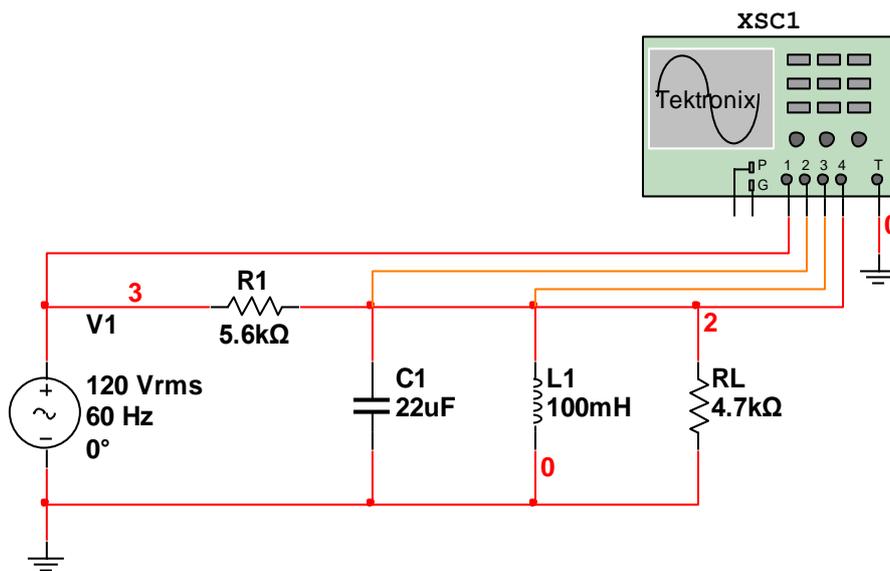
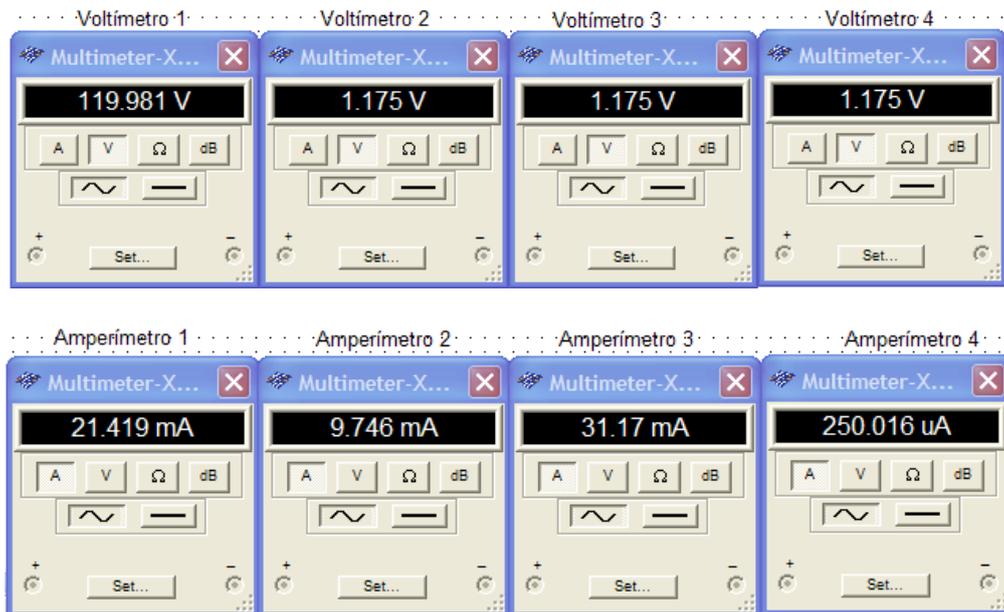
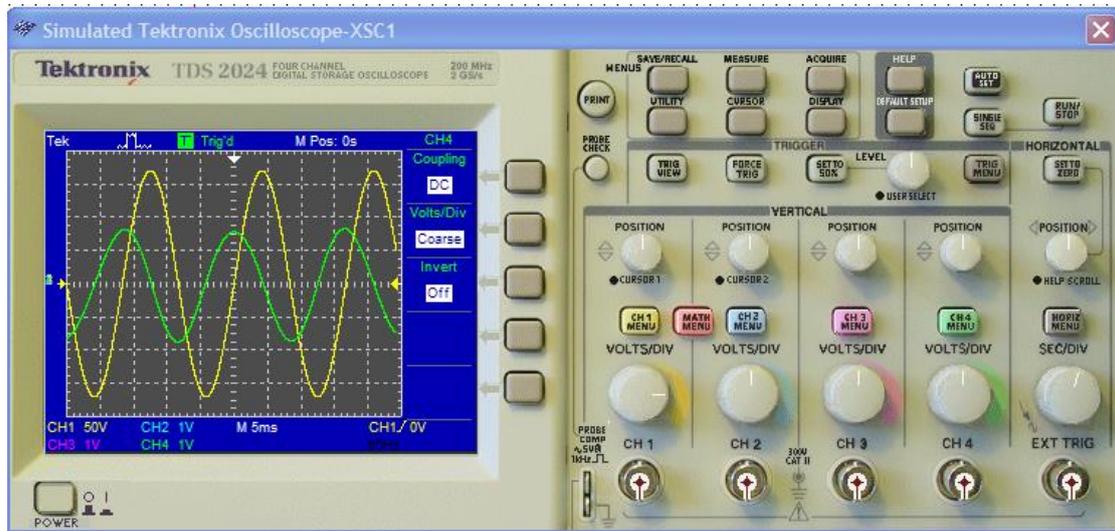


