

INGENIERÍA ELÉCTRICA

NOVENO SEMESTRE

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“SISTEMA DIDÁCTICO DE MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UNA FUENTE TRIFÁSICA USANDO LABVIEW, PARA SU APLICACIÓN EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA”**

**RESIDENTES:**

*Luis Aaron Aguilar Zebadua*

**NUMERO DE CONTROL:**

10270548

*José Alberto Coello Penagos*

**NUMERO DE CONTROL:**

10270556

**Agosto-Diciembre 2014**

**ASESOR INTERNO:**

M. en C. Aldo Esteban Aguilar Castillejos

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Diciembre del 2014**

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## INDICE

### CAPITULO I

1.1-Introducción .....	4
1.2 Problemática.....	5
1.3.-Antecedentes.....	6
1.4 Justificación .....	9
1.5 Objetivos .....	10
1.6 Alcances y Limitaciones.....	10

### CAPITULO II

2.1 Caracterización Del Área En Que Se Participó .....	11
2.1.1 Antecedentes de la Empresa.....	11
2.1.2 Organigrama del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez .....	12
2.1.3 Misión, Visión y Valores .....	13
2.1.4 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto.....	13

### CAPITULO III

3.1 Fundamento Teórico .....	14
3.1.1 Fuentes de alimentación .....	14
3.1.2.-Tipos de Fuentes .....	17
3.1.3 Generación de un Voltaje Alterno.....	18
3.1.4.- Medidas Angulares .....	20
3.1.5 Frecuencia y Periodo.....	20
3.1.6 Valores Característicos Del Voltaje Y La Corriente.....	21
3.1.7 Fuentes Trifásicas de C.A .....	22
3.1.9 Conexión En Estrella Y Triángulo.....	28
3.1.10 Tensiones y Corrientes. Definición. ....	29
3.1.11 Denominación De Las Redes .....	30
3.1.12 Generador Perfecto.....	31
3.1.13 Secuencia .....	31
3.1.15.-Fuentes De Corriente Directa.....	33
3.1.16.-Transformador De Entrada.....	35
3.1.17.-Rectificador A Diodos .....	37
3.1.18.-Rectificador Básico De Media Onda.....	38
3.1.19.-Rectificador De Onda Completa .....	40
3.1.20.-Rectificador Puente .....	43

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

3.1.21.-Filtrado.....	45
3.1.22.-Filtrado Por Capacitancia.....	46
3.1.23.-Filtrado por inductancia .....	47
3.1.24.- Potencia activa, reactiva y aparente .....	49
3.1.25.-Sistemas de Comunicación Bluetooth.....	53
3.1.26.- Arduino Mega 2560 .....	55
3.1.27 Transformadores de Corriente y Transductores .....	58
<b>CAPITULO IV</b>	
4.1. Diseño y ensamblaje de la fuente trifásica con control y monitoreo inalámbrico .....	60
4.1.1 Metodología.....	60
4.1.2 Desarrollo de la metodología.....	61
4.2 Implementación .....	64
4.2.1 Diseño e implementación de la fuente con la etapa de control acoplada. ....	64
4.2.2 Implementación del sensor de corriente para la etapa de medición. ....	65
4.2.3 -Diseño de la etapa de interfaz gráfica para el monitoreo de la fuente trifásica. ....	66
4.2.4- Diseño final del control y monitoreo de la fuente trifásica. ....	66
<b>CAPITULO V</b>	
5.1 Resultados .....	68
5.1.1.- Etapa de pruebas de potencia, precisión y exactitud de la fuente trifásica. ....	68
5.2 Conclusiones y recomendaciones .....	73
5.2.1 Conclusiones.....	73
5.2.2 Recomendaciones .....	74
REFERENCIAS .....	75
Anexo .I Hoja de datos del sensor de corriente SCT-013-030 .....	76
Anexo II. Programación estructurada para la tarjeta Arduino mega .....	77
Anexo III. Hoja de datos del Bluetooth .....	85
Anexo IV. Diagrama de bloques de la programación en LABVIEW .....	93
ANEXO V . Diseño del Panel Frontal en LABVIEW .....	96

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## CAPÍTULO I

---

### 1.1 Introducción

En la actualidad las empresas de energía eléctrica generan, transportan y distribuyen la corriente en sistemas trifásicos. De esta forma se obtienen ventajas tales como mejor rendimiento y mayor eficiencia en el transporte de la misma.

Para obtener ventajas en un sistema trifásico es necesario el control y monitoreo de cada sistema con el fin de generar un ambiente de calidad de energía; debido a las ventajas que nos proporciona un sistema trifásico en el desarrollo del sector industrial, la competencia en general obliga a las empresas a buscar e implementar nuevas tecnologías para la eficiencia y calidad de energía; para lograr alcanzar objetivos en el ambiente de calidad de energía, las empresas recurren a rediseño o incluso al diseño de nuevos dispositivos capaces de lograr una eficiencia óptima en la potencia trifásica para poder operar equipos y maquinarias.

El ingeniero eléctrico se ve obligado a la actualización y al rediseño de sistemas de alimentación eléctrica que sean rentables, eficientes y sobre todo que cumplan con la normativa de seguridad.

Siendo el área de investigación en control y monitoreo para calidad de energía, surge la idea de presentar una alternativa de control y monitoreo de una fuente trifásica, con tecnología de alcance para un modelo didáctico en el área de Ing. Eléctrica, al ser una necesidad que se ha venido estableciendo con el avance tecnológico en los últimos años, esto se debe a que los dispositivos se hacen más complejos y especializados. Se propone presentar un sistema didáctico de monitoreo y control de parámetros eléctricos de una fuente trifásica usando una interfaz gráfica de usuario (LABVIEW), para su aplicación en el laboratorio de ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez.

El siguiente proyecto permitirá monitorear parámetros de corriente y voltaje, para posteriormente analizar la potencia (aparente, activa y reactiva) que se consume en un circuito, también se diseñará una interfaz gráfica de usuario para el control del parámetro voltaje para poder manipular el sistema según sea la práctica que se desea realizar, en el plan didáctico para los alumnos de la carrera; en la parte de comunicación se propone utilizar la tecnología que existe actualmente, en el cual se utilizará un sistema de comunicación inalámbrica (Bluetooth), para satisfacer las necesidades requeridas en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

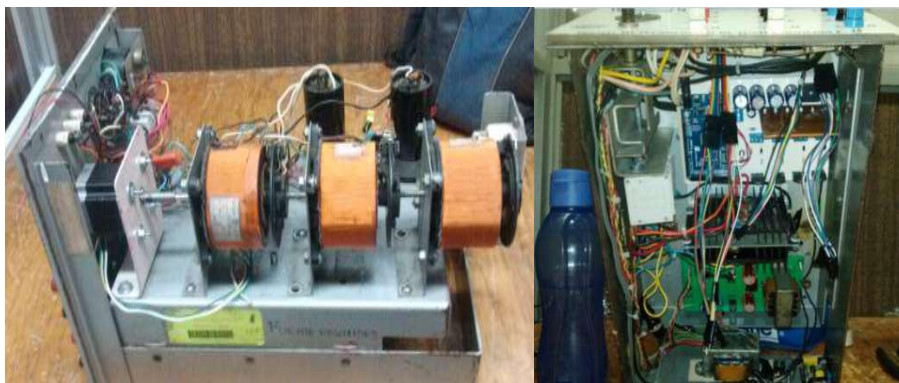
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## 1.2 Problemática

Actualmente en el laboratorio del área de Ingeniería Eléctrica se cuenta con una sola fuente trifásica para realizar prácticas, esta fuente fue digitalizada por alumnos del Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez para innovación y restauración del equipo, dicha fuente mencionada tiene aproximadamente 30 años de uso por lo que ha sufrido daños y múltiples reparaciones; el uso persistente y la falta de mantenimiento ha provocado el desgaste del equipo, lo que ha resultado en que solo se cuente con una fuente para las necesidades del laboratorio. Además los avances tecnológicos que se dan día con día, han hecho que el equipo se quede obsoleto.



**Fig. 1.1** Fuente trifásica digital actual.



**Fig. 1.2** Componentes actuales.

Por ello mismo es de suma importancia mantener al equipo en constante actualización; dado que en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica la fuente trifásica mencionada es parte primordial de la carrera, ya que con ella se realizan prácticas de diversas materias de la retícula de la carrera. Para visualizar y entender parámetros que se den en un circuito de potencia es necesario tener medidores que ayude a visualizar el comportamiento de parámetros eléctricos; dichos medidores o analizadores de calidad de energía

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

son obsoletos o en el peor de los casos no se cuentan con ellos; por ello es de suma importancia resolver el problema de monitoreo en la fuente trifásica.

### 1.2.1 Trascendencia del estudio

La importancia que adquiere este proyecto radica en la investigación sobre nuevas tecnologías a aplicar; así también la modernización del equipo primordial del laboratorio de ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico; además de contarse con un diseño a implementar; este podría ser reproducido en un futuro para otros equipos de utilización de prácticas en el laboratorio; por lo que los principales beneficiados serán los alumnos de la institución.

### 1.3.-Antecedentes

En gran parte de la industria podemos ver cuán importante es el control y la monitorización de los parámetros eléctricos, estos suelen usarse de diversos fines y maneras. Por ejemplo para controlar el consumo eléctrico, hacer un estudio de cada uno de los parámetros, o simple y llanamente tener un registro de cada parámetro y utilizarlo para otros propósitos.

Estos son algunos de los productos que se utilizan para controlar y monitorear parámetros eléctricos en nuestra industria:

#### 1.3.1 Medidores de Energía con Sistema de Medición Inteligente de Autogestión

Fue hecho por la empresa IUSA con el objetivo de hacer más eficientes los procesos de atención y disminuir los costos financieros y operativos de las empresas de distribución de energía eléctrica, al mismo tiempo que facilita al usuario el control de su consumo. (Grupo IUSA, 2013)



**Fig.1.3** Medidores de Energía con Sistema de Medición Inteligente de Autogestión

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Especificaciones:

- Watthorímetro Electrónico Polifásico marca **IUSA**
- Modelo CP-05-12S
- Tipo SOCKET
- Clase de medidor 15 (100) A, 120 V 60 Hz, 2F, 3H, 2E
- Clase de exactitud 0,5
- Forma 12S

### 1.3.2 Analizador de redes eléctricas SHARK 100-S

Hecho por Electro Industries/GaugeTech El Shark 100-S es un Submedidor de múltiples funciones diseñadas para medir uso eléctrico de la energía del grado del rédito y para comunicar esa información vía varios medios de comunicación. La unidad apoya Ethernet RS-485, RJ-45 o IEEE802, 11 conexiones de Ethernet de WiFi. Esto permite que una unidad sea puesta dondequiera dentro de un complejo y se comunica de nuevo a software central rápidamente y fácilmente. La unidad también tiene un puerto de IrDA para el interfaz directo de PDA. (amperis, 2007).



**Fig. 1.4** Analizador de redes eléctricas SHARK 100-S

Lecturas para kW, kVAR, kVA y FP son calculadas empleando estructuras de Compañías Eléctricas. Los demás parámetros ofrecen capacidad de max y min sobre un período de promedio seleccionable por el usuario. El Voltaje provee una lectura Max y min instantánea, desplegando el Surge más alto y el Sag más bajo sensado por el Medidor.

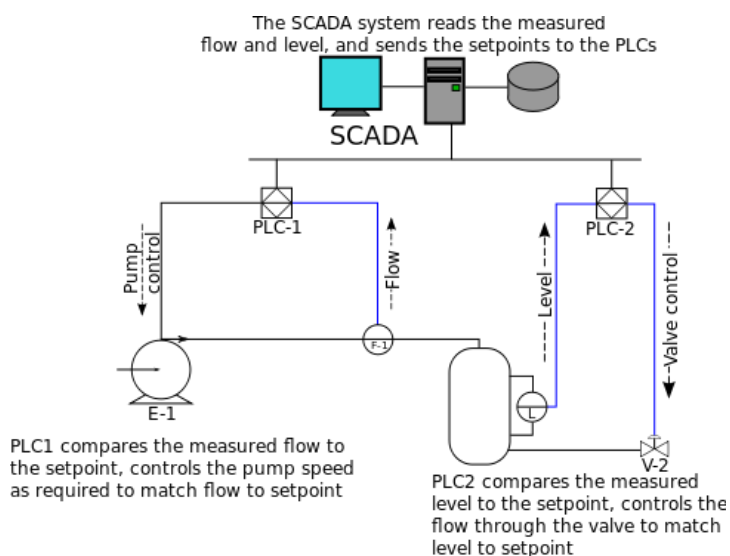
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Especificaciones:

- Sub-Medidor de energía y demanda con certificación de facturación clase 0.2%
- Cumple con las clases ANSI C12.20 (0.2%) e IEC 687 (0.2%)
- Capacidad de medición multifuncional
- Medición de calidad de potencia
- Pantalla LED rojo brillante de 3 Líneas de 0.56" cada una
- Barra de % de carga
- Ethernet sólido (RJ45) e Inalámbrico (WiFi)
- Comunicación serial RS485
- Modbus RTU y Modbus TCP (Sobre Ethernet)
- Interfaz directa con la mayoría de sistemas de administración de edificios
- Salida de pulso KYZ certificable para facturación
- Perfecto para aplicaciones en Edificios Comerciales, Institucionales, Industriales y Centros Comerciales

### 1.3.3 Sistemas SCADA

SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Adquisición (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención. (HERNÁN, 2010).



**Fig.1.5** ejemplo de la aplicación del sistema SCADA en áreas industriales (HERNÁN, 2010).



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Especificaciones:

- Configuración: permite definir el entorno de trabajo del SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
  - Interfaz gráfica del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
  - Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando pre programado a partir de los valores actuales de variables leídas.
  - Gestión y archivo de datos: almacenamiento y procesado ordenado de datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
  - Comunicaciones: transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y también entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

#### 1.4 Justificación

En la actualidad existen innumerables avances tecnológicos que facilita el trabajo del ser humano, en el ámbito de la ingeniería eléctrica, se cuenta con variedad de medidores o analizadores de calidad de energía los cuales permite visualizar y entender los distintos parámetros que puedan darse en un sistema trifásico; pero muchas compañías que diseñan estos medidores, o están más adaptados a otras aplicaciones que no son didácticas para el uso de laboratorio. Por otra parte son pocas las empresas que fabrican equipos para la utilización en el ámbito de experimentación; adquirir un equipo de medición o analizador de calidad de energía resulta muy costoso.

Con el desarrollo de este proyecto, se propone una alternativa y diseño de monitoreo y control de una fuente trifásica de alimentación; adecuando las características de la fuente para un modelo didáctico con una interfaz gráfica de usuario BASADA EN LABVIEW, para satisfacer necesidades requeridas para el monitoreo y control de sistemas trifásicos en las prácticas de experimentación, en el laboratorio de ingeniería eléctrica.

La implementación de este proyecto surge por la creciente demanda que existe de estos equipos de medición, debido a la apertura de materias donde requieren la utilización de la fuente trifásica junto con medidores que permitan visualizar

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

los cambios que se dan en los parámetros de voltaje, corriente y potencia; además uno de los grandes motivos es evitar grandes costos económicos por la obtención de equipos de mediciones eléctricas. Este nuevo diseño de monitoreo y control pretende ser innovador, ya que tendrá un sistema de comunicación inalámbrica (Bluetooth).

Este nuevo diseño a implementar será desarrollado dentro de las instalaciones del laboratorio de ingeniería eléctrica, ya que se cuenta con las herramientas necesarias y con el conocimiento para crear un prototipo funcional para el área de ingeniería eléctrica.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema didáctico de monitoreo y control de corriente y voltaje (potencia aparente) de una fuente trifásica mediante LABVIEW.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de comunicación inalámbrico.
- Implementar una interfaz de comunicación entre Arduino y LABVIEW.
- Desarrollar un sistema de control y monitoreo con el software LABVIEW.
- Controlar el motor a pasos de manera remota.
- Obtención de parámetros eléctricos (voltaje, corriente y potencia).
- Obtención de graficas del comportamiento de los parámetros de corriente, voltaje y potencia.

## 1.6 Alcances y Limitaciones

### 1.6.1 Alcances

De acuerdo a los alcances previos planteados en este proyecto; se logró tener participación en los siguientes rubros:

Diseño:

Una vez demostrada las capacidades personales e intelectuales; se aportaron ideas para el diseño de elementos a utilizar y el desarrollo del control de la fuente trifásica mediante un sistema de monitoreo inalámbrico; aplicando conocimientos previos para manejar una interfaz de usuario en LABVIEW que nos permita visualizar y controlar el sistema en tiempo real.

Acoplamiento y ensamble de materiales:

En el área en el cual se desarrolló dicho proyecto de residencia, se nos proporcionó las facilidades necesarias; así también espacio de trabajo y materiales para la gestión del proyecto de residencia; con el principal alcance de

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

entregar un equipo funcional actualizado. Es importante mencionar que el producto a realizar sea de calidad confiable para satisfacer necesidades que se presenten en cada práctica de laboratorio a desarrollar. Por lo que la obtención de gráficas y mediciones de parámetros (voltaje, corriente y potencia) es indispensable para visualizar el comportamiento del sistema.

### 1.6.2 Limitaciones

Una de las limitantes de gran importancia, es que uno de los tres Variac's al ser sustituido por otro variac (DAÑADO PREVIAMENTE), provoca que este no dé el voltaje deseado con respecto a los dos salidas restantes, así la precisión de la fuente en el voltaje de salida es de más (+) menos (-) 4 voltios como máximo. Otra limitación es que los rectificadores de potencia del voltaje de CD, están dañados y de esta manera no tenemos la salida de CD deseada. Otra limitación es el medidor de voltaje de CA, se encuentra dañado por el mal uso del equipo en prácticas de laboratorio, de igual manera el tiempo no fue suficiente para reparar el medidor de voltaje de CA.

## CAPITULO II

---

### 2.1 Caracterización Del Área En Que Se Participó

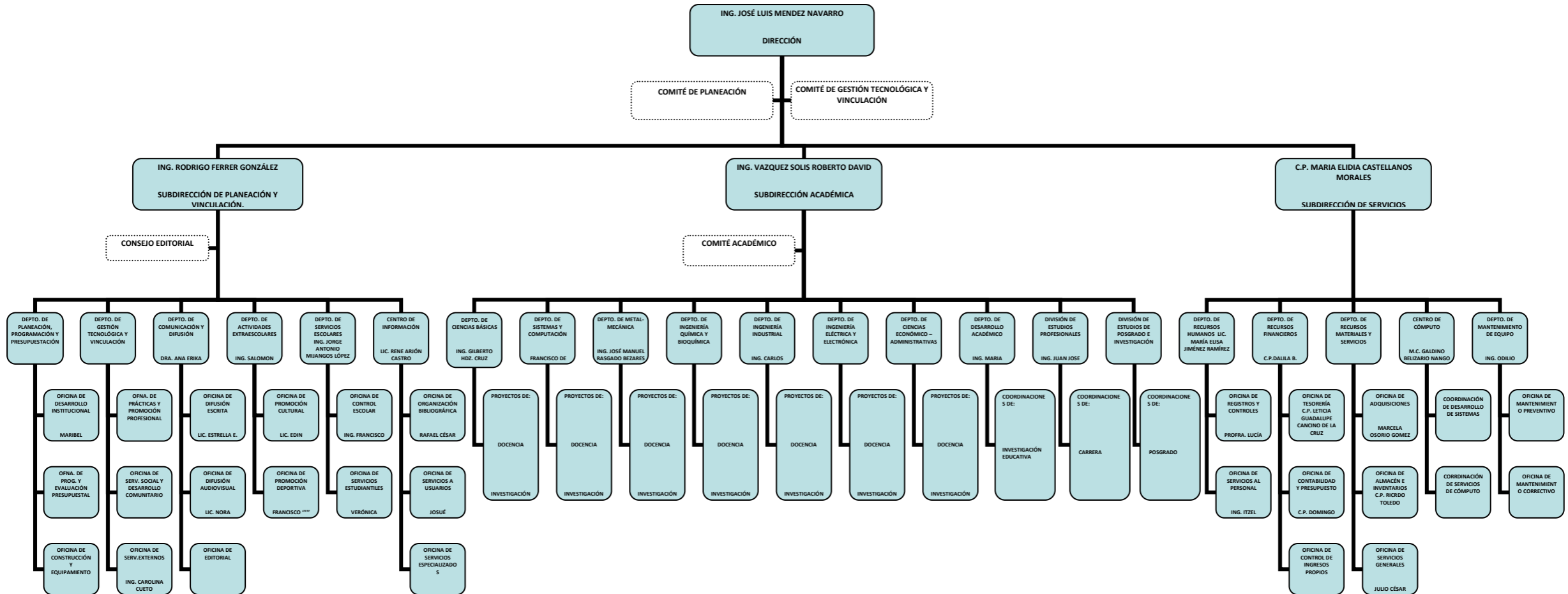
En el área de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; se pretende formar profesionales competentes en Ingeniería Eléctrica con capacidad creativa, emprendedora, de análisis, liderazgo y capacidad de trabajo en equipo, que realicen actividades de diseño, innovación, adaptación y transferencia de tecnologías para resolver problemas del área de su competencia en forma competitiva atendiendo las necesidades del entorno globalizado, con una conciencia ética y social, asumiendo un compromiso con el desarrollo tecnológico y sustentable.

#### 2.1.1 Antecedentes de la Empresa

Nuestro Estado de Chiapas, fiel a sus deseos de progreso, más aún en la rama educativa media y superior, avalando con su potencial económica-social, logra sus más caros anhelos al contar ya con un Instituto Tecnológico para beneficio de la juventud estudiosa y acrecentar así la tecnología en todos sus aspectos. Es así como surge en 1972, el Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez por mandato del entonces Presidente de la Republica, Lic. Luis Echeverría Álvarez y colaboración ilimitada del Dr. Manuel Velasco Suárez, Gobernador del Estado, era el señor Ing. Víctor bravo Ahuja, secretario de Educación pública.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 2.1.2 Organigrama del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### **2.1.3 Misión, Visión y Valores**

#### **Misión**

Formar de manera integral profesional de excelencia en el campo de la ciencia y la Tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

#### **Visión**

Ser una Institución de excelencia en la educación superior Tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

#### **Valores**

- El ser humano.
- El espíritu de servicio.
- El liderazgo.
- El trabajo en equipo.
- La calidad.
- El alto desempeño.
- Respeto al medio ambiente.

### **2.1.4 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto**

El proyecto de sistema didáctico de monitoreo y control de parámetros eléctricos de una fuente trifásica usando LABVIEW, para su aplicación en el laboratorio de ingeniería eléctrica, se realizó en las instalaciones del área de ingeniería eléctrica, en donde se cuenta con material y equipo necesario para realizar prácticas de laboratorio, dicha área se encuentra estructurada con laboratorio de pruebas, caseta de materiales, áreas de trabajo para proyectos de investigación y cubículos para catedráticos del área .

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## CAPITULO III

### 3.1 Fundamento Teórico

#### 3.1.1 Fuentes de alimentación

Todo equipo eléctrico y electrónico para que pueda funcionar requiere de energía eléctrica, esta energía es creada en plantas generadoras mediante distintos procesos y estas se clasifican según el proceso que utilizan para la generación de la energía eléctrica. A continuación se mencionan las más comunes:

##### 3.1.1.2 Plantas generadoras hidroeléctricas

Este tipo de plantas generadoras utilizan la fuerza del agua para producir la energía eléctrica.

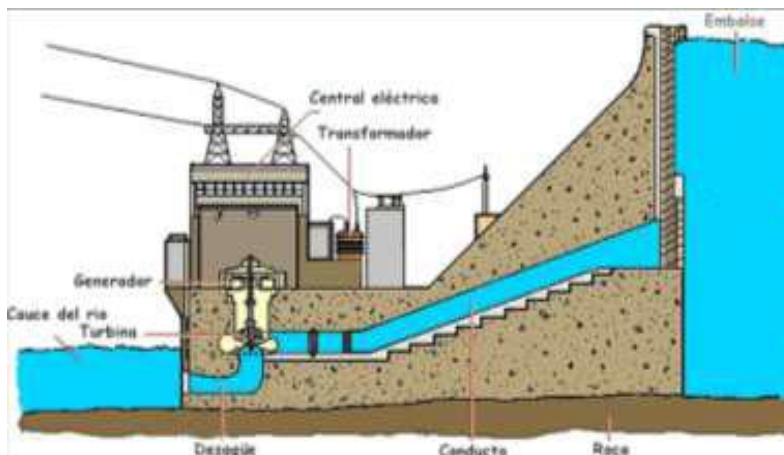
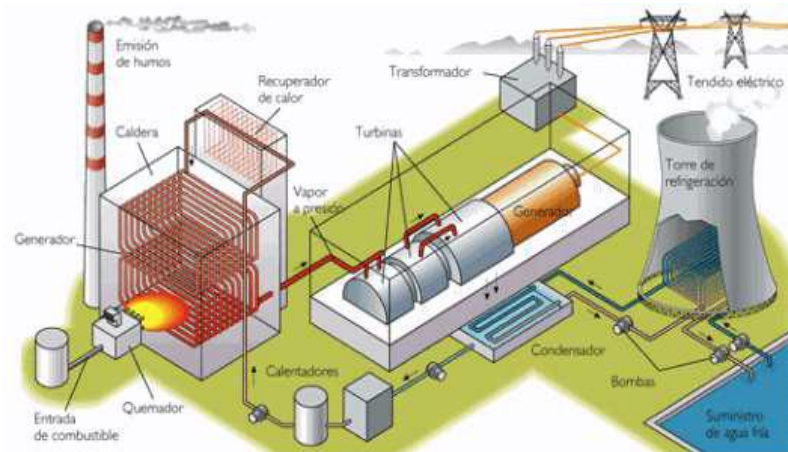


Fig. 3.1 Planta generadora hidroeléctrica.

##### 3.1.1.3 Plantas generadoras termoeléctricas

En este tipo de plantas la generación de energía eléctrica se hace mediante la quema de combustibles para lograr el proceso de la evaporización del agua.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.2** Planta generadora termoeléctrica.

