



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE
LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE GRADO

TÍTULO:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO - PRÁCTICO
DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA - ELÉCTRICA PARA
PRUEBAS, DEMOSTRACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS
COMPONENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”**

Tesis presentada previa a la obtención del Título de Ingeniería en Electromecánica.

Autor:

Malavé Drouet Marco Antonio

Director:

Ing. Mallitasig Oscar

Latacunga – Ecuador

Abril, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
Latacunga-Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de técnico de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la ingeniería y aplicadas; por cuanto, los postulantes: Marco Antonio Malavé Drouet con el título de tesis: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PRÁCTICO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA - ELÉCTRICA PARA PRUEBAS, DEMOSTRACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA." Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

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

Latacunga, 25 de Marzo del 2013

Para constancia firman:


Ing. Edwin Moreano
PRESIDENTE


Dr. Samuel Laverde
MIEMBRO


Ing. Edison Salazar
OPOSITOR

AUTORÍA

Las ideas y opiniones emitidas en el presente proyecto de tesis son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



Marco Antonio Malavé Drouet

C.I. 0502965858

AVAL

De mi consideración:

Yo Ingeniero Oscar Mallitasig Cumpliendo como tutor de Tesis del postulante: Marco Antonio Malavé Drouet, informo que el postulante ha desarrollado su tesis de grado de acuerdo al planteamiento formulado en el plan de tesis con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA - ELÉCTRICA PARA PRUEBAS, DEMOSTRACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

La claridad y veracidad de su contenido a más del desempeño y dedicación puesta por el autor en cada etapa de su realización, merece especial atención y su consideración como trabajo de calidad.

En virtud de lo antes expuesto considero que la presente tesis se encuentra habilitada para presentarse al acto de la defensa de tesis.



ING. OSCAR MALLITASIG

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

En primer lugar quiero agradecer a DIOS ya que sin Él no soy nada, y gracias a todas sus pruebas estoy donde estoy.

También agradecer a todos los docentes y compañeros quienes me apoyaron e impartieron todos sus conocimientos y consejos durante toda nuestra carrera y vida estudiantil en la Universidad, de quienes me llevo los mejores recuerdos.

Al culminar con el desarrollo de este trabajo quiero dar un agradecimiento por el esfuerzo realizado al Ing. Oscar Mallitasig mi director de tesis quien me brindó su apoyo incondicional, al Ing. Wilson Minueza y todas las personas que directa o indirectamente estuvieron conmigo en la realización de este proyecto.

Marco Antonio Malavé Drouet

DEDICATORIA

"Nunca un año se presentó con tantas pruebas y obstáculos, con seguridad puedo decir que los aprendizajes obtenidos en este proceso marcarán mi camino de hoy en adelante."

Sin duda esta de tesis de grado está dedicado a **DIOS**, por darme la vida a través de mis queridos **PADRES Marco y Laura** quienes con mucho cariño, paciencia, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores, para poder desenvolverme en el transcurso de la vida ya que gracias a su esfuerzo y contención he finalizado este proceso superando todas las adversidades.

A mis hermanas a quienes amo mucho, Sarita: por estar pendiente siempre de mí, a Estefanía por ser un gran apoyo en mi vida profesional y sentimental, ya que con su carácter me ha ayudado a ser más fuerte, gracias mis hermanas preciosas.

Marco Antonio Malavé Drouet

ÍNDICE GENERAL

PRELIMINARES

CONTENIDO	PÁGINA
Portada	i
Autoría	ii
Aval	iii
Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice general	vi
Resumen	x
Abstract	xi
Certificado	xii
Introducción	xiii

CAPÍTULO I

CONTENIDO	PÁGINA
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS	2
1.3 CORRIENTE ALTERNA	4
1.4 MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE CORRIENTE ALTERNA.	5
1.4.1 Generador Monofásico	5
1.4.1.1 Características de un Generador	6
1.4.2 Máquinas de Inducción Polifásicas	7
1.4.2.1 Constitución de una máquina asincrónica trifásica	7
1.4.2.1.1 Estator	7
1.4.2.1.2 Rotor	8
1.4.2.2 Aplicaciones	9
1.4.2.3 Deslizamiento	10
1.4.2.4 Operación de la Máquina de Inducción	11
1.4.2.4.1 Circuito Equivalente de un Motor de Inducción	13
1.4.2.4.2 Simplificación del Circuito	17
1.4.2.5 Análisis de la potencia en el motor de inducción	18
1.4.2.6 Torque	20
1.4.2.7 Circuito usando el equivalente THEVENIN	22
1.4.2.8 Control de motores de inducción	26
1.4.2.9 Pruebas en máquinas de inducción	28
1.4.2.10 Control de Velocidad de un Motor de Inducción	32
1.5 MÁQUINAS SINCRÓNICAS TRIFÁSICAS	32
1.5.1 Principio de funcionamiento de una máquina sincrónica.	36

1.5.2 Fuerza electromotriz producida en generadores sincrónicos	37
1.5.3 Torque electromagnético en una máquina sincrónica	38
1.5.4 Parámetros de la máquina sincrónica	39
1.5.5 Voltaje Inducido	41
1.5.6 Circuito equivalente de la máquina sincrónica	42
1.5.6.1 Diagramas fasoriales del generador sincrónico	44
1.5.7 Dos generadores en paralelo	46
1.5.7.1 Reparto de carga entre generadores	46

CAPÍTULO II

CONTENIDO	PÁGINA
2.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	49
2.2 CONCLUSIONES	54
2.3 RECOMENDACIONES	54
2.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	54
2.4.1. Enunciado	54
2.4.2 Variables e Indicadores	54
2.4.2.1 Indicadores	55
2.4.3 Argumentación	55
2.4.4 Decisión	55

CAPÍTULO III

CONTENIDO	PÁGINA
3.1 PROPUESTA	57
3.2 TEMA	57
3.3 JUSTIFICACIÓN	57

3.4 OBJETIVOS	58
3.4.1 Objetivo General	58
3.4.2 Objetivo Específico	58
3.5 INTRODUCCIÓN	59
3.6 FACTIBILIDAD	60
3.7 DESARROLLO DEL PROYECTO	60
3.7.1 Introducción	61
3.7.2 Selección de Elementos	61
3.7.3 Características de los Elementos	63
3.7.4 Instrumentos de Medición	66
3.7.5 Implementación	70
3.8 OPERACIÓN CON EL BANCO DE PRUEBAS.	72
3.8.1 Planteamiento de Práctica	72
3.8.2 Tema: Características de operación de un generador monofásico	72
3.9 DESCRIPCIÓN DEL COSTO ECONÓMICO DEL PROYECTO	85
3.10 CONCLUSIONES	86
3.11 RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	
Anexo 3.1 Formulario de encuestas a estudiantes	
Anexo 3.2 Implementación	
Anexo 3.3 Sistema Didáctico Práctico terminado	
Anexo 3.4 Manual de Operación con el Banco de Pruebas	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA - ELÉCTRICA PARA PRUEBAS, DEMOSTRACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”

AUTOR: MARCO MALAVÉ

RESUMEN

El presente proyecto de Investigación se refiere a la implementación de un sistema didáctico-práctico de conversión de energía mecánica - eléctrica para pruebas, demostración y visualización de los componentes de generación eléctrica, el mismo que otorgará una guía técnico práctica para la complementación de los conocimientos en la asignatura de Máquinas Eléctricas.

Además será un complemento de gran importancia para el laboratorio de máquinas eléctricas ya que con este aporte obtendrán nuevas metodologías y técnicas de estudio.

Conjuntamente los servicios que brinda el módulo didáctico también ayudará a los estudiantes y profesores a fortalecer sus conocimientos teóricos y llevarlos a la práctica, a su vez estarán familiarizándose con el módulo de pruebas.

Finalmente el módulo didáctico propondrá un estudio más completo no solamente de un generador monofásico y un motor trifásico, el módulo tendrá especial enfoque en los diferentes elementos que dieron forma al proyecto entre estos tenemos las diversas variantes de conexión y las variables eléctricas y que obviamente para la consecución de todo este trabajo fue enfocado a conocer más a fondo el funcionamiento de un generador monofásico y motor trifásico, el mismo que tiene una serie de alternativas para su estudio.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

"IMPLEMENTATION OF A TEACHING SYSTEM OF MECHANICAL -
ELECTRICAL ENERGY CONVERSION FOR TESTING, DEMONSTRATION
AND DISPLAY OF POWER GENERATION COMPONENTS"

Author: Marco Malavé

ABSTRACT

This research project is in a didactic system practical – teaching conversion of mechanical energy - electric for testing, demonstration and display of power generation components the same which will award a technical guide practice for the complementation of knowledge in the Electrical Machines subject. It will complement of prodigious importance for the laboratory of electrical machines since with this contribution they will get new methodologies and techniques of study. In fact, the provision that grants the training module will also help students and teachers to strengthen their theoretical knowledge and bring them to practice, in turn will be more familiar with testing module. Finally the training module will propose a more complete study not only of a single-phase generator and a three-phase motor, the module will have special focus on the different elements that gave shape to the project between these have different variants of connection and electrical variables and obviously for the achievement of all this work was focused to learn on letting us know the operation of a three-phase generator, monophasic generator and tri-phasic motor more thoroughly the same that has a number of choices for your study.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, yo Lic. Mishelle Velasteguí Rodríguez con CC: 050187099-2 certifico que he realizado la presente revisión del Abstract; con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA - ELÉCTRICA PARA PRUEBAS, DEMOSTRACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”** cuyo autor es Marco Antonio Malavé Drouet y director de Tesis Ing. Oscar Mallitasig.

Latacunga 15 de Enero del 2013

Docente:



Lic. Mishelle Velasteguí Rodríguez

CC: 050187099-2

INTRODUCCIÓN

Tecnológicamente, las máquinas eléctricas apenas han progresado en los últimos cien años. Se ha mejorado en los materiales, fundamentalmente en los aislantes, pero en cuanto a diseño general y principios de funcionamiento, son los mismos que cuando se inventaron.

En cambio, donde existe un avance sustancial ha sido en los sistemas de alimentación de las máquinas eléctricas.

Gracias a los avances en la electrónica de potencia, hoy día, es posible variar y controlar de forma fácil y cómoda, no sólo la tensión o la intensidad de la alimentación de una máquina, sino incluso la frecuencia y la velocidad

En la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas en la Carrera de Ingeniería Electromecánica, surge la necesidad de complementar los laboratorios existentes, dotándoles con proyectos técnicos-prácticos con una visión acorde al avance tecnológico, enmarcándole al futuro profesional inmiscuido dentro de esta rama poder seguir elevando su nivel académico.

Finalmente el presente proyecto de tesis está conformado por tres capítulos donde a partir del primer capítulo se describirá la fundamentación teórica de cada uno de los elementos utilizados, en el segundo capítulo se tendrá un análisis e interpretación de resultados de acuerdo a las operaciones realizadas en el módulo, y por último en el tercer capítulo se presenta la construcción de un banco de pruebas de conversión de energía mecánica-eléctrica, conjuntamente se tendrá una guía de prácticas a ser efectuadas.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 ANTECEDENTES

La energía se manifiesta en varias formas (mecánica, térmica, química, eléctrica, radiante y nuclear o atómica)

Todas las formas de energía pueden convertirse en otras mediante los procesos correctos, en el proceso de transformación puede perderse o ganarse energía.

Las observaciones del siglo XIX llevaron a la conclusión de que la energía ni se crea ni se destruye, pero si se transforma. Este concepto, es conocido como principio de la conservación de la energía.

Cuando las velocidades se aproximan a la de la luz la materia se transforma en energía y viceversa

Las diferentes etapas en que han sido desarrollados los convertidores electromagnéticos de energía (máquinas eléctricas que transforman energía mecánica en eléctrica y viceversa) desde que en 1832 apareció el primer artilugio hasta nuestros días, han sido muy valiosas si analizamos las aportaciones que éstos han prestado al desarrollo tecnológico e industrial de la humanidad.

El fundamento teórico en el que se basa el funcionamiento de los convertidores electromecánicos se encuentra en los tres principios fundamentales de la inducción electromagnética, que podemos resumirlos en:

- ❖ Una corriente eléctrica que circula por un conductor arrollado a un núcleo metálico de hierro o acero hace que éste se comporte como un imán.
- ❖ Las corrientes eléctricas ejercen entre sí fuerzas a distancia.
- ❖ Cuando se mueve un conductor en el seno de un campo magnético, se produce (induce) sobre él una corriente eléctrica.

Estos principios constituyen la génesis de las máquinas eléctricas y son debidos, en gran medida, al trabajo de tres grandes hombres de ciencia:

- ❖ Dominique Francois Jean Arago (1786-1853).
- ❖ André Marie Ampere (1775-1836).
- ❖ Michael Faraday (1791 -1867).

Es así que dentro de la carrera de Ingeniería Electromecánica, se va a implementar un sistema didáctico – práctico de conversión de energía mecánica-eléctrica para pruebas, demostración y visualización de los componentes de generación eléctrica. En el laboratorio de máquinas eléctricas en la Unidad Académica de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

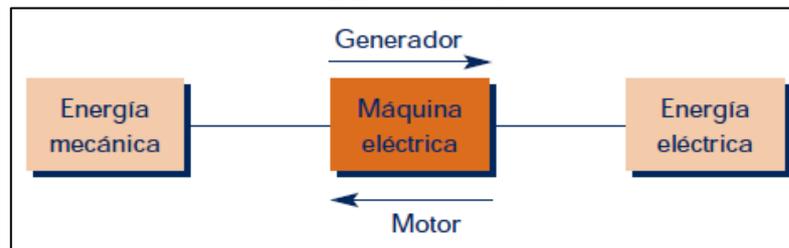
1.2 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

Según, Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas (2ª edición), McGraw-Hill, 1993 pg.25 explica:

Se entiende por máquina eléctrica al conjunto de mecanismos capaces de generar, aprovechar o transformar la energía eléctrica.

Si la máquina convierte energía mecánica en energía eléctrica se llama generador, mientras que si convierte energía eléctrica en energía mecánica se denomina motor. Esta relación se conoce como principio de conservación de la energía electromecánica.

FIGURA No. 1.1

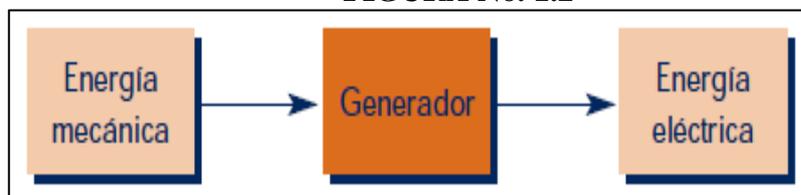


Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
 Elaborado por: el investigador.

Teniendo en cuenta lo que hemos estudiado hasta el momento, podemos clasificar las máquinas eléctricas rotativas en:

- ❖ **Generadores.** Transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

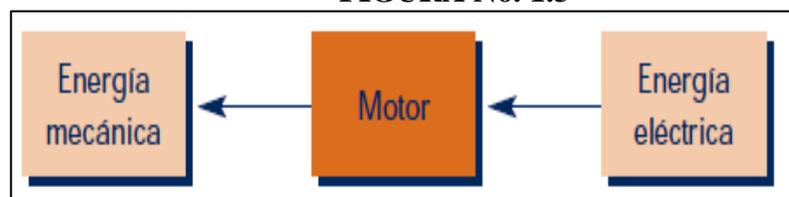
FIGURA No. 1.2



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
 Elaborado por: el investigador.