Figura 5.13. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 8

1. TEMA:

CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

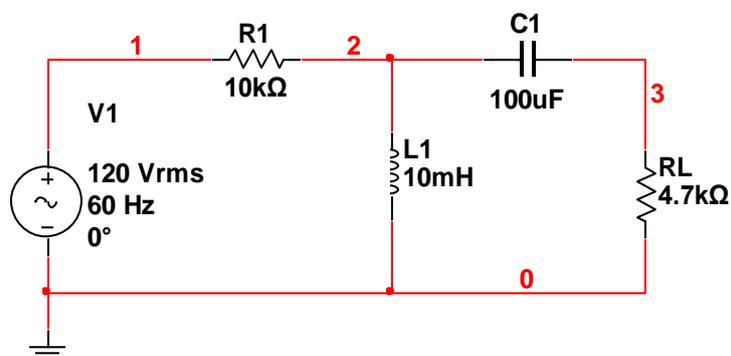
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RLC mixto acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $10k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $100\mu F$ |
| 1 | Inductor | $10mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

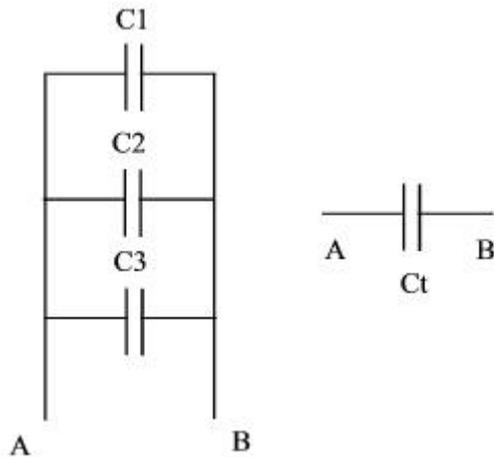
4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Capacitores en paralelo

El acoplamiento en paralelo de los capacitores se realiza conectándolos a todos a los mismos dos bornes.



❖ Capacidad total en paralelo

La capacidad total (o equivalente) en paralelo se calcula sumando las capacidades de cada uno de los capacitores.

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

❖ Tensión de capacitores en paralelo

Al estar unidos todos los capacitores por un mismo conductor, se encuentran todos a la misma diferencia de potencial (la de la tensión aplicada) por lo tanto la tensión de cada uno es igual a la de otro e igual a la total.

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3$$

❖ Carga de capacitores en paralelo

La carga total es igual a suma de las cargas almacenadas en cada capacitor.

$$q_t = q_1 + q_2 + q_3$$

Y cada carga puede calcularse como $q = C V$ de cada capacitor, pero en este caso V es la misma para todos, con lo que:

$$q_1 = C_1 V_1$$

$$q_2 = C_2 V_2$$

$$q_3 = C_3 V_3$$

De esta manera, al ser V la misma, puede verse que las cargas que almacena cada capacitor para una determinada tensión aplicada no son iguales si las capacidades son distintas.

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

- 6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.
- 6.1.4. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.
- 6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.
- 6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.
- 6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.
- 6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.
- 6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

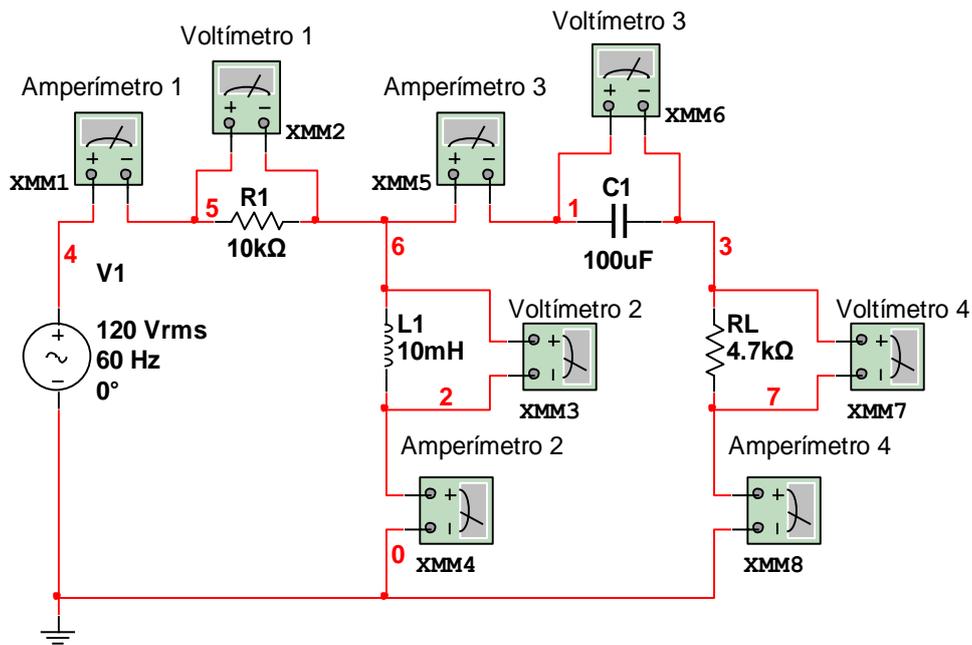
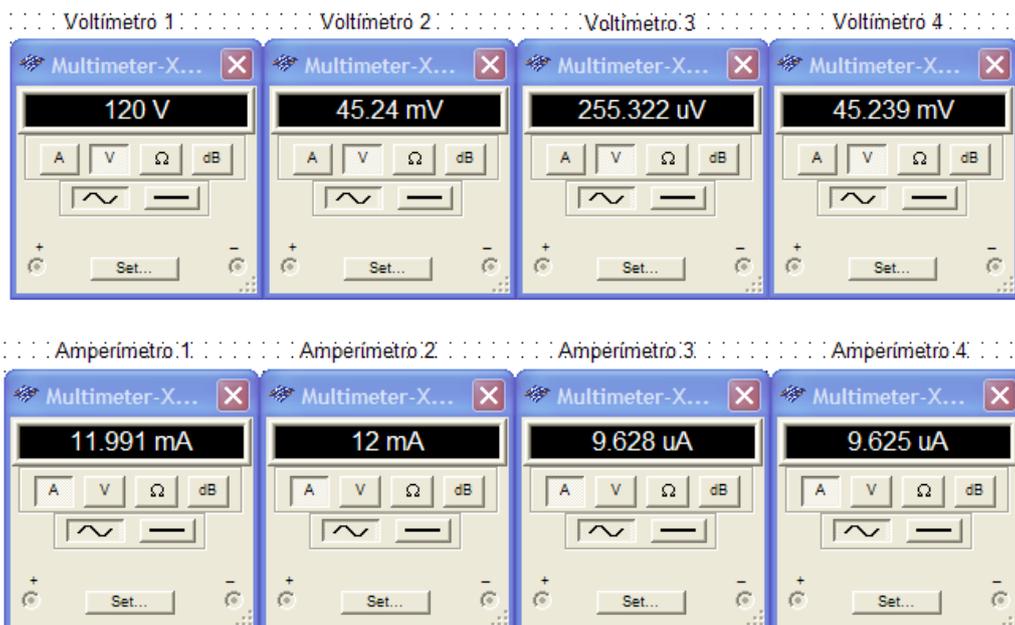