### 3.1.1.3 Plantas generadoras eólicas

En estas plantas la generación de energía eléctrica se hace aprovechando la fuerza del viento.



**Fig. 3.3** Planta generadora eólica.

### 3.1.1.4 Plantas generadoras solares

El sol irradia enormes cantidades de energía, esta energía es captada por dispositivos electrónicos llamados celdas solares que en grandes conjuntos generan grandes cantidades de energía eléctrica.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.4** Planta generadora solar.

### 3.1.1.5 Plantas generadoras nucleares

Se caracteriza por el empleo de combustible nuclear fisionable que mediante reacciones nucleares proporciona calor que a su vez es empleado, a través de un ciclo termodinámico convencional, para producir el movimiento de alternadores que transforman el trabajo mecánico en energía eléctrica. Estas centrales constan de uno o más reactores.



**Fig. 3.5** Planta generadora nuclear.

Como vemos hay distintas maneras de producir energía eléctrica, por lo que a estas plantas se les denomina “Fuentes de Alimentación”, porque nos están proporcionando energía eléctrica.

Pero esta energía producida no puede utilizarse directamente en nuestros equipos eléctricos y electrónicos, ya es una energía muy grande. Por lo cual se requiere de transformadores que nos sirven para reducir esta energía eléctrica y así poder utilizarla en nuestros equipos.



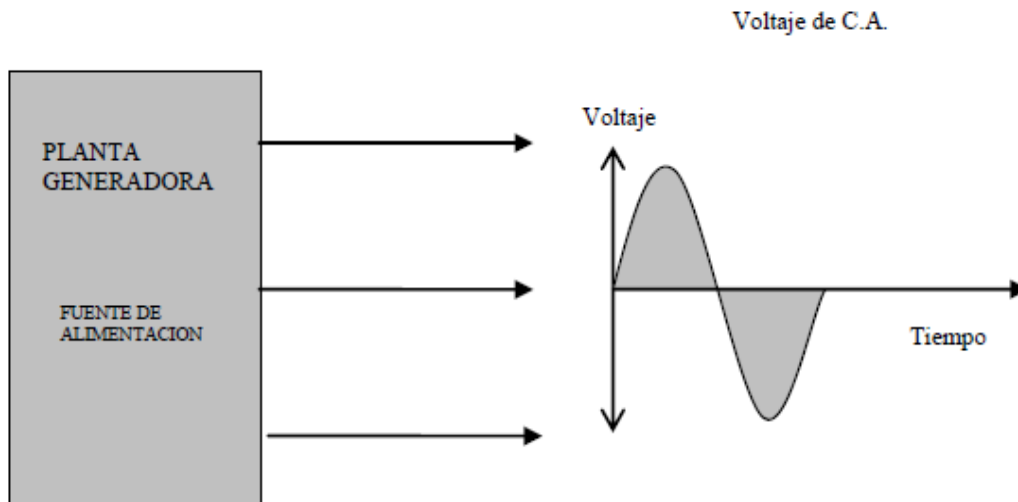
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 3.1.2.-Tipos de Fuentes

Por el tipo de componentes a utilizar y el voltaje que utilizan los equipos eléctricos y electrónicos, se requiere de dos tipos principales de fuentes de voltaje:

- ❖ Fuentes de Voltaje de Corriente Alterna
- ❖ Fuentes de voltaje de Corriente Directa

Las fuentes de Voltaje de Corriente Alterna son aquellas en las que la señal producida por las plantas generadoras va sufriendo variaciones en el tiempo, o sea que no permanece constante, esto lo podemos ver en la siguiente figura 6.6



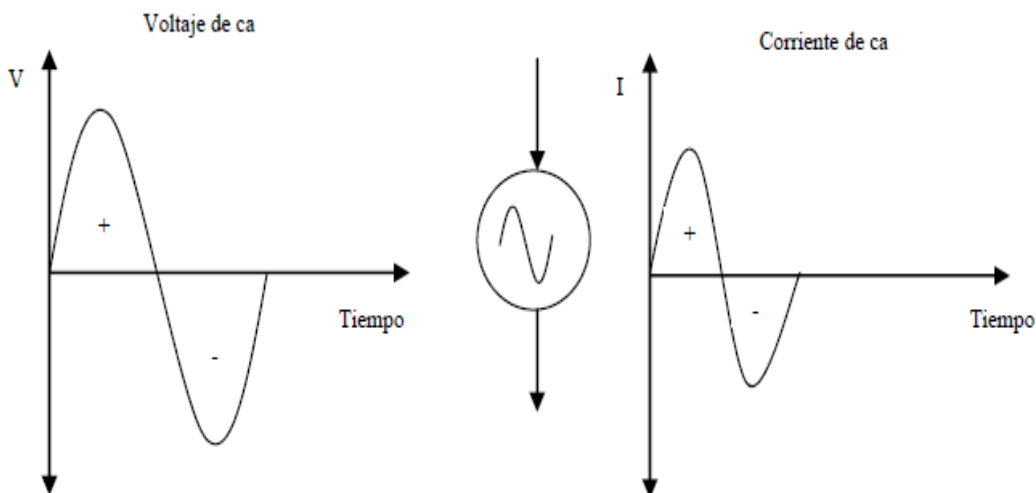
**Fig. 3.6** forma de onda de voltaje generada por una fuente de C.A.

Como podemos ver una fuente de voltaje de corriente alterna (C.A.) invierte o alterna periódicamente su polaridad. Por consiguiente, la corriente alterna resultante también invierte periódicamente su dirección figura 6.7. Con base en el flujo convencional, la corriente parte de la terminal positiva de la fuente de voltaje, recorre el circuito y regresa a la terminal negativa; pero cuando el generador invierte su polaridad, la corriente debe invertir su dirección.

El suministro de energía eléctrica de C.A. que se usa en las casas es un ejemplo común. En estos sistemas, el voltaje y la dirección de la corriente tienen un gran número de inversiones en cada segundo. A esta variación respecto del tiempo se le conoce como frecuencia y se define con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{1}{T}$$

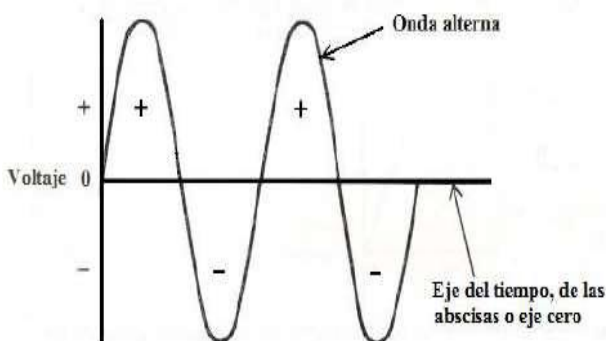
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.7** Formas de onda de voltaje y corriente de C.A.

### 3.1.3 Generación de un Voltaje Alterno

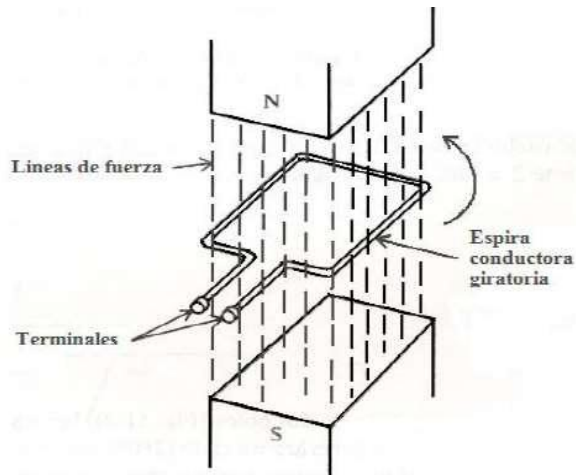
Un voltaje de C.A. cambia continuamente en magnitud y periódicamente invierte su polaridad Fig. 6.8. El eje del cero es una línea horizontal que pasa por el centro. Las variaciones verticales de la onda de voltaje muestran los cambios en su magnitud. Los voltajes por arriba del eje horizontal tienen polaridad positiva (+) mientras que los voltajes por abajo del eje tienen polaridad negativa (-).



**Fig. 3.8** Formas de onda de un voltaje de C.A.

Un voltaje de C.A. puede ser producido por un generador llamado alternador Figura 6.9. En el generador simplificado que se muestra, la espira conductora gira en el campo magnético y corta las líneas de fuerza para generar un voltaje inducido de C.A. entre sus terminales. Una revolución completa de la espira es un ciclo.

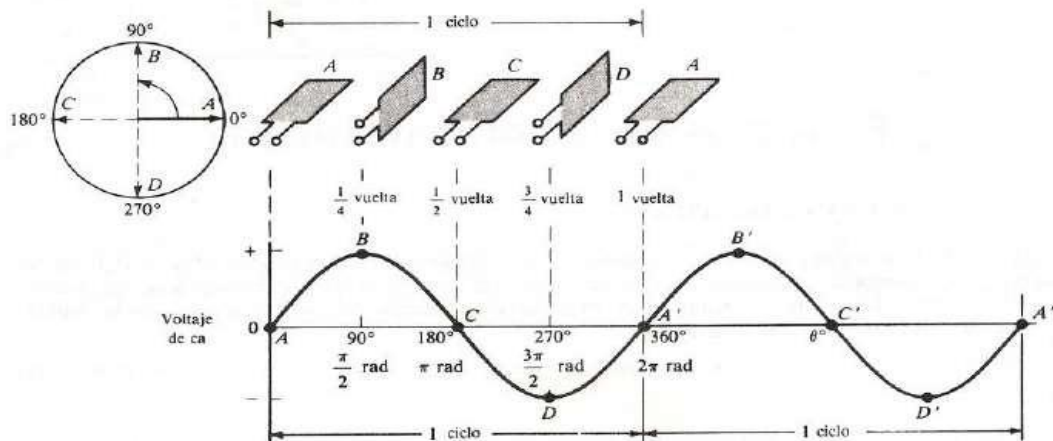
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.9** Rotación de una espira en un campo magnético produce voltaje de C.A.

Considérese la posición de la espira a cada cuarto de vuelta durante un ciclo (Figura 6.10). En la posición A, la espira se mueve paralela al flujo magnético y por consiguiente no corta líneas de fuerza; el voltaje inducido es cero. En la posición B de la parte superior del círculo, la espira corta el campo a  $90^\circ$  para producir un voltaje máximo. Cuando llega a C, el conductor se mueve otra vez paralelo al campo y no corta al flujo. La onda de C.A. desde A hasta C es medio ciclo de la revolución y se llama alternación.

En D la espira corta otra vez al flujo para producir voltaje máximo, pero ahora el flujo se corta en la dirección opuesta (de izquierda a derecha) que en B (de derecha a izquierda); por consiguiente, la polaridad en D es negativa. La espira completa la última cuarta parte de la vuelta en el ciclo al regresar a la posición A, el punto de partida. El ciclo de los valores del voltaje se repite en las posiciones 'A 'B 'C 'D' A al continuar girando la espira. Un ciclo incluye las variaciones entre dos puntos sucesivos que tienen el mismo valor y que varían en la misma dirección. Por ejemplo, se puede considerar también un ciclo entre B y B' (Fig. 6.10).



**Fig. 3.10** Dos ciclos de voltaje alterno generado por la espira giratoria.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 3.1.4.- Medidas Angulares

Como los ciclos de voltaje corresponden a una rotación de la espira describiendo un circuito, las partes del circuito se expresan como ángulos. El círculo completo es  $360^\circ$ . Medio ciclo, o una alternación, es  $180^\circ$  un cuarto de vuelta es  $90^\circ$ . Los ángulos se expresan también en radianes (rad). Un radián es igual a  $57.3^\circ$ . Un círculo completo tiene  $2\pi \text{ rad}$ ; por consiguiente:

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

Entonces 
$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

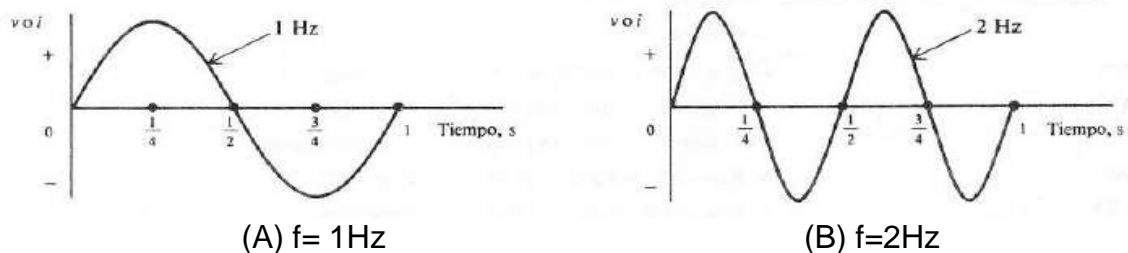
O bien 
$$1 \text{ rad} = \frac{180}{\pi}$$

En un generador de dos polos Figura 6.9, la rotación de la bobina de la armadura en 360 grados geométricos (1 revolución) siempre generará un Ciclo ( $360^\circ$ ) de voltaje de C.A. Pero en un generador de 4 polos, la rotación de la armadura en

180 grados geométricos únicamente generará 1 ciclo de C.A. o bien  $180^\circ$  eléctricos. En consecuencia, la escala de los grados a lo largo del eje horizontal del voltaje o de la corriente de C.A. se refiere a los grados eléctricos y no a grados geométricos.

### 3.1.5 Frecuencia y Periodo

El número de ciclos por segundo se llama frecuencia, se indica con el símbolo  $f$  y se expresa en Hertz (Hz). Un ciclo por segundo es igual a un Hertz. Por tanto, 60 ciclos por segundo (abreviado a veces cps) son igual a 60 Hz. Una frecuencia de 2Hz Figura 3.11A es el doble de la frecuencia de 1 Hz Figura 3.11 B.



**Fig. 3.11** Comparación de las frecuencias.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

El tiempo que se requiere para completar un ciclo se llama periodo. Se indica por el símbolo  $T$  (por tiempo) y se expresa en segundos (s). La frecuencia y el periodo son recíprocos.

$$F = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{F}$$

Cuanto mayor sea la frecuencia, menor será el periodo. El ángulo de  $360^\circ$  representa el tiempo de 1 ciclo, o sea, el periodo  $T$ . Por lo tanto, podemos indicar en el eje horizontal de la onda senoide.

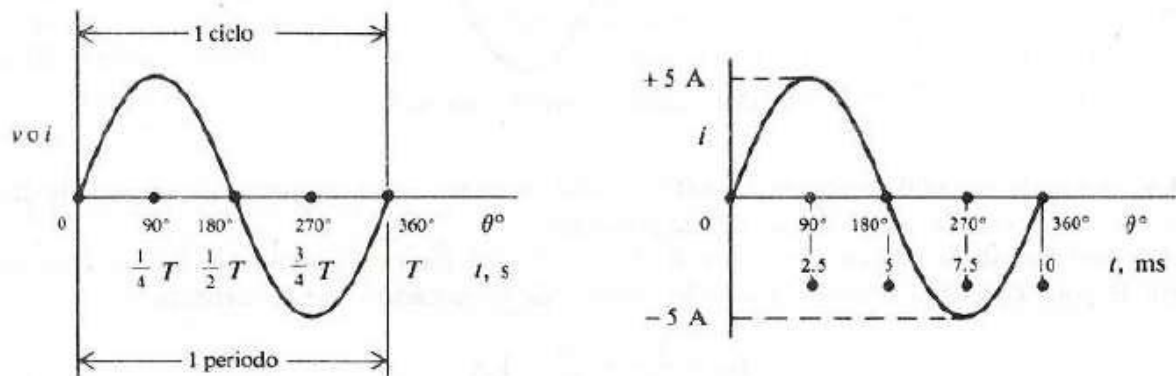


Fig. 3.12 Comparación de las frecuencias.

### 3.1.6 Valores Característicos Del Voltaje Y La Corriente

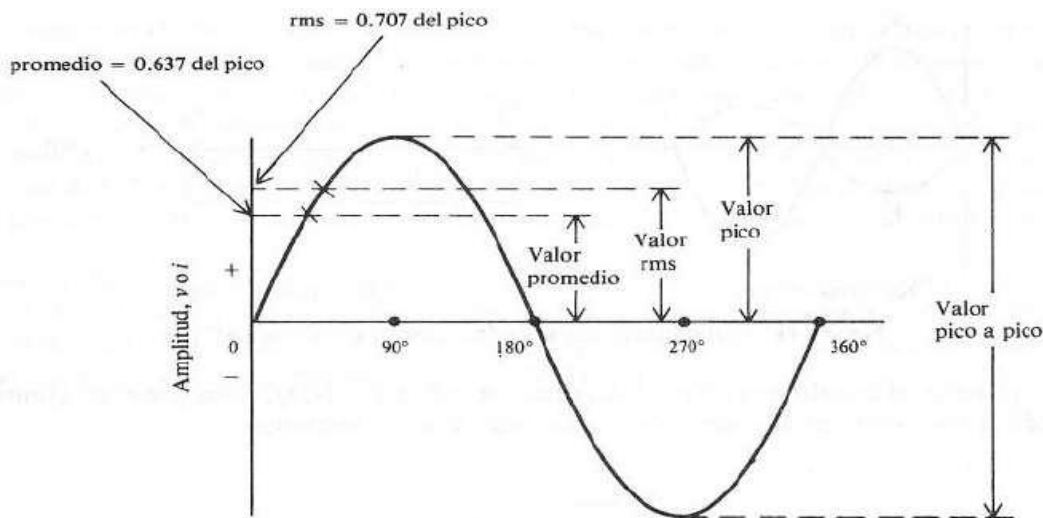
Como una señal senoide de voltaje o de corriente alterna tiene muchos valores instantáneos a lo largo del ciclo, es conveniente especificar las magnitudes con las que se pueda comparar una onda con otra. Se pueden especificar los valores pico.

Promedio o raíz cuadrática media (rms) Figura 3.13. Estos valores se aplican a la corriente o al voltaje.

El valor pico es el valor máximo  $V_m$  o  $I_m$  se aplica tanto al pico positivo como al negativo. Se puede especificar el valor pico a pico (p-p), que es el doble del valor pico cuando los picos positivos y los negativos son simétricos.

El valor promedio es el promedio aritmético de todos los valores de una onda senoide durante medio ciclo, el medio ciclo se utiliza para obtener el promedio porque el valor promedio durante un ciclo completo es cero.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.13** Valores de la amplitud de una onda de C.A. sinusoidal.

Valor promedio = 0.637 x valor pico

$$V_{av} = 0.637V_M$$

O bien

$$I_{av} = 0.637I_M$$

El valor rms de una onda sinusoidal alterna corresponde a la misma cantidad de corriente o voltaje continuos en potencia de calentamiento. Por ejemplo, un voltaje alterno con un valor rms de 115V es igualmente efectivo para calentar el filamento de un foco que 115V de una fuente estacionaria o estable de voltaje de CC. Por esta razón, el valor rms se llama también el valor efectivo.

A menos que se indique lo contrario, todas las mediciones de ondas de C.A. sinusoidales están dadas en valor rms. Las letras V e I se usan para indicar el voltaje y la corriente rms. Por ejemplo,  $V = 220 \text{ V}$  (un voltaje de línea de alimentación de C.A.) se entiende que significa 220 V rms.

### 3.1.7 Fuentes Trifásicas de C.A

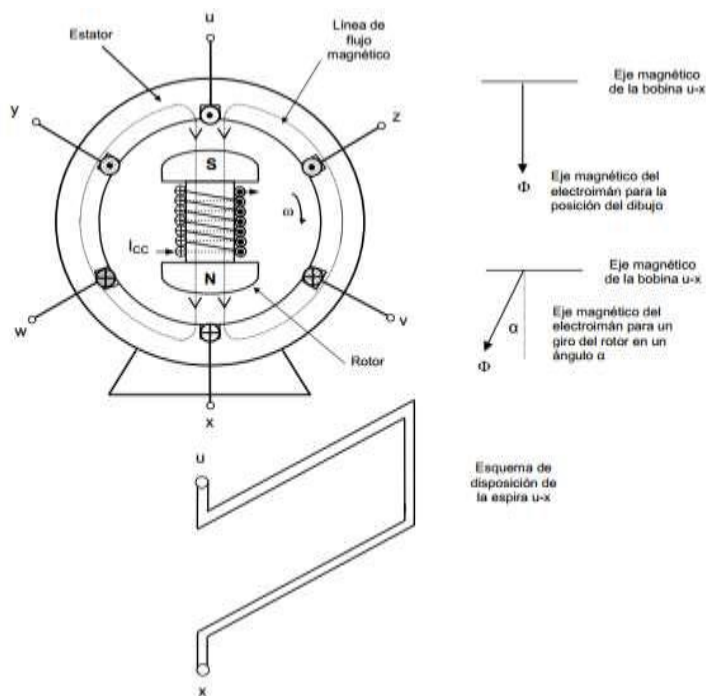
Un generador trifásico de tensión está compuesto por: Una parte fija o estator, constituido por un paquete de chapas magnéticas que conforman un cilindro con una serie de ranuras longitudinales, que en el caso que analizaremos presenta la cantidad mínima que es de 6 ranuras. Sobre cada par de ranuras opuestas se

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

colocan los lados de una bobina, cuyos principios y fin tienen la siguiente designación:

Bobina 1: u - x  
Bobina 2: v - y  
Bobina 3: w - z

Las bobinas son constructivamente iguales, con el mismo número de espiras y con una distribución geométrica tal que sus ejes magnéticos forman un ángulo de  $120^\circ$ . Una parte móvil o rotor, que está ubicada dentro del estator y que consiste de un electroimán alimentado por corriente continua. El giro de dicho rotor se produce mediante una máquina impulsora (Motor diésel, turbina de vapor, de gas, hidráulica, eólica) que mantiene una velocidad angular constante. La figura 6.14 muestra el corte perpendicular a eje de un generador elemental en el cual se ha dibujado solo un par de ranuras por fase, y la forma de una de las espiras.



**Fig. 3.14** Generador de tensiones alternas trifásicas (M.Gussow, 1986).

Dado que el electroimán produce un flujo  $[\Phi]$  de valor constante, las bobinas concatenarán un valor de flujo de acuerdo a la posición instantánea del rotor.

Si tomamos la bobina u - x de “N” espiras (La cual en el esquema anterior está representada por una sola espira por razones de simplicidad del dibujo), y llamamos “ $\alpha$ ” al ángulo entre el eje magnético del electroimán y el eje vertical, el flujo concatenado por la bobina para ese instante es

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

$$\varphi = \Phi \text{ sen } \alpha$$

Dependiendo el ángulo  $\alpha$  de la velocidad angular del rotor y del tiempo transcurrido, o sea;  $\alpha = \omega t$ , con lo cual:

$$\varphi = \Phi \text{ sen } \omega t$$

De acuerdo a la Ley de Faraday-Lenz, entre los terminales de las bobinas se inducirá una fuerza electromotriz cuyo valor es:

$$e_{ux} = N \, d\varphi/dt = N \, \Phi \, \omega \, \text{cos } \omega t \text{ Siendo} \quad E_{max} = N \, \Phi \, \omega$$

$$e_{ux} = E_{max} \text{ sen } \omega t$$

Si analizamos la bobina v - y, vemos que el fenómeno se repite pero con un atraso de  $120^\circ$ , debido a la disposición geométrica de ambas, o sea que:

$$e_{vy} = E_{max} \text{ sen } \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

Lo mismo sucede con

la bobina w - z:

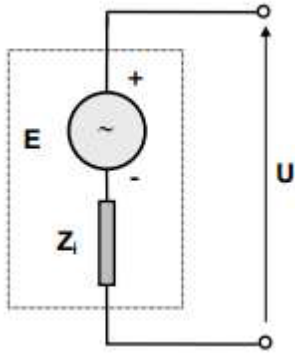
$$e_{wz} = E_{max} \text{ sen } \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

De esta manera se ha logrado tener un sistema de tres tensiones alternas desfasadas  $120^\circ$  en el tiempo, una de otra.

Si no hay circulación de corriente la fuerza electromotriz inducida y la tensión en bornes de cada bobina son iguales. Esto no es así en el caso de que haya circulación de corriente, ya que la tensión en bornes varía con el estado de carga, lo que nos conduce a representar cada bobina como una fuente de tensión alterna real, compuesta por una fuente ideal "E" y una impedancia en serie "Z", según el dibujo de la figura 3.15



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.15** Esquema de una fuente de tensión real (M.Gussow, 1986).

Ya que constructivamente las tres bobinas son iguales sus valores máximos también lo serán.

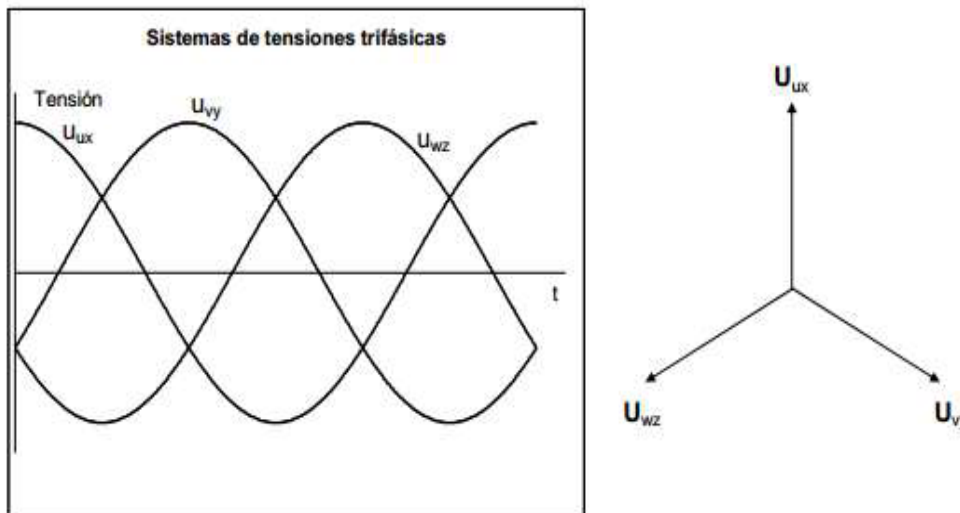
Para la posición del rotor en el dibujo, el flujo concatenado en ese instante por la bobina u- x, vale cero y por lo tanto la fuerza electromotriz inducida tiene un valor máximo, que nos lleva a que los valores de las tensiones para ese instante serán:

$$u_{ux} = u \angle 90^\circ$$

$$u_{vy} = u \angle 330^\circ$$

$$u_{wz} = u \angle 210^\circ$$

En el diagrama de la figura 3.16, se pueden observar los diagramas de valores instantáneos de las tres tensiones y el diagrama fasorial correspondiente para el instante  $t = 0$ .