- ❖ **Motores.** Transforman la energía eléctrica en energía mecánica

FIGURA No. 1.3



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
 Elaborado por: el investigador.

Podemos realizar otra clasificación de las máquinas eléctricas teniendo en cuenta el tipo de corriente eléctrica que utilizan y el número de fases, tal como se muestra en el cuadro 1.1

CUADRO No. 1.1
Clasificación general de las máquinas eléctricas rotativas.

MAQUINA ELÉCTRICA	TIPO DE CORRIENTE	
	Corriente Continua	Corriente Alterna
GENERADORES	Dinamo (con excitación) <ul style="list-style-type: none"> Independiente Serie Shunto derivación Compound 	Alternador <ul style="list-style-type: none"> Monofásico Trifásico Polos lisos Polos salientes
MOTORES	Motores (con excitación) <ul style="list-style-type: none"> Independiente Serie Shunto derivación Compound 	Monofásicos <ul style="list-style-type: none"> Inducción <ul style="list-style-type: none"> Jaula <ul style="list-style-type: none"> Fase partida Condensador Espira de sombra Rotor devanado <ul style="list-style-type: none"> Repulsión Repulsión en arranque Repulsión-inducción. Síncrono <ul style="list-style-type: none"> Histéresis Reluctancia Imán permanente Polifásicos. <ul style="list-style-type: none"> Inducción <ul style="list-style-type: none"> Jaula de ardilla Rotor devanado Universales <ul style="list-style-type: none"> Síncronos

Fuente: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448127641.pdf>

Elaborado por: el investigador.

En el proyecto realizado se utilizó un motor trifásico de inducción y un generador sincrónico.

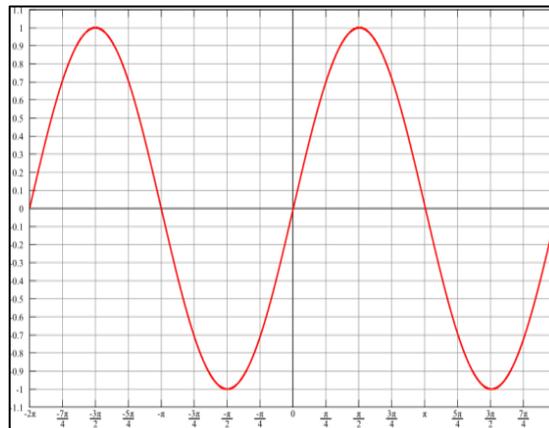
1.3 CORRIENTE ALTERNA

Según <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448127641.pdf> pg. 243 Explica:

Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de alternating current) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente.

La forma de oscilación de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una oscilación senoidal fig. 1.4 puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía

FIGURA No. 1.4
Forma sinusoidal.



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

Utilizada genéricamente, la CA se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas.

1.4 MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE CORRIENTE ALTERNA.

Se denomina motor de corriente alterna a aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna.

1.4.1 Generador Monofásico

Según ABC de las Maquinas Eléctricas: motores de corriente alterna” autor: Enríquez Harper iii 2004 pág. 15, 17, 18, 307,310.

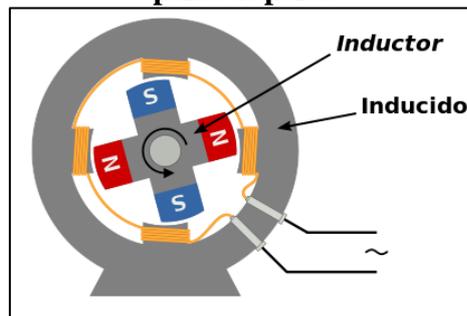
Un generador es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Los generadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y el valor del flujo que lo atraviesa.

1.4.1.1 Características de un Generador

Un alternador consta de dos partes fundamentales, el inductor que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo magnético

FIGURA No. 1.5
Disposición de elementos en un alternador simple de excitación permanente con dos pares de polos.



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

Inductor

El rotor, que en estas máquinas coincide con el inductor, es el elemento giratorio del alternador, que recibe la fuerza mecánica de rotación.

Inducido

El inducido o estator, es donde se encuentran una serie de pares de polos distribuidos de modo alterno y, en este caso, formados por un bobinado en torno a un núcleo de material ferromagnético de característica blanda, normalmente hierro dulce.

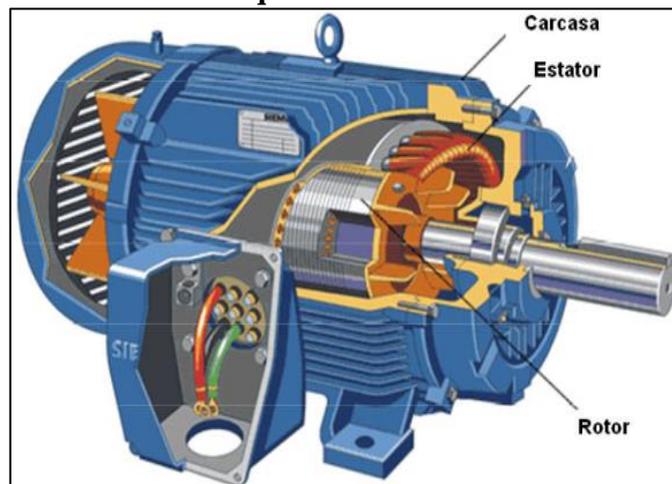
La rotación del inductor hace que su campo magnético, formado por imanes fijos de elio, se haga variable en el tiempo, y el paso de este campo variable por los polos del inducido genera en él una corriente alterna que se recoge en los terminales de la máquina.

1.4.2 Máquinas de Inducción Polifásicas.

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motor de corriente alterna. El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: estator y rotor.

1.4.2.1 Constitución de una máquina asíncrona trifásica

FIGURA No. 1.6
Máquina asíncrona

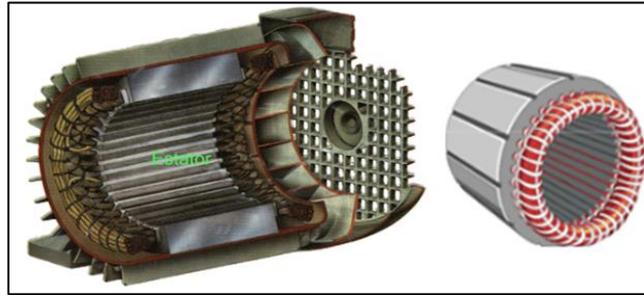


Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>
Elaborado por: el investigador.

1.4.2.1.1 Estator

Consta de devanado trifásico distribuidos en ranuras a 120° . Tienen tres devanados en el estator, estos devanados están desfasados $2\pi/3P$, siendo P el número de pares de polo de la máquina.

FIGURA No. 1.7
Estator

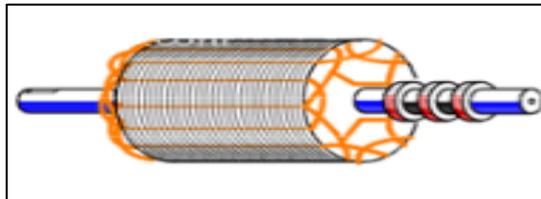


Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>
Elaborado por: el investigador.

1.4.2.1.2 Rotor

Rotor Devanado: los devanados del rotor son similares a los del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene porqué ser el mismo que el del estator, lo que si tiene que ser igual es el número de polos. Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.

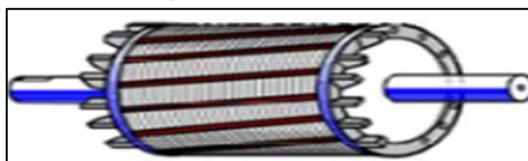
FIGURA No. 1.8
Rotor Devanado



Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>
Elaborado por: el investigador.

Jaula de ardilla: los conductores del rotor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estos conductores están cortocircuitados, por tanto no hay posibilidad de conexión del devanado del rotor con el exterior. La posición inclinada de las ranuras mejora las propiedades de arranque y disminuye los ruidos.

FIGURA No. 1.9
Jaula de ardilla



Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>
Elaborado por: el investigador.

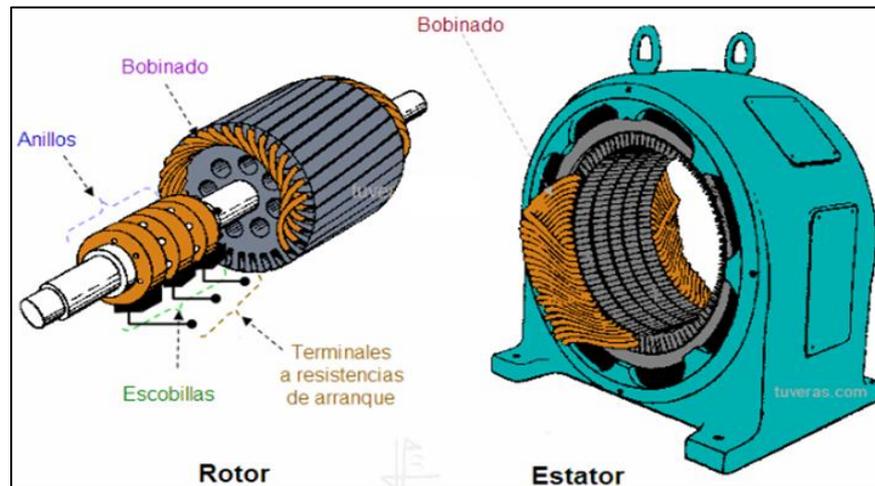
1.4.2.2 Aplicaciones:

1. Como Motor

➤ Motor de Rotor devanado

Consiste en un rotor en que las bobinas tienen terminales que sirven para conectar un circuito exterior por ello se necesita de un sistema colector formado por escobillas y anillos deslizantes. Estas máquinas son mas costosas pero tienen la ventaja de poder controlar la velocidad de manera mas efectiva.

FIGURA No. 1.10
Motor de Rotor devanado

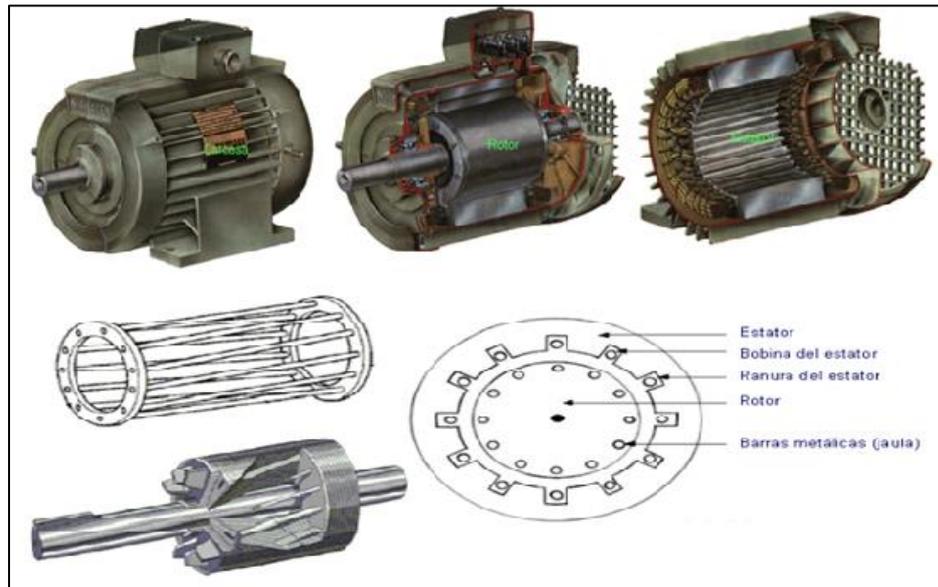


Fuente: <http://html.rincondelvago.com/maquinas-sincronas-y-asyncronas.html>
Elaborado por: el investigador.

➤ Motor con Jaula de ardilla

En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula; es el motor eléctrico industrial por excelencia, fuerte, robusto y sencillo, se usa en un gran número de máquinas con un mantenimiento mínimo.

FIGURA No. 1.11
Motor con Jaula de ardilla



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/maquinas-sincronas-y-asincronas.html>
Elaborado por: el investigador.

2. **Como cambiador de frecuencia:** puesto que la frecuencia de giro del rotor difiere de la frecuencia del estator de la máquina, debido al deslizamiento.
3. **Como generador:** Esta aplicación no es muy frecuente

1.4.2.3 Deslizamiento

Es la diferencia entre la velocidad de rotación del campo y la velocidad del rotor.

Entre más grande es el deslizamiento, más grande es la corriente inducida en las barras del rotor, y más grande el torque. Por eso es que la velocidad siempre dependerá de la carga.

Se denomina deslizamiento (S) a la siguiente relación:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Se cumple que: $n_s > n$

La velocidad de giro del rotor considerando el deslizamiento, corresponde a:

$$n_s - n_s S = n$$

$$n_s \cdot (1 - S) = n$$

La velocidad sincrónica (n_s) de una máquina rotatoria es función directa de la frecuencia. La frecuencia eléctrica (f_s) se relaciona con la mecánica (f_m) considerando el número P de polos:

$$f_s = \frac{P}{2} \cdot f_m$$

CUADRO No. 1.2
Deducción de la fórmula de la velocidad sincrónica.

Frecuencia en función de la velocidad sincrónica	Donde se tiene que la velocidad sincrónica de la máquina	Es así que la velocidad sincrónica para una máquina que opera a 60Hz se obtiene mediante:
$f_s = \frac{P}{2} \cdot \frac{n_s}{60}$	$n_s = \frac{120}{P} \cdot f_s$	$n_s = \frac{3600}{\#pares\ polos} rpm$

Fuente: http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf/Capitulo11.pdf

Elaborado por: el investigador.

1.4.2.4 Operación de la Máquina de Inducción.

Con respecto a una máquina de inducción se analiza las condiciones de arranque y operación normal.

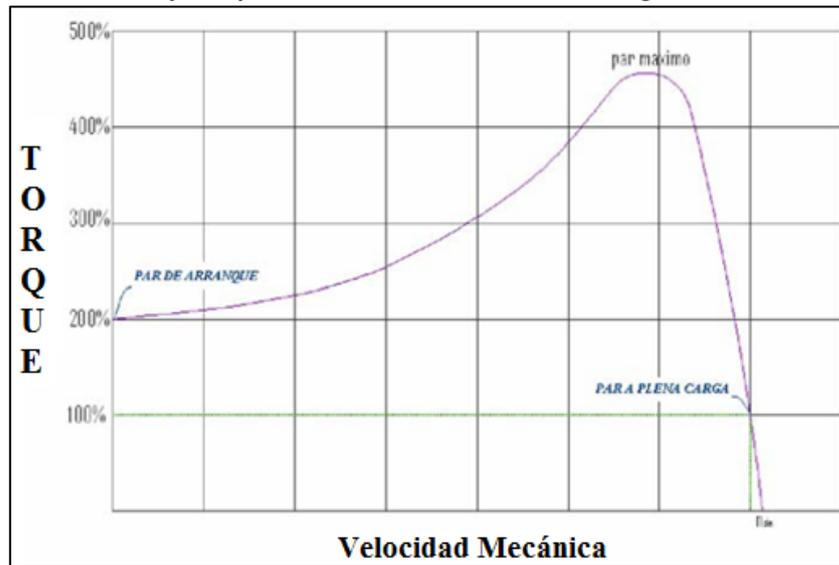
- ❖ Cuando $n_s = 0$ el arranque del rotor está detenido por lo que el deslizamiento es:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

- ❖ En operación normal

$$n = n_s \cdot (1 - S)$$

FIGURA No. 1.12
Porcentaje de par de acuerdo a la velocidad de giro del rotor



Fuente: http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf/Capitulo11.pdf
 Elaborado por: el investigador.