Figura 5.14. Esquema para medición de tensiones y corrientes.



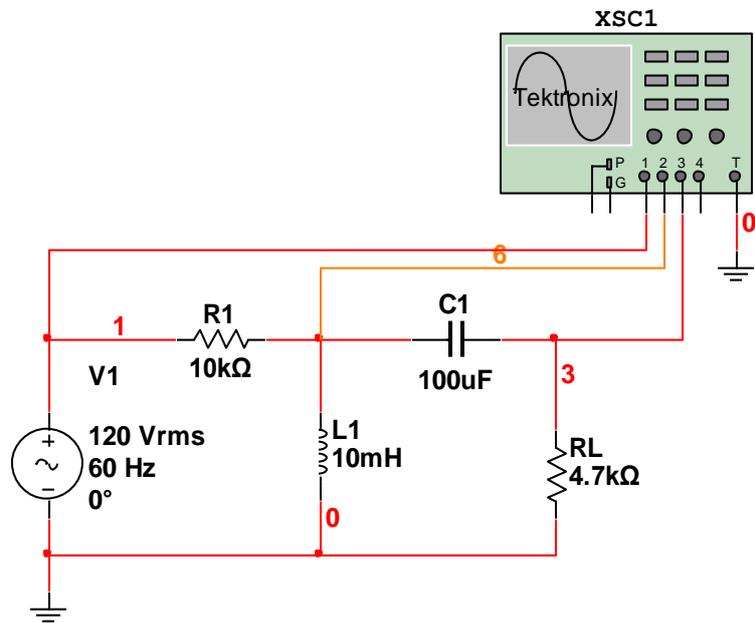
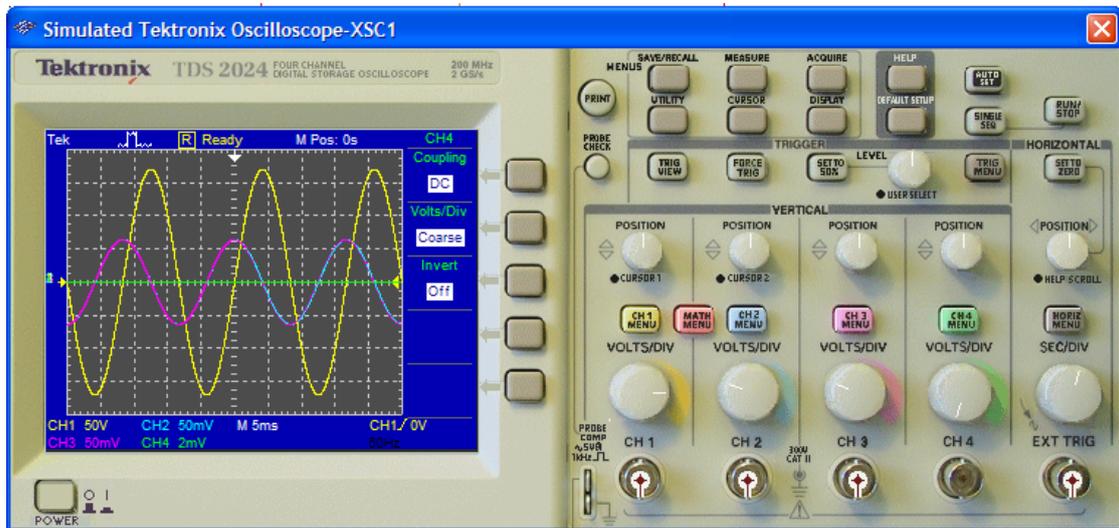