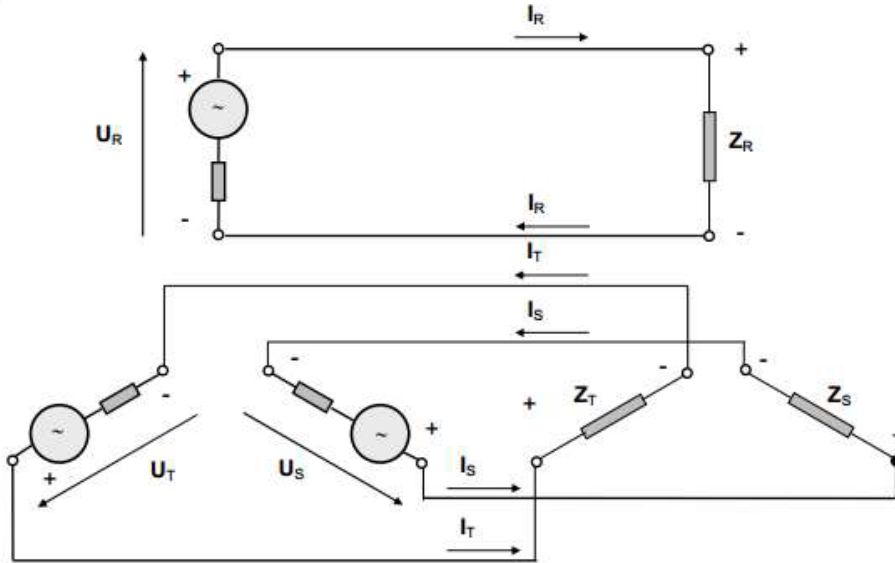


**Fig. 3.16** Valores instantáneos de las tensiones y su correspondiente diagrama fasorial (M.Gussow, 1986).

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 3.1.8 Ahorro Producido Por El Uso De Un Sistema Trifásico Con Respecto A Tres Sistemas Monofásicos Equivalentes.

Analicemos el caso en el cual a cada una de las tensiones del generador estudiado le colocamos una carga, representada por una impedancia. En este caso estaríamos en la presencia de tres generadores monofásicos con sus correspondientes cargas, tal como se muestra en la figura 3.17.



**Fig. 3.17** Esquema de alimentación de un generador trifásico a tres cargas (M.Gussow, 1986).

Siendo:

- ❖  $U_R$  la tensión de salida de una de las fases del generador cuyo valor para el instante analizado anteriormente es:  $U \angle 90^\circ$  [V]
- ❖  $U_S$  la tensión de salida de la segunda fase:  $U \angle 330^\circ$  [V]
- ❖  $U_T$  la tensión de salida de la tercera fase:  $U \angle 210^\circ$  [V]

$Z_R$ ,  $Z_S$  y  $Z_T$  las impedancias de carga [ $\Omega$ ]

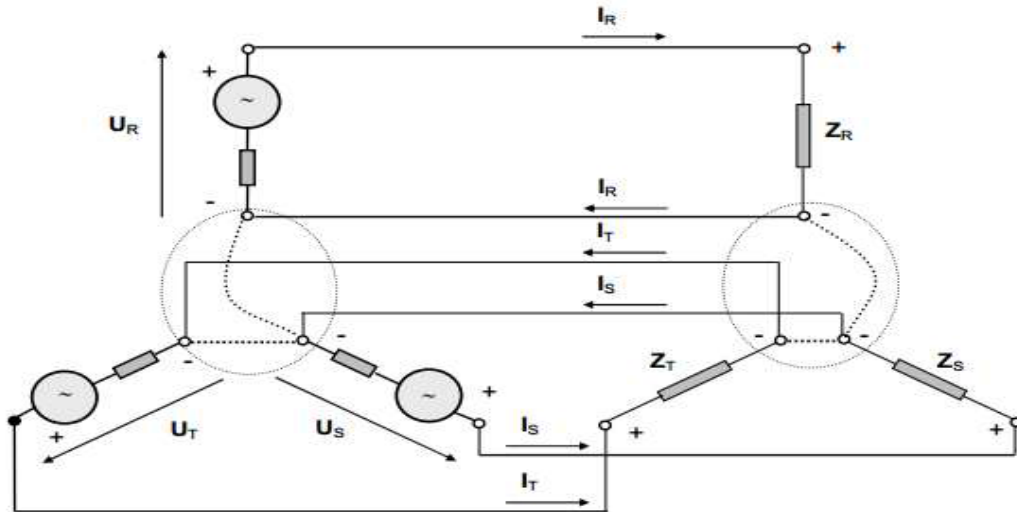
$I_R$ ,  $I_S$  e  $I_T$  las corrientes que circulan por las cargas correspondientes

Teniendo en cuenta en un primer análisis, que los conductores que unen el generador con las impedancias de carga son ideales (Impedancia cero), las corrientes estarán dadas por:

$$I_R = \frac{U_R}{Z_R} \quad I_S = \frac{U_S}{Z_S} \quad I_T = \frac{U_T}{Z_T}$$

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Si en el esquema de la figura 3.17, unimos entre sí tres terminales de las bobinas, y hacemos lo mismo con las tres impedancias tal como se observa en la figura 3.18, el esquema de tensiones y corrientes no se modifica.



**Fig. 3.18** Esquema de alimentación de un generador trifásico a tres cargas.

En el caso particular que las tres impedancias de carga sean iguales, o sea que:

$$Z_R = Z_S = Z_T = Z = Z \angle \varphi$$

La suma de las corrientes que pasa por el conductor que une los nodos analizados será:

$$I_R + I_S + I_T = \frac{U_R}{Z} + \frac{U_S}{Z} + \frac{U_T}{Z} = \frac{U_R + U_S + U_T}{Z}$$

$$I_R + I_S + I_T = \frac{U \angle 90^\circ + U \angle 330^\circ + U \angle 210^\circ}{Z \angle \varphi} = \frac{0}{Z \angle \varphi} = 0$$

Como vemos al ser las tres tensiones del generador del mismo módulo pero desfasadas entre sí en 120 grados, su suma es igual a cero, lo cual nos lleva a que en el conductor analizado no circula corriente, por lo tanto en este caso particular se puede prescindir del mismo, Por lo que solo tres conductores podemos alimentar un sistema trifásico de impedancias (La mitad de lo que necesitaríamos con tres sistemas monofásicos equivalentes).

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

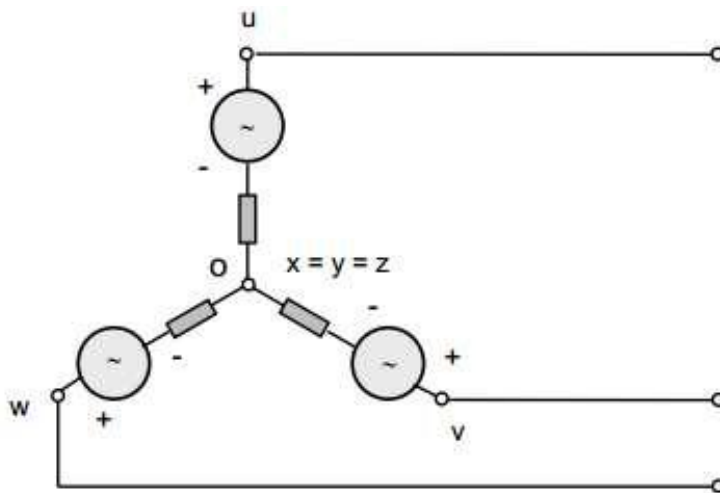
En la práctica las tres impedancias no son exactamente iguales, pero se trata de lograr dicho efecto, repartiendo la gran cantidad de usuarios en las distintas fases en forma lo más equilibrada posible.

Esto hace que no se prescindiera de dicho conductor, pero su sección es menor que la de los otros tres, ya que la corriente que transporta es más pequeña que las otras.

### 3.1.9 Conexión En Estrella Y Triángulo

Las tres bobinas pueden ser unidas formando una conexión en estrella o en triángulo. Uniendo en un punto común los tres principios o finales de las bobinas, obtenemos una conexión estrella, llamando a este “centro de estrella” ó “neutro” y lo designaremos con la letra “O”.

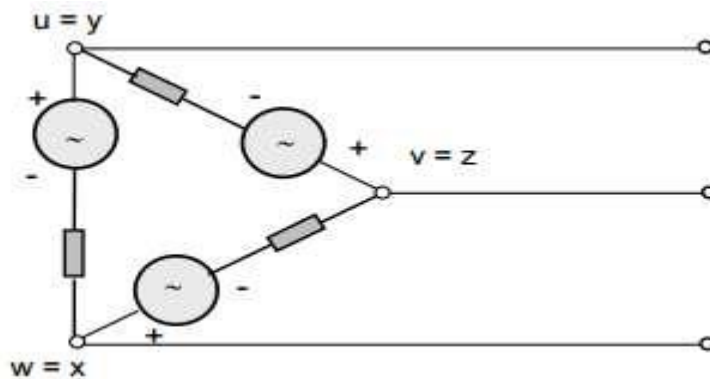
Cada uno de los arrollamientos se llama “fase del generador”. Podemos entonces representar un generador trifásico en estrella como la unión en un punto común de tres generadores monofásicos cuyas tensiones están desfasadas  $120^\circ$ , según se observa en la figura 6.19. Los principios de los arrollamientos se conectan a la línea de alimentación de las cargas.



**Fig. 3.19** Esquema de tres generadores monofásicos conectados en estrella (M.Gussow, 1986).

En la conexión triángulo, los arrollamientos de fase se conectan en serie uniendo el principio de uno con el final del otro, tal como se muestra en la figura 3.20.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.20** Esquema de tres generadores monofásicos conectados en triángulo (M.Gussow, 1986).

El punto común de los arrollamientos se conecta a las líneas de alimentación. El receptor para este tipo de generador está compuesto por un sistema de tres cargas, que las representamos por sus impedancias equivalentes que son las fase del receptor, las cuales se pueden unir de forma tal de quedar conectadas en conexión estrella o triángulo.

Identificaremos al punto común de las cargas conectadas en estrella con la letra "O". La forma de conexión del generador y del receptor son independientes, por lo que se puede utilizar cualquier variante. La unión entre el generador y el receptor se efectúa con conductores que llamaremos "**Líneas**".

Si el generador y el receptor están conectados en estrella, el conductor que une ambos centros de estrella se llama "**neutro**".

### 3.1.10 Tensiones y Corrientes. Definición.

Las tensiones en las fases del generador y del receptor las llamaremos tensiones de fase ( $U_F$ ), y sus corrientes, corrientes de fase ( $I_F$ ). Las tensiones entre líneas, se llaman tensiones de línea ( $U_L$ ) y las corrientes por ellas serán corrientes de línea ( $I_L$ ), siendo la tensión entre una línea y el neutro la tensión de fase.

Por lo tanto en una conexión estrella, las tensiones de fase y las de línea son distintas, en cambio las corrientes de fase y las de línea son iguales, como se muestra en la figura 3.21. En una conexión triángulo, las tensiones de fase y de línea son iguales y las corrientes de fase y de línea son distintas, según se ve en la figura 3.22.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

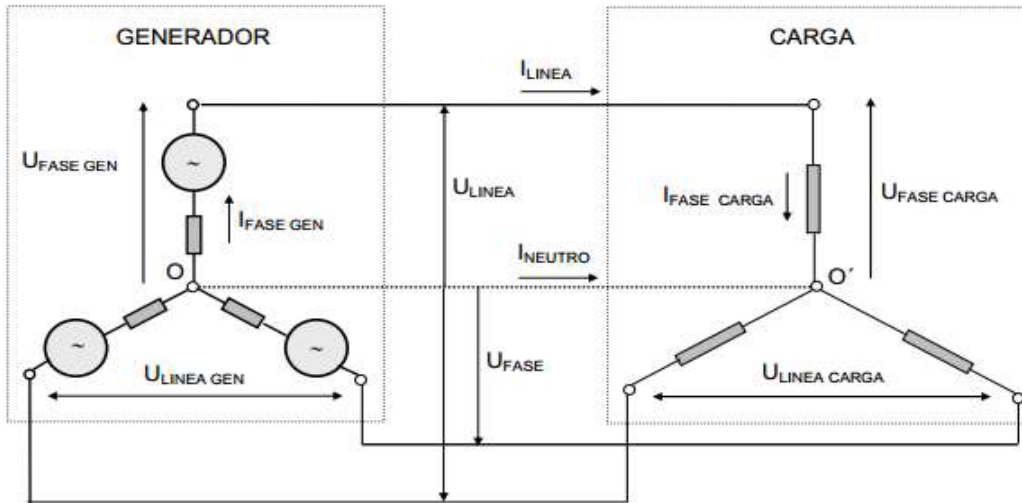


Fig. 3.21 Tensiones y corrientes en conexión estrella en el receptor.

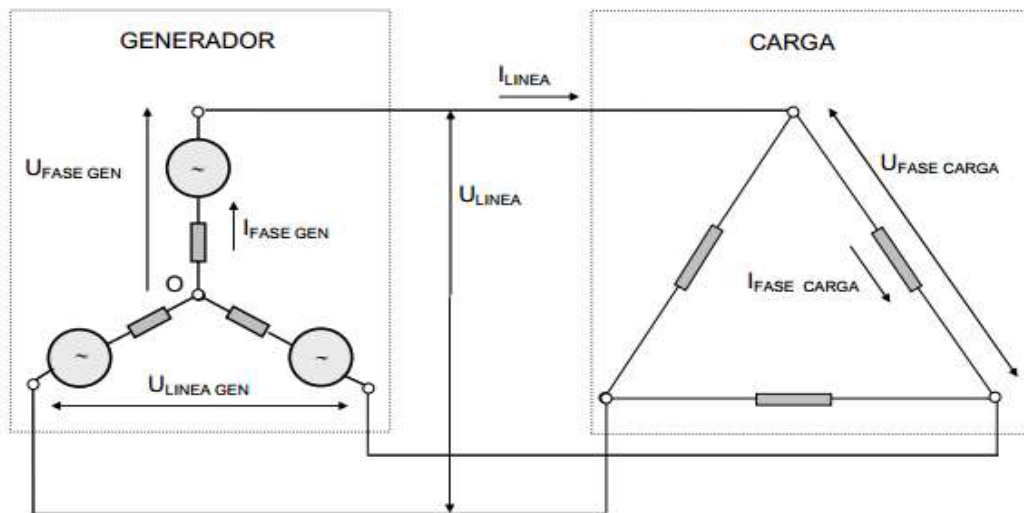


Fig. 3.22 Tensiones y corrientes en conexión triángulo en el receptor.

### 3.1.11 Denominación De Las Redes

Los conductores alimentadores en las redes trifásicas, se los designa con las siguientes letras:

R - S - T para los conductores de fase y O para el conductor neutro.  
De acuerdo a esta denominación tendremos:

$$U_{RO} - U_{SO} - U_{TO} \quad \text{Tensiones de fase del generador}$$

$$U_{RO'} - U_{SO'} - U_{TO'}$$

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Tensiones de fase del receptor ó carga

Tensión entre el centro de estrella del generador y el centro de estrella de la carga o tensión de corrimiento de neutro.

$U_{RS}$ -  $U_{TR}$  -  $U_{ST}$  Tensiones de línea.

$I_R$ -  $I_S$  -  $I_T$  Corrientes de línea

$I_O$  Corriente de neutro

### 3.1.12 Generador Perfecto

El generador que hemos analizado produce en cada fase una fuerza electromotriz senoide, de igual módulo y desfasadas entre si  $120^\circ$  en el tiempo, cumpliéndose además que la suma de las mismas es igual a cero en cualquier instante. El generador que cumple estas características se lo llama generador perfecto.

### 3.1.13 Secuencia

Hemos representado los diagramas fasoriales de tensiones girando en sentido anti-horario. El orden en el cual aparecen los fasores se llama "secuencia" siendo "positiva" o directa (derecha), cuando el orden de aparición de los fasores es:  $U_{RO} - U_{SO} - U_{TO}$  ( $R - S - T$ )

Si en cambio los fasores se suceden en el orden:  $U_{RO} - U_{TO} - U_{SO}$  ( $R - T - S$ ) la secuencia se llama negativa o inversa. En los diagramas de la figura 3.23 se muestran ambos casos.

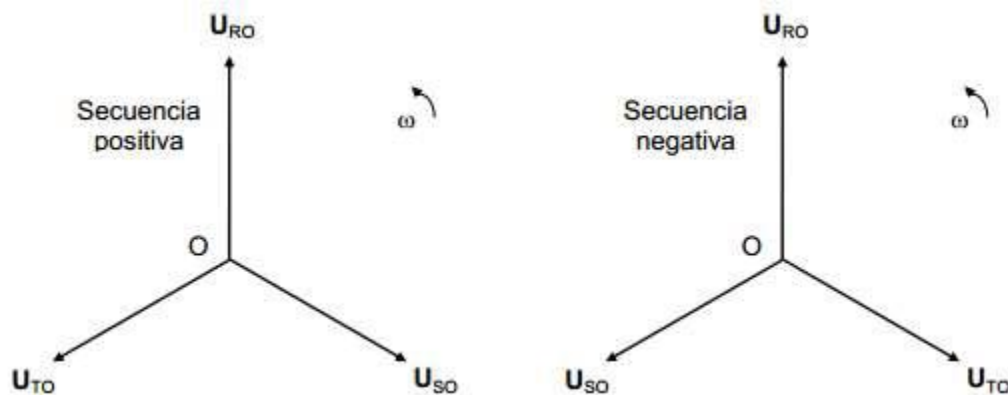
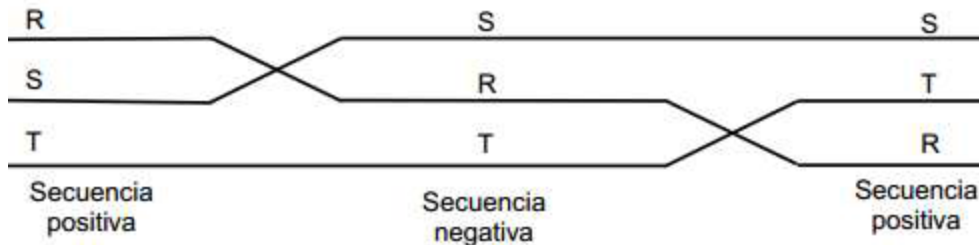


Fig. 3.23 Secuencias.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

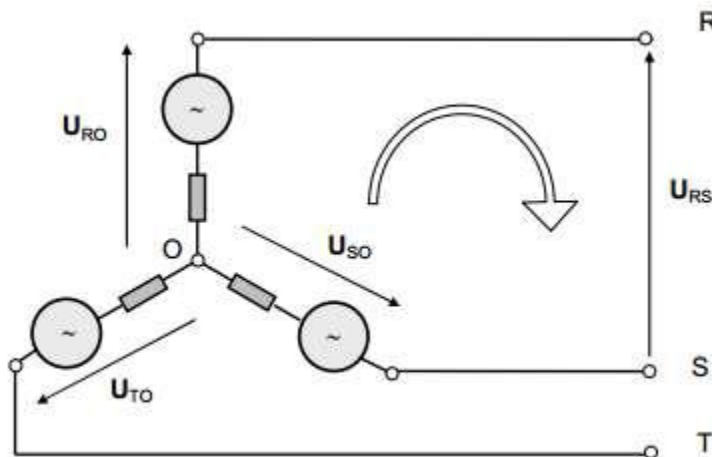
Podemos pasar de una secuencia a otra, mediante la transposición de dos fases Cualesquiera y de acuerdo al esquema de la figura 3.24.



**Fig. 3.24** Cambios en las secuencias.

### 3.1.14 Relación Entre Tensiones De Sistemas Perfectos

Sea el esquema equivalente de un generador de tensiones trifásicas como el de la figura 3.25, en el cual se indican las tensiones de fase y de línea con su sentido de acuerdo a la convención vista.



**Fig. 3.25** Esquema equivalente de un generador de tensiones trifásico.

Si tomamos la tensión de línea  $U_{RS}$  y hacemos una circulación en la malla que contiene a  $U_{RO}$  y  $U_{SO}$ , de acuerdo a la segunda Ley de Kirchhoff:



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

$$U_{SO} - U_{RO} - U_{RS} = 0 \quad \Rightarrow \quad U_{RS} = U_{RO} - U_{SO}$$

Como:

$$U_{RO} = U_F \angle 90^\circ \quad U_{SO} = U_F \angle 330^\circ$$

Nos queda:

$$U_{RS} = U_F \angle 90^\circ - U_F \angle 330^\circ$$

$$U_{RS} = jU_F - \frac{\sqrt{3}}{2}U_F + j\frac{1}{2}U_F = U_F(-0,866 + j1,50) = \sqrt{3}U_F \angle 120^\circ$$

De aquí podemos observar que el módulo de las tensiones de línea y las de fase, cuando el sistema es perfecto, se relacionan por:

$$U_L = \sqrt{3}U_F$$

### 3.1.15.-Fuentes De Corriente Directa

La corriente continua (C.C.), a veces también llamada corriente directa (C.D.) es la corriente que se mueve en un circuito o conductor únicamente en una dirección figura 3.26. La razón de que la corriente sea unidireccional es que las fuentes de voltaje tales como celdas y baterías mantienen la misma polaridad en su voltaje de salida figura 3.27.

El voltaje que proporcionan estas fuentes se llama voltaje de corriente continua o directa. Una fuente de voltaje de corriente directa puede cambiar la magnitud de su voltaje de salida, pero siempre se mantiene la misma polaridad y por lo tanto la corriente fluirá solamente en una dirección.

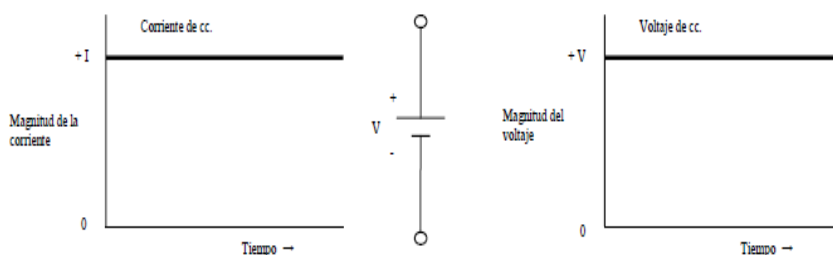
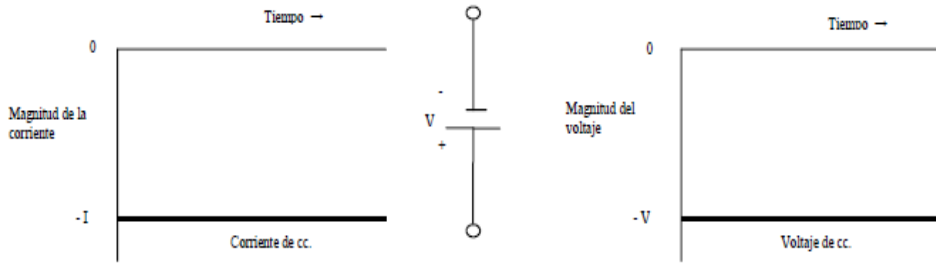


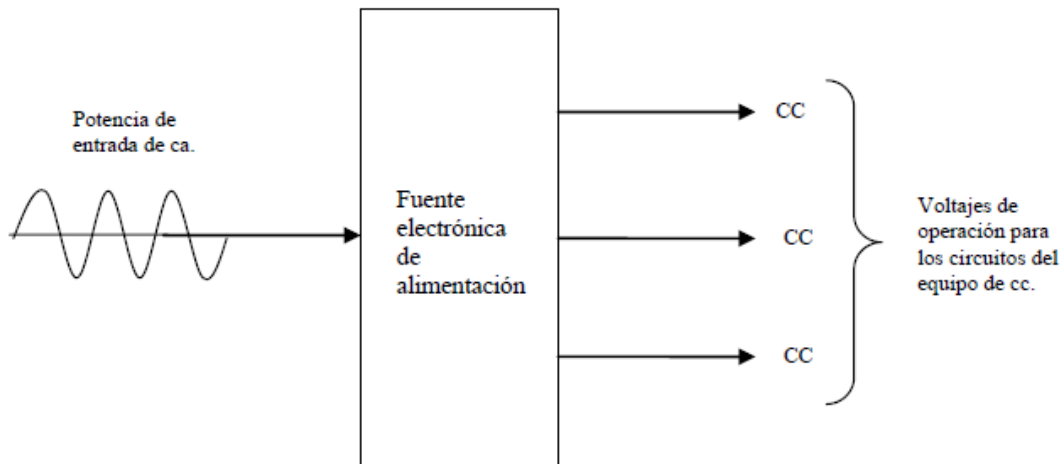
Fig. 3.26 Corriente continúa.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.27** Formas de onda de corriente y voltaje de C.C constantes.

Para asegurar el funcionamiento correcto de los circuitos integrados y transistores utilizados en el equipo electrónico, es necesario aplicarles determinados voltajes de operación. Por lo general dichos voltajes se obtienen de una fuente de alimentación, que proporciona la corriente con las características adecuadas que deben de ser voltajes de operación de una C.C. prácticamente pura. Algunos aparatos tienen baterías para proporcionar estos voltajes, pero en la mayor parte del equipo electrónico se usa alguna de las fuentes de alimentación electrónicas como se muestra en la figura 3.28.