El torque electromagnético (t) que opera la máquina está dado por:

$$\tau = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi_{sr} F_r \sin \delta_{rf}$$

Dónde:

P = Número de polos.

Φ_{sr} = Flujo en el entrehierro.

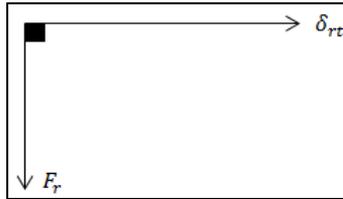
F_r = Fuerza magnetomotriz del devanado de campo.

δ_{rf} = Ángulo entre el flujo en el entrehierro y la fuerza magnetomotriz del campo.

Si se considera constante al flujo en el entrehierro y que la fuerza magnetomotriz de campo es proporcional a la corriente del rotor, se tiene la expresión para el torque:

$$\tau = k \cdot I_R \cdot \sin \angle_{F_r}^{\Phi_{sr}}$$

Si el ángulo entre el flujo y la fuerza magnetomotriz es 90° , se obtiene el siguiente diagrama:



Se cumple la relación: $\tau \approx k \cdot I_R$

En condiciones nominales de operación, la corriente del rotor corresponde a:

$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jX_R} = \frac{E_R}{R_R + j2\pi \cdot S \cdot f \cdot L_R}$$

Dónde:

E_R = Voltaje inducido en el rotor.

R_R ; X_R = Parámetros del rotor.

Puesto que el deslizamiento es pequeño, la parte reactiva de la impedancia es mucho menor que la resistiva y la corriente en el rotor se aproxima a:

$$I_R = \frac{S \cdot E_{estator}}{R_R}$$

Nota: los campos en el estator y en el rotor son estacionarios y giran a velocidad sincrónica.

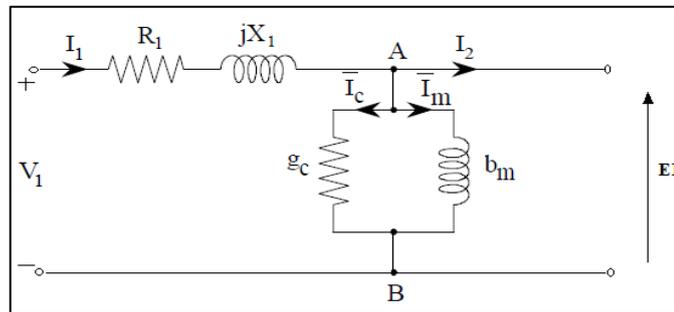
1.4.2.4.1 Circuito Equivalente de un Motor de Inducción.

Según A.E. FitzGerald-charles kingsley,jr.-Stephen d. umans máquinas eléctricas sexta edición pg.72-75 Explica:

El circuito equivalente de un motor de inducción es muy similar al de un transformador, debido a la acción de transformación que ocurre al inducirse corrientes en el rotor, desde el estator.

Circuito del estator.

FIGURA No. 1.13
Circuito del estator



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

R_1 = Resistencia del estator

X_1 = reactancia de dispersión de estator

g_c = conductancia de pérdidas del núcleo

b_m = susceptancia magnetizante

V_1 = voltaje de alimentación / fase

I_1 = corriente de estator

I_ϕ = corriente de magnetización

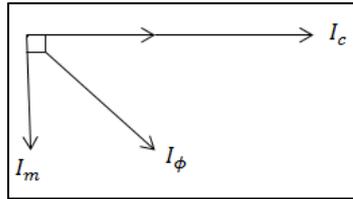
E_1 = fuerza contraelectromotriz

La corriente I_1 de alimentación del estator por fase debe ser capaz de producir y mantener las corrientes I_ϕ e I_2 .

I_ϕ es la corriente de excitación encargada de producir el flujo en el entrehierro y es función de E_1 .

I_2 es la corriente que compensa la fuerza magnetomotriz del rotor. Esta última está referida al estator y toma el nombre de corriente de carga.

A las terminales de la rama de excitación aparece el voltaje inducido E_1 en el estator. Se puede observar que la corriente I_c que circula por la rama de la conductancia está en fase con la fuerza contraelectromotriz E_1 , y que I_m que es la corriente que circula por la rama de la susceptancia de magnetización está retrazada **90** grados respecto a E_1 .



Los valores de conductancia y susceptancia se calculan a frecuencia nominal del estator

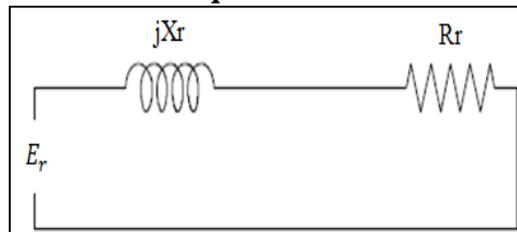
La corriente I_2 crea una fuerza magnetomotriz que tiende a compensar la fuerza magnetomotriz producida por el rotor, de modo que:

$$Fmm_R = Fmm_S \text{ lo que implica que: } N_S I_S = N_R I_R$$

Circuito del Rotor.

A continuación se analizará el circuito equivalente del rotor para poder referirlo al circuito del estator

FIGURA No. 1.14
Circuito equivalente del rotor



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

El circuito referido al estator se obtiene transformando las magnitudes del rotor hacia el estator (voltajes, corrientes e impedancias).

Res : equivale a magnitud del rotor referida al estator	a : es relación de vueltas.
$\frac{\bar{E}_R}{\bar{E}_{Res}} = \frac{N_R}{N_{Res}}$	$\frac{\bar{E}_{Res}}{\bar{E}_R} = \frac{N_{Res}}{N_R} = a$

Las magnitudes referidas al estator son:

$\bar{E}_{Res} = a \cdot \bar{E}_R$	$\bar{I}_{Res} = \frac{1}{a} \cdot \bar{I}_R$	$\bar{Z}_{Res} = a^2 \cdot \bar{Z}_R$
-------------------------------------	---	---------------------------------------

$$\bar{Z}_{Res} = R_{Res} + jX_{Res}$$

$$X_{Res} = 2\pi \cdot f_R \cdot L_R = 2\pi \cdot S \cdot f_S \cdot L_R = S \cdot X_R$$

$$\bar{Z}_{Res} = R_{Res} + jS \cdot X_R$$

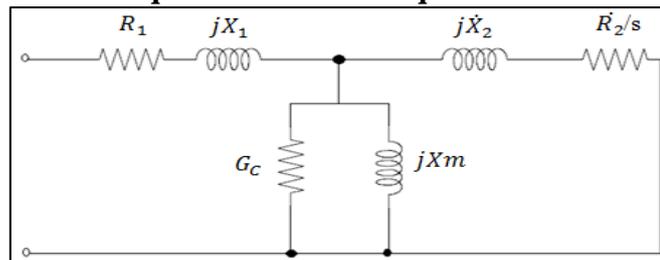
Debido a que las fuerzas magnetomotrices del rotor y del estator son iguales, se cumple que: $I_{Res} = I_2$ Además se tiene que:

$$\bar{E}_{Res} = S \cdot \bar{E}_1$$

$$\frac{\bar{E}_1}{\bar{I}_{Res}} = \frac{\bar{E}_{Res}}{S \cdot \bar{I}_{Res}} = \frac{1}{S} \cdot (R_{Res} + jS \cdot X_R) \rightarrow \frac{\bar{E}_1}{I_2} = \frac{R_{Res}}{S} + jX_R = \frac{\dot{R}_2}{S} + j\dot{X}_2$$

Con este resultado el circuito equivalente de la máquina de inducción es el siguiente

FIGURA No. 1.15
Circuito equivalente de la máquina de inducción



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>

Elaborado por: el investigador.

\dot{R}_2/s = es la resistencia del rotor referida al estator.

Se hace notar que este modelo es similar al de un transformador con las siguientes variantes: El circuito del secundario (rotor) está en cortocircuito

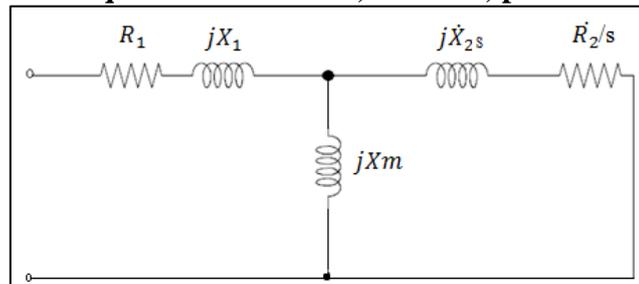
La resistencia del rotor depende del deslizamiento (\dot{R}_2/s) y por lo tanto de la velocidad de giro de la máquina.

1.4.2.4.2 Simplificación del Circuito

El circuito puede simplificarse despreciando la resistencia que representa las pérdidas del núcleo; sin embargo, a diferencia del transformador no se puede despreciar la reactancia de magnetización X_m .

El circuito aproximado de la máquina de inducción, trifásica, por fase es:

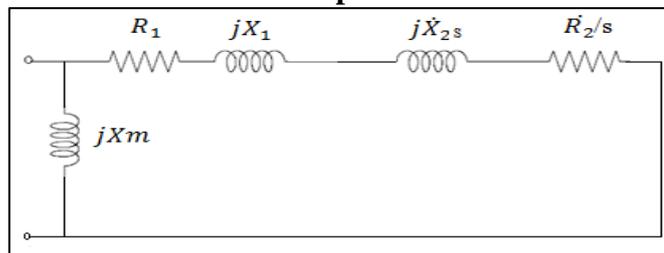
FIGURA No. 1.16
Máquina de inducción, trifásica, por fase



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

Otro circuito aproximado es el siguiente:

FIGURA No. 1.17
Circuito aproximado



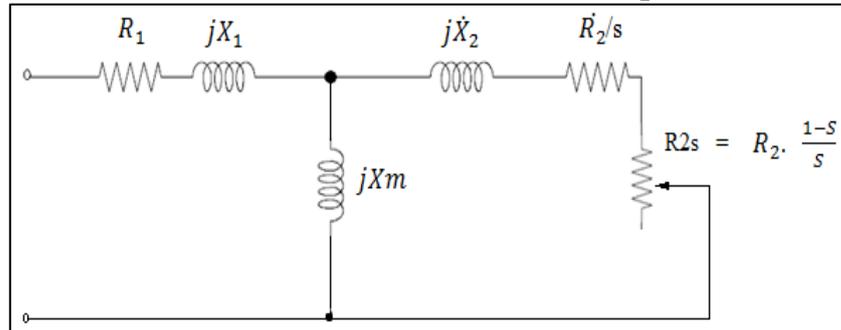
Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

Otro circuito se obtiene separando la resistencia referida del rotor en dos partes:

- ❖ La primera R_2 que representa las pérdidas en el cobre del rotor, y

- ❖ La segunda $R_2 \cdot \left(\frac{1-s}{s}\right)$ que representa la potencia mecánica interna entregada por la máquina al eje del rotor.

FIGURA No. 1.18
Resistencia referida del rotor en dos partes



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

1.4.2.5 Análisis de la potencia en el motor de inducción

Forma como se distribuye la potencia en los diversos componentes, se aprecia que la potencia eléctrica de entrada (P_{in}), por fase, corresponde a:

$$P_{in} = \sqrt{3}VI \cos \theta$$

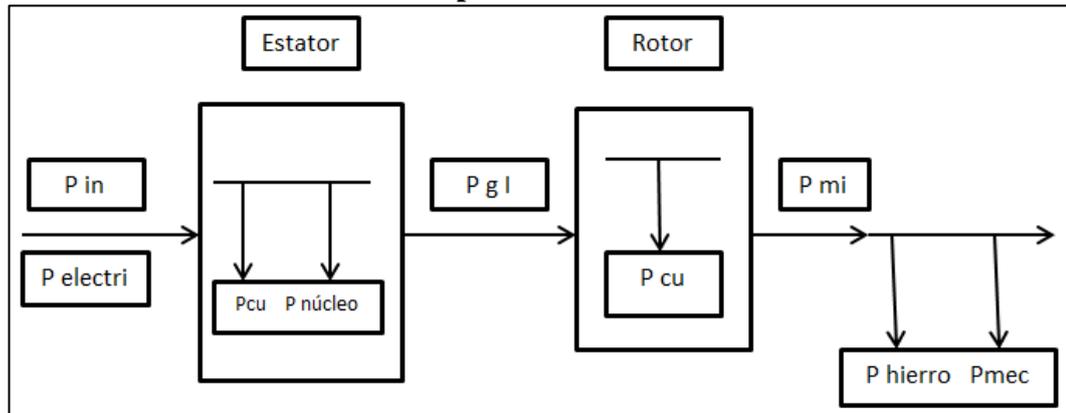
P_{in} , es la potencia de entrada y es igual a la potencia eléctrica que se entrega a la máquina

Las pérdidas en el cobre del estator (por fase) son:

$$P_{cu} = I_1^2 R_1$$

La potencia. P núcleo, es la potencia de pérdidas producidas por las corrientes parásitas en el núcleo del estator y se determina mediante pruebas que se realizan a la máquina

FIGURA No. 1.19
Análisis de la potencia del motor de inducción.



Fuente: Stephen Chapman. Máquinas Eléctricas. Editorial Mc- Graw Hill. 3ra edición. 2003
Elaborado por: el investigador.

Las pérdidas en cobre de rotor por fase son:

$$P_{cu_R} = I_2^2 \dot{R}_2$$

La potencia total P_{g1} transmitida desde el estator por el entrehierro, por fase, es:

$$P_{g1} = I_2^2 \frac{\dot{R}_2}{S}$$

La potencia mecánica interna P_{mi} desarrollada por el motor, por fase, es:

$$P_{mi} = P_{g1} - P_{cu_R}$$

$$P_{mi} = I_2^2 \cdot \dot{R}_2 \cdot \left(\frac{1 - S}{S} \right)$$

$$P_{mi} = P_{g1} \cdot (1 - S)$$

P_{hierro} : es la potencia que se pierde en el hierro del rotor y

P_{mec} : es la potencia de pérdidas mecánicas entre las que se pueden considerar fricción, ventilación, etc.