Figura 5.15. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 9

1. TEMA:

CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

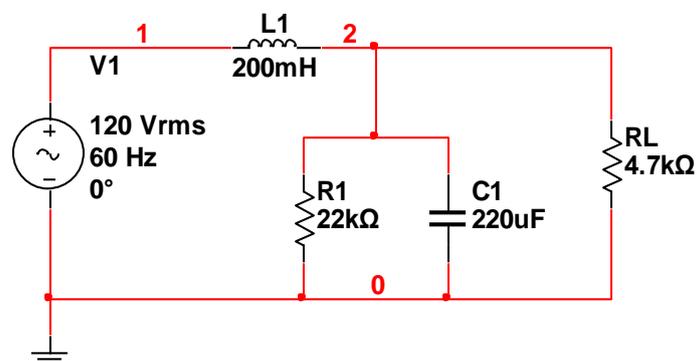
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RLC mixto acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $22k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $220\mu F$ |
| 1 | Inductor | $200mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



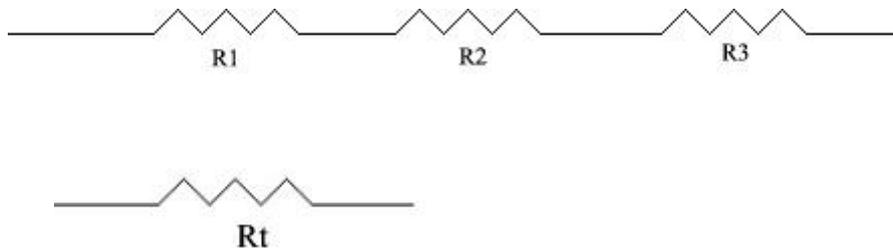
5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica es una propiedad que tienen los materiales de oponerse al paso de la corriente. Los conductores tienen baja resistencia eléctrica, mientras que en los aisladores este valor es alto. La resistencia eléctrica se mide en Ohm (Ω). El elemento circuital llamado resistencia se utiliza para ofrecer un determinado valor de resistencia dentro de un circuito.



❖ Resistencias en serie



❖ Resistencia total

La resistencia total es igual a la suma de cada una de las resistencias.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

❖ Corrientes y tensiones

La corriente por una rama en serie es la misma (por lo tanto es la misma para cada resistencia). La suma de las caídas de tensión en cada resistencia es igual a la tensión total aplicada a la rama.

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.

6.1.4. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.

6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.

6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Multisim queda de la siguiente forma:

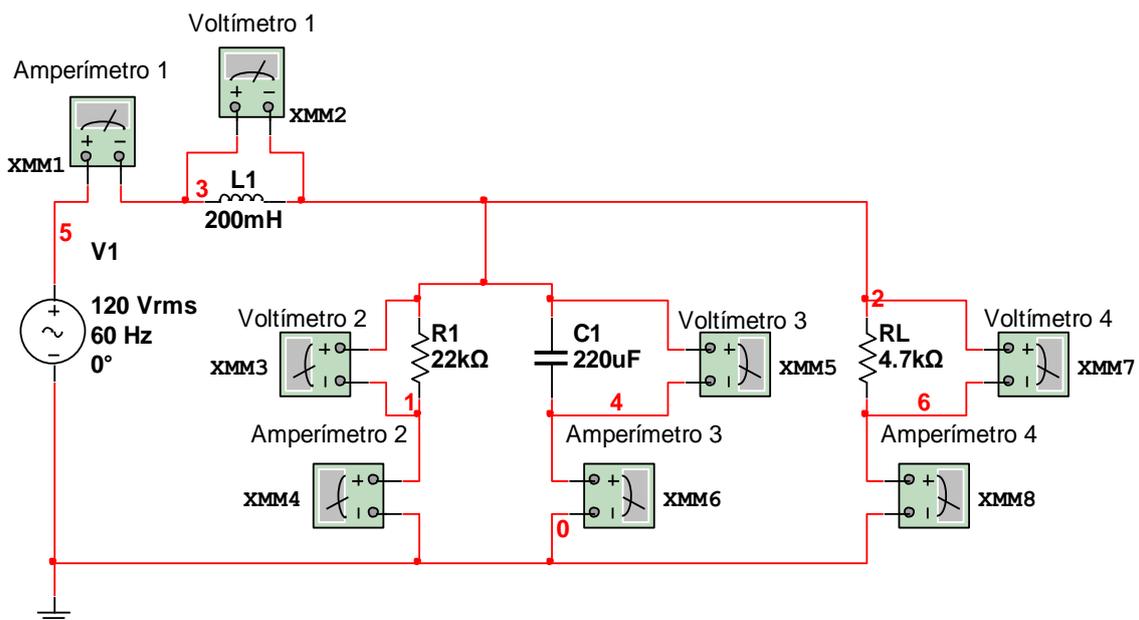


Figura 5.16. Esquema para medición de tensiones y corrientes.