**Fig. 3.28** Conversión de C.A. a C.C.

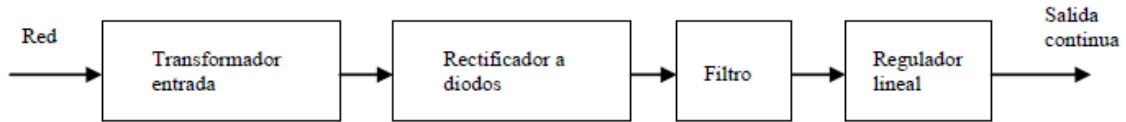
La función de una fuente de alimentación consiste en:

- ❖ Rectificar la potencia de entrada de C.A.
- ❖ Alisar o filtrar la C.C. obtenida, ya que es fluctuante.

Componentes y función de una fuente de alimentación: La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, figura 3.29. Para ello se usan los siguientes componentes:

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

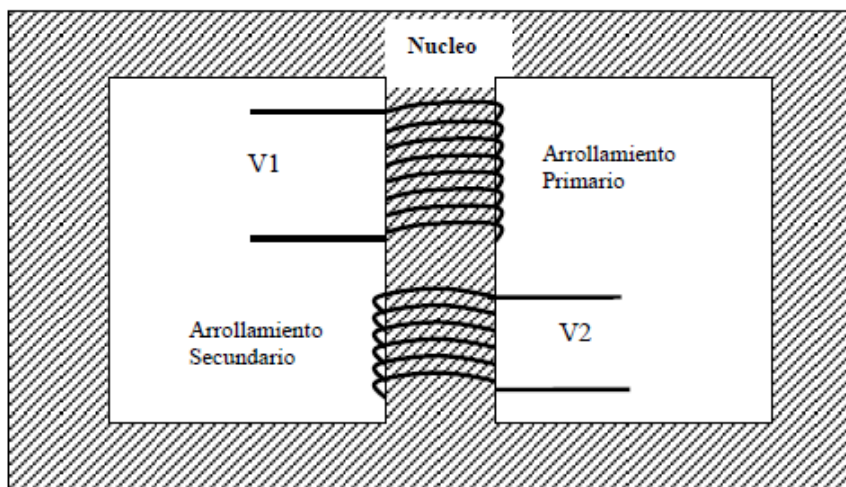
- 1.- Transformador de entrada.
- 2.- Rectificador a diodos.
- 3.- Filtro para el rizado.
- 4.- Regulador (o estabilizador) lineal. Este último no es imprescindible.



**Fig. 3.29** Bloques de una fuente de alimentación de C.C.

### 3.1.16.-Transformador De Entrada

El transformador de entrada reduce la tensión de red generalmente 220 o 120 V a otra tensión más adecuada para ser tratada. Solo es capaz de trabajar con corrientes alternas, esto quiere decir que la tensión de entrada será alterna y la de salida también, consta de dos arrollamientos sobre un mismo núcleo de hierro, ambos arrollamientos, primario y secundario, son completamente independientes y la energía eléctrica se transmite del primario al secundario en forma de energía magnética a través del núcleo. El esquema de un transformador simplificado es el siguiente, figura 3.30.



**Fig. 3.30** Esquema básico de un transformador.

La corriente que circula por el arrollamiento primario (el cual está conectado a la red) genera una circulación de corriente magnética por el núcleo del transformador. Esta corriente magnética será más fuerte cuantas más espiras (vueltas) tenga el arrollamiento primario. Si se acerca un imán a un transformador en funcionamiento se podrá percibir que el imán vibra, esto es debido a que la corriente magnética del núcleo es alterna, igual que la corriente por los arrollamientos del transformador.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

En el arrollamiento secundario ocurre el proceso inverso, la corriente magnética que circula por el núcleo genera una tensión que será tanto mayor cuanto mayor sea el número de espiras del secundario y cuanto mayor sea la corriente magnética que circula por el núcleo (la cual depende del número de espiras del primario). Por lo tanto, la tensión de salida depende de la tensión de entrada y del número de espiras de primario y secundario.

Como fórmula general se dice que:  $V1 = V2 * \left(\frac{N1}{N2}\right)$

Donde N1 y N2 son el número de espiras del primario y el del secundario respectivamente.

Así por ejemplo podemos tener un transformador con una relación de transformación de 220 V a 12 V, no podemos saber cuántas espiras tiene el primario y cuántas el secundario pero si podemos conocer su relación de espiras:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2}$$

$$\frac{N1}{N2} = \frac{120}{12} = 18.33$$

Este dato es útil si queremos saber que tensión nos dará este mismo transformador si lo conectamos a 120V en lugar de 220V, la tensión V2 que dará a 120 V será:

$$120 = V2 * 18.33$$

$$V2 = \frac{120}{18.33} = 6.5V$$

Por el primario y el secundario pasan corrientes distintas, la relación de corrientes también depende de la relación de espiras pero al revés, de la siguiente forma:

$$I2 = I1 \left(\frac{N1}{N2}\right)$$

Donde I1 e I2 son las corrientes de primario y secundario respectivamente. Esto nos sirve para saber que corriente tiene que soportar el fusible que pongamos a la entrada del transformador, por ejemplo, supongamos que el transformador anterior es de 0.4 Amperios.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Esta corriente es la corriente máxima del secundario I2 pero nosotros queremos saber que corriente habrá en el primario I1 para poner allí el fusible. Entonces aplicamos la fórmula.

$$I_2 = I_1 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$$

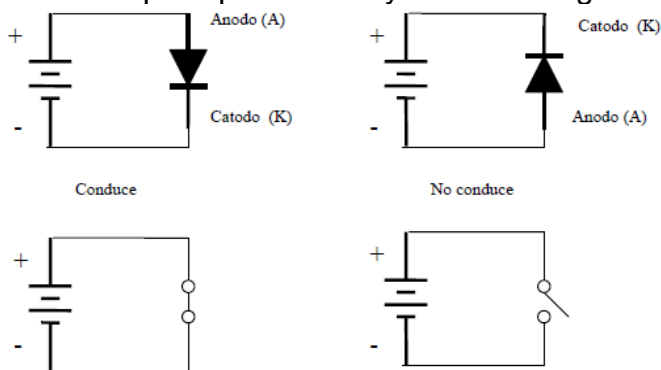
$$0.4 = I_1 * 18.33$$

$$I_1 = \frac{0.4}{18.33} = 21.8 \text{ mA.}$$

Para asegurarnos de que el fusible no se dispare cuando no debe, se tomará un valor mayor que este, por lo menos un 30% mayor.

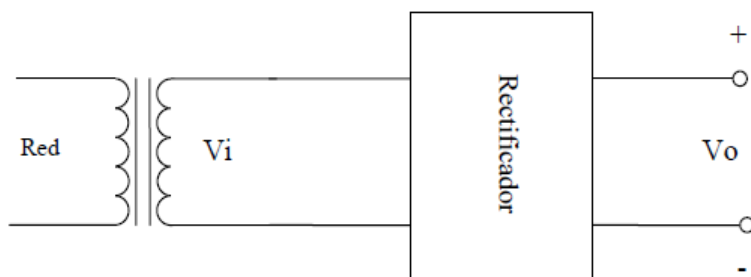
### 3.1.17.-Rectificador A Diodos

El rectificador es el que se encarga de convertir la tensión alterna que sale del transformador en tensión continua, para ello se utilizan diodos. Un diodo conduce cuando la tensión de su ánodo es mayor que la de su cátodo, es como un interruptor que se abre y se cierra según la tensión de sus terminales:



**Fig. 3.31** Conducción y apertura de un diodo.

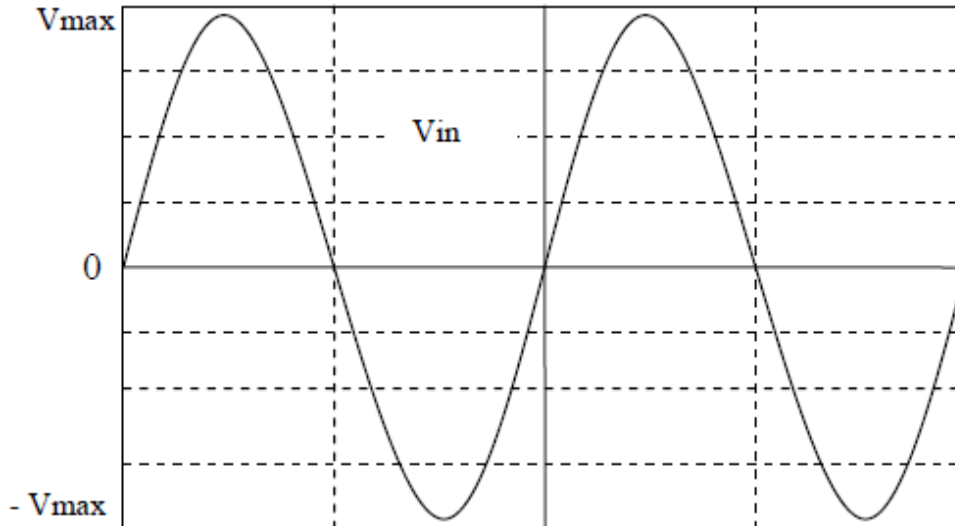
El rectificador se conecta después del transformador figura 3.32. Por lo tanto rectifica la tensión alterna en tensión continua, es decir, un polo positivo y otro negativo:



**Fig. 3.32** El rectificador se conecta al secundario del transformador.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

La tensión  $V_i$  es alterna y sinusoidal, esto quiere decir que a veces es positiva y otras negativa. En un osciloscopio veríamos esto:



**Fig. 3.33** Tensión de voltaje de entrada.

La tensión máxima a la que llega  $V_i$  se le llama tensión de pico y en la gráfica figura 3.33 la señal se llama de pico a pico como  $V_{max}$ . La tensión de pico no es lo mismo que la tensión eficaz pero están relacionadas, Por ejemplo, si compramos un transformador de 6 voltios son 6 voltios eficaces, estamos hablando de  $V_i$ . Pero la tensión de pico  $V_{max}$  vendrá dada por la ecuación:

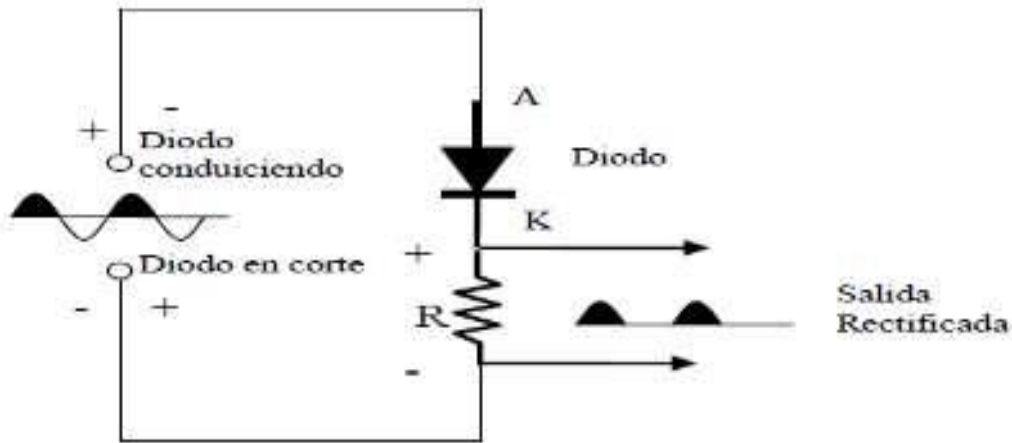
$$V_{max} = V_i * 1.4142$$

$$V_{max} = 6 * 1.4142 = 8.48V$$

### 3.1.18.-Rectificador Básico De Media Onda

Según se ha descrito, la rectificación consiste en eliminar la mitad de una onda simétrica, ya sea sinusoidal o de otro tipo. El dispositivo que más se usa para efectuar la rectificación es el diodo semiconductor, aprovechando su característica de conducción unidireccional. El diodo solo conduce únicamente durante los semi-ciclos alternados (+). La figura 3.34 muestra el circuito básico de un rectificador de media onda.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

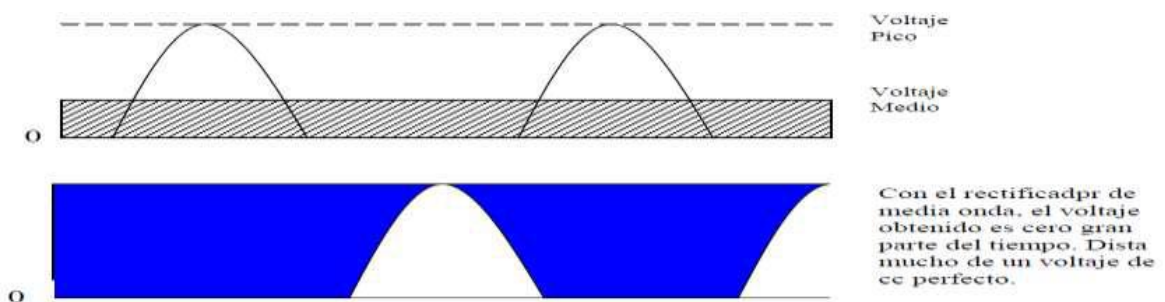


**Fig. 3.34** El voltaje rectificado de salida que se desarrolla en el resistor de carga R es una C.C fluctuante.

En el diodo, durante los semi-ciclos positivos el voltaje de C.A. de entrada hace que el ánodo del diodo sea más positivo respecto al cátodo, como resultado el diodo conduce y la corriente fluye a través del resistor R, produciendo en él una caída de voltaje. La forma de onda de dicha caída es igual a la del semiciclo del voltaje de C.A. de entrada que originó la conducción del diodo.

Durante los semi-ciclos negativos del voltaje de C.A. de entrada, el ánodo del diodo es negativo con respecto al cátodo y en tales condiciones, no hay conducción ni puede haber caídas de voltaje en el resistor R, por consiguiente la salida del diodo es el voltaje creado en R y consiste en una serie de pulsos que corresponden a los semi-ciclos positivos de la C.A. de entrada. A un diodo de este tipo se le llama rectificador de media onda, ya que produce una salida solo durante los semi-ciclos alternados del voltaje de entrada.

El rectificador de media onda toma potencia de la fuente de alimentación solo durante la mitad del ciclo de entrada, por lo tanto es limitada la cantidad de corriente que a su vez puede suministrar a una carga, por esta razón el rectificador de media onda se usa solo en aplicaciones que requieren una corriente relativamente pequeña, figura 3.35.



**Fig. 3.35** En un rectificador de media onda, el voltaje de salida tiene un valor de 0.318 veces el voltaje pico de entrada.

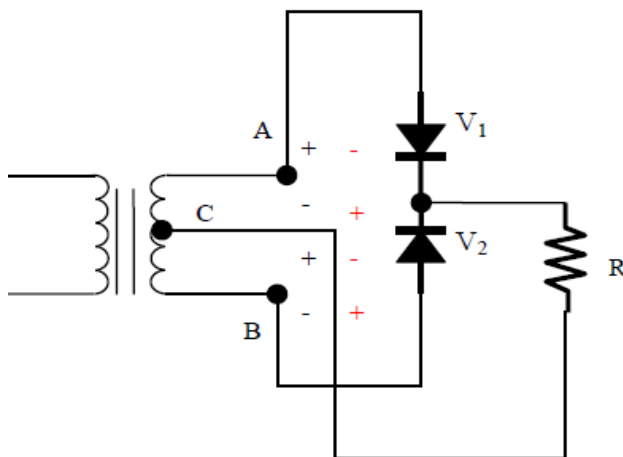
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Otra desventaja del rectificador de media onda es que el flujo de corriente en el secundario del transformador siempre se efectúa en la misma dirección. Debido a ello se produce una elevada saturación en el núcleo de hierro del transformador con lo cual se reduce la eficiencia en éste.

Probablemente la mayor desventaja que tiene el rectificador de media onda consiste en que su salida dista mucho de ser un voltaje de C.C. perfecto. Esto se debe a que los pulsos de salida están separados por periodos relativamente largos en el que el voltaje es igual a cero. Por lo tanto, en aplicaciones que requieren un voltaje de C.C. invariable, no se recomienda usar el rectificador de media onda.

### 3.1.19.-Rectificador De Onda Completa

Las desventajas que tiene el rectificador de media onda se pueden superar utilizando un dispositivo llamado rectificador de onda completa. En este tipo de rectificador hay dos diodos, conectados de tal manera que cada uno de ellos conduzca durante los semi-ciclos alternados de la C.A. de entrada. Los dos diodos tienen una carga común y a través de ella el flujo de corriente siempre tiene la misma dirección.



**Fig. 3.36** Rectificador de onda completa.

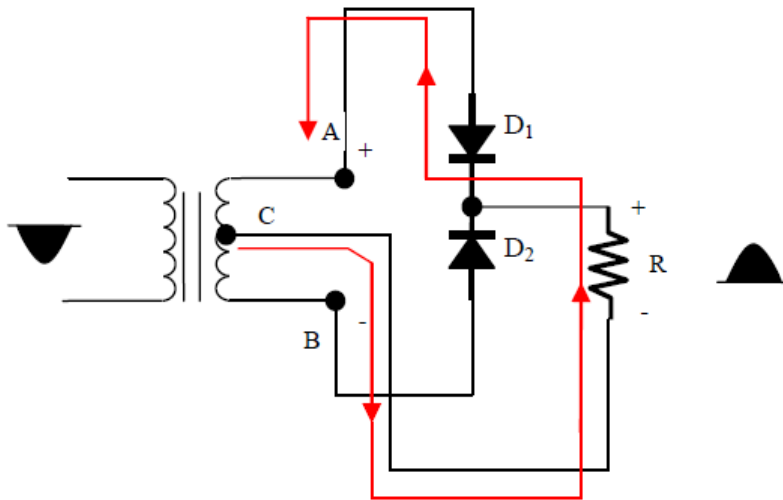
La figura 3.36 muestra el circuito básico de un rectificador de onda completa, los ánodos de los diodos están conectados a los extremos opuestos del secundario del transformador. El resistor de cátodo común, R, se conecta entre los dos cátodos y una terminal que constituye la toma central del arrollamiento secundario.

C es el punto medio eléctrico del devanado secundario, de modo que a una mitad del voltaje inducido esta entre los puntos A y C, mientras que la otra queda entre B y C. Sin embargo, los dos voltajes están desfasados 180 grados entre sí, ya que se miden con respecto al punto de referencia común, C. El voltaje obtenido entre A y C se aplica entre el ánodo y el cátodo del diodo V1, mientras que el voltaje generado entre B y C se aplica a V2.



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Se ha mencionado que los voltajes inducidos en el secundario con toma central están desfasados  $180^\circ$  entre si y esto hace que los dos diodos del rectificador de onda completa conduzcan durante los semi-ciclos del voltaje de C.A. de entrada. Esto se muestra en la siguiente figura 3.37 se observa que durante cada semiciclo negativo de la C.A. de entrada, el extremo del devanado secundario conectado al diodo D1 es positivo, mientras que el extremo conectado a D2 es negativo. Por consiguiente, el punto C resulta negativo con respecto al punto A y positivo con respecto al punto B. Esto significa que el ánodo de D1 es positivo con respecto a su cátodo y el ánodo de D2 es negativo, con respecto a su cátodo. Como resultado el diodo D1 conduce y el diodo D2 está en corte. La trayectoria de la corriente aplicada a D1 es: del punto C, a través del resistor de carga R, y a través de D1, después de lo cual regresa al punto A del transformador. El voltaje que se genera en el resistor R tiene una forma de onda similar al semiciclo de la C.A. de entrada y una polaridad positiva.

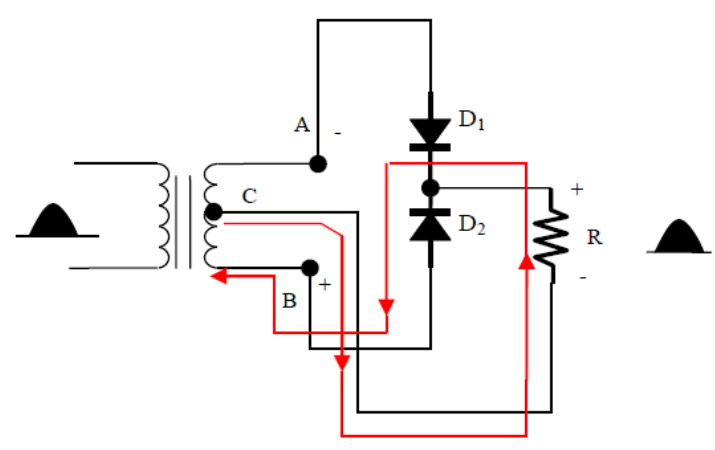


**Fig. 3.37** D1 conduce para la polaridad del voltaje.

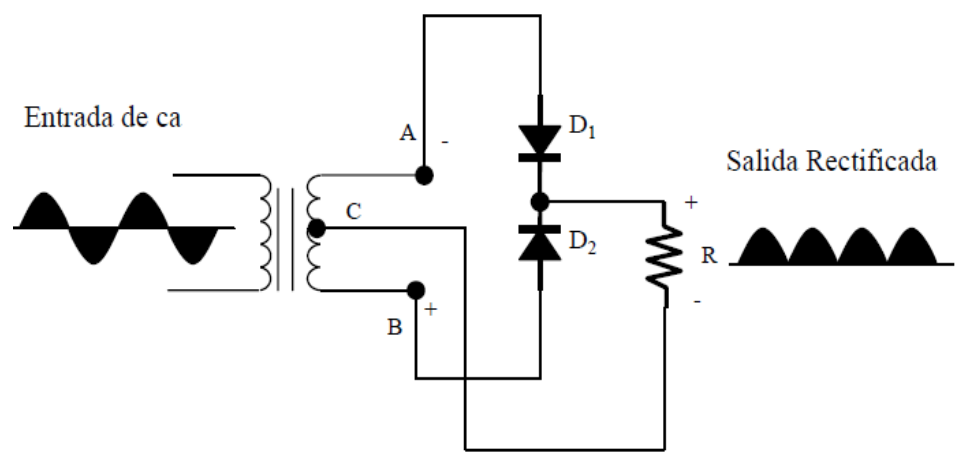
Durante cada semi-ciclo positivo de la entrada se invierte la polaridad del voltaje inducido en el secundario del transformador. Ahora el ánodo de D2 es positivo con respecto a su cátodo y el ánodo de D1 es negativo con respecto a su cátodo; D2 conduce y D1 está en corte. En el diagrama de la figura 3.38 se muestra la trayectoria que recorre la corriente, cuando conduce D2. Se observa que el pulso de salida generado en el resistor de carga tiene la misma polaridad que el pulso mostrado en A y producido por el semiciclo negativo de la C.A. de entrada.

Entonces, cada semiciclo de la C.A. de entrada produce un pulso de salida en R y todos los pulsos son de la misma polaridad, se aprecia en la figura 6.39.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



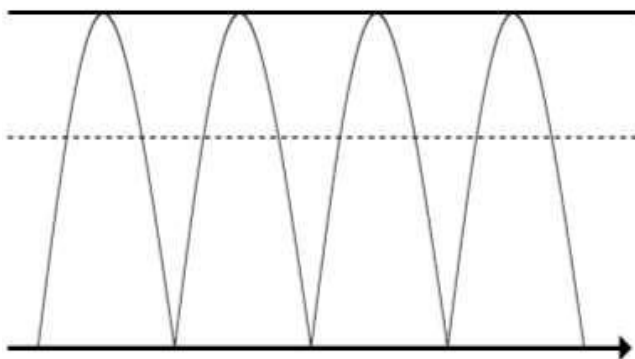
**Fig. 3.38** D2 conduce para la polaridad de voltaje.



**Fig. 3.39** En el rectificador de onda completa, la corriente que atraviesa la resistencia de carga R fluye en la misma dirección durante los dos semi-ciclos de la entrada de C.A.

De esta manera el rectificador de onda completa produce una salida rectificada por cada semiciclo de la C.A. de entrada, mientras que el rectificador de media onda únicamente lo hace por uno de los dos semi-ciclos. El valor medio del voltaje de salida es igual al que tiene el voltaje de una onda sinusoidal, o sea 0.637 veces el voltaje pico y el voltaje medio es igual 0.707 del voltaje pico figura 3.40.

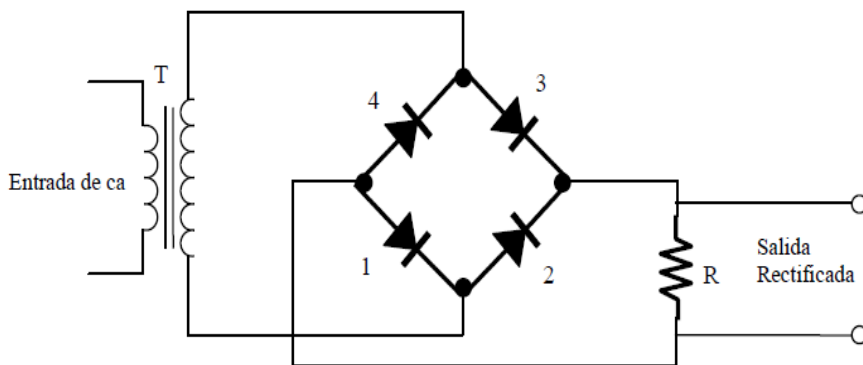
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.40** El voltaje medio de salida de un rectificador de onda completa es 0.637 veces el valor pico.