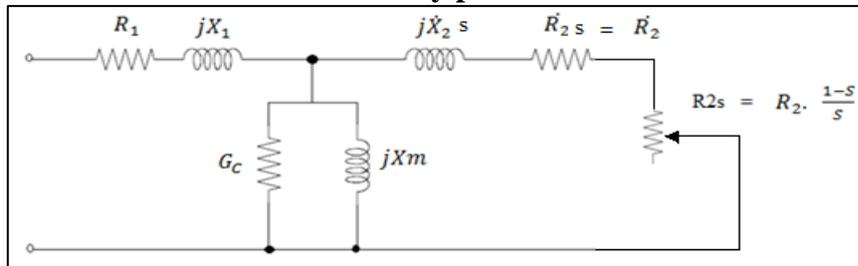
Estas dos últimas se determinan por pruebas en la máquina.

Nótese que la fracción $(1 - S)$ de la potencia total (P_{g1}) corresponde a la potencia mecánica y la fracción S es la disipación como pérdidas en el rotor.

Para calcular la potencia útil hay que restar de la P_{mi} las pérdidas en el hierro y las pérdidas mecánicas propias de la rotación, de estas pérdidas, las debidas al hierro son despreciables porque dependen del cuadrado de la frecuencia y la frecuencia en el rotor es muy pequeña.

Si nos fijamos en la fórmula de la potencia mecánica interna podemos deducir que el deslizamiento en estas máquinas debe ser bajo, porque en caso contrario significaría que la mayor parte de la potencia se estaría perdiendo en la máquina.

FIGURA No. 1.20
Resistencia y potencia del rotor



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

En el circuito equivalente la resistencia fija en el rotor representa las pérdidas en el cobre del rotor, mientras que la resistencia variable (que es función del deslizamiento s) representa la potencia mecánica interna bruta que entrega la máquina

1.4.2.6 Torque

El torque en su forma más simple es la relación entre la potencia y la velocidad angular, por lo tanto, el torque mecánico interno será:

$$\tau = \frac{P}{W_R} = \frac{P}{W_S \cdot (1 - S)}$$

$$\tau = \frac{3 \cdot I_2^2 \cdot \dot{R}_2 \cdot (1 - S)}{W_S \cdot (1 - S) \cdot S}$$

$$\tau = \frac{3 \cdot I_2^2 \cdot \dot{R}_2}{W_S \cdot S}$$

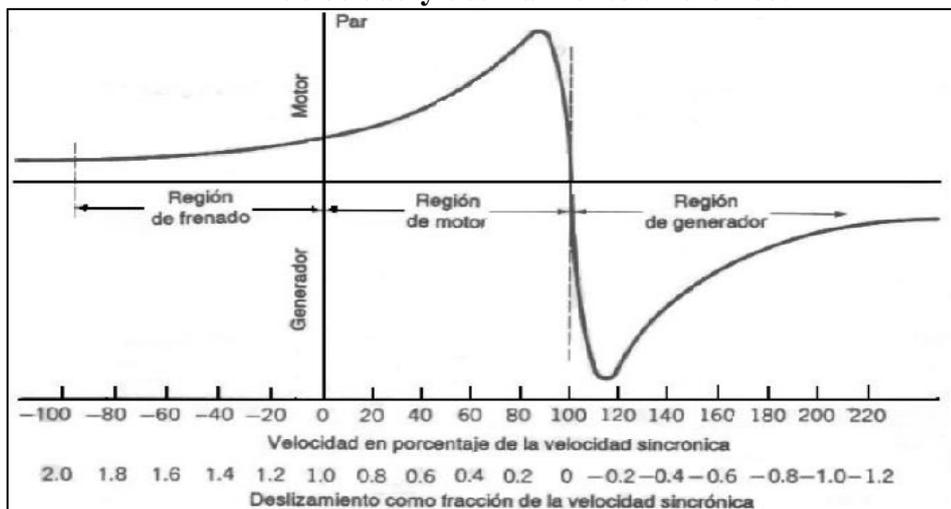
Cuando la máquina opera con un deslizamiento entre 1 y 0, esto es, cuando el rotor gira en la dirección del campo magnético que producen las corrientes del estator, trabaja como MOTOR.

Para obtener valores del deslizamiento mayores que uno, el motor debe impulsarse hacia atrás, es decir contra la dirección de rotación del campo magnético, esto conlleva a que la máquina tiende a frenarse. En la práctica esto permite disponer de un mecanismo de freno y por lo tanto de detención, lo cual se consigue invirtiendo la secuencia de fases.

La máquina operará como GENERADOR para deslizamientos menores que uno, para ello el estator deberá conectarse a una fuente de voltaje constante y su rotor deberá impulsarse a una velocidad mayor que la sincrónica mediante una máquina motriz. En este caso la frecuencia de la fuente de alimentación determinará la velocidad sincrónica y dicha fuente suministrará la potencia reactiva requerida para excitar al campo magnético del entrehierro.

En la siguiente figura se puede observar la variación del torque en función del deslizamiento y de la velocidad y además las diferentes regiones de operación de la máquina de inducción.

FIGURA No. 1.21
Velocidad y deslizamiento sincrónico.

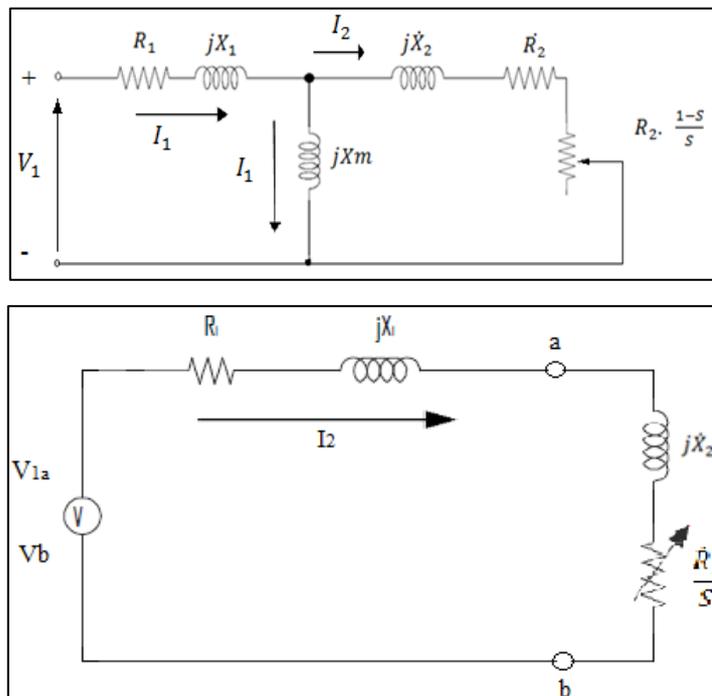


Fuente: Stephen Chapman. Máquinas Eléctricas. Editorial Mc- Graw Hill. 3ra edición. 2003
Elaborado por: el investigador.

1.4.2.7 Circuito usando el equivalente THEVENIN

Establece que si una parte de un circuito eléctrico lineal está comprendida entre dos terminales A y B, esta parte en cuestión puede sustituirse por un circuito equivalente que esté constituido únicamente por un generador de tensión en serie con una impedancia, de forma que al conectar un elemento entre los dos terminales A y B, la tensión que cae en él y la intensidad que lo atraviesa son las mismas tanto en el circuito real como en el equivalente.

FIGURA No. 1.22
Circuito equivalente THEVENIN



Fuente: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lea3.pdf>
Elaborado por: el investigador.

En este circuito la fuente V_{1a} corresponde al voltaje equivalente Thévenin, desde los terminales a - b del estator con relación al rotor, con una impedancia equivalente de valor:

$$R_{e1} + jX_{e1}$$

Para encontrar la expresión del torque máximo se parte de la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{3}{W_s} \cdot \frac{I_2^2 \cdot \dot{R}_2}{s}$$

Al remplazar el valor de la corriente, con los parámetros del circuito indicado en la figura, se tiene:

$$\tau_{mec. int_{BRUTO}} = \frac{3}{W_S} \cdot \frac{V_{1a}^2}{\left(R_{e1} + \frac{R_2}{S}\right)^2 + (X_{e1} + \dot{X}_2)^2} \cdot \frac{R_2}{S}$$

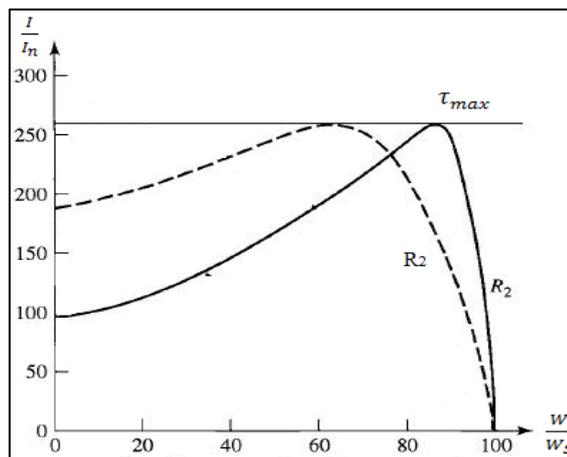
El torque máximo se obtiene al cumplir la siguiente condición:

$$\tau_{mec. int} = \frac{3}{2 * W_S} \cdot \frac{V_{1a}^2}{R_{e1} + \sqrt{R_{e1}^2 + (X_{e1} + \dot{X}_2)^2}}$$

La magnitud del torque máximo interno desarrollado por la máquina, de inducción, no depende de la resistencia del rotor.

La resistencia del rotor de una máquina de rotor devanado determina el valor de la velocidad a la que se obtiene el torque máximo, conforme se aprecia en la siguiente figura.

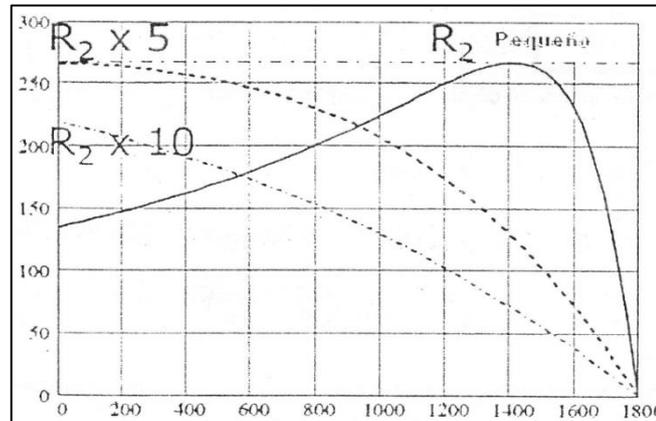
FIGURA No. 1.23
Torque máximo.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_alterna
Elaborado por: el investigador.

Note que mientras menor es resistencia insertada en el rotor mayor es la velocidad de giro de la máquina a la cual se obtiene el torque máximo. Esto implica que la

velocidad de la máquina, para obtener el torque máximo, se puede controlar mediante la resistencia externa conectada al rotor



En el momento del arranque, la expresión del torque es:

$$\tau_{arranque} = \frac{3 \cdot V_{a1}^2}{W_s \cdot [(R_{e1} + \dot{R}_2)^2 + (X_{e1} + \dot{X}_2)^2]} \cdot \dot{R}_2$$

Tomando en consideración los términos que son constantes se deduce que el torque de arranque es proporcional al cuadrado del voltaje:

$$\tau_{arranque} = K \cdot V_{1a}^2 = K \cdot V_1^2$$

Por lo que la potencia en el arranque también será proporcional al cuadrado del voltaje aplicado

$$Potencia_{arranque} = K \cdot V_1^2$$

Para encontrar la relación entre el torque a plena carga y el torque de arranque, en función de las corrientes de plena carga y de arranque, se aplica la fórmula que se obtiene del siguiente proceso

$$\tau_{fl} = \frac{3I_{2fl}^2}{W_s} \cdot \frac{\dot{R}_2}{S}$$

$$\tau_{arranque} = \frac{3I_{arranque}^2}{W_S} \cdot \dot{R}_2$$

$$\frac{\tau_{f1}}{\tau_{arranque}} = \frac{3I_{2f1}^2 \cdot \frac{\dot{R}_2}{W_S \cdot S}}{3I_{arranque}^2 \cdot \frac{\dot{R}_2}{W_S \cdot S}} \cdot \left(\frac{I_{2f1}}{I_{arranque}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{S} \right)$$

Relación del torque a plena carga con el máximo. Esta expresión puede obtenerse mediante el siguiente proceso

$$\tau_{mec. int.} = \frac{3}{W_S} \cdot \frac{V_{Ia}^2}{\left[\left(R_{e1} + \frac{\dot{R}_2}{S} \right)^2 + (X_{e1} + \dot{X}_2)^2 \right]} \cdot \frac{\dot{R}_2}{S}$$

$$\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}} = \sqrt{R_{e1}^2 + (X_{e1} + \dot{X}_2)^2}$$

Si se desprecia la resistencia del estator, R_{e1} toma el valor de cero, con lo que

$$X_{e1} + \dot{X}_2 = \frac{\dot{R}_2}{S_{mx}}$$

Partiendo de las expresiones anteriores, se tiene

$$\tau_{mec. int. f1} = \frac{3}{W_S} \cdot \frac{V_{Ia}^2}{\left(\frac{\dot{R}_2}{S} \right)^2 + \left(\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}} \right)^2} \cdot \frac{\dot{R}_2}{S}$$

La expresión del torque máximo, haciendo cero a R_{e1} , se reduce a

$$\tau_{max. mec. int.} = \frac{3}{W_S} \cdot \frac{V_{Ia}^2(0.5)}{\sqrt{(X_{e1} + \dot{X}_2)^2}} = \frac{3}{W_S} \cdot \frac{V_{Ia}^2 \cdot (0.5)}{\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}}}$$

Al relacionar las dos expresiones anteriores, se llega a

$$\frac{\tau_{mec. int. fl}}{\tau_{max. mec. int.}} = \frac{\frac{3}{W_s} \cdot \frac{V_{Ia}^2}{\left(\frac{\dot{R}_2}{S}\right)^2 + \left(\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}}\right)^2} \cdot \frac{\dot{R}_2}{S}}{\frac{3}{W_s} \cdot \frac{V_{Ia}^2 \cdot (0.5)}{\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}}}}$$

$$\frac{\tau_{mec. int. fl}}{\tau_{max. mec. int.}} = \frac{\left(\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}}\right) \cdot \left(\frac{\dot{R}_2}{S}\right)}{0.5 \cdot \left[\left(\frac{\dot{R}_2}{S}\right)^2 + \left(\frac{\dot{R}_2}{S_{mx}}\right)^2\right]}$$

$$\frac{\tau_{mec. int. fl}}{\tau_{max. mec. int.}} = \frac{2 \left(\frac{\dot{R}_2^2}{S \cdot S_{mx}}\right)}{\dot{R}_2^2 \left[\left(\frac{1}{S}\right)^2 + \left(\frac{1}{S_{mx}}\right)^2\right]}$$

$$\frac{\tau_{mec. int. fl}}{\tau_{max. mec. int.}} = \frac{2}{S \cdot S_{mx} \left(\frac{1}{S^2} + \frac{1}{S_{mx}^2}\right)}$$

$$\frac{\tau_{mec. int. fl}}{\tau_{max. mec. int.}} = \frac{2}{\frac{S_{mx}}{S} + \frac{S}{S_{mx}}}$$

1.4.2.8 Control de motores de inducción

Se han desarrollado varios métodos para arrancar la máquina, entre los que se puede mencionar los siguientes:

Arranque estrella - triángulo.