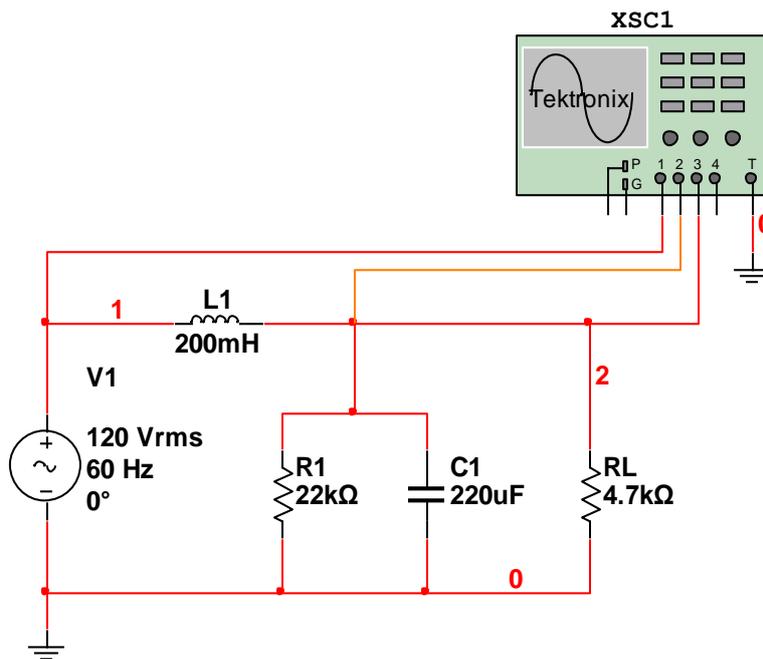
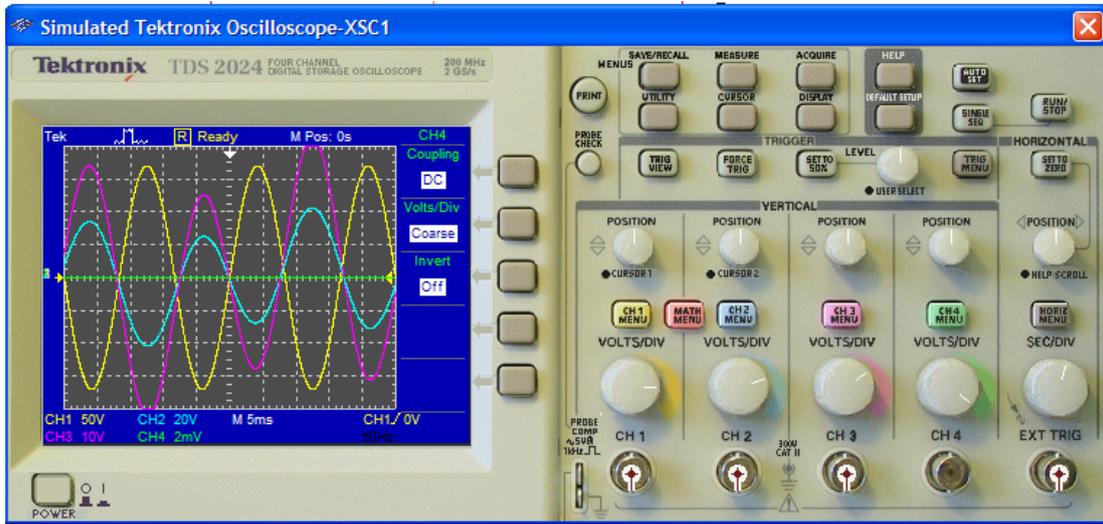


Figura 5.17. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



PRÁCTICA 10

1. TEMA:

CIRCUITO RLC ACOPLADO CON UNA CARGA FIJA.

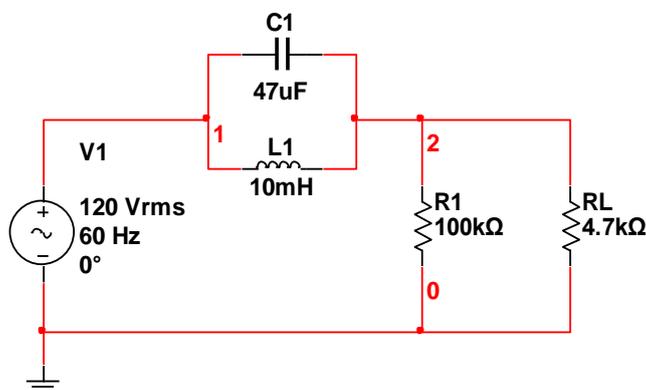
2. OBJETIVOS:

- Diseñar un circuito RLC mixto acoplado con una carga fija de $4,7k\Omega$.
- Medir las tensiones de cada dispositivo del circuito acoplado simulado.
- Medir las corrientes que circulan por cada elemento del dispositivo.
- Comprobar el funcionamiento del circuito.

3. MATERIALES:

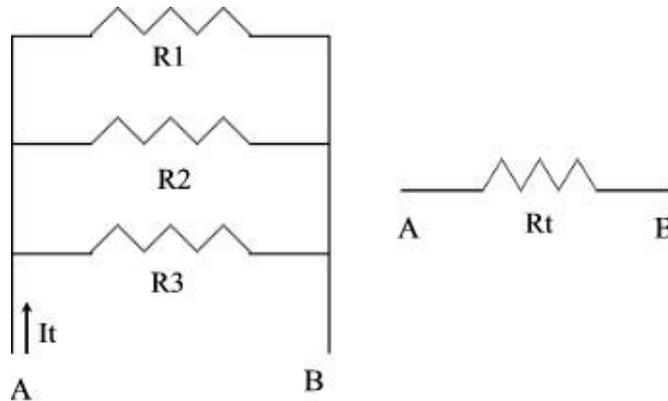
| Cantidad | Designación | Características |
|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Resistor | $100k\Omega$ |
| 1 | Carga (Ohmios) | $4,7k\Omega$ |
| 1 | Capacitor | $47\mu F$ |
| 1 | Inductor | $10mH$ |
| 1 | Multímetro | Amperímetro y Voltímetro |
| 1 | Fuente | Corriente Alterna |
| 1 | Osciloscopio | |