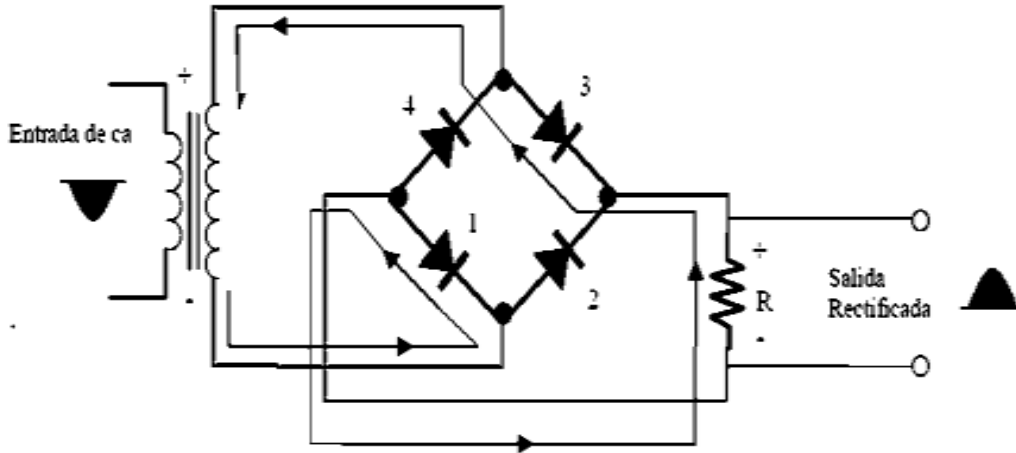
### 3.1.20.-Rectificador Puente

La figura 3.41 muestra un tipo especial de rectificador de onda completa cuyo circuito muestra una red de cuatro diodos y que se conoce como rectificador en puente. La C.A. de entrada se aplica en dos esquinas diagonalmente opuestas de la red y la salida rectificada se toma entre las otras dos. Durante los semiperiodos de la entrada de C.A. que hacen positiva la parte superior del secundario del transformador y, negativa la parte inferior, la red funciona como si el voltaje del secundario se aplicará a un divisor de voltaje compuesto del diodo 1, el resistor de carga R y el diodo 3. Por tanto la corriente fluye, de la parte inferior del secundario a través de los diodos 1 y 3 y del resistor R, para regresar a la parte superior del transformador esto puede verse en la figura 6.43.



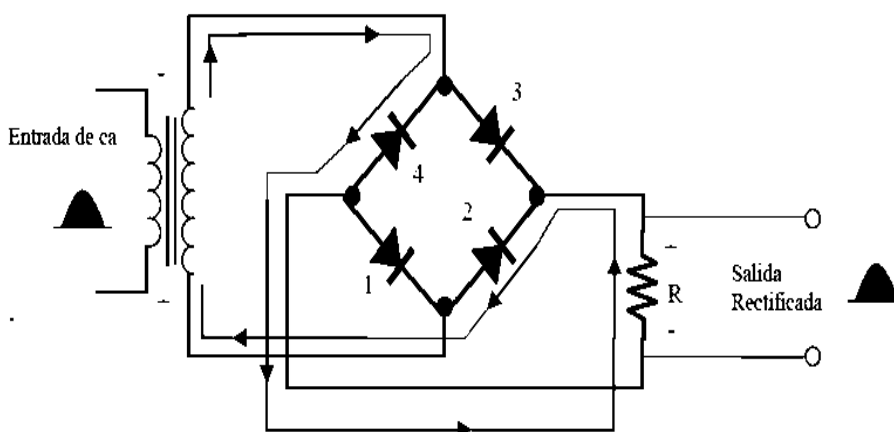
**Fig. 3.41** Un rectificador en puente emplea cuatro diodos, las conexiones de entrada de C.A. y de salida rectificada se encuentra en las esquinas opuestas del circuito en puente.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



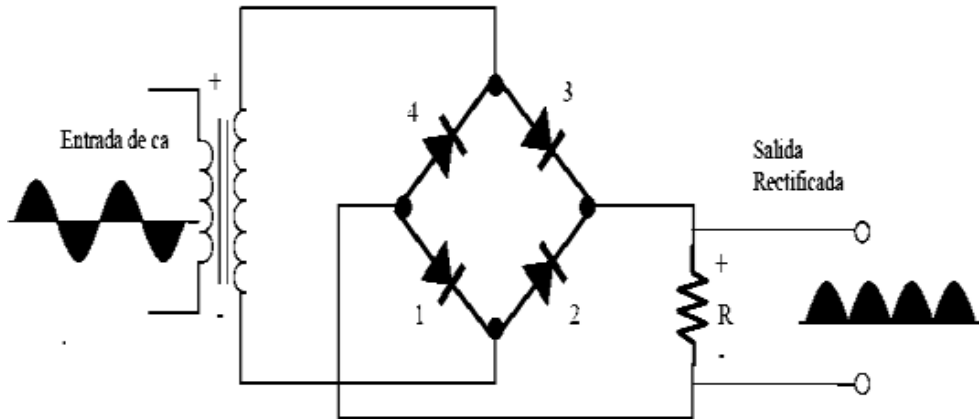
**Fig. 3.42** Un rectificador en puente emplea cuatro diodos; las conexiones de C.A. De entrada y de salida rectificada se encuentra en las esquinas opuestas del circuito en puente.

Durante los otros semi-ciclos, el secundario del transformador es positivo en su parte inferior y negativo en la superior. Los diodos 1 y 3 no pueden conducir por que la polaridad del voltaje hace que estén en corte; sin embargo pueden hacerlo los diodos 2 y 4. Ahora la trayectoria de corriente es: de la parte superior del transformador al diodo 4; luego, a través del resistor de carga y del diodo 2 para regresar a la parte inferior del secundario del transformador. Esto se puede ver en la figura 3.42. Durante el semi-ciclo positivo de la entrada de C.A, así como el negativo, el flujo de corriente a través del resistor R, se efectúa en el mismo sentido. Por lo tanto el voltaje de salida generado en R constituye una versión rectificada de la entrada de C.A figura 3.43.



**Fig. 3.43** Los diodos 2 y 4 conducen con la polaridad del voltaje.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.44** En el rectificador de puente, la corriente que atraviesa el resistor de carga  $R$  fluye en la misma dirección.

En el rectificador de puente, de la figura 3.44 dos de los cuatro diodos conducen durante los semi-ciclos positivos de la entrada de C.A y los otros dos diodos durante los semi-ciclos negativos. Durante ambos semi-ciclos, la corriente que atraviesa el resistor de carga  $R$  fluye en la misma dirección.

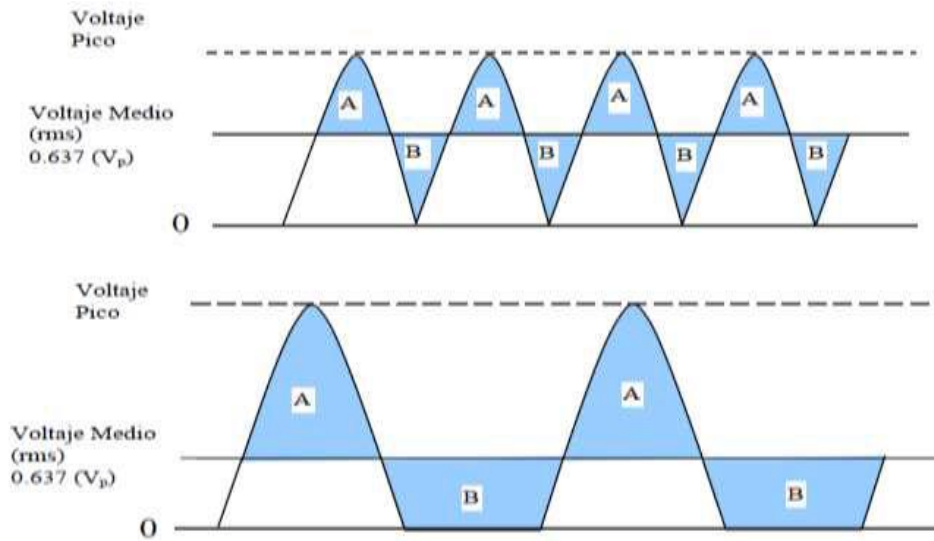
### 3.1.21.-Filtrado

Ya se ha mencionado como los diferentes tipos de rectificadores convierten una entrada de C.A en una salida de C.C. fluctuante. La fluctuación del voltaje de C.C, arriba y debajo de su valor medio se llama ondulación. En un rectificador de media onda la frecuencia de la ondulación es la misma que la frecuencia de la entrada de C.A debido a que produce un ciclo por pulso.

En un rectificador de onda completa la frecuencia de ondulación es el doble de dicha entrada, ya que se producen dos pulsos por ciclo. Así pues, si la entrada es de una fuente de 60 ciclos por segundo (cps) la salida de un rectificador de media onda tiene una frecuencia de ondulación de 60 cps, mientras que la de un rectificador de onda completa tiene una frecuencia de ondulación de 120 cps.

La mayor parte de los aparatos electrónicos deben trabajar con voltajes de C.C. esencialmente lisos. Debido a ello, la salida de un rectificador no se puede aplicar directamente a estos aparatos, sino que antes hay que eliminar la ondulación figura 3.45. A los circuitos utilizados para alisar dicha salida se le llama filtros.

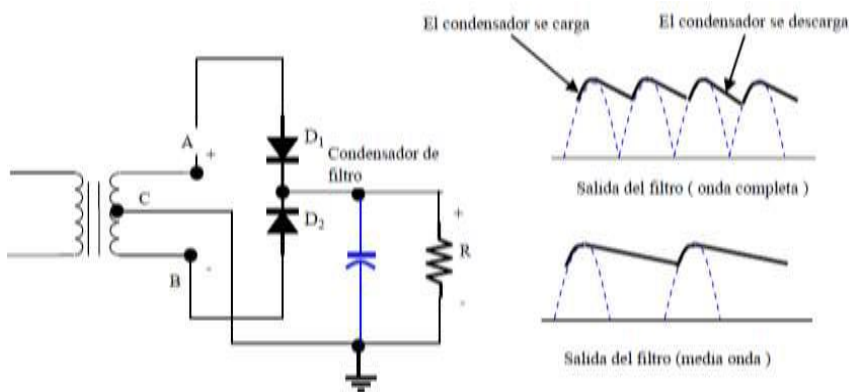
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.45** El voltaje rectificado medio está representado por una línea que divide la onda de tal manera que el área A es igual al área B.

En principio, los circuitos de filtro comprimen los picos de los pulsos individuales de la CC fluctuante y llenan los valles que están entre los pulsos, obteniéndose así un voltaje de C.C. prácticamente liso. Mientras más complejos sean dichos circuitos, más se parecerá su salida a la C.C. perfecta suministrada por una batería.

### 3.1.22.-Filtrado Por Capacitancia



**Fig. 3.46** El condensador de filtro se descarga más entre los pulsos de salida de un rectificador de onda completa.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

El condensador de filtro de la figura 3.46 se descarga más entre los pulsos de salida de un rectificador de onda completa. Esto significa que en un filtro que trabaja con el rectificador de media onda la regulación de voltaje es deficiente ya que la salida del filtro disminuye en cada intervalo entre dos pulsos rectificadas. La salida de un rectificador se caracteriza por sus ondulaciones, porque la energía aplicada a la carga se suministra a esta en pulsos. Tales ondulaciones se podrían atenuar considerablemente, si se almacenara una parte de la salida producida durante los pulsos, a fin de liberarla y suministrarla a la carga en los intervalos que hay entre los pulsos. En este principio se basa el funcionamiento de un circuito de filtro sencillo en que se utiliza un tipo especial de condensador, llamado condensador de filtro.

Según se aprecia en la figura 3.46, este circuito consta de un condensador de filtro conectado en derivación a la salida del rectificador. El condensador se carga rápidamente, por lo regular en unos cuantos ciclos alcanza un valor igual al voltaje pico del rectificador. Cuando la salida de éste se reduce a cero en los intervalos que separan los pulsos, el condensador suministra el voltaje a la carga, con lo cual comienza a descargarse. Sin embargo su ritmo de descarga es lento en comparación con lo que dura un intervalo entre dos pulsos de salida.

Por lo tanto, el voltaje del condensador no se reduce a cero después de cada intervalo y el dispositivo sigue aplicándolo a la carga aunque a un valor cada vez más bajo. Además, después de cada intervalo el rectificador le proporciona un nuevo pulso al condensador, de modo que vuelve a cargarse al valor de voltaje de pico y otra vez está listo para aplicar el voltaje a la carga, cuando se reduce la salida del rectificador.

La rapidez con que se descarga el condensador y por lo tanto el valor medio al que se mantiene el voltaje de salida, depende de la constante de tiempo RC del condensador y la resistencia de carga. Para valores bajos de la resistencia de carga la descarga es relativamente rápida, de manera que el voltaje de salida se reduce bruscamente entre los pulsos del rectificador. Esta condición conocida como regulación deficiente es muy indeseable, razón por la cual este sistema de filtro no se usa con los rectificadores que deben suministrar una considerable corriente de carga o, en otras palabras, con los que tienen resistencias de carga de valor bajo.

Por lo general, para este propósito se utilizan los condensadores electrolíticos, es decir, condensadores especiales que están polarizados. Así, el lado positivo del condensador está marcado para que pueda conectarse correctamente; si se conecta al revés, estallarían y se perderían.

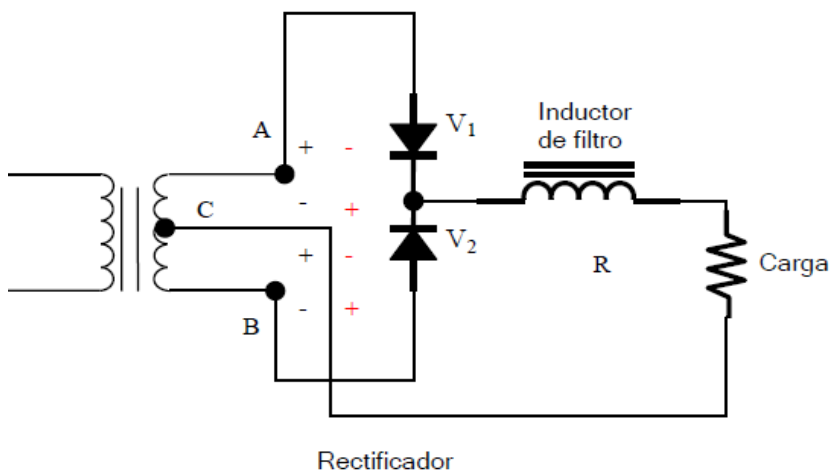
### **3.1.23.-Filtrado por inductancia**

El inductor o bobina de inducción es otro dispositivo que puede almacenar y liberar alternadamente, energía eléctrica. Cuando aumenta la corriente que fluye a través de la bobina, esta le extrae energía y la almacena en un campo

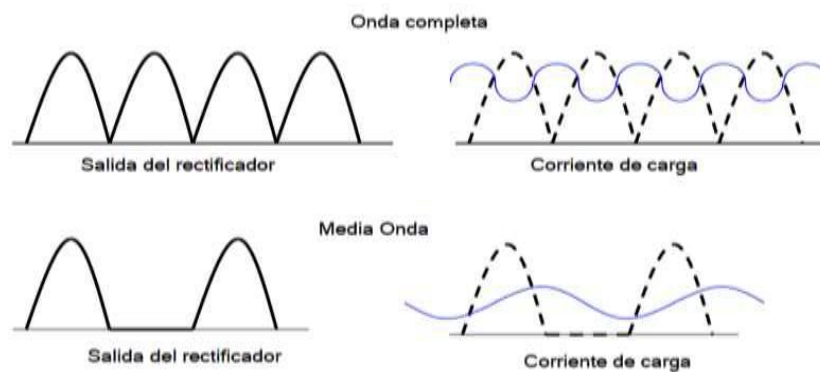
Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

magnético. Posteriormente, cuando la corriente comienza a disminuir, la bobina libera la energía almacenada, a fin de mantener el flujo de la corriente a un valor constante.

La propiedad de almacenar y liberar energía que tienen los inductores se puede aprovechar para evitar los cambios abruptos en la salida de un rectificador. Para lograrlo se inserta el inductor en el circuito rectificador, conectándolo en serie con la carga, según se muestra en la figura 3.47. El inductor tiende evitar que la corriente de salida aumente o disminuya; por otra parte, el efecto que tiene en la onda de salida se puede observar en la figura 3.48.



**Fig. 3.47** El filtrado por inductancia se logra, cuando el inductor se opone a los cambios de la corriente de salida del rectificador.



**Fig. 3.48** El inductor impide que la corriente de carga aumente o disminuya.

Un filtro con inductor evita que la corriente y en consecuencia el voltaje de salida lleguen al valor de pico que se obtendría si no estuviese el inductor en el circuito. Por lo tanto un rectificador con filtro de inductor no producirá un voltaje tan alto como el que tenga un filtro a base de capacitancia. Por otra parte, del primero se puede tomar una corriente de carga mayor, sin que variara mucho el voltaje de salida. Ya se han visto los diferentes tipos de circuito que pueden constituir una



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

fuentes electrónicas de alimentación. El tipo de circuito o combinación de circuitos que se seleccione para una fuente de alimentación dada, depende de los requisitos de servicio específicos.

### 3.1.24.- Potencia activa, reactiva y aparente

El concepto de potencia activa, reactiva y aparente desempeña un papel importante en la tecnología de la potencia eléctrica. De hecho, la transmisión de energía eléctrica y el comportamiento de máquinas de ca con frecuencia son fáciles de entender trabajando con potencia en lugar de trabajar con voltajes y corrientes.

El término *potencia activa o real, reactiva y aparente* se aplica a circuitos de corriente alterna de estado permanente, en los que los voltajes y las corrientes son sinusoidales. No podemos utilizarlos para describir comportamiento de estado transitorio ni podemos aplicarlos a circuitos de cd. (Wildi, 2007)

#### 3.1.24.1 Potencia instantánea

La potencia instantánea suministrada a un dispositivo es simplemente el producto del voltaje instantáneo a través de sus terminales multiplicados por la corriente instantánea que fluye a través de él.

La potencia instantánea siempre se expresa en watts, independientemente del tipo de circuito utilizado. La potencia instantánea puede ser positiva o negativa. Un valor positivo significa que la potencia fluye hacia el dispositivo. Por el contrario, un valor negativo indica que la potencia sale del dispositivo.

Se aplica un voltaje sinusoidal con valor pico de 162 V y una frecuencia de 60 Hz a las terminales de un motor de ca. La corriente resultante tiene un valor pico de 7.5 A y está retrasada 50° con respecto al voltaje. (Wildi, 2007).

- Expresar el voltaje y la corriente en función del ángulo eléctrico.
- Calcular el valor de la corriente y el voltaje instantáneos a un ángulo de 120°.
- Calcular el valor de la potencia instantánea a 120°.
- Trazar la curva de la potencia instantánea suministrada al motor.

Solución

- Supongamos que el voltaje comienza en cero y se incrementa positivamente con el tiempo. Por lo tanto, podemos escribir

$$e = E_m \sin \phi = 162 \sin \phi$$

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

La corriente se retrasa un ángulo  $\theta = 50^\circ$  con respecto al voltaje, por consiguiente, podemos escribir

$$i = I_m \sin(\phi - \theta) = 7.5 \sin(\phi - 50^\circ)$$

b. Con  $\phi = 120^\circ$ , tenemos

$$\begin{aligned} e &= 162 \sin 120^\circ = 162 \times 0.866 \\ &= 140.3 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i &= 7.5 \sin(120^\circ - 50^\circ) = 7.5 \sin 70^\circ \\ &= 7.5 \times 0.94 \\ &= 7.05 \text{ A} \end{aligned}$$

c. La potencia instantánea a  $120^\circ$  es

$$p = ei = 140.3 \times 7.05 = + 989 \text{ W}$$

Como la potencia es positiva, en este instante fluye hacia el motor.

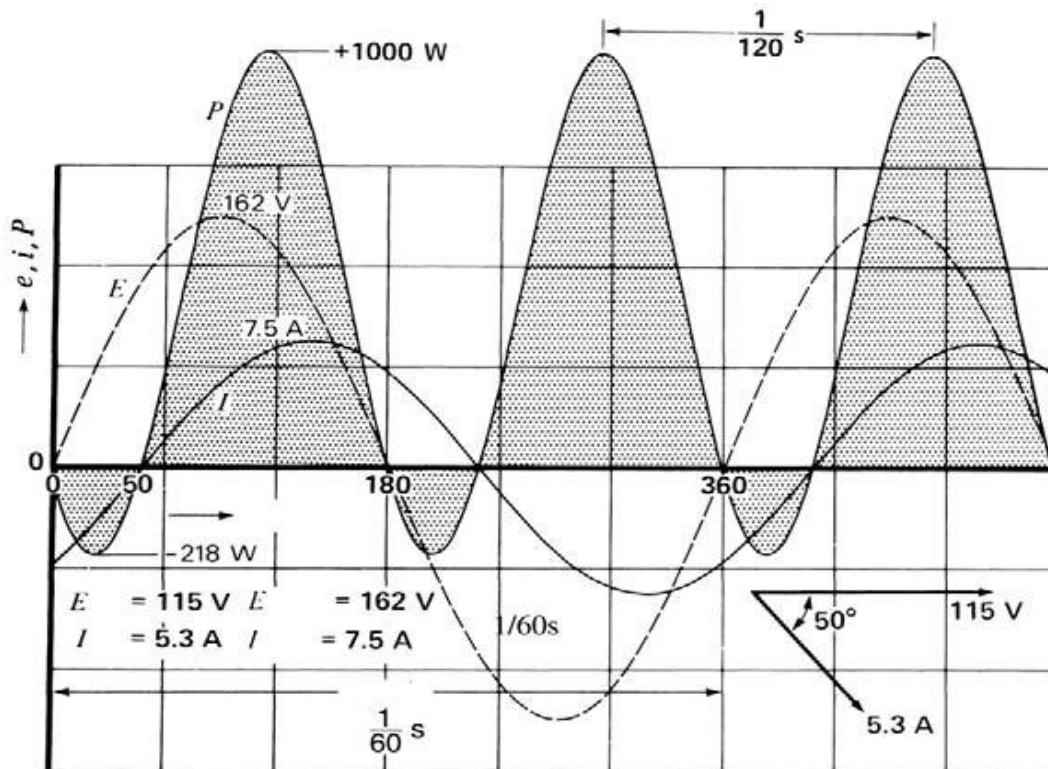
d. Para trazar la curva de potencia instantánea, repetimos los procedimientos (b) y (c) para los ángulos que van desde  $\phi = 0$  hasta  $\phi = 360^\circ$ . La tabla 3.1 muestra una parte de los datos utilizados.

**Tabla 3.1** valores  $e$ ,  $i$  y  $p$  (Wildi, 2007).

TABLA 7A VALORES DE  $e$ ,  $i$  Y  $p$  UTILIZADOS PARA TRAZAR LA FIGURA 7.1

Ángulo $\phi$ grados	Voltaje $162 \sin \phi$ volts	Corriente $7.5 \sin(\phi - 50^\circ)$ amperes	Potencia $p$ watts
0	0	-5.75	0
25	68.5	-3.17	-218
50	124.1	0	0
75	156.5	3.17	497
115	146.8	6.8	1000
155	68.5	7.25	497
180	0	5.75	0
205	-68.5	3.17	-218
230	-124.1	0	0

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.49** Voltaje, corriente y potencia instantáneas en un circuito de ca (Wildi, 2007).

El voltaje, la corriente y la potencia instantáneas aparecen en la figura 3.49. La potencia alcanza un valor pico positivo de 11000 W y uno negativo de 2218 W. La potencia negativa significa que en realidad la potencia fluye de la carga (motor) a la fuente. Esto ocurre durante los intervalos  $0-50^\circ$ ,  $180^\circ-230^\circ$  y  $360^\circ-410^\circ$ .

Aun cuando el flujo de potencia de un dispositivo considerado como carga a un dispositivo considerado como fuente puede parecer imposible, a menudo acontece en circuitos ca. La razón se da en la sección siguiente.

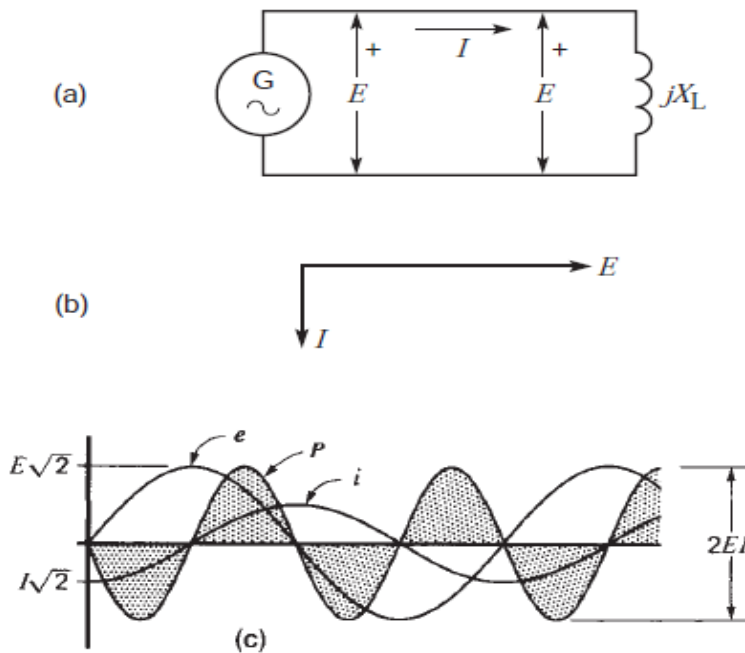
También observamos que los picos positivos ocurren a intervalos de  $1/120$  s. Esto significa que la frecuencia del ciclo de potencia es de 120 Hz, el cual es dos veces la frecuencia del voltaje y la corriente que producen la potencia. De nueva cuenta, este fenómeno es bastante normal: la frecuencia de un flujo de potencia de ca siempre es dos veces la frecuencia de línea.

### 3.1.24.2.-Potencia activa o real

El circuito de ca simple de la figura 3.50a se compone de un resistor conectado a un generador de ca. El voltaje y la corriente efectivos se representan con  $E$  e  $I$ , respectivamente, y como cabría esperar en un circuito resistivo, los fasores  $E$  e  $I$  están en fase figura 3.50b. Si conectamos un vatímetro (o wattímetro) a la línea, dará una lectura  $E P$  e  $I$  figura 3.50c.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Para tener una mejor idea de lo que sucede en el circuito, hemos trazado las curvas senoide de  $E$  e  $I$ . Los valores pico son  $\sqrt{2}E$  volts y  $\sqrt{2}I$  amperes, respectivamente, porque como dijimos anteriormente,  $E$  e  $I$  son valores eficaces. Si multiplicamos los valores instantáneos de voltaje y corriente obtenemos la potencia instantánea en watts.