Arranque con voltaje reducido.

Arranque con resistencia en el circuito del rotor.

Regulador de frecuencia

Los tres primeros métodos son clásicos en el control del arranque de un motor de inducción, sin embargo en la actualidad el cuarto tiene un gran campo de aplicación.

El uso del regulador de frecuencia, que es un dispositivo cuyo objetivo es variar la frecuencia, se basa en el principio de que la velocidad del campo giratorio depende de la frecuencia aplicada desde la fuente, por lo que la velocidad del motor también depende de la frecuencia, así como del arreglo del devanado y, en cierta medida, de la carga. De esto se deduce que para controlar la velocidad de un motor de inducción es necesario controlar la frecuencia de la fuente de alimentación.

Si se reduce la frecuencia, es necesario reducir la tensión o de lo contrario el flujo magnético será-demasiado elevado y el motor se saturará. Por tal motivo también es necesario controlar el voltaje.

Si se eleva la frecuencia por encima del valor nominal del motor, se necesitaría más voltaje de la normal para mantener el flujo; usualmente esto es imposible por la limitación de voltaje de la fuente. Por ello, es que existe menos torque disponible sobre la velocidad nominal del motor.

Inversión y frenado

Consiste en cambiar la secuencia de fases en el voltaje de alimentación, mientras que para frenar la máquina trifásica de inducción se puede optar por uno de los siguientes procedimientos:

- ❖ Invertir dos fases en la alimentación a la máquina. Al efectuar esta operación el campo rotativo creado en el estator invierte su sentido de giro y se produce un par de sentido contrario al inicial, con lo cual el rotor se detiene. El rotor girará en sentido contrario si el voltaje de alimentación se mantiene.

- ❖ Consiste en cambiar la excitación polifásica de corriente alterna por corriente continua en una fase, al hacerlo los polos electromagnéticos que se crean en el estator son estacionarios, mientras que en el rotor se induce una fem inducida alterna que crea una corriente cuyo efecto será producir un flujo que se opondrá al que lo ocasionó, frenando al motor rápidamente.
- ❖ Emplear un regulador de frecuencia.

1.4.2.9 Pruebas en máquinas de inducción

Las pruebas en las máquinas de inducción se efectúan fundamentalmente para determinar la eficiencia o el rendimiento de la máquina y corresponden a las pruebas sin carga y a rotor bloqueado.

Mediante estas pruebas se puede encontrar:

Pérdidas rotacionales (pérdidas mecánicas), que corresponden, entre otros aspectos, a fricción, ventilación.

Pérdidas en el cobre (pérdidas por efecto Joule) Los parámetros de las máquinas

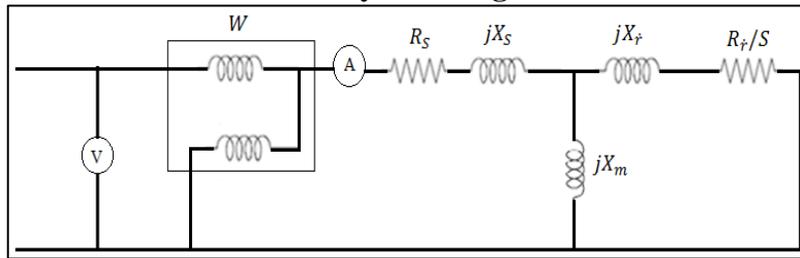
Los datos que deben ser medidos a la entrada de la máquina, en los dos tipos de prueba, son:

- ❖ Voltaje de línea
- ❖ Corriente de línea
- ❖ Potencia activa.

Ensayo sin carga (en vacío)

Para realizar este ensayo se alimenta el motor a la tensión y frecuencia nominales y se mide la potencia absorbida, la intensidad que circula por cada fase y la tensión aplicada al estator. (V_{NL} e I_{NL})

FIGURA No. 1.24
Ensayo sin carga



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_alterna
Elaborado por: el investigador.

Como la velocidad de la maquina es alta el deslizamiento tiende a ser muy pequeño por lo cual R_r/S es muy grande y así en este caso la potencia medida corresponde a pérdidas en el estator, núcleo y a las mecánicas de rotación.

$$P_{NL} = P_{cu \text{ estator}} + P_{(mec \text{ Fe})}$$

Si despejamos de esta ecuación las pérdidas rotacionales se tiene:

$$P_{ROTACIONALES} = P_{NL} - 3(I_{NL})^2 R_S$$

Con las medidas obtenidas se puede encontrar la reactancia en vacío X_{nl} como función de las reactancias del estator X_S y de magnetización X_m

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{\sqrt{3} I_{nl}}$$

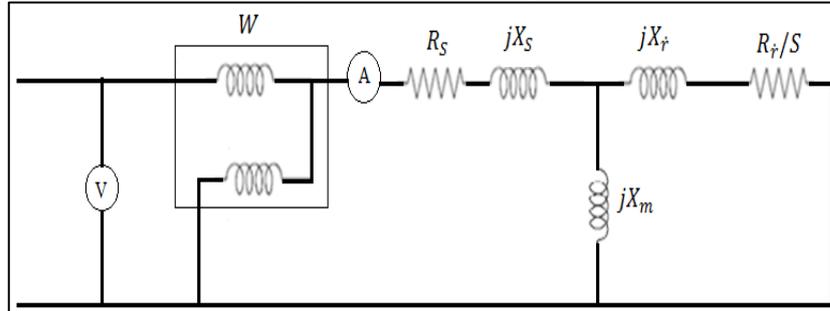
$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{3 I_{nl}^2}$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2}$$

$$X_{nl} \approx X_S + X_m$$

Ensayo con rotor bloqueado (prueba de cortocircuito)

FIGURA No. 1.25
Ensayo con rotor bloqueado



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_alterna
Elaborado por: el investigador.

Para esta prueba el rotor se bloquea, con lo que la velocidad se reduce a cero ($n = 0$), y se alcanza la corriente nominal del estator aplicándole un voltaje pequeño. Las pérdidas del núcleo son despreciables y las rotacionales son nulas.

La potencia de pérdidas corresponde a las pérdidas en el cobre del estator más las del rotor.

Con esta prueba se pueden determinar los parámetros de la máquina.

Se recomienda, según las normas, que la prueba se realice para condiciones de corriente en el rotor y frecuencia similares a las requeridas para la eficiencia a determinarse, para ello se considera trabajar con una frecuencia igual a la cuarta parte de la nominal.

Puesto que la máquina está en reposo el deslizamiento es 1, por lo tanto la impedancia de la rama del rotor es menor que la reactancia de magnetización. Esta situación permite, en forma aproximada, despreciar dicha reactancia.

En este caso la reactancia a rotor bloqueado será aproximadamente igual a la suma de las reactancias del estator y la del rotor referida al estator:

$$X_{bl} = X_s + X_r$$

Con las medidas realizadas se tiene

$$Z_{bl} = \frac{V_{bl}}{\sqrt{3} I_{bl}}$$

$$R_{bl} = \frac{P_{bl}}{3 I_{bl}^2}$$

$$X_{bl} = \sqrt{Z_{bl}^2 - R_{bl}^2}$$

$$X_{bl} \approx X_s + X_r$$

Las relaciones entre las reactancias del estator y del rotor dependen de I tipo de máquina, para ello se recurre a la siguiente tabla

CUADRO No. 1.3

CLASE DE MOTOR	$X_1/(X_1 + X_2)$	$X_2/(X_1 + X_2)$
TIPO A Par normal I _a normal	0.5	0.5
TIPO B Par normal I _a baja	0.4	0.6
TIPO C Par elevado I _a normal	0.3	0.7
TIPO D Par elevado "s" elevado	0.5	0.5
ROTOR DEVANADO	0.5	0.5

Con los resultados de la reactancia a rotor bloqueado, en vacío y al aplicar esta tabla se determina la reactancia de magnetización

$$X_m = X_{nl} - X_s$$

Resistencia del estator

La resistencia del estator se la mide en corriente continua empleando el método que de la mejor precisión, por ejemplo, empleando voltímetro - amperímetro con error de voltaje.

Resistencia del rotor

Se la obtiene a partir de la resistencia obtenida en la prueba de rotor bloqueado.

$$R_2 = (R_{bl} - R_1) \left(\frac{X_2 + X_\phi}{X_\phi} \right)^2$$

1.4.2.10 Control de Velocidad de un Motor de Inducción.

Existen solo dos técnicas para controlar la velocidad de un motor de inducción, una de las cuales consiste en variar la velocidad sincrónica. La técnica consiste en variar el deslizamiento del motor para una carga.

Por tanto las únicas formas en que se puede variar la velocidad sincrónica de la maquina son:

- ❖ Cambiando en la frecuencia eléctrica.
- ❖ Cambiando el número de polos de la máquina. El control del deslizamiento puede ser llevado a cabo bien sea variando la resistencia del rotor o variando el voltaje en las terminales del motor

1.5 MÁQUINAS SINCRÓNICAS TRIFÁSICAS.

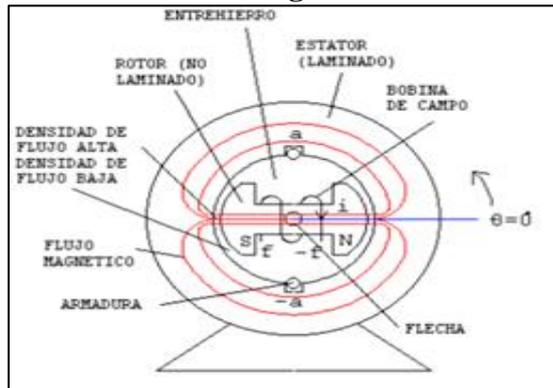
Según LOBOSCO S., Orlando; DÍAS, José, Selección y Aplicación de Motores Eléctricos, tercera edición, España 2008. pg. 52-56 Explica:

Son máquinas de corriente alterna que se caracterizan por tener una velocidad dependiente directamente de la frecuencia de la red.

Partes de un generador síncrono

A continuación se detalla las partes fundamentales que componen un generador síncrono:

FIGURA No. 1.26
Partes del generador



Fuente: <http://www.tuveras.com/alternador/alternador.htm>
Elaborado por: el investigador

- ❖ Estator.
- ❖ Rotor.
- ❖ Sistema de enfriamiento.
- ❖ Excitatriz.
- ❖ Conmutador.

La máquina síncrona está compuesta básicamente de una parte activa fija que se conoce como inducido o estator y de una parte giratoria coaxial que se conoce como inductor o rotor. El espacio comprendido entre el rotor y el estator, es conocido como entrehierro.

Esta máquina tiene la particularidad de poder operar ya sea como generador o como motor.

FIGURA No. 1.27
Estator del generador



Fuente: <http://www.tuveras.com/alternador/alternador.htm>
Elaborado por: el investigador

Los elementos más importantes del estator de un generador de corriente alterna, son las siguientes:

- ❖ Componentes mecánicas.
- ❖ Sistema de conexión en estrella.
- ❖ Sistema de conexión en delta.

Componentes mecánicas. Las componentes mecánicas de un generador son las siguientes:

1. La carcasa

La carcasa del estator está formada por bobinas de campo arrollados sin dirección, soportadas en piezas de polo sólidas. Las bobinas están ventiladas en su extremo para proporcionar de esta forma una amplia ventilación y márgenes de elevación de temperatura.

La carcasa del estator es encapsulada por una cubierta apropiada para proporcionar blindado y deflectores de aire para una correcta ventilación de la excitatriz sin escobillas.

2. El núcleo.

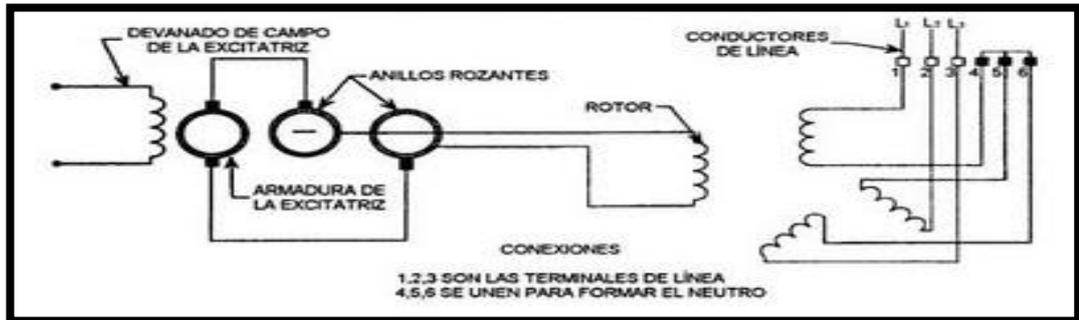
3. Las bobinas.

4. La caja de terminales.

Sistema de conexión en estrella.

Los devanados del estator de un generador de C.A. están conectados generalmente en estrella, en la siguiente figura T1, T2, T3 representan las terminales de línea (al sistema) T4, T5, T6 son las terminales que unidas forman el neutro.

FIGURA No. 1.28
Conexión en estrella

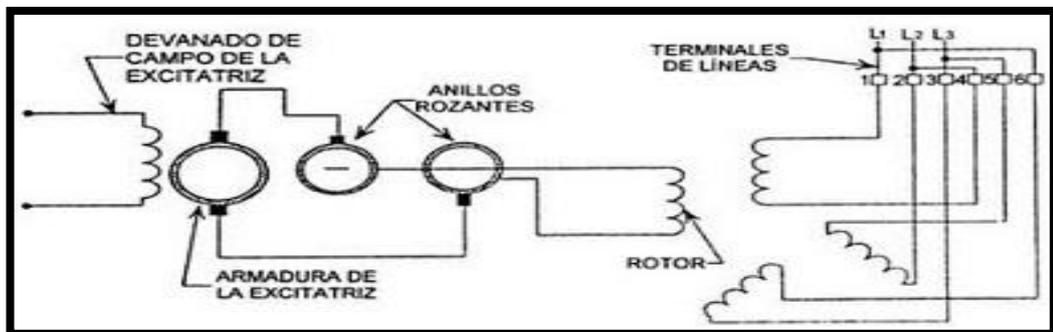


Fuente: <http://www.tuveras.com/alternador/alternador.htm>
Elaborado por: el investigador

Sistema de conexión delta.

La conexión delta se hace conectando las terminales 1 a 6, 2 a 4 y 3 a 5, las terminales de línea se conectan a 1, 2 y 3, con esta conexión se tiene con relación a la conexión estrella, un voltaje menor, pero en cambio se incrementa la corriente de línea.