4. ESQUEMA:



5. SISTEMA CATEGORIAL:

❖ Resistencias en paralelo



❖ Resistencia total

La suma de las inversas de cada resistencia es igual a la inversa de la resistencia total.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

❖ Tensión en cada resistencia

Dado en que están unidas por un conductor, la tensión aplicada a cada resistencia es la misma que la aplicada entre A y B.

$$V_1 = V_2 = V_3$$

❖ Corriente por cada resistencia

La corriente se divide en cada nodo de tal forma que la suma de todas las corrientes en paralelo es igual a la corriente total.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

6. PROCEDIMIENTO:

6.1. Para armar el circuito de simulación utilizamos Multisim.

6.1.1. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **RESISTOR** y seleccionamos los resistores necesarios para el diseño del circuito.

6.1.2. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **CAPACITOR** ó **CAP_ELECTROLITIC** y seleccionamos capacitor con la denominación requerida por el circuito.

6.1.3. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Basic** de la barra de herramientas, luego clic en **INDUCTOR** y seleccionamos la inductancia necesaria.

6.1.4. En el buscador de Multisim hacemos clic en **Place Source** de la barra de herramientas, luego clic en **AC_POWER** y **GROUND**, los colocamos en la pantalla de simulación.

6.2. Interconectamos todos los componentes electrónicos y eléctricos del circuito según el diseño estructurado en el diseño de simulación, para poder ejecutar la simulación.

6.3. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Multimeter** y colocamos en la pantalla de simulación, los necesarios para medir las tensiones y corrientes en todos los elementos que constituyen el circuito.

6.4. En el buscador de Multisim, en la barra lateral derecha de herramientas, hacemos clic en el primer icono denominado **Tektronix Oscilloscope**, lo colocamos en la pantalla de simulación, y lo conectamos en las etapas del circuito en que deseemos comprobar si se desfasa o no.

6.5. Revisamos y rescatamos las mediciones de tensión y corriente, para verificar cualquier error de conexión o diseño, y comprobar el correcto desempeño del circuito.

6.6. Con el afán de obtener una mejor idea del comportamiento del circuito, comprobamos en el osciloscopio si existe algún desfase con respecto de la señal original.

7. DESARROLLO:

El circuito armado completamente y la simulación realizada en Proteus Profesional queda de la siguiente forma:

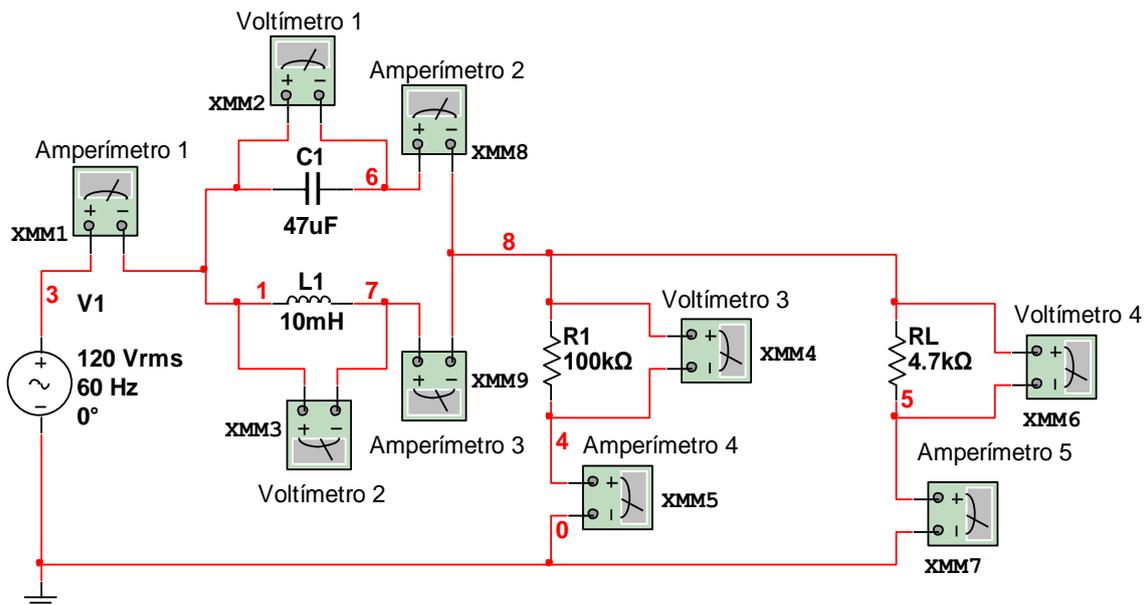


Figura 5.18. Esquema para medición de tensiones y corrientes.