**Fig. 3.50** relación de  $E$ ,  $P$  e  $I$  (Wildi, 2007) .

- Un voltaje de CA,  $E$  produce una corriente alterna  $I$  en este circuito inductivo.
- El fasor  $I$  está retrasado  $90^\circ$  con respecto a  $E$ .
- La potencia reactiva consta de una serie de pulsos de potencia positivos y negativos.

La potencia que oscila de esta manera se llama potencia reactiva (símbolo  $Q$ ), para distinguirla de la potencia activa unidireccional antes mencionada. El producto  $EI$  también da la potencia reactiva mostrada en la figura 3.50. Sin embargo, para distinguir esta potencia de la potencia activa, se utiliza otra unidad: el var. Sus múltiplos son el kilovar (kVAR) y el megavar (Mvar).

Hay instrumentos especiales, llamados varímetros (o varmetros), para medir la potencia reactiva en un circuito. Un varímetro registra el producto del voltaje de línea eficaz  $E$  por la corriente de línea eficaz  $I$  por  $\sin \theta$  (donde  $\theta$  es el ángulo de fase entre  $E$  e  $I$ ). Sólo se obtiene una lectura cuando  $E$  e  $I$  están fuera de fase; si están exactamente en fase (o exactamente  $180^\circ$  fuera de fase), el varímetro lee cero.

Volviendo a la figura 3.50c, el área punteada debajo de cada impulso es la energía, en joules, transportada en una u otra dirección. Evidentemente, la

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

energía es suministrada en una serie continua de impulsos de muy corta duración, y cada pulso positivo es seguido por uno negativo. La energía fluye en ambas direcciones entre el generador y el inductor sin consumirse. ¿Cuál es la razón de estas oscilaciones de energías positivas y negativas? La energía fluye de ida y vuelta porque la energía magnética es almacenada y liberada alternativamente por el reactor. Por lo tanto, cuando la potencia es positiva, el campo magnético se acumula en el interior de la bobina. Un momento después, cuando la potencia es negativa, la energía disminuye en el campo magnético y fluye de regreso a la fuente.

Pulso positivo es seguido por uno negativo. La energía fluye en ambas direcciones entre el generador y el inductor sin consumirse. ¿Cuál es la razón de estas oscilaciones de energías positivas y negativas? La energía fluye de ida y vuelta porque la energía magnética es almacenada y liberada alternativamente por el reactor. Por lo tanto, cuando la potencia es positiva, el campo magnético se acumula en el interior de la bobina. Un momento después, cuando la potencia es negativa, la energía disminuye en el campo magnético y fluye de regreso a la fuente (Wildi, 2007).

### **3.1.25.-Sistemas de Comunicación Bluetooth**

El Bluetooth es un sistema de comunicación por radiofrecuencia desarrollado por Ericsson que permite la transmisión e intercambio de datos entre aparatos móviles tales como PDA, PC, teléfonos, etc.

#### **3.1.25.1.-Características del sistema**

Los dispositivos con tecnología Bluetooth, una vez puestos en contacto por radio frecuencia, forman pequeñas redes de comunicación denominadas “picorred”, de hasta ocho dispositivos, de los cuales uno asume la función de maestro. El dispositivo que ejerce como maestro es el que establece la comunicación, el resto de dispositivo se sincronizan con él, y solo el destinatario que ha recibido un paquete de datos del maestro puede transmitir una respuesta. Cada unidad activa puede recibir a su vez datos de otros dispositivos no activos, denominados “picocelulas”. La protección en la transmisión de datos se garantiza mediante una contraseña secreta de reconocimiento mutuo entre diferentes dispositivos (V. A. J., 2012) .

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 3.1.25.2.-Ventajas del sistema Bluetooth

- Utilizando la tecnología de Bluetooth como sistema de comunicación utiliza menos energía que una conexión tradicional inalámbrica LAN. Porque requiere de bajo voltaje, es adecuado para dispositivos móviles que operan con baterías.
- La tecnología de comunicación inalámbrica de Bluetooth tiene su propio sistema de autenticación y codificación para proporcionar los niveles altos de seguridad en comunicación entre los dispositivos conectados. Esto ayuda a prevenir que la información sea transferida a dispositivos no conectados y establecer una comunicación segura.
- Cuando usa la tecnología inalámbrica de Bluetooth, los dispositivos se conectan directamente uno al otro. Al contrario de LAN, no hay necesidad de instalar una red.
- Ser lo suficientemente adaptables para el todo tipo de usuarios
- Tecnología a pequeña escala y bajo costo.

### 3.1.25.3.-Datos técnicos

La especificación de Bluetooth definía un canal de comunicación de máximo 720Kbit/s con rango óptimo de 10 metros. Hoy en día, con la versión 4.0, el ancho de banda llega a los 24 Mbit/s. La siguiente tabla muestra la evolución de las versiones y sus anchos de banda.

**Tabla 3.2** Versiones y anchos de banda (V. A. J., 2012).

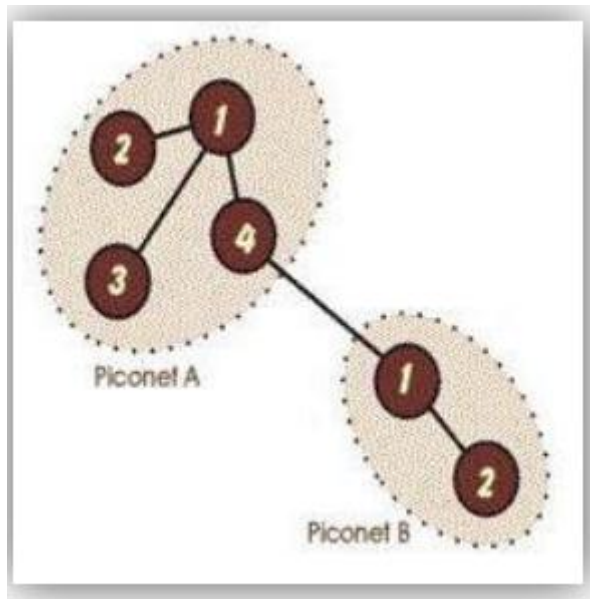
Versión	Ancho de banda
Versión 1.2	1 Mbit/s
Versión 2.0 + EDR	3 Mbit/s
Versión 3.0 + HS	24 Mbit/s
Versión 4.0	24 Mbit/s

**Tabla 3.3** De acuerdo a sus clases, podemos ver el rango y potencias de salida en la siguiente tabla (V. A. J., 2012).

Clase	Potencia salida máxima (mW)	Potencia salida máxima (dBm)	Rango (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

La frecuencia de radio con la que trabaja está en el rango de 2.4 a 2.48 GHz, con amplio espectro. Tiene la posibilidad de transmitir en full dúplex con un máximo de 1600 saltos/s. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



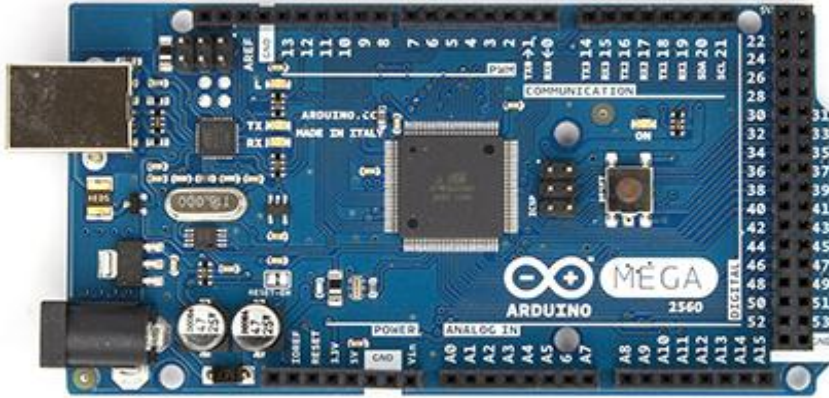
**Fig.3.51.**-topología de las redes Bluetooth puede ser punto-a-punto o punto-a-multipunto. (V. A. J., 2012).

### 3.1.26.- Arduino Mega 2560

#### 3.1.26.1.-Descripción

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA o la batería a CC para empezar. La Mega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila. (Arduino).

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig.3.52.-**Arduino Mega 2560

El Mega2560 difiere de todas las placas anteriores en que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En lugar de ello, cuenta con la ATmega16U2 (ATmega8U2 en las juntas de revisión 1 y revisión 2) programado como convertidor USB a serie.

**Tabla 3.4** Datos del sistema (Arduino).

<b>Microcontrolador</b>	Atmega2560
<b>Tensión de funcionamiento</b>	5V
<b>Voltaje de entrada (recomendado)</b>	7-12V
<b>Voltaje de entrada (límites)</b>	6-20V
<b>Digital pines I / O</b>	54 (de las cuales 15 proporcionan salida PWM)
<b>Pines de entrada analógica</b>	16
<b>Corriente DC por Pin I / O</b>	40 mA
<b>Corriente DC de 3.3V Pin</b>	50 mA
<b>Memoria Flash</b>	256 KB de los cuales 8 KB utilizado por el gestor de arranque
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>Velocidad del reloj</b>	16 MHz



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 3.1.26.2.- Alimentación

El Mega Arduino puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

Potencia (no USB) externo puede venir con un adaptador de CA a CC (pared-verruga) o la batería. El adaptador se puede conectar al enchufe de 2.1mm centro-positivo en el conector de alimentación de la placa. Los cables desde una batería se pueden insertar en los cabezales de pin GND y Vin del conector de alimentación.

El tablero puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si se suministra con menos de 7V, sin embargo, el pin de 5 V puede suministrar menos de cinco voltios y la junta puede ser inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son como sigue:

- VIN. El voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se trata de utilizar una fuente de alimentación externa (en oposición a 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Usted puede suministrar tensión a través de este pin, o, si el suministro de tensión a través de la toma de alimentación, acceso a él a través de este pin.
- 5V. Este pin como salida una 5V regulada del regulador en el tablero. El tablero puede ser alimentado ya sea desde la toma de alimentación de CC (7 - 12 V), el conector USB (5V), o por el pin VIN del tablero (7-12V). El suministro de tensión a través de los pines de 5V o 3.3V no pasa por el regulador, y puede dañar su tablero. No aconsejamos ella.
- 3V3. Un suministro de 3,3 voltios generada por el regulador de a bordo. Sorteo de corriente máxima es de 50 mA.
- GND. Pines de tierra.
- Instrucción IOREF. Este pin de la placa Arduino proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador. Un escudo configurado puede leer el voltaje pin instrucción IOREF y seleccione la fuente de alimentación adecuada o habilitar traductores de voltaje en las salidas para trabajar con el 5V o 3.3V.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 3.1.27 Transformadores de Corriente y Transductores

Medir de manera segura grandes corrientes en un laboratorio o en un piso de producción presenta muchos retos los cuales no están asociados con la adquisición de señales típicas. Medir el voltaje a través de unas pequeñas resistencias de carga puestas en un circuito es poco práctico y puede llegar a ser peligroso. Instrumentos comunes como un multímetro digital generalmente puede medir corrientes en el orden de pocos amperes, pero esto generalmente tiene límites en el período de tiempo que puede ser observado y también se debe tener cuidado para evitar dañar el equipo o causar alguna herida. Y aún más importante, algunos usuarios deben de medir corrientes considerablemente más grandes que pueden ser medidas de forma segura a través de conexiones directas.

Para medir altas corrientes de manera segura, la práctica más común es hacerlo con un Transformador de Corriente (CT) de propósito general. O transductor el cual reduce la magnitud de la corriente en el circuito a un nivel más manejable. Así como en otras tecnologías de medición, hay una gran variedad de tipos de sensores específicos para diferentes aplicaciones.

#### 3.1.27.1 Núcleo Dividido vs. Núcleo Sólido

Los transformadores de corriente pueden ser de núcleo dividido (abierto) o núcleo sólido (cerrado). Los transformadores de corriente usan la inductancia para medir la corriente, de esta forma el circuito debe pasar al menos una vez a través de sensor, aunque varias vueltas pueden ser usadas para multiplicar la corriente de salida. Cuando se instala los CT en un circuito existente, los de núcleo dividido son vistos con mayores ventajas ya que pueden ser abiertos y puestos alrededor de los cables existentes sin tener que interrumpir el circuito. Por otra parte los CT de núcleo sólido requieren que el circuito sea re-cableado para que pueda pasar a través del núcleo. Debido a que los costos de la instalación pueden exceder el precio de los sensores, los sensores de núcleo dividido, aunque son más costosos, pueden reducir el costo total de la implementación. Los transductores de núcleo sólido pueden ser preferidos, en situaciones en donde mediciones extremadamente precisas son requeridas, ya que por el mismo precio de uno de núcleo dividido puede obtener más precisión.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig. 3.53.** Los CT de núcleo dividido cuestan más pero provén una instalación más fácil



**Fig.3.54.** Los CT de núcleo sólido son más precisos por un menor costo

### 3.1.27.2 Salida e Integración con Sistemas de Medición

Se debe de tener cuidado cuando se integran sensores de corriente en sistemas de medición ya que las salidas de diferentes sensores pueden diferir. Si se conecta un sensor no adecuado a su equipo o conectar un sensor incorrectamente puede dañar tanto el sensor así como el sistema de medición y puede originar riesgos de seguridad para el personal. Es esencial saber qué tipo de sensor se está comprando y como se hace la interface con la instrumentación.

Los transformadores vienen con dos diferentes configuraciones de salida: salidas de voltaje y salidas de corriente. Sensores con señales de voltaje proporcionales en corriente en el primario del transformador son generalmente clasificados en volts por ampere primario, ej. V por amp. Estos sensores generalmente contienen una resistencia de carga interna que permite a la corriente secundaria ser medida como voltaje. Los sensores que entregan una salida de voltaje pueden ser conectados a la mayoría de los equipos estándar de

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

pruebas, siempre y cuando el voltaje no exceda los rangos de entrada del equipo. Las señales que producen estos sensores son de baja potencia y pueden ser conectados y desconectados sin dañar el sensor. Ya que son señales de baja potencia están expuestos a interferencia y degradación de la señal, y no siempre son adecuados cuando el cableado entre el sensor y los equipos de medición es muy largo. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2012).

## CAPITULO IV

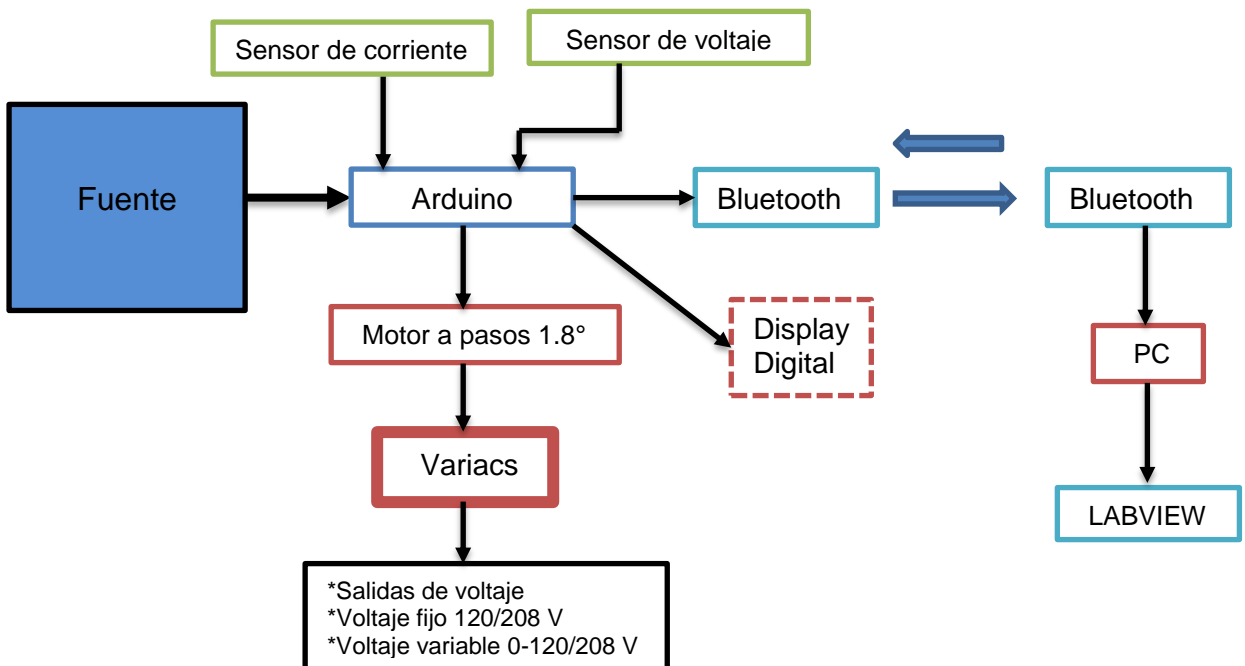
### 4.1. Diseño y ensamblaje de la fuente trifásica con control y monitoreo inalámbrico

La fuente trifásica se diseñó con un dispositivo de comunicación inalámbrica; mediante el cual se basa en controlar un motor a pasos para el cambio de amplitud de voltaje derivado de los Variac's; así también se implementa un sensor de corriente para el monitoreo de circuitos de potencia.

Se diseñó una etapa de interfaz gráfica utilizando el software LABVIEW para la medición de voltaje y corriente; para posteriormente calcular la potencia del sistema.

#### 4.1.1 Metodología

La metodología que se implementa para lograr los objetivos se representa en el siguiente esquema (Fig.4.1):



**Fig.4.1** Diagrama a bloques del hardware del sistema de monitoreo y control

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

#### 4.1.2 Desarrollo de la metodología

1. Diseño e implementación del sistema de comunicación de la fuente trifásica.
2. Diseño de la etapa de control para la fuente trifásica.
3. Diseño e implementación de la fuente con la etapa de control acoplada.
4. Implementación del sensor de corriente para la etapa de medición.
5. Diseño de la etapa de interfaz gráfica para el monitoreo de la fuente trifásica.
6. Diseño final del control y monitoreo de la fuente trifásica.
7. Etapa de pruebas de potencia, precisión y exactitud de la fuente trifásica.

**1.- Diseño e implementación del sistema de comunicación de la fuente trifásica.** Utilizar un dispositivo inalámbrico Bluetooth para la recepción y transmisión de datos, acoplando dicho dispositivo en la placa Arduino, en este caso datos sobre los parámetros eléctricos que se utilizan en la fuente trifásica.

**2.- Diseño de la etapa de control para la fuente trifásica.** Diseñar un control, en donde sea posible manipular inalámbricamente el motor a pasos para obtener voltaje en cada uno de los variac's. Utilizar un módulo Arduino y un módulo Bluetooth para el control del motor a pasos.

**3.- Diseño e implementación de la fuente con la etapa de control acoplada.** Diseñar el control inalámbrico de la fuente trifásica considerando las características de los variac's y el control digital implementado anteriormente; con el módulo Arduino; para posteriormente acoplar el sistema a la etapa de interfaz gráfica.

**4.- Implementación del sensor de corriente para la etapa de medición.** Una vez diseñado el sistema de comunicación, se procede a implementar un sensor de corriente en la fuente trifásica para poder obtener valores de corriente para la medición en un sistema de potencia.

**5.-Diseño de la etapa de interfaz gráfica para el monitoreo de la fuente trifásica.** Se diseña y programa en LABVIEW una instrumentación virtual para monitorear y controlar los parámetros eléctricos, el diseño constará de controladores e indicadores gráficos, y la programación constará de la obtención y procesamiento de los datos.

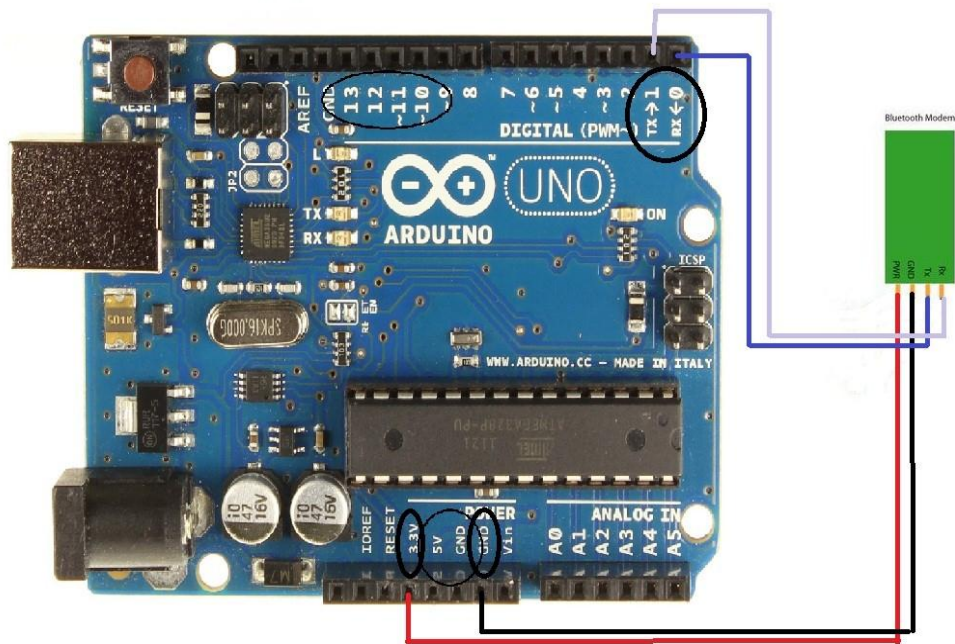
**6.- Diseño final del control y monitoreo de la fuente trifásica.** Se realizará un re-diseño final considerando todas las partes y etapas que se mencionaron anteriormente para el funcionamiento del sistema, buscando espacios adecuados para colocar los dispositivos de comunicación y medición (Bluetooth y sensor de corriente), para la manipulación agradable del sistema.

**7.- Etapa de pruebas de potencia, precisión y exactitud de la fuente trifásica.** Se implementará la fuente trifásica al laboratorio de Ingeniería eléctrica, se probará con cargas comunes, se realizarán correcciones y se validarán los resultados obtenidos.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

#### 4.1.2.1.-Diseño e implementación del sistema de comunicación de la fuente trifásica.

Utilizar un dispositivo inalámbrico Bluetooth para la recepción y transmisión de datos, acoplando dicho dispositivo en la placa Arduino en este caso datos sobre los parámetros eléctricos que se utilizan en la fuente trifásica.



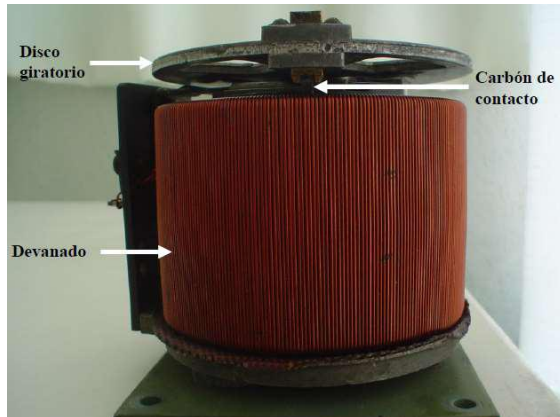
**Fig.4.2** Diagrama esquemático del dispositivo Bluetooth a la placa Arduino.

Como se puede visualizar en el diagrama de la figura 8.2 el diseño para la comunicación inalámbrica, esta de la siguiente manera: como primer punto es necesario conectar el módulo Bluetooth a una fuente de voltaje mínimo de 3V en CD, el cual la placa de Arduino proporciona en uno de sus pines dicho voltaje; en segundo punto el módulo inalámbrico necesita de una conexión a tierra, por lo que Arduino cuenta con esa terminal a tierra; en tercer punto es necesario establecer una comunicación entre el Arduino y el módulo inalámbrico; en donde la terminal RX del módulo Bluetooth estará conectado al PIN TX de la placa Arduino; así también la terminal TX del módulo Bluetooth estará conectado al PIN RX de dicha placa.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

#### 4.1.2.2.- Diseño de la etapa de control para la fuente trifásica.

Diseñar un control, en donde sea posible manipular inalámbricamente el motor a pasos para obtener voltaje en cada uno de los variac's. Utilizar un módulo Arduino y un módulo Bluetooth para el control del motor a pasos.



**Fig. 4.3** Vista lateral de un autotransformador monofásico.

Ahora bien para la implementación de la etapa control se necesitó del uso de tres autotransformadores monofásicos (uno por fase), para así poder hacer la variación del voltaje y tener distintos valores a la salida de la fuente, esto se hace debido a la construcción de los autotransformadores y por medio de un disco giratorio que contienen en el costado del devanado, el contacto con las espiras del devanado se logra a través de un carbón unido al disco giratorio y de esta manera se logra la variación de la tensión, esto lo podemos ver en la figura 8.3.



**Fig. 4.4** Motor a pasos modelo 57BYGH420.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Este motor presenta las ventajas de tener alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan como motor de frecuencia variable, motor de corriente continua sin escobillas, servomotores y motores controlados digitalmente.

El motor a pasos seleccionado para el proyecto es el modelo 57BYGH420 con las siguientes características: 5VDC, 2A, (ÁNGULO 1.8° / 200 PASOS) / 9Kgrs/cm. En la figura 4.4 podemos observar el motor implementado.

Con la comunicación inalámbrica establecida, se acopla los componentes; variac's, motor a pasos, placa Arduino y Bluetooth para controlar el sistema de variación de voltaje mediante el control de pasos del motor implementado.

## 4.2 Implementación

**4.2.1 Diseño e implementación de la fuente con la etapa de control acoplada.** Diseñar el control inalámbrico de la fuente trifásica considerando las características de los variac's y el control digital implementado anteriormente; con el módulo Arduino; para posterior mente acoplar el sistema a la etapa de interfaz gráfica.



**Fig. 4.5** Diseño de la fuente trifásica digital.

Se observa el control digital implementado en la fuente trifásica; ahora bien es necesario manipular el sistema mediante un control inalámbrico; por lo que se opta por acoplar un módulo Bluetooth al sistema.



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig.4.6** Módulo Bluetooth HC-05 maestro/ esclavo.