FIGURA No. 1.29
Conexión en delta

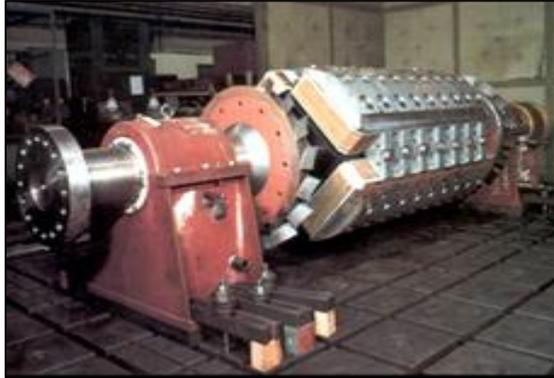


Fuente: <http://www.tuveras.com/alternador/alternador.htm>
Elaborado por: el investigador

Rotor

Es la parte de la máquina que realiza el movimiento rotatorio, constituido de un material ferromagnético envuelto en un enrollamiento llamado de "enrollamiento de campo", que tiene como función producir un campo magnético constante

FIGURA No. 1.30
Rotor del generador



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/55958159/Maquina-de-Induccion-Trifasica>
Elaborado por: el investigador

El rotor puede ser:

Polos salientes: se lo emplea para turbinas hidráulicas (tiene alto número de polos) funciona a baja velocidad.

Rotor cilíndrico: se lo emplea en centrales térmicas (2 o 4 polos) se usa en máquinas de alta velocidad.

1.5.1 Principio de funcionamiento de una máquina sincrónica.

Como generador:

Una turbina acciona el rotor de la máquina sincrónica a la vez que se alimenta el devanado rotórico (devanado de campo) con corriente continua.

El entrehierro variable (máquinas de polos salientes) o la distribución del devanado de campo (máquinas de rotor liso) contribuyen a crear un campo más o menos senoidal en el entrehierro, que hace aparecer en los bornes del devanado estatórico (devanado inducido) una tensión senoidal.

Al conectar al devanado inducido una carga trifásica equilibrada aparece un sistema trifásico de corrientes y una fuerza magnetomotriz senoidal.

Como motor:

En este caso se lleva la máquina síncrona a la velocidad de sincronismo, pues la máquina síncrona no tiene par de arranque, y se alimentan el devanado rotórico (devanado de campo) con corriente continua y el devanado estatórico (devanado inducido) con corriente alterna. La interacción entre los campos creados por ambas corrientes mantiene el giro del rotor a la velocidad de sincronismo.

1.5.2 Fuerza electromotriz producida en generadores sincrónicos

Si el flujo resultante en la máquina tiene una variación sinusoidal:

$$\phi = \phi_{max} \cdot \cos wt$$

El voltaje inducido será:

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{dN\phi}{dt}$$

$$e = \frac{d}{dt} \cdot N\phi \cos wt$$

$$e = N \cdot \frac{d}{dt} \cdot \phi \cdot \cos wt = N \cdot \phi \cdot \sin wt$$

De la expresión anterior se deduce que en una máquina rotatoria se tienen dos tipos de componentes de voltaje, uno de transformación $N \cdot \frac{d\phi}{dt} \cdot \cos wt$ y otro de velocidad $N \cdot \phi \cdot \sin wt$. Pero en general en las máquinas rotatorias los flujos son constantes, por lo que el voltaje generado tiene la componente por variación de velocidad.

Con la última ecuación se tiene que el valor eficaz del voltaje generado (E) o inducido será:

$$\bar{E} = \frac{N \cdot \phi_{mx} \cdot W}{\sqrt{2}}$$

$$\bar{E} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N \cdot \phi_{mx}$$

$$\bar{E} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \phi_{mx} \cdot K_w$$

Dónde:

f : Frecuencia eléctrica

N : Número de devanados

ϕ : Flujo total en el entrehierro

K_w : Factor de reducción de la fuerza electromotriz aplicado a devanados distribuidos, que varía entre 0.85 y 0.95.

1.5.3 Torque electromagnético en una máquina sincrónica

El torque electromagnético (τ) producido en una máquina polifásica rotatoria está dado por la siguiente relación:

$$\tau = \frac{\pi}{2} \left(\frac{p}{2} \right)^2 \phi_{ag} F_f \sin \delta$$

Dónde:

δ : Ángulo que existe entre los campos magnéticos resultantes del entrehierro y del campo

ϕ_{ag} : Flujo resultante del entrehierro, por polo

F_f : fuerza magnetomotriz producida por la corriente de campo

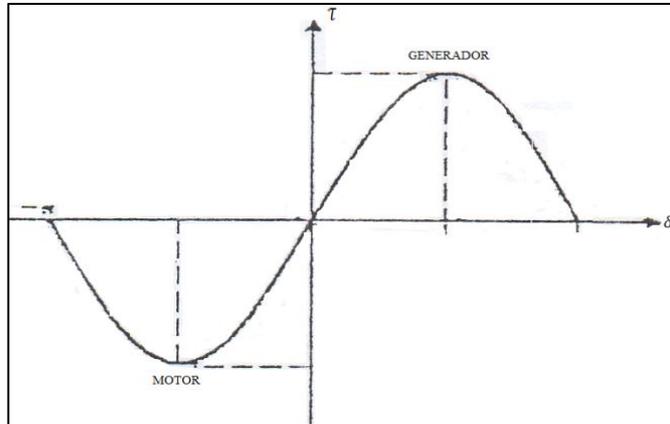
p : Número de polos.

Si se consideran constantes al flujo resultante en el entrehierro y a la fuerza magnetomotriz producida por la corriente constante de campo ($F_f = N I_f$), la ecuación anterior se reduce a la siguiente:

$$\tau = K \sin \delta$$

Con lo cual se tiene el siguiente gráfico que relaciona el torque con el ángulo de carga

FIGURA No. 1.31
Torque con el ángulo de carga



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/55958159/Maquina-de-Induccion-Trifasica>
Elaborado por: el investigador

En estado estable el torque electromagnético equilibra al torque mecánico aplicado al eje.

1.5.4 Parámetros de la maquina sincronica

El ángulo formado entre los dos ejes magnéticos es el ángulo δ cuyo valor es

$$\theta = W_t + \theta_0$$

Para el rotor (campo)

- ❖ Inductancia propia de campo (L_{ff})

$$L_{ff} = L_{ff0} + L_{fl}$$

L_{fl} = Inductancia que considera el flujo de dispersión de la bobina de campo.

L_{ff0} = Inductancia debida a la componente fundamental espacial de la onda de flujo en el entrehierro. Se la calcula a partir de las dimensiones del entrehierro y de los datos de los devanados.

- ❖ Inductancias mutuas entre campo y armadura.

$$\lambda_{af} = L_{af} I_f \cos(\omega t + \theta_0)$$

Nótese que la concatenación de flujo debido a la inductancia propia del devanado de campo produce una concatenación de flujo constante, por lo tanto en ella no se inducirá voltaje.

Recuérdese que al devanado de campo se le aplica corriente continua, corriente de excitación I_f , cuyo valor será igual a

$$I_f = V_f / R_f$$

Donde:

V_f = Voltaje aplicado al devanado de campo

R_f = Resistencia circuito del rotor

- ❖ Inductancia propia de armadura.

$$L_{aa} = L_{bb} = L_{cc} = L_{aa0} + L_{al}$$

Donde:

L_{al} = Componente debida al flujo de dispersión de la armadura

L_{aa0} = Componente debida al flujo fundamental espacial del entrehierro.

- ❖ Inductancias mutuas entre las fases de la armadura

$$L_{ab} = L_{ba} = L_{ac} = L_{ca} = \dots = L_{aa0} \cos 120^\circ = -\frac{1}{2} L_{aa0}$$

La concatenación de flujo total para la fase a es:

$$\lambda_a = \left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{aI} \right) i_a + \lambda_{af}$$

Al valor de las inductancias entre paréntesis se denomina inductancia sincrónica (L_S) y es la inductancia aparente que toma en cuenta las concatenaciones de flujo de la fase a en términos de la corriente i_a

$$L_S = \frac{3}{2} L_{aa0} + L_{aI}$$

El valor de $\frac{3}{2} L_{aa0}$ de la inductancia sincrónica considera a la componente total fundamental espacial del flujo en el entrehierro debida a la concatenación de flujo de fase a producida por las tres corrientes de armadura en condiciones trifásicas balanceadas.

Con esto se llega a determinar la concatenación de flujo para la fase a:

$$\lambda_a = L_S \cdot i_a + \lambda_{af}$$

El voltaje terminal en la fase a del sistema será:

$$V_{ta} = R_a i_a + L_S \frac{di_a}{dt} + e_{af}$$

Dónde:

e_{af} = es el voltaje inducido.

1.5.5 Voltaje Inducido

El voltaje inducido de la fase a es:

$$e_{af} = w L_{af} I_f \cos(wt + \theta_0 + 90)$$

Se observa que el voltaje inducido está adelantado 90° con respecto a las concatenaciones de flujo estator-rotor.

El valor eficaz del voltaje inducido es:

$$E_{rms} = \sqrt{2}\pi f N \phi$$

Para devanados distribuidos el voltaje eficaz será:

$$E_{rms} = \sqrt{2}\pi f N \phi k$$

Dónde:

f = frecuencia

N = Vueltas en serie

ϕ = Flujo producido por la corriente directa del campo

K_w = Factor de reducción para devanados distribuidos

1.5.6 Circuito equivalente de la máquina sincrónica

Las ecuaciones resultantes aplicables a las máquinas sincrónicas son:

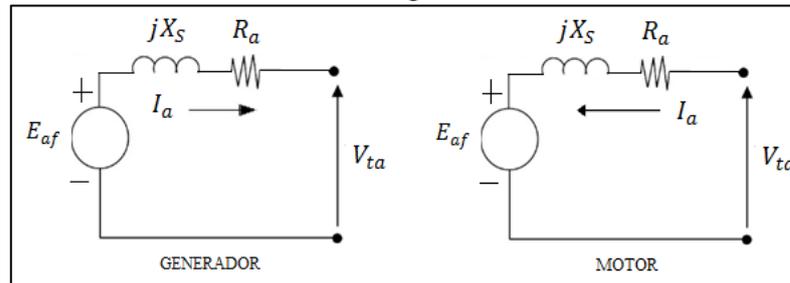
$$V_{ta} = R_a i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + e_{af}$$

$$V_{ta} = R_a i_a + jX_s I_a + E_{af}$$

De estas ecuaciones se deduce el diagrama esquemático para la máquina sincrónica.

Nótese que el diagrama para motor y generador son similares y se diferencian en la dirección de la corriente de armadura. Para el motor la corriente va desde la fuente hacia la máquina y para el generador en sentido contrario.

FIGURA No. 1.32
CIRCUITO EQUIVALENTE



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/62026716/5/circuito-equivalente-de-la-maquina-sincrona>
Elaborado por: el investigador

Considerando la relación entre la reactancia sincrónica y las inductancias de dispersión y a su vez el flujo en el entrehierro la ecuación del voltaje inducido sería:

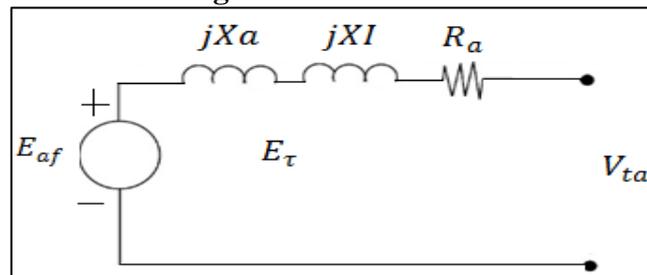
$$E_{af} = R_a I_a + j\omega \left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{al} \right) I_a + V_{ta}$$

$$E_{af} = R_a I_a + jX_a I_a + jX_l I_a + V_{ta}$$

Donde X_a es la reactancia que representa la reacción de armadura y X_l , representa la reactancia de dispersión.

Al considerar lo expresado en esta ecuación se tiene el siguiente diagrama.

FIGURA No. 1.33
Diagrama de la ecuación



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/62026716/5/circuito-equivalente-de-la-maquina-sincrona>
Elaborado por: el investigador

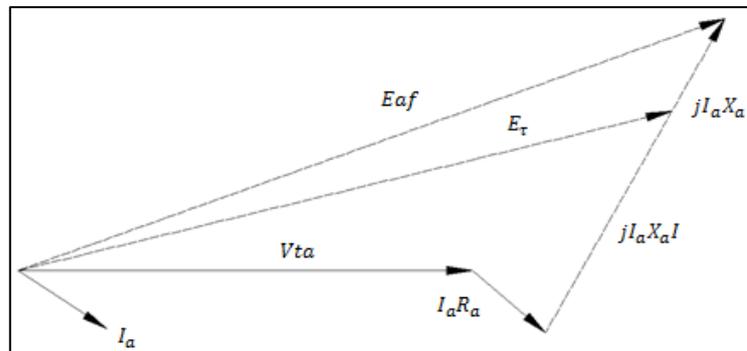
El voltaje E_τ es el voltaje interno generado por el flujo resultante en el entrehierro, o voltaje detrás de la reactancia de dispersión. Este voltaje adelanta al flujo en el entrehierro por 90° .