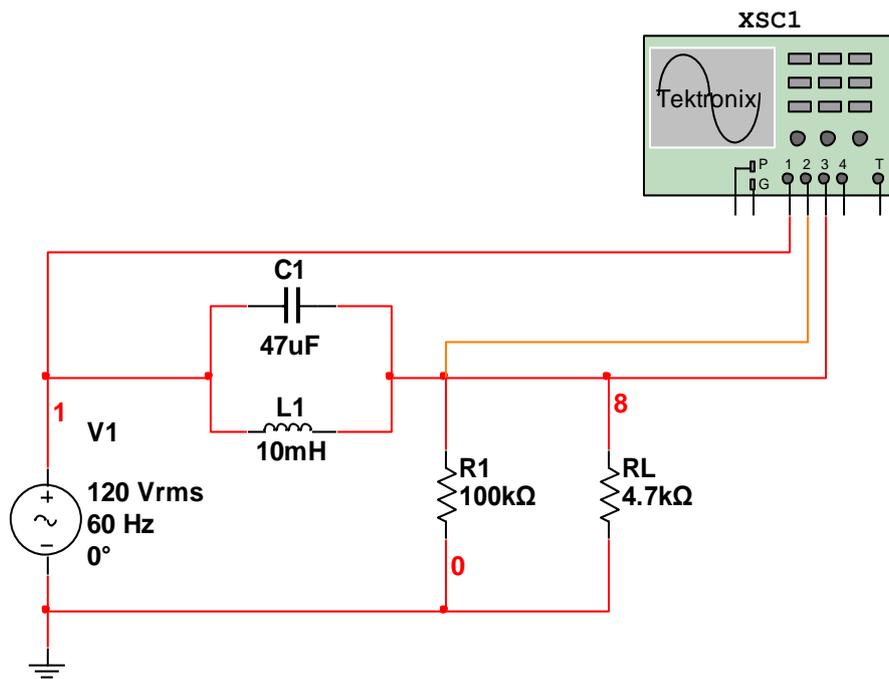
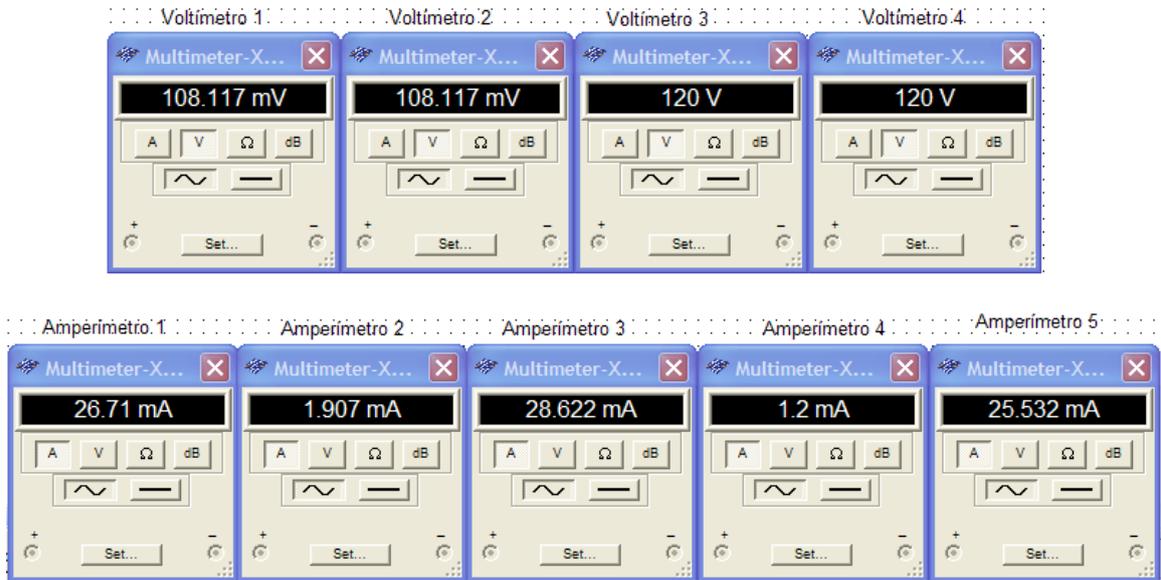
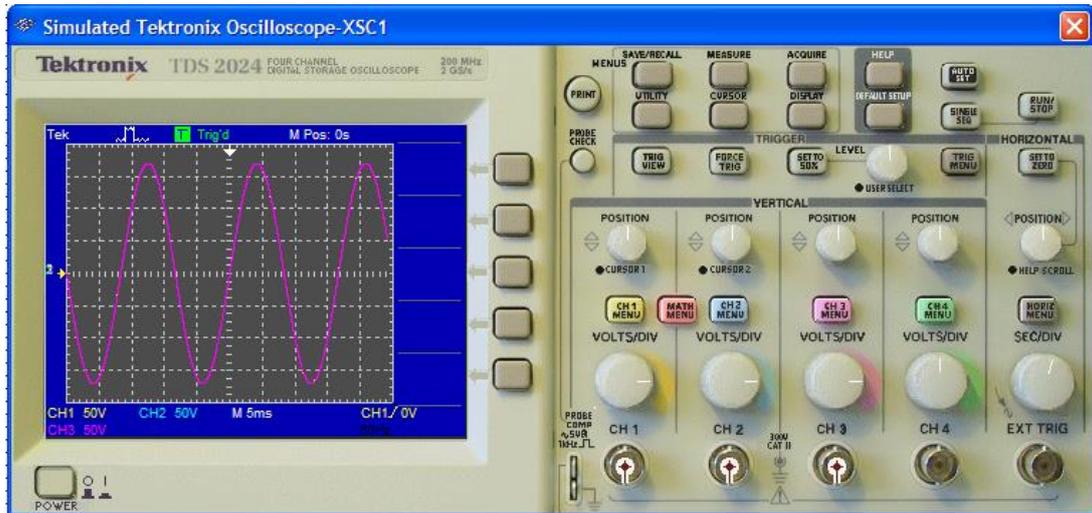


Figura 5.19. Esquema con osciloscopio para formas de onda.