El módulo Bluetooth HC-05 Maestro-Esclavo Fig.4.5, es un módulo que tiene la característica de recibir conexiones desde una PC, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos Bluetooth, es decir, conectar dos módulos de Bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos micro controladores o dispositivos; este módulo tiene un alcance de comunicación de 10 metros.

#### **4.2.2 Implementación del sensor de corriente para la etapa de medición.**

Una vez diseñado el sistema de comunicación, se procede a implementar un sensor de corriente en la fuente trifásica para poder obtener valores de corriente para la medición en un sistema de potencia.



**Fig.4.7** Sensor de Corriente TC de Núcleo Partido.

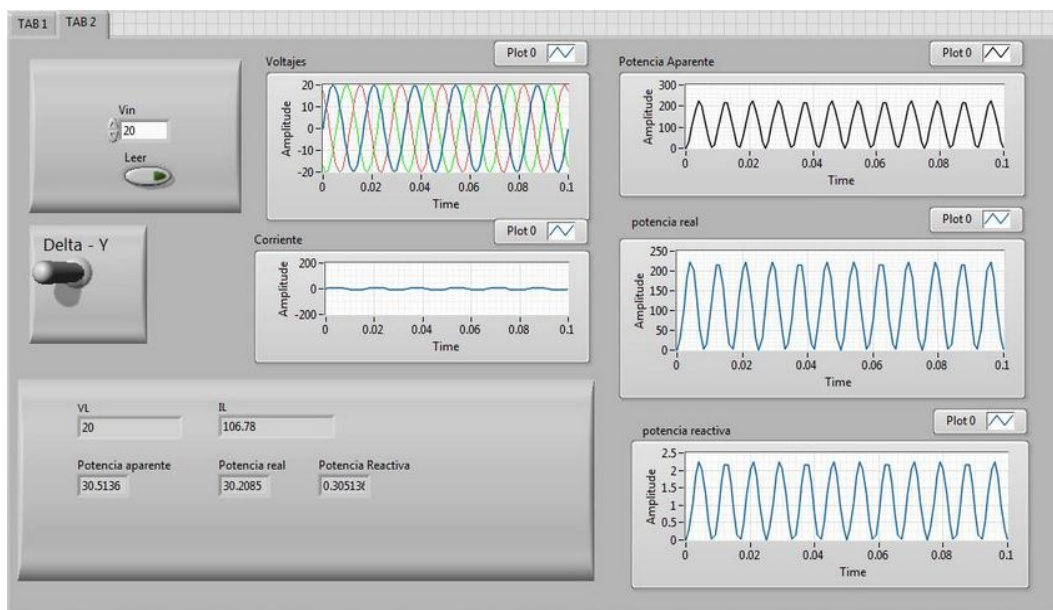
El sensor a implementar es el SCT-013-030 Fig.8.7; el cual dicho sensor sus características de tamaño de abertura de 13mmX13mm, cable de 1m de longitud, el material del núcleo es de ferrita y una rigidez dieléctrica 1500V AC/1min 5mA; el sensor descrito puede operar hasta con una corriente de 30A.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Con el sensor descrito anteriormente, se puede monitorear la corriente en un sistema de potencia con la finalidad de entender y visualizar el comportamiento del sistema de potencia que se implemente en las prácticas del laboratorio.

#### 4.2.3 -Diseño de la etapa de interfaz gráfica para el monitoreo de la fuente trifásica.

Se diseña y programa en LABVIEW una instrumentación virtual para monitorear y controlar los parámetros eléctricos, el diseño constara de controladores e indicadores gráficos, y la programación constara de la obtención y procesamiento de los datos.

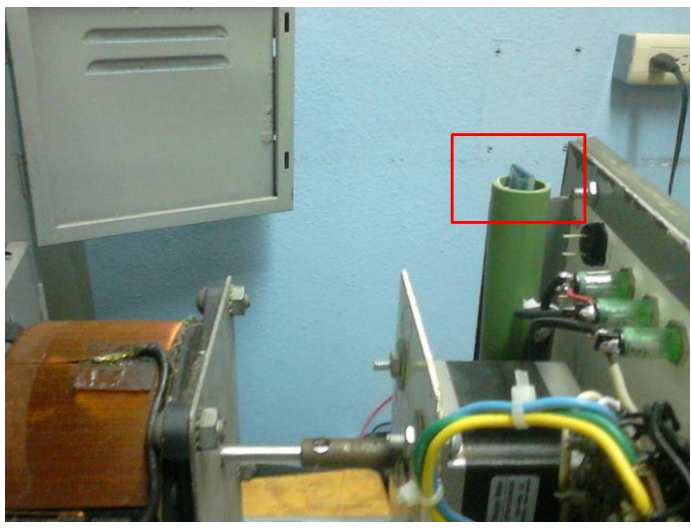


**Fig.4.8** Diseño de la interfaz de control y monitoreo.

En la figura 4.8 se observa el diseño implementado de la interfaz gráfica de usuario (LABVIEW) para controlar y monitorear los parámetros eléctricos (potencias, voltaje y corriente).

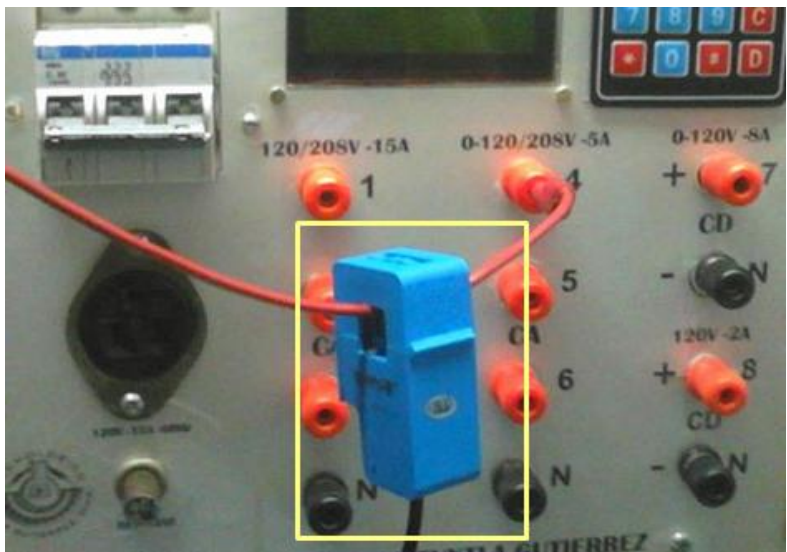
**4.2.4- Diseño final del control y monitoreo de la fuente trifásica.** Se realizará un re-diseño final considerando todas las partes y etapas que se mencionaron anteriormente para el funcionamiento del sistema, buscando espacios adecuados para colocar los dispositivos de comunicación y medición (Bluetooth y sensor de corriente), para la manipulación agradable del sistema.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig.4.9** Implementación del módulo Bluetooth

Se implementó un módulo Bluetooth en la parte superior de la fuente trifásica con la finalidad de que la comunicación no se vea afectada por factores internos y externos los cuales podrían dañar al dispositivo y su funcionamiento.



**Fig.4.10** Implementación del sensor de corriente

La figura 4.10 se observa la implementación del sensor de corriente en la parte frontal de la fuente trifásica para un fácil acceso para realizar prácticas para el uso correspondiente en el laboratorio de ingeniería eléctrica.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

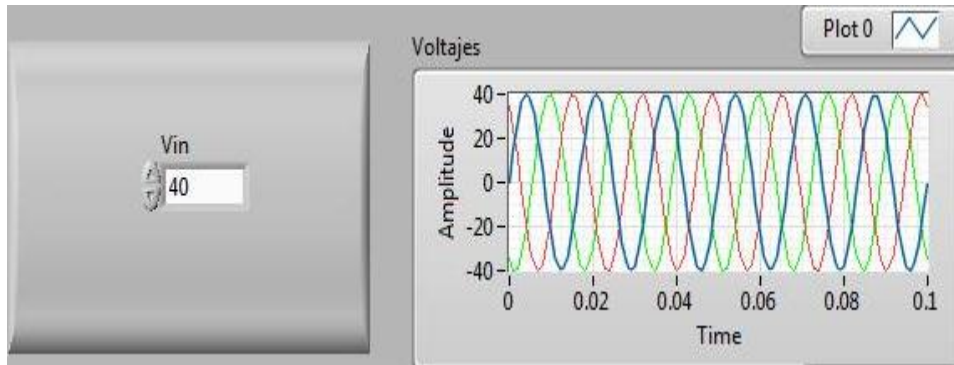
## CAPITULO V

### 5.1 Resultados

En el proyecto realizado se llegó a obtener resultados satisfactorios en donde el sistema es capaz de controlar y monitorear parámetros eléctricos (voltaje, corriente, potencia aparente, reactiva, real) a continuación se presentan las figuras de dichos resultados.

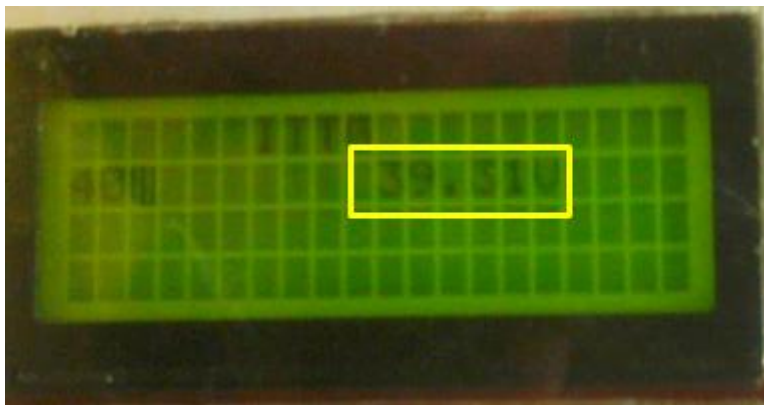
#### 5.1.1.- Etapa de pruebas de potencia, precisión y exactitud de la fuente trifásica.

Se implementará la fuente trifásica al laboratorio de Ingeniería eléctrica, se probará con cargas comunes, se realizarán correcciones y se validarán los resultados obtenidos.



**Fig. 5.1** Voltaje solicitado desde la interfaz gráfica de usuario.

En la primera prueba se solicitó que la fuente entregara 40 volts desde la interfaz gráfica de usuario de manera inalámbrica; obteniendo un buen resultado plasmado en la figura 5.1 y 5.2.



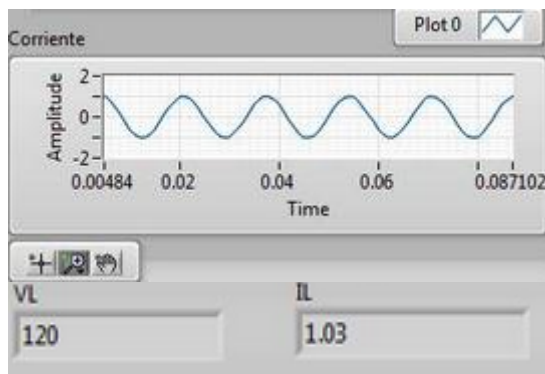
**Fig. 5.2** Resultado de la precisión de la fuente en la pantalla LCD.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig.5.3** Segunda prueba de precisión de la fuente.

En una tercera prueba al sistema se le solicito (fuente trifásica) 120 volts para posteriormente monitorear con la interfaz gráfica de usuario, la corriente en un circuito mediante el sensor de corriente implementado, corroborando dichos datos con un multímetro.



**Fig. 5.4.** Prueba de corriente monitoreada en LABVIEW.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



Fig. 5.5. Circuito de prueba aplicado.



Fig. 5.6. Medición de corriente con un multímetro.

En sensor implementado se posicionó fuera de la fuente por causas que pueda provocar interferencias con la instalación de componentes eléctricos de la fuente que causaría datos de medición erróneos.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

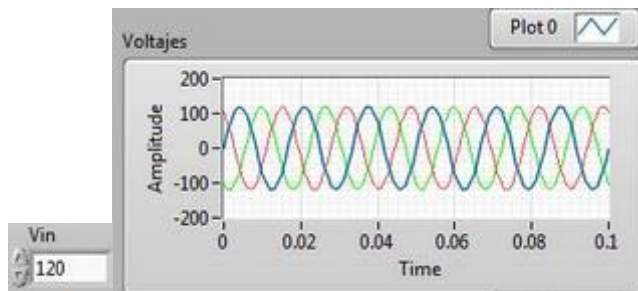


Fig. 5.7 Voltaje solicitado con su respectiva gráfica.

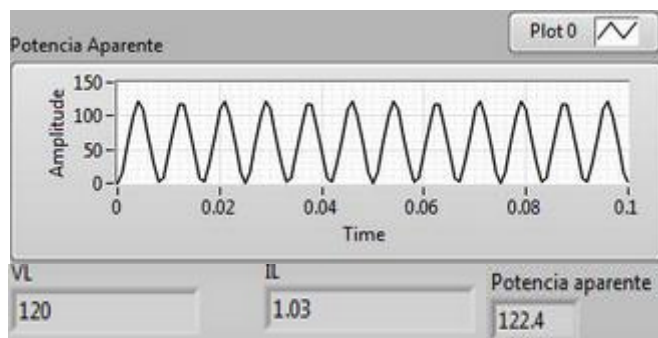


Fig.5.8 Potencia aparente obtenida.

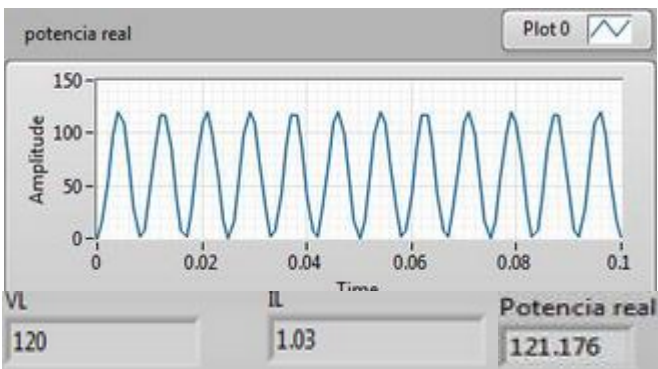
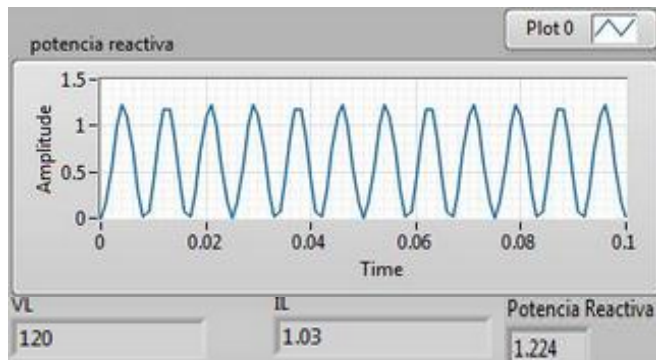


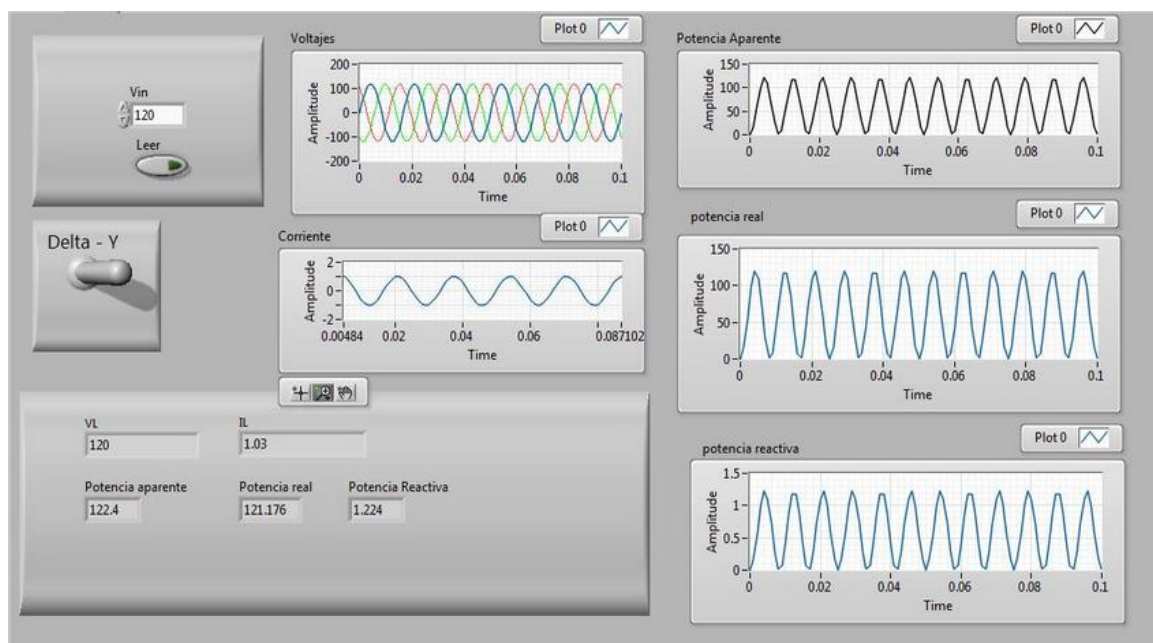
Fig.5.9 Potencia real obtenida.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



**Fig.5.10** Potencia reactiva obtenida.

La obtención de gráficas y valores de parámetros eléctricos, se obtuvieron a partir de la programación de la interfaz gráfica de usuario; ya teniendo una comunicación inalámbrica estable en el sistema (fuente trifásica – LABVIEW), dicha programación implementada en el sistema, se encuentra en la parte de anexos de este mismo informe.



**Fig.5.11** Graficas y valores finales del sistema.

En la Fig.5.11 se plasma el panorama general del sistema de control y monitoreo, en donde se aplica un seleccionador al sistema para el tipo de conexión requerida en la carga (delta-Y) del sistema.



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## 5.2 Conclusiones y recomendaciones

### 5.2.1 Conclusiones

En el presente trabajo de residencia se realizó un estudio basado en un sistema inalámbrico de comunicación para el control y monitoreo de fuentes de alimentación, de corriente alterna y su entorno, es decir, los conceptos fundamentales en los cuales se basa su funcionamiento.

Los sistemas inalámbricos de monitoreo y control para fuentes de alimentación son de gran importancia porque se puede acceder de manera cómoda y sencilla, además de mantener al usuario actualizado y al tanto de los parámetros monitoreados y controlados.

Podemos concluir que después del trabajo de investigación bibliográfica, el proceso de programación, diseño y construcción del sistema inalámbrico de monitoreo y control fue un gran desafío para nuestro conocimiento técnico y teórico en el área de ingeniería eléctrica; dado que es completamente un nuevo rediseño del prototipo para actualizar el sistema.

Cada una de las etapas diseñadas fue una nueva experiencia para nuestra formación académica, dado a que cada etapa es completamente diferente una de otra, claro todas con un mismo objetivo ser acopladas unas con otras para la formación de una nueva fuente trifásica.

El proyecto terminado es ajustable desde la interfaz gráfica de usuario (LABVIEW); es sistema se ha ajustado con un margen de mas (+) menos (-) 4 volts con margen de error en la salida dado que el motor a pasos no podemos modificar su ángulo de grados por cada paso que da; Generando un voltaje mayor o menor al solicitado. Así también el sensor de corriente implementado tiene un margen de error de más (+) menos (-) 0.08 amperios.

En la comunicación inalámbrica del sistema se concluye que cumple con las expectativas planteadas inicialmente, la comunicación inalámbrica tiene como límite la distancia de 10 metros con respecto al módulo inalámbrico implementado en la fuente trifásica. Se hizo lo mejor posible tanto en el diseño del prototipo como en la programación para que las limitantes antes mencionadas no afecten a gran escala al prototipo en general.

Se tiene un gran ahorro económico en la construcción de este tipo de fuentes de alimentación, ya que este diseño cumple con las características requeridas de niveles de energía para la implementación de las prácticas que se realizan dentro

del laboratorio de ingeniería eléctrica, además que se requería que fuera un diseño económico pero funcional, esto debido a que el trabajo desarrollado en este trabajo de residencia cumplió con el objetivo de que en el laboratorio de ingeniería eléctrica se elaboren o fabriquen este tipo de equipos, para así evitar grandes costos destinados a la compra de estos equipos eléctricos.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### 5.2.2 Recomendaciones

Se sugiere al usuario mantener al equipo en constante mantenimiento, así también en la actualización del mismo en el aspecto de innovación; y hacer un buen uso responsable del equipo.

Seguir trabajando esta área de investigación de re-diseño de equipos en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, para que se puedan obtener nuevos diseños que pueden ser llevados o propuestos al mercado de dicho equipo.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## REFERENCIAS

- [1] amperis. (07 de Octubre de 2007). amperis.com. Recuperado el 15 de Noviembre de 2014, de <http://www.amperis.com/productos/analizadores-redes/shark-100s/>
- [2] Arduino. (s.f.). arduino.cc. Recuperado el 08 de Enero de 2015, de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [3] Grupo IUSA. (24 de Marzo de 2013). grupo-iusa.com. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://www.grupo-iusa.com/medicion01.html#2>
- [4] HERNÁN, D. L. (03 de Junio de 2010). <http://itzamna.bnct.ipn.mx/>. Recuperado el 08 de Enero de 2015, de <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/8555/1/89.pdf>
- [5] M.Gussow. (1986). Fundamentos de Electricidad. México: McGraw-Hill.
- [6] NATIONAL INSTRUMENTS. (01 de Octubre de 2012). ni.com. Recuperado el 12 de Noviembre de 2014, de <http://www.ni.com/white-paper/8198/es/#toc1>
- [7] V., A. J. (30 de julio de 2012). Obtenido de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/LopezCofre/BLUETOOTH.pdf>
- [8] V., A. J. (30 de Julio de 2012). Profesores.elo. Recuperado el 09 de Diciembre de 2014, de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/LopezCofre/BLUETOOTH.pdf>
- [9] Wildi, T. (2007). Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia . México: Pearson.
- [10] Gerardo Alejandro Torres Hernández, Alejandra Trejo Meza, (junio 2014). Reporte de Residencia Profesional: Desarrollo e implementación de una fuente trifásica con control digital para su aplicación en prácticas de laboratorio de ingeniería eléctrica. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## Anexos

### Anexo .I Hoja de datos del sensor de corriente SCT-013-030

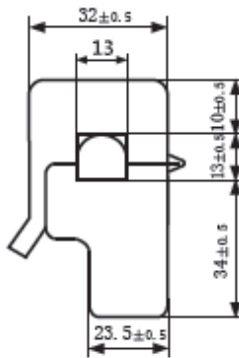
Customer Title : XiDi Technology Product Name: \_\_\_\_\_

Manufacture Model : SCT-013-030 \_\_\_\_\_

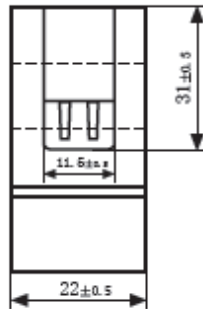
Charateristics: open size:13mm×13mm  
 1m leading wire  
 Core material:Ferrite  
 Fire resistance property:in accordance with  
 UL 94-V0  
 Dielectric strength: 1500V AC/1min 5mA  
 (between shell and output)



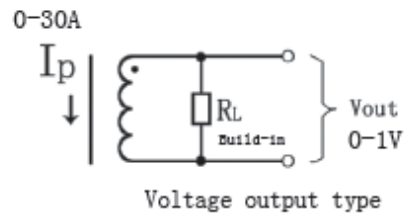
Outline size diagram: (in mm)



Front View



Side View



Voltage output type

Schematic Diagram

Typical table of technical parameters:

input current	output voltage	non-linearity	build-in sampling resistance (RL)
0-30A	0-1V	±1%	62 Ω
turn ratio	resistance grade	work temperature	dielectric strength(between shell and output)
1800:1	Grade B	-25°C ~ +70°C	1500V AC/1min 5mA

Customer Sign:

Phone: 0355-7929499-803  
 Cell: 13693334514  
 Contact Name: Engineer Chen

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## Anexo II. Programación estructurada para la tarjeta Arduino mega

```
#include <Stepper.h>

#include <LiquidCrystal.h>

#include <Keypad.h>

#include "EmonLib.h"//Librería del sensor de corriente
EnergyMonitor emon1;

#define STEPS 200 // número de pasos que dará el motor
Stepper stepper(STEPS, 22, 24, 26, 28);

int arriba = 40;

int abajo = 38;

int a,a1; // variables de estado para seguridad de un solo pulso
float cal; // variable de cálculo número de pasos
float voltaje; //variable de voltaje final
float calvolt; //cálculo para el voltaje
int pasos=0; // número de pasos a mover el motor
int pasosact=0; // variable para guardar el estado de pasos anterior
int x=0; //variable para iniciar el programa
char c;

char key; //(ALMACENA EL VALOR QUE PULSAMOS)memoria para almacenar
un valor de carácter en código ASCII

char inChar = (char)Serial.read();

String inString = ""; //permite almacenar y manipular cadenas de texto

boolean stringComplete = false;

LiquidCrystal lcd(31,33,35,37,39,41);//declaración de pines para el lcd en la
tarjeta

const byte ROWS = 4; //número de filas

const byte COLS = 4; //número de columnas

char keys[ROWS][COLS] = { //define los símbolos en los botones del teclado
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```
{'1','2','3','A'},
{'4','5','6','B'},
{'7','8','9','C'}, //matriz de números en el teclado definidas por char keys
{'*','0','#','D'},
};

byte rowPins[ROWS] = {23, 25, 27, 29}; //pines que conectan las filas del teclado
byte colPins[COLS] = {30, 32, 34, 36}; //pines que conectan las columnas del teclado

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS
);//inicializa una instancia de clase nuevo teclado.

//hacer mapa de teclado

void setup()
{
  emon1.current(1,82);//pin del arduino donde se conecta el sensor y la variable de calibracion

  Serial.begin(9600);//empezar comunicación
  inString.reserve(10);// Bits a ocupar en el sistema
  pinMode(arriba,INPUT); //se configura el pin de entrada
  pinMode(abajo,INPUT); // pin de entrada de abajo
  stepper.setSpeed(320); //velocidad de pasos

  keypad.setHoldTime(10); // modifica la velocidad de respuesta dela matrix (establece el tiempo de espera)

  keypad.setDebounceTime(10); // modifica el rebote (establece el tiempo de rebote)

  lcd.begin(16,2); //configuramos el número de columnas y filas del LCD

  lcd.setCursor(6, 0);//Establece la posición del cursor; Esto es, la posición donde aparecerán los siguientes caracteres escritos en el LCD.

  lcd.print("ITTG");// imprime lo que ay en la lcd

  delay(100);
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```
}  
void loop(){  
double Irms = emon1.calclrms(1480); //Constante de calibracion del sensor  
Serial.println(Irms); //Impresion en el lector serie de LABVIEW  
  
{if (stringComplete) {  
    inString = "";  
    stringComplete = false;  
}  
while (Serial.available()) {  
char inChar = (char)Serial.read(); // Lectura de bits desde LABVIEW mediante el  
monitor serie  
    inString += inChar;  
    if (inChar == '\n') {  
        stringComplete = true;  
        lcd.setCursor(0,1 ); //situar el cursor en la parte baja  
        lcd.print(" "); // imprime espacios vacíos para borrar la pantalla  
        lcd.setCursor(0,1);  
        lcd.print(inString); //imprime la cadena todo los números pulsados  
        pasosact=pasos;  
        cal=(inString.toInt()*321);  
        calvolt=(cal/130);  
        pasos=(calvolt/1.8); //pasos es la variable de número de pasos que debe de  
        recorrer el motor para llegar al voltaje deseado  
        if(pasos>=186 || pasos<=0)  
        {  
            lcd.setCursor(4,1 ); //situar el cursor en la parte baja  
            lcd.print("V");
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```

pasos=pasosact;
}
if(pasos>pasosact && pasos<=179){ //pasos
for(int y=pasosact+x; y<=pasos;) //
{
lcd.setCursor(4,1 );//situar el cursor en la parte baja
lcd.print(" ");
stepper.step(-1); //con esto avanza un paso el motor
delay(50);//retardo de 50 ml segundos
voltaje=y*0.728;//incremento de voltaje con respecto al número de pasos
avanzados
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(voltaje);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print("V");
y++;
x=1;
}
}
if(pasos<pasosact && pasos>=0){
for(int y=(pasosact-1); y>=pasos; )
{
lcd.setCursor(4,1 );//situar el cursor en la parte baja
lcd.print(" ");
stepper.step(1);
delay(50);
voltaje=y*0.728;
lcd.setCursor(10, 1);

```



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```
lcd.print(voltaje);  
lcd.setCursor(15, 1);  
lcd.print("V");  
inString="";  
y--;  
}  
}  
}  
}  
  
}  
  
////////////////////////////////////  
if (digitalRead(arriba)==1 && a==0 && pasos<=179)//condicionante de pulso de  
entrada subir mientras a valga 0  
{  
pasos=pasos+1; //  
stepper.step(1);  
voltaje=pasos*0.728;  
lcd.setCursor(10, 1);  
lcd.print(voltaje);  
lcd.setCursor(15, 1);  
lcd.print("V");  
a=1;  
Serial.println(voltaje);  
delay(100);  
}  
if(digitalRead(arriba)==0 && a==1)  
{
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```

a=0;
}
if(digitalRead(abajo)==1 && a1==0 && pasos>=1)
{
pasos=pasos-1;
stepper.step(1);
voltaje=pasos*0.728;
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(voltaje);
a1=1;
Serial.println(voltaje);
delay(100);
}
if(digitalRead(abajo)==0 && a1==1)
{
a1=0;
}
key = keypad.getKey();//Reporta el valor ASCII de una clave siendo presionada o
liberada del teclado, guardándola en la variable key
if(key!=NO_KEY)
{
if(isDigit(key))//comprueba si la variable es un dígito decimal (0-9)
{
inString +=key; //es para formar una cadena de números introducidos
lcd.setCursor(0,1 );//situar el cursor en la parte baja
lcd.print(" "); // imprime espacios vacíos para borrar la pantalla
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(inString); //imprime la cadena todo los números pulsados

```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```

}
if(key=='*') //si la variable key vale * entonces pasos igual a la formula
{
pasosact=pasos;
cal=(inString.toInt()*321);
calvolt=(cal/130);
pasos=(calvolt/1.8)+1;//pasos es la variable de número de pasos que debe de
recorrer el motor para llegar al voltaje deseado
if(pasos>=186 || pasos<=0)
{
lcd.setCursor(4,1 );//situar el cursor en la parte baja
lcd.print("null");
inString="";
pasos=pasosact;
}
if(pasos>pasosact && pasos<=179){ //pasos
for(int y=pasosact+x; y<=pasos;) //
{
lcd.setCursor(4,1 );//situar el cursor en la parte baja
lcd.print(" ");
stepper.step(-1); //con esto avanza un paso el motor
delay(50);//retardo de 50 ml segundos
voltaje=y*0.728;//incremento de voltaje con respecto al número de pasos
avanzados
Serial.println(voltaje);
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(voltaje);
lcd.setCursor(15, 1);

```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```
lcd.print("V");  
  
inString=""; //este recorre la cadena de números trabaja junto con el instring  
  
y++;  
x=1;  
Serial.println(voltaje);  
delay(100);  
}  
}  
  
if(pasos<pasosact && pasos>=0){  
for(int y=(pasosact-1); y>=pasos; )  
{  
lcd.setCursor(4,1 );//situar el cursor en la parte baja  
lcd.print(" ");  
stepper.step(1);  
delay(50);  
voltaje=y*0.728;  
Serial.println(voltaje);  
lcd.setCursor(10, 1);  
lcd.print(voltaje);  
lcd.setCursor(15, 1);  
lcd.print("V");  
inString="";  
  
y--;  
}  
}  
}  
}
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

```
digitalWrite(22,LOW);  
digitalWrite(24,LOW);  
digitalWrite(26,LOW);  
digitalWrite(28,LOW);  
digitalWrite(38,LOW);  
digitalWrite(40,LOW);  
}
```

### Anexo III. Hoja de datos del Bluetooth

HC-05

Bluetooth to Serial Port Module



HC-05 module is an easy to use Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) module, designed for transparent wireless serial connection setup.

Serial port Bluetooth module is fully qualified Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation with complete 2.4GHz radio transceiver and baseband. It uses CSR Bluecore 04-External single chip Bluetooth system with CMOS technology and with AFH(Adaptive Frequency Hopping Feature). It has the footprint as small as 12.7mmx27mm. Hope it will simplify your overall design/development cycle.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## Specifications

### Hardware features

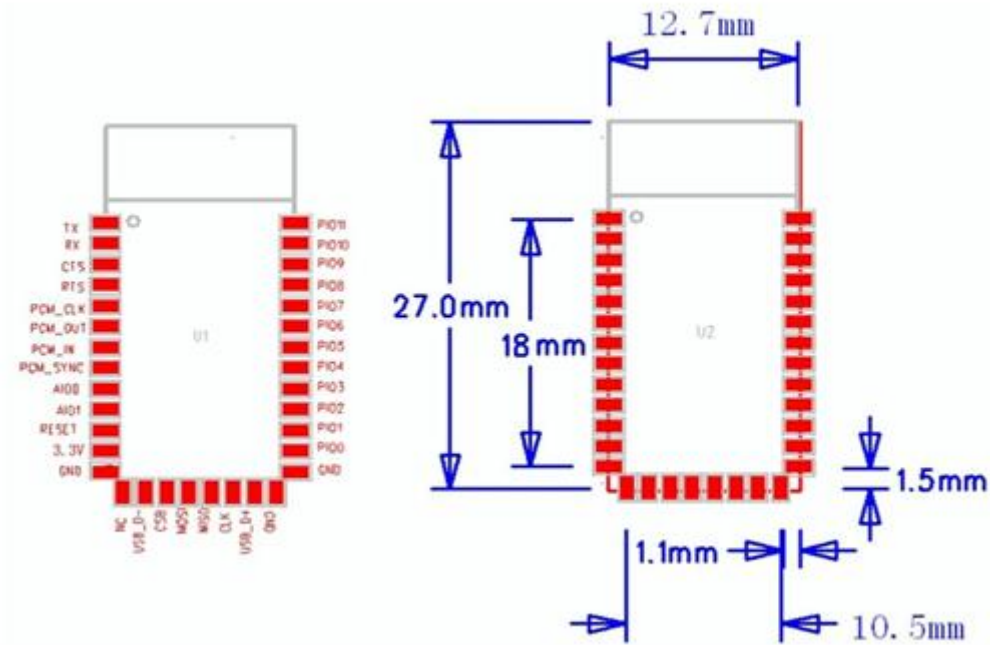
- Typical -80dBm sensitivity
- Up to +4dBm RF transmit power
- Low Power 1.8V Operation ,1.8 to 3.6V I/O
- PIO control
- UART interface with programmable baud rate
- With integrated antenna
- With edge connector

### Software features

- Default Baud rate: 38400, Data bits:8, Stop bit:1,Parity:No parity, Data
- Control: has. Supported baud rate:
- 9600,19200,38400,57600,115200,230400,460800.
- Given a rising pulse in PIO0, device will be disconnected.
- Status instruction port PIO1: low-disconnected, high-connected;
- PIO10 and PIO11 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blinks 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blinks 2times/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing PINCODE:"0000" as default
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Hardware



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

PIN Name	PIN #	Pad type	Description	Note
GND	13	VSS	Ground pot	
	21			
	22			
3.3 VCC	12	3.3V	Integrated 3.3V (+) supply with On-chip linear regulator output within 3.15-3.3V	
AIO0	9	Bi-Directional	Programmable input/output line	
AIO1	10	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO0	23	Bi-Directional RX EN	Programmable input/output line, control output for LNA(if fitted)	
PIO1	24	Bi-Directional TX EN	Programmable input/output line, control output for PA(if fitted)	
PIO2	25	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO3	26	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO4	27	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO5	28	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO6	29	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO7	30	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO8	31	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO9	32	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO10	33	Bi-Directional	Programmable input/output line	
PIO11	34	Bi-Directional	Programmable input/output line	



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

<b>RESETB</b>	<b>11</b>	CMOS input with weak internal pull-up	Reset if low.input debouncde so must be low for >5MS to cause a reset	
<b>UART_RTS</b>	<b>4</b>	CMOS output, tri-stable with weak internal pull-up	UART request to send, active low	
<b>UART_CTS</b>	<b>3</b>	CMOS input with weak internal pull-down	UART clear to send, active low	
<b>UART_RX</b>	<b>2</b>	CMOS input with weak internal pull-down	UART Data input	
<b>UART_TX</b>	<b>1</b>	CMOS output, Tri-stable with weak internal pull-up	UART Data output	
<b>SPI_MOSI</b>	<b>17</b>	CMOS input with weak internal	Serial peripheral interface data input	
<b>SPI_CSB</b>	<b>16</b>	CMOS input with weak internal pull-up	Chip select for serial peripheral interface, active low	
<b>SPI_CLK</b>	<b>19</b>	CMOS input with weak internal pull-down	Serial peripheral interface clock	
<b>SPI_MISO</b>	<b>18</b>	CMOS input with weak internal pull-down	Serial peripheral interface data Output	
<b>USB_-</b>	<b>15</b>	Bi-Directional		

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

<b>USB_+</b>	<b>20</b>	<b>Bi-Directional</b>		
<b>NC</b>	<b>14</b>			
<b>PCM_CLK</b>	<b>5</b>	<b>Bi-Directional</b>	<b>Synchronous PCM data clock</b>	
<b>PCM_OUT</b>	<b>6</b>	<b>CMOS output</b>	<b>Synchronous PCM data output</b>	
<b>PCM_IN</b>	<b>7</b>	<b>CMOS Input</b>	<b>Synchronous PCM data input</b>	
<b>PCM_SYNC</b>	<b>8</b>	<b>Bi-Directional</b>	<b>Synchronous PCM data strobe</b>	

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

AT commands: (all end with \r\n)

1. Test command:

Command	Respond	Parameter
AT	OK	-

2. Reset

Command	Respond	Parameter
AT+RESET	OK	-

3. Get firmware version

Command	Respond	Parameter
AT+VERSION?	+VERSION:<Param> OK	Param : firmware version

Example:

```
AT+VERSION?\r\n
+VERSION:2.0-20100601
OK
```

4. Restore default

Command	Respond	Parameter
AT+ORGL	OK	-

Default state:

Slave mode, pin code :1234, device name: H-C-2010-06-01 ,Baud 38400bits/s.

5. Get module address

Command	Respond	Parameter
AT+ADDR?	+ADDR:<Param> OK	Param: address of Bluetooth module

Bluetooth address: NAP: UAP : LAP

Example:

```
AT+ADDR?\r\n
+ADDR:1234:56:abcdef
OK
```

6. Set/Check module name:

Command	Respond	Parameter
AT+NAME=<Param>	OK	Param: Bluetooth module name (Default :HC-05)
AT+NAME?	+NAME:<Param> OK (/FAIL)	

Example:

```
AT+NAME=HC-05\r\n    set the module name to "HC-05"
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

7. Get the Bluetooth device name:

Command	Respond	Parameter
AT+RNAME?<Param1>	1. +NAME:<Param2> OK 2. FAIL	Param1,Param 2 : the address of Bluetooth device

Example: (Device address 00:02:72:od:22:24, name: ITead)

```
AT+RNAME? 0002, 72, od2224\r\n
+RNAME:ITead
OK
```

8. Set/Check module mode:

Command	Respond	Parameter
AT+ROLE=<Param>	OK	Param:
AT+ROLE?	+ROLE:<Param>	0- Slave

HC-05 Bluetooth module

iteadstudio.com

06.18.2010

9. Set/Check device class

Command	Respond	Parameter
AT+CLASS=<Param>	OK	Param: Device Class
AT+CLASS?	1. +CLASS:<Param> OK 2. FAIL	

10. Set/Check GIAC (General Inquire Access Code)

Command	Respond	Parameter
AT+IAC=<Param>	1.OK 2. FAIL	Param: GIAC (Default : 9e8b33)
AT+IAC	+IAC:<Param> OK	

Example:

```
AT+IAC=9e8b3f\r\n
OK
AT+IAC?\r\n
+IAC: 9e8b3f
OK
```

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

11. Set/Check -- Query access patterns

Command	Respond	Parameter
AT+INQM=<Param>,<Param2>,<Param3>	1.OK 2. FAIL	Param:
AT+ INQM?	+INQM : <Param>,<Param2>,<Param3> OK	0— inquiry_mode_standard 1— inquiry_mode_rssi Param2: Maximum number of Bluetooth devices to respond to Param3: Timeout (1-48 : 1.28s to 61.44s)

Example:

```
AT+INQM=1,9,48\r\n
OK
AT+INQM\r\n
+INQM:1, 9, 48
OK
```

12. Set/Check PIN code:

Command	Respond	Parameter
AT+PSWD=<Param>	OK	Param: PIN code
AT+ PSWD?	+ PSWD : <Param> OK	(Default 1234)

13. Set/Check serial parameter:

Command	Respond	Parameter
AT+UART=<Param>,<Param2>,<Param3>	OK	Param1: Baud Param2: Stop bit
AT+ UART?	+UART=<Param>,<Param2>,<Param3> OK	Param3: Parity

Example:

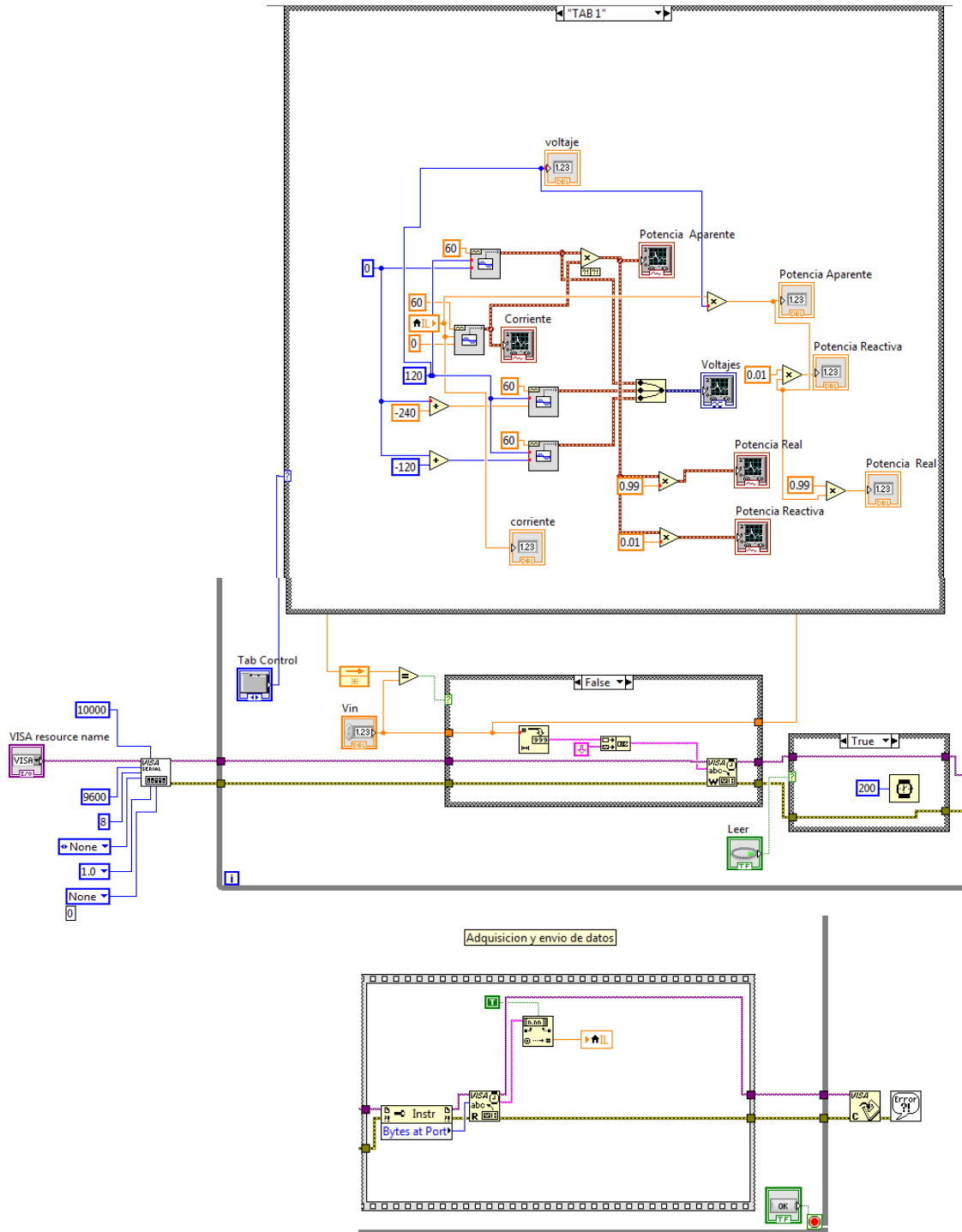
```
AT+UART=115200, 1,2,\r\n
OK
AT+UART?
+UART:115200,1,2
OK
```

14. Set/Check connect mode:

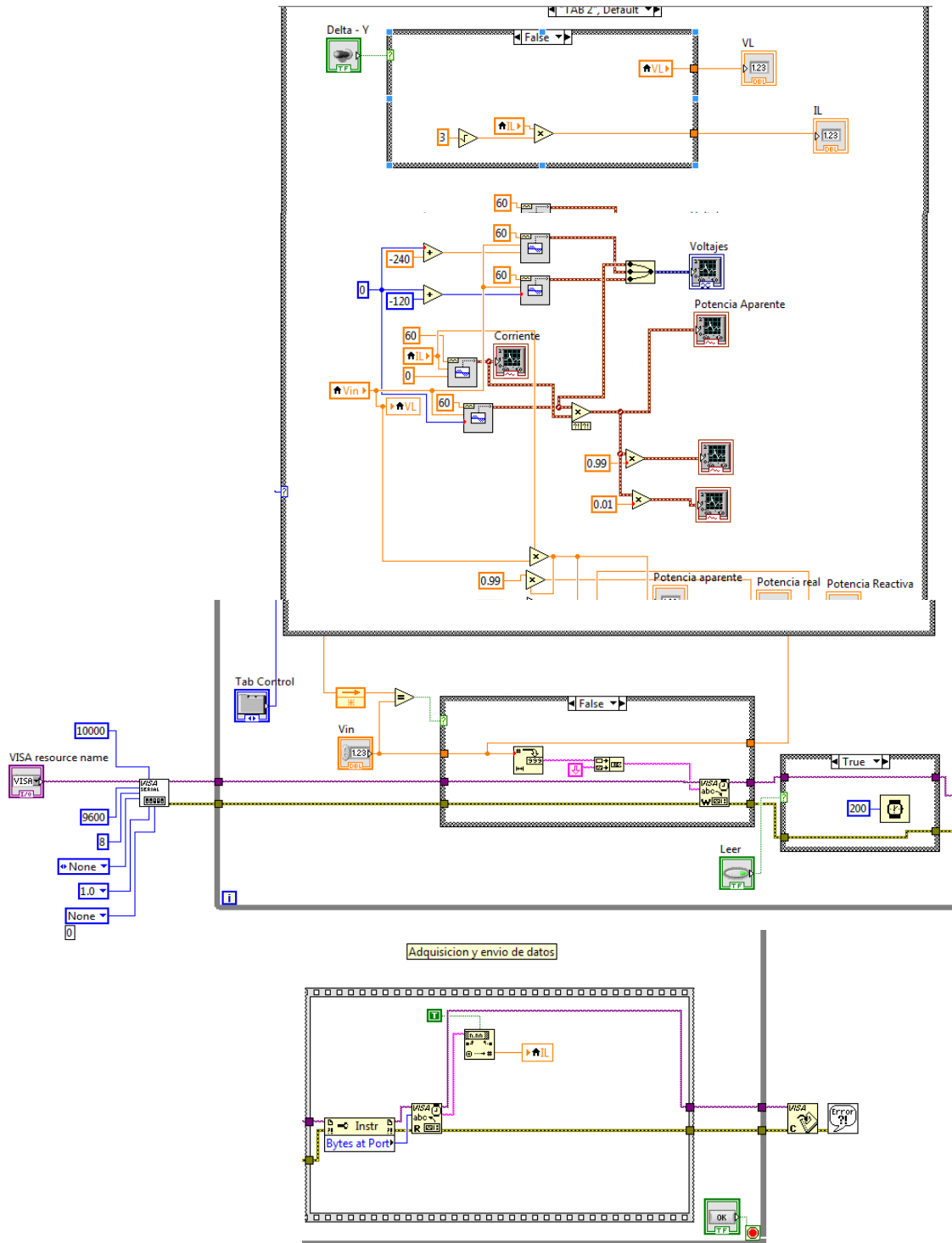
Command	Respond	Parameter
AT+CMODE=<Param>	OK	Param:
AT+ CMODE?	+ CMODE:<Param> OK	0 - connect fixed address 1 - connect any address 2 - slave-Loop

Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### Anexo .IV Diagrama de bloques de la programación en LABVIEW

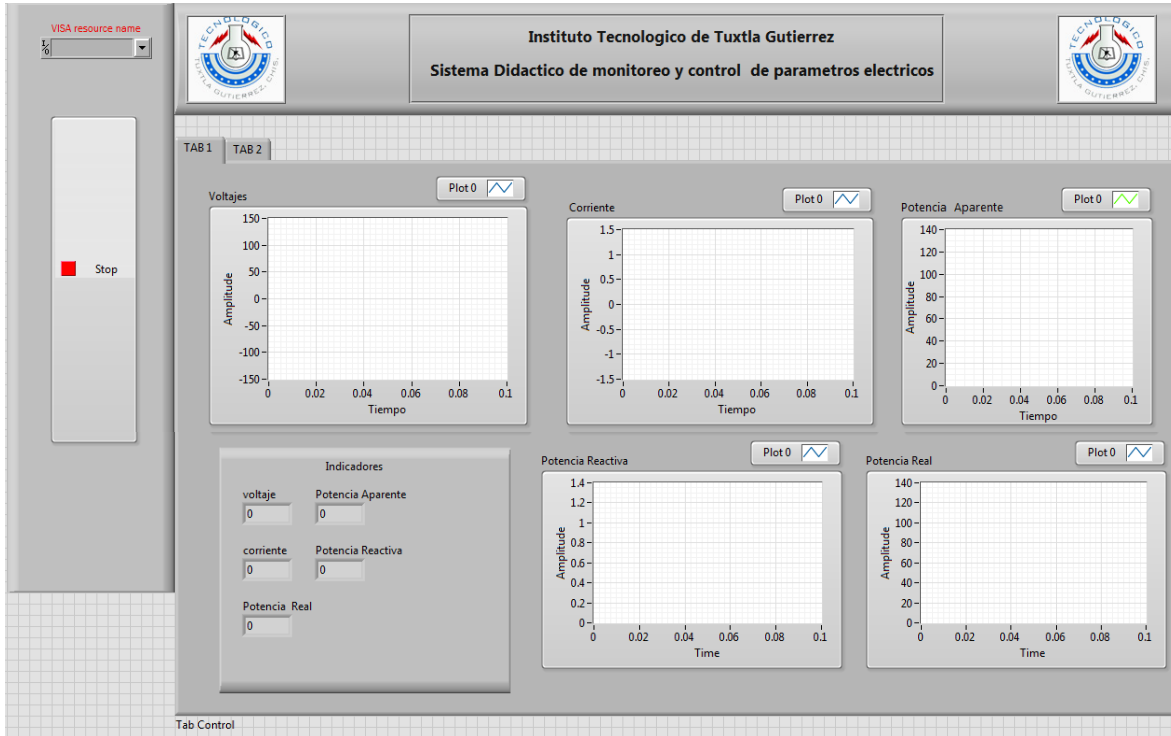


Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica



Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

## ANEXO V . Diseño del Panel Frontal en LABVIEW





Sistema Didáctico de Monitoreo y Control de Parámetros Eléctricos de una Fuente Trifásica Usando LABVIEW, para su Aplicación en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