1.5.6.1 Diagramas fasoriales del generador sincrónico

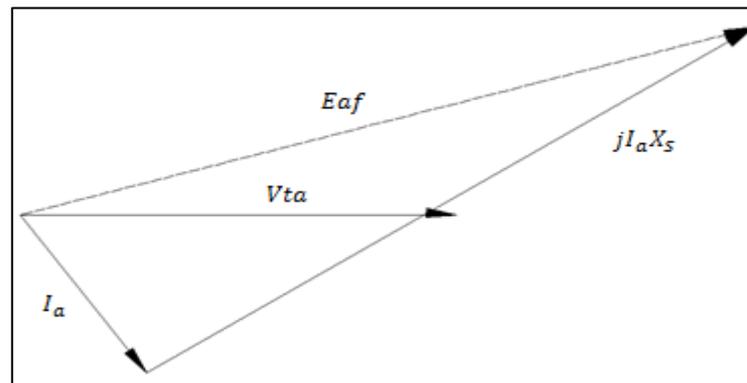
El voltaje inducido en la fase a es:

$$E_{af} = I_a(jX_a) + I_a(jX_{al}) + I_a R_a + V_{ta}$$

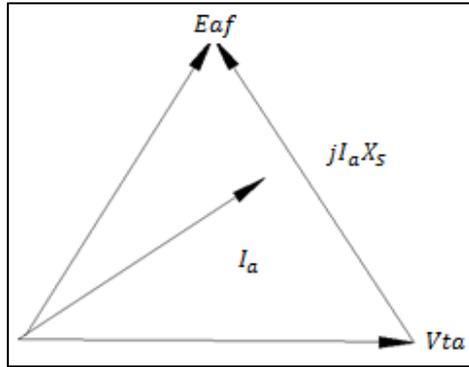
El diagrama fasorial para un generador sincrónico que trabaja con factor de potencia en atraso es:



Si se desprecia la resistencia de la armadura el diagrama, para factor de potencia en atraso, es:

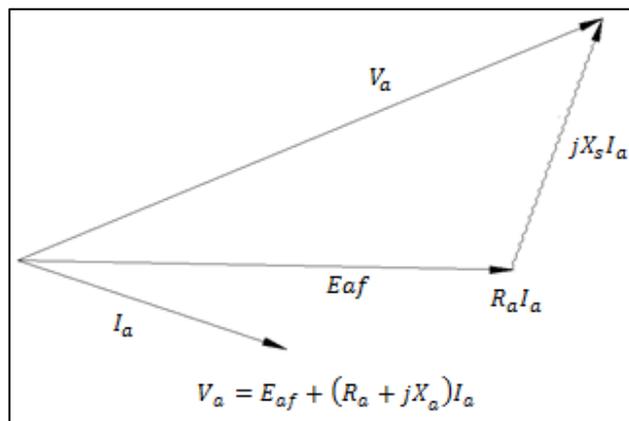


Si se desprecia la resistencia de la armadura el diagrama, para factor de potencia en adelante, es:

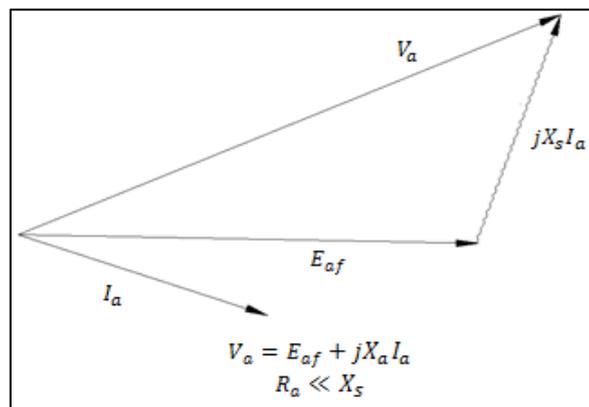


Diagramas fasoriales del motor sincrónico

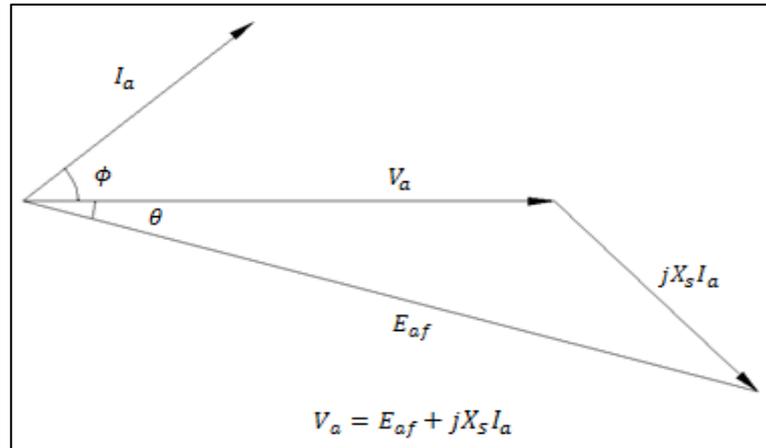
Un motor sincrónico que trabaja con factor de potencia en atraso está subexcitado, según se observa en el diagrama fasorial en el cual el módulo del voltaje inducido es menor que aquel del voltaje terminal.



Si se desprecia la resistencia de la armadura el diagrama se transforma en :



Un motor sincrónico que trabaja con factor de potencia en adelanto está sobrecitado, según se observa en el diagrama fasorial en el cual el módulo del voltaje inducido es mayor que aquel del voltaje terminal.



1.5.7 Dos generadores en paralelo

Los generadores sincrónicos ofrecen la facilidad de trabajar en paralelo por lo que son adecuados para suministrar energía a sistemas interconectados, formados por varios centros de consumo a través de las líneas de transmisión. En estas condiciones el sistema trabajará a un voltaje y frecuencia, ambos constantes y la barra total puede considerarse como barra infinita.

Para conectar en paralelo un alternador con una barra infinita o dos alternadores entre sí, se deben cumplir las siguientes condiciones:

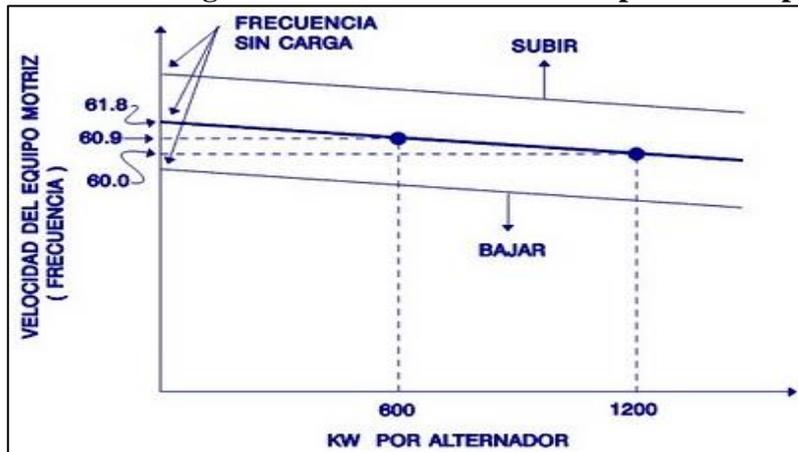
- ❖ Igual magnitud de voltaje entre terminales.
- ❖ Igual secuencia de fases.
- ❖ Igual frecuencia.
- ❖ Voltajes en fase.

1.5.7.1 Reparto de carga entre generadores

La transferencia de la carga entre dos generadores, se hace a través del gobernador de velocidad del motor primario.

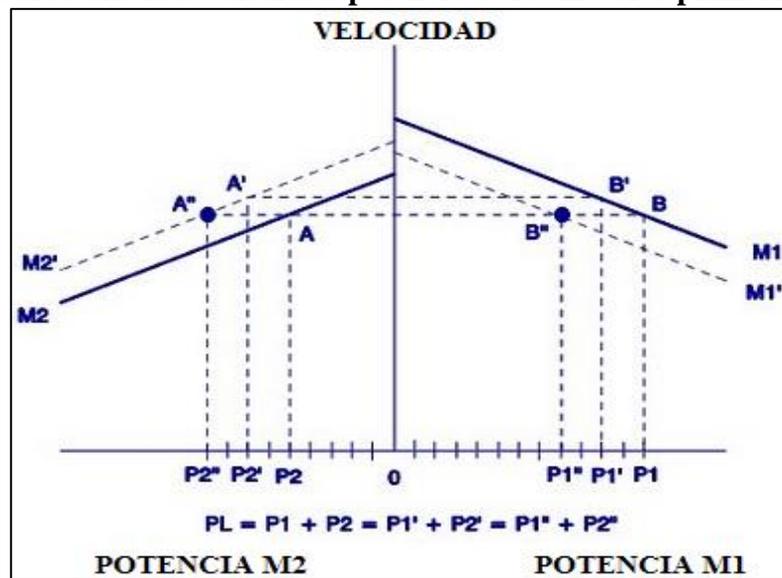
La máquina que absorbe más carga ajusta su gobernador de manera tal que el motor primario admite más energía. La máquina que pierde carga ajusta su gobernador de manera tal que el motor primario pierde energía.

FIGURA No. 1.34
Características de regulación de dos alternadores operando en paralelo



Fuente: <http://jfbingenieria.blogspot.com/2010/02/reparto-de-carga-entre-generadores-en.html>
 Elaborado por: el investigador

FIGURA No. 1.35
Características velocidad-potencia de los motores primarios



Fuente: <http://jfbingenieria.blogspot.com/2010/02/reparto-de-carga-entre-generadores-en.html>
 Elaborado por: el investigador

Si se aumenta el control de la máquina M_2 moviendo hacia arriba su curva velocidad -potencia hasta la línea M_2' . La línea $A'B'$ representa ahora la potencia de carga.

La salida de potencia del generador 2 ha aumentado desde P_2 hasta P_2' , mientras que la del generador 1 ha disminuido desde P_1 hasta P_1'

Al mismo tiempo se ha aumentado la frecuencia el sistema.

La frecuencia se puede regresar a la nominal si se pasa más carga del generador 1 al 2 cerrando el control de la máquina motriz del generador 1, con lo cual se baja su curva de velocidad - potencia hasta la línea M_1' . La potencia de carga se representa ahora por la línea $A''B''$ y las salidas de potencia de los generadores son P_1'' y P_2'' . Con ello la frecuencia ha retornado a su valor inicial y ha pasado más carga del generador 1 al 2.

Esto pone de manifiesto que la potencia activa entre los generadores se pueden controlar mediante los controles de las máquinas motrices.

CAPÍTULO II

2.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Encuesta realizada a la especialidad de Ingeniería Eléctrica

1. Conoce Ud. que es una conversión de energía mecánica eléctrica y viceversa?

SI () NO ()

Respuesta tabla N° 2.1

TABLA N° 2.1

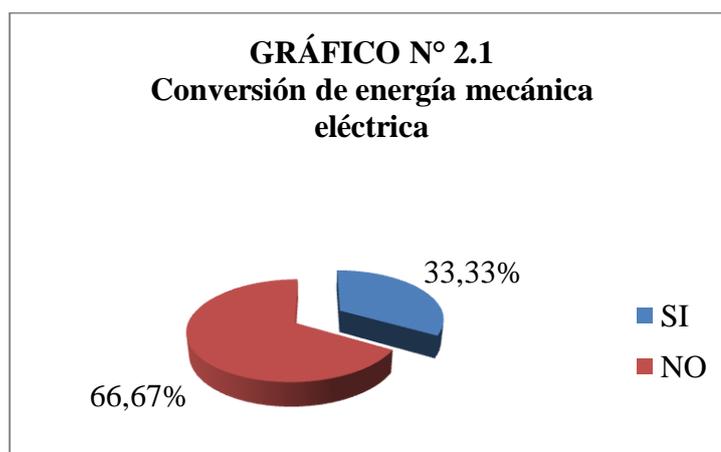
Conversión de energía mecánica eléctrica

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	75	33,33%
NO	150	66,67%
TOTAL	225	100,00%

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Marco Malavé

Interpretación gráfica.



Fuente: Encuesta

Elaborado por: Marco Malavé

Análisis:

Del 100% de los encuestados de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería Eléctrica el 66,67% no conocen lo que es una conversión de energía mecánica eléctrica y viceversa mientras que el 33,33% si tiene conocimiento.

Interpretación:

Se puede observar que la mayoría de estudiantes dentro de la carrera de Ingeniería Eléctrica tiene un conocimiento adecuado de lo que es una conversión de energía mecánica-eléctrica y viceversa

2. Los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, hacen uso del laboratorio de máquinas eléctricas para la realización de prácticas?

SI () NO ()

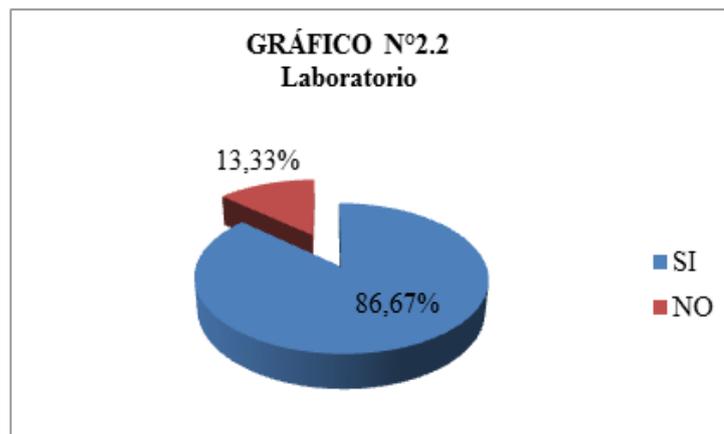
Respuesta tabla N° 2.2

TABLA N° 2.2
Laboratorio

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	195	86,67%
NO	30	13,33%
TOTAL	225	100,00%

Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Interpretación gráfica.



Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Análisis:

En la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería Eléctrica se encuestó a 225 alumnos de los cuales el 86,67% saben que disponen de un laboratorio para la elaboración de prácticas y el 13,33% faltante no tenían conocimiento de estos laboratorios.

Interpretación:

Viendo los porcentajes mostrados en el Gráfico 2.2 nos indica que los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi hacen uso del laboratorio de máquinas eléctricas para realizar diversas prácticas.

3. Cree Ud. que con un módulo didáctico de conversión de energía mecánica eléctrica donde se visualice los equipos mejoraría el aprendizaje?

SI () NO ()

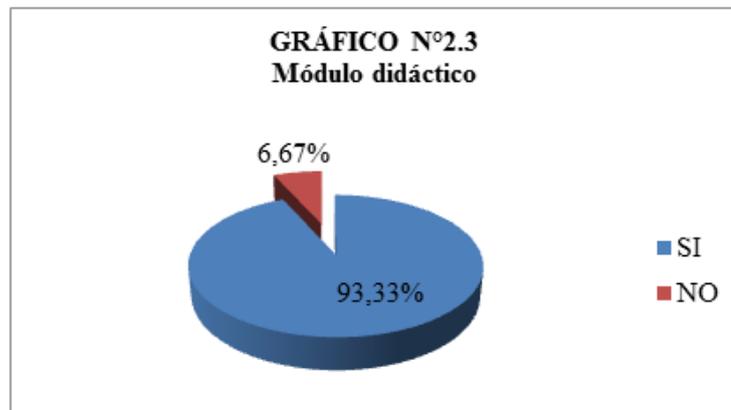
Respuesta tabla N° 2.3

TABLA N° 2.3
Módulo didáctico

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	210	93,33%
NO	15	6,67%
TOTAL	225	100,00%

Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Interpretación gráfica.



Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Análisis:

En la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería Eléctrica se encuestó a 225 alumnos de los cuales el 93,33% está de acuerdo que el laboratorio debe constar con un módulo didáctico de conversión de energía mecánica eléctrica donde se visualicen los equipos para un mejor aprendizaje y un 6,67% no está de acuerdo.

Interpretación:

Como lo muestra la gráfica es indispensable de que el laboratorio de eléctrica conste con un módulo didáctico de conversión de energía mecánica eléctrica donde se visualicen los equipos para un mayor aprendizaje.

4. Cree Ud. que el banco de pruebas debe tener la señalización adecuada para evitar riesgos eléctricos?

SI () NO ()

Respuesta tabla N° 2.4

TABLA N° 2.4

Señalización

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	215	95,56%
NO	10	4,44%
TOTAL	225	100,00%

Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Interpretación gráfica.



Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Análisis:

En la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería Eléctrica se encuestó a 225 alumnos de los cuales el 95,56% está de acuerdo que el banco de pruebas debe tener la señalización adecuada para evitar riesgos eléctricos y solo un 4,44% no está de acuerdo.

Interpretación:

Es indispensable que el banco de pruebas tenga su respectiva señalización para así poder evitar algún incidente.