VI. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES.

- ✓ Cuando se aplica un tensión alterno a una resistencia pura, circula a través de esta última una corriente alterna de la misma frecuencia y fase, tal y como se lo puede apreciar en las gráficas de los osciloscopios de los circuitos simulados.
- ✓ En corriente alterna, un condensador ideal ofrece una resistencia al paso de la corriente que recibe el nombre de reactancia capacitiva, y su valor está dado por la inversa del producto de la pulsación por la capacidad, C , del condensador.
- ✓ Es muy importante tener presente que un capacitor en corriente alterna, el tensión que aparece en los terminales del mismo está desfasado o corrido 90° hacia atrás con respecto a la corriente que lo atraviesa, tal y como se lo puede confirmar en las gráficas de los osciloscopios de los circuitos simulados.
- ✓ Se debe tener presente que el desfase entre la tensión y la corriente, en un condensador, se debe a que el capacitor se opone a los cambios bruscos de tensión entre sus terminales.
- ✓ En corriente alterna, una bobina ideal ofrece una resistencia al paso de la corriente eléctrica que recibe el nombre de reactancia inductiva, y la misma se encuentra dada por el producto de la pulsación por la inductancia.
- ✓ El Multisim es un programa (aplicación) que aproxima y acerca el diseño, análisis y verificación de los sistemas electrónicos (hardware) al

alumnado de una manera muy sencilla y rápida, al permitir editar, crear, implementar, montar y simular un circuito analógico, digital o mixto de manera virtual; siendo por lo tanto uno de los programas más difundidos en el diseño y simulación de circuitos y sistemas electrónicos.

- ✓ Multisim cuenta con una amplia variedad de análisis avanzados de SPICE que ayudan a obtener información valiosa sobre el comportamiento de un circuito como por ejemplo, la respuesta en frecuencia, cómo afectan las tolerancias de los componentes, entre otros.
- ✓ Además de presentar los resultados, la ventana **Grapher View** de Multisim, permite realizar mediciones exactas mediante el uso de cursores así como configurar y exportar los resultados obtenidos.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. RECOMENDACIONES.

- ✓ Es muy importante que al momento de realizar el diseño de un circuito, previamente se revise todo el conocimiento teórico, para evitarse complicaciones, además de resultados extraños y difíciles de interpretar.
- ✓ Multisim es un software relativamente sencillo de manipular, pero se debe tener presente que ninguna simulación del diagrama de un circuito representado en él se ejecuta si antes no se tiene una referencia a tierra.
- ✓ Muy importante también es tener presente que los valores de los Resistores, Inductores y capacitores, deben ser comerciales, para poder posteriormente implementar y verificar el comportamiento real de dicho circuito.
- ✓ Todos los circuitos diseñados en corriente alterna, se deben de analizar minuciosamente cómo se comportan en fase y frecuencia, porque de esto depende principalmente el buen desempeño del circuito, muy aparte de los valores de tensión y corriente que por cada elemento circula.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1. BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS

- [1].A. Administer, Joseph (1994). “Circuitos Eléctricos”. 2ª Edición Editorial McGraw-Hill, México.
- [2].A. H. Robbins & W. C. Miller. “Análisis de Circuitos” - 4ta Edición.
- [3].Grob, Bernard (1983). “Circuitos Electrónicos y Sus Aplicaciones”. Editorial MacGraw-Hill, México.
- [4].Irwin J., David (1997). “Análisis Básico De Circuitos en Ingeniería”. 5ta Edición Editorial Prentice Hall, México.
- [5].L. Boylestad, Robert (1998). “Análisis Introductorio de Circuitos”. 8ª Edición Editorial Trillas, México.
- [6].STANLEY, Wolf Y Otros (1992). “Guía Para Practicas de Laboratorio”. Editorial Prentice Hall, México.
- [7].William H. Hayt, Jr – Jack E. Kemmerly – Steven M. Durbin. “Análisis de circuitos en ingeniería”, 7ma ed.

PÁGINAS WEB DE INTERÉS

- [8].Análisis y resolución de un circuito R-L-C serie en corriente alterna.
Disponible en:
<http://aprobarfacil.com/2013/02/11/analisis-y-resolucion-de-un-circuito-r-l-c-serie-en-corriente-alterna/>
- [9].Circuito Rc, Rl, Rlc. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/17346954/Circuito-RcRlRlc>

- [10]. Análisis de circuitos de corriente alterna. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_circuitos_de_corriente_alterna
- [11]. Análisis de circuitos RLC en corriente alterna monofásica.
Disponible en:
http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/2_anio/electrotecnica1/trabajos_practicos/TP2.pdf
- [12]. Análisis de circuitos de corriente alterna. Disponible en:
<http://www.iesantoniodebrija.es/tecnologia/images/stories/Apuntes%20alterna.pdf>
- [13]. Circuitos eléctricos paralelos RLC en Corriente Alterna. Disponible en:
<http://lcr.uns.edu.ar/fvc/images/FVC-BeteluGonzalo.pdf>
- [14]. Principios de análisis de circuitos eléctricos. Disponible en:
<http://www.uco.es/~el1bumad/docencia/oopp/tema1.pdf>

IX. ANEXOS

9.1. ANEXO A

PROYECTO