5. De los siguientes equipos e instrumentos, señale los más indispensables para un banco de pruebas eléctrico:

Instrumentos	✓
Voltímetro	
Amperímetro	
Frecuencímetro	
Variador de frecuencia	
Medidor potencia activa	
Vatímetro	
Osciloscopio	
Otros	

Respuesta tabla N° 2.5

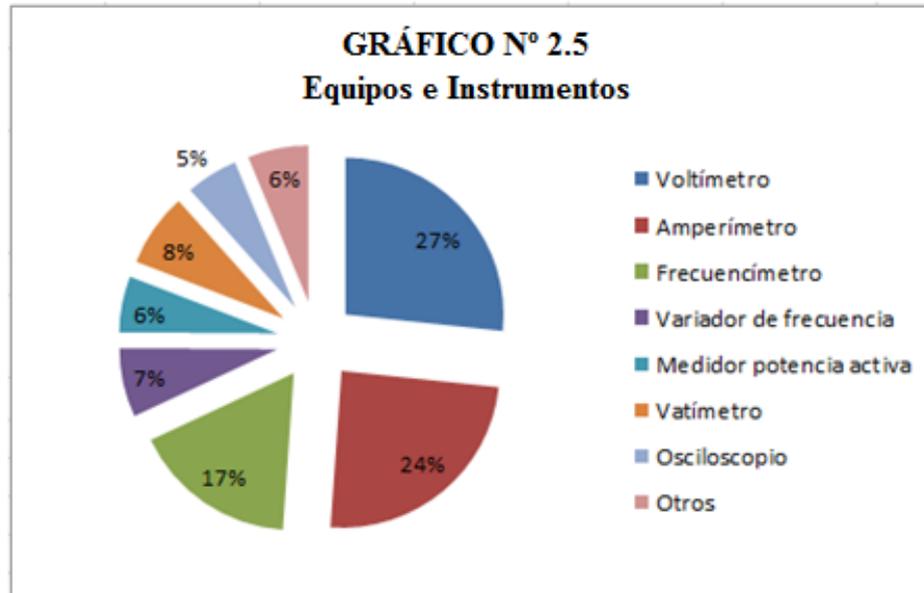
TABLA N° 2.5
Equipos e instrumentos

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Voltímetro	60	27%
Amperímetro	55	24%
Frecuencímetro	38	17%
Variador de frecuencia	16	7%
Medidor potencia activa	13	6%
Vatímetro	17	8%
Osciloscopio	12	5%
Otros	14	6%
TOTAL	225	100%

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Marco Malavé

Interpretación gráfica.



Fuente: Encuesta
Elaborado por: Marco Malavé

Análisis:

En la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería Eléctrica se encuestó a 225 alumnos, conforme los resultados que muestra la gráfica, se puede ver que un 27%, 24%, y 17% de los alumnos tienen un mayor conocimiento en lo que corresponde a instrumentos de medida para un banco de pruebas, mientras el 7%, 6%, 8%, 5% y 6% no lo tienen.

Interpretación:

Es indispensable que el banco de pruebas tenga los instrumentos de medida necesarios para las prácticas a realizarse.

2.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

2.2.1. Enunciado.

Con la implementación del Banco de Pruebas para Conversión de Energía, los estudiantes de las distintas carreras técnicas estarán en la capacidad de poder realizar prácticas con ayuda de un módulo didáctico-práctico y conocer los

parámetros principales de funcionamiento de un motor trifásico y a su vez de un generador monofásico.

2.2.2 Argumentación

El banco de pruebas será construido con el fin de que los estudiantes pongan en práctica los conocimientos adquiridos en el aula de clases mediante la realización de prácticas.

De tal forma la hipótesis planteada ha permitido ser la guía de trabajo investigativo, llegando a ser comprobada satisfactoriamente, demostrando que la implementación del banco de pruebas ayuda directamente al estudiante a completar sus conocimientos y tener una formación profesional de calidad.

2.2.3 Decisión

En vista de que este proyecto está basado en la realización de prácticas se logró llegar a concluir que la construcción del Banco de Pruebas para Conversión de Energía Mecánica -Eléctrica, es importante para el laboratorio de Máquinas Eléctricas. Ya que con el mismo, los estudiantes de las carreras afines podrán realizar prácticas con el modulo didáctico logrando así complementar su educación en todos los niveles y desarrollar habilidades, destrezas en el manejo e identificación de parámetros eléctricos de los motores y generadores para la Universidad Técnicas de Cotopaxi y la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas,

CAPÍTULO III

3.1 PROPUESTA.

El presente trabajo está dirigido a docentes, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica y Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi; para ayudar a mejorar el desarrollo del proceso académico y obtener conocimientos idóneos para un buen desempeño en el ambiente laboral en la industria de su competencia. Asimismo será fuente de información para los estudiantes de la carrera así como para todas aquellas personas relacionadas o interesadas en el tema.

3.2 TEMA.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PRÁCTICO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA.

3.3 JUSTIFICACIÓN.

Un sistema didáctico práctico de conversión de energía mecánica en eléctrica es indispensable en una institución donde se oferte ingeniería aplicada a la electricidad específicamente en ingeniería electromecánica e ingeniería eléctrica, ya que es un complemento para el entendimiento práctico de lo que es generadores de corriente alterna.

Con el uso del sistema didáctico de conversión de energía mecánica – eléctrica fortalecerá los conocimientos de los estudiantes en la práctica en la Carrera de Ingeniería Electromecánica correspondiente a la cátedra de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi las tareas se hacen más sencillas ya que

orientaría al personal que labora en el taller electromecánico al cumplimiento cabal de las diversas funciones permitiendo el logro de los objetivos propuestos.

Con este trabajo se implementó una herramienta fácil de manejar por el personal encargado del taller y de los estudiantes, suministrando información clave y específica que les permita desarrollar destrezas en lo concerniente a conversión de energía mecánica- eléctrica.

3.4 OBJETIVOS

3.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema didáctico de conversión de energía mecánica- eléctrica, mediante fundamentos electromecánicos para realizar pruebas, demostración y visualización de los componentes de generación eléctrica a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica e Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Determinar sistemas didácticos de conversión de energía mecánica a eléctrica.

- ❖ Elaborar un banco de pruebas de conversión de energía mecánica- eléctrica para la realización de pruebas, demostración y visualización de los componentes de generación.

- ❖ Elaborar manuales de operación y prácticas para facilitar el uso del banco de pruebas.

3.5 INTRODUCCIÓN

El módulo didáctico práctico se encuentra implementado con equipos de medida y maquinas eléctricas reales, de uso sencillo que son utilizados en las industrias.

La utilidad de nuevas tecnologías como es el análisis del funcionamiento de motores y generadores, medidores de energía, variadores de velocidad de motor trifásico, entre otros, son de vital importancia en la formación integral del futuro ingeniero ya que la demanda es tan exigente de las empresas de hoy en día requiriendo profesionales capaces de dar solución a problemas en el campo laboral.

El banco de pruebas de conversión de energía mecánica-eléctrica permitirá a docentes y estudiantes de las Carreras Técnicas realizar prácticas de laboratorio donde se podrá conocer y analizar los parámetros necesarios para realizar una conversión de energía mecánica-eléctrica y a su vez mejorar sus conocimientos en el área de motores, generadores y solucionar algunos problemas en estos sistemas.

Cabe destacar que la realización de distintas prácticas de laboratorio ayudara directamente a los estudiantes a mejorar su aprendizaje teórico-práctico e incentivar la investigación y el desarrollo de nuevos proyectos encaminados al mejoramiento continuo de la formación de ingenieros en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

La razón de realizar este proyecto es la utilización de las nuevas tecnologías y principalmente su introducción en el proceso de enseñanza haciendo que los estudiantes y docentes puedan dar al proyecto de tesis una utilidad principalmente práctica, para un mejor aprendizaje, en el desarrollo de habilidades y destrezas mediante el entrenamiento con módulos didácticos prácticos.

3.6 FACTIBILIDAD

La realización del proyecto de tesis fue factible gracias a la colaboración desinteresada de los docentes, autoridades y profesionales externos quienes supieron encaminar y guiar al investigador con sus conocimientos e ideas para la recopilación de información necesaria que luego de ser analizada, colaboraron en la elaboración y posterior ejecución del trabajo de investigación.

Cabe indicar que la disponibilidad de tiempo para la ejecución del proyecto fue trascendental en la realización del trabajo investigativo ya que se pudo dedicar enteramente a la ejecución del mismo.

Los recursos económicos fueron financiados enteramente por el investigador para su elaboración y posterior construcción haciendo que este proyecto a ser implementado en la Universidad Técnica de Cotopaxi ayude a complementar de una forma óptima la utilización de los distintos laboratorios existentes que en lo posterior serán utilizados por parte de los diferentes estudiantes y docentes de las carreras de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica.

Adicional los elementos y equipos de medida utilizados son de uso común en la industria y se los consigue en el mercado local.

3.7 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para la realización del proyecto planteado en la Universidad Técnica de Cotopaxi se tomó en cuenta la importancia de poder complementar los conocimientos de los futuros profesionales de las carreras técnicas en el área de máquinas eléctricas, logrando de esta forma que tanto docentes como estudiantes puedan adquirir mayor conocimiento en la realización de distintas prácticas.

A continuación se detallan los pasos y procedimientos que se realizaron para la "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO – PRÁCTICO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA - ELÉCTRICA PARA PRUEBAS, DEMOSTRACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA."

3.7.1 Introducción

El conocimiento de la energía eléctrica se lo desarrolla de mejor manera observando experimentalmente el funcionamiento de los equipos y máquinas eléctricas, para lo cual se ha diseñado un banco de pruebas el cual cuenta con los equipos, medidores y elementos básicos para alcanzar una habilidad en la comprensión y el manejo de conversión de energía eléctrica- mecánica.

3.7.2 Selección de Elementos

El banco cuenta con los siguientes elementos:

Se escogió un generador de 1200 W ya que el modulo es didáctico, transportable, seguro y de fácil acceso en el mercado (valor estándar).

Sabiendo que:

1Hp= 745,7 se tiene:

$$P = \frac{1200w}{745.7w} = 1.6Hp \text{ (Potencia máxima)}$$

Este generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica, consta de un motor trifásico de 2 HP controlado por medio de un variador de frecuencia acoplado mecánicamente al generador monofásico.

El motor trifásico no tiene problemas de corriente de arranque ya que el variador de frecuencia lo arranca o frena suavemente.

Para la realización de prácticas se analizó lo siguiente:

$$P_T = 1200w$$

En el mercado existen focos de 150W, 100W, 60W y 40W, los cuales pueden servir como carga y así podemos realizar mediciones de voltaje (V), corriente (I), frecuencia (F) tomando en cuenta de no sobrepasar la potencia del generador.

Potencia de carga	Nº de Focos
300W	2 de 150W o 3 de 100W
250W	1 de 100W más 1 de 150
200W	2 de 100W
150W	1 de 150W
100W	1 de 100W o 1 de 40 más 1 de 60W
60W	1 de 60W
40W	1 de 40W

Por esta razón solo se coloca 2 boquillas para evitar una sobrecarga al generador. Para los medidores se tomó en cuenta la Corriente que trabaja el motor y la corriente de arranque del motor, como son valores bajos y valores altos respectivamente se utilizan 2 amperímetros uno de 20A. y otro de 120A., que deberán ser utilizados adecuadamente de acuerdo a lo que se desee experimentar.

Adicionalmente se doto de una pinza digital para comprobar las mediciones ya que los amperímetros instalados en el módulo son analógicos.

Los voltímetros instalados son de 0-300V puesto que normalmente se trabaja con 110Vca. del generador o voltajes trifásicos que alimentan al variador de frecuencia y motor.

El frecuencímetro utilizado es de 55Hz a 65Hz ya que la frecuencia normal de la red es de 60Hz.

El tomacorriente normal de uso doméstico es de 15A que es suficiente para aplicaciones adicionales que se den al módulo.

El variador de frecuencia trifásica que se escogió es de 2HP (3KVA) para poder manejar sin problema alguno al motor trifásico de 2 HP.

3.7.3 Características de los Elementos

Motor Eléctrico Trifásico

FIGURA No. 3.1



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

PH 2 (Kw)	FR D56
V 220 - 440	HZ 60
A 14.20 / 7.10	RPM 3520
SFA 16 / 8	SF 1.25

Generador Eléctrico Monofásico

FIGURA No. 3.2



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

AC SURGE OUTPUT	1200VA
RATED OUTPUT	1100 VA
FRECUENCIA	60 HZ
VOLTAJE	120V

Breaker Trifásico

Sirve para protección personal y de los elementos instalados en el módulo.

FIGURA No.3.3



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- ❖ 20 A trifásico

Boquilla

Sirve para alojar las lámparas incandescentes en las diferentes prácticas que se realice

FIGURA No.3.4



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- ❖ Base Roscada
- ❖ 110V a 220V
- ❖ Máximo 200W

Tomacorriente Polarizado

Sirve para conectar otro tipo de cargas externas, este tipo de tomacorriente soporta cargas de hasta 10A.

FIGURA No.3.5



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Tomacorriente Tetra-Polar

Se utiliza para energizar cargas industriales trifásicas.

FIGURA No.3.6



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

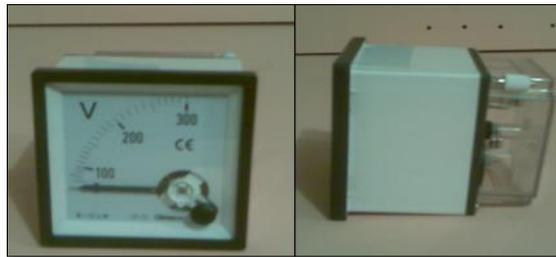
- ❖ Uso Industrial
- ❖ 110V a 220V CA
- ❖ 50A

3.7.4 Instrumentos de Medición

Voltímetro

Sirve para visualizar el voltaje en un determinado sitio del circuito eléctrico, se debe conectar en paralelo con lo que se desea medir.

FIGURA No.3.7



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- ❖ Tipo Panel
- ❖ 0 a 300VAC

Amperímetro

Sirve para visualizar la circulación de corriente en un determinado sitio del circuito eléctrico, se debe conectar en serie con lo que se desea medir.

FIGURA No.3.8



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

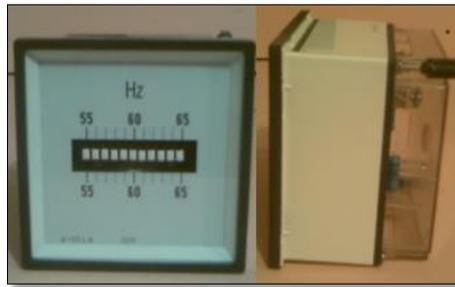
Características

- Tipo Panel
- 0 a 20A CA
- 0 a 120A CA

Frecuencímetro de Láminas Vibrantes

Se utiliza para visualizar la frecuencia de la red que alimenta al banco de pruebas, se debe conectar en paralelo, la lectura se la realiza observando la lámina que vibra en el instrumento.

FIGURA No.3.9



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- ❖ Tipo Panel
- ❖ 55Hz a 65Hz

Variador de Frecuencia

Sirve para variar la velocidad del motor trifásico mediante la variación de la frecuencia del voltaje alimentado a dicho motor.

FIGURA No.3.10



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- ❖ Potencia nominal 3 KVA
- ❖ Trifásico

Pulsador

Este dispositivo de control se lo utiliza para apagar el variador de frecuencia cuando ocurre algún incidente con los elementos y equipos mecánicos del banco de pruebas.

FIGURA No.3.11



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- Normalmente Abierto
- Reposición al Retorno
- 10A

Luces Piloto

Sirven para visualizar la operación del banco de prueba, cuando una lámpara está apagada significa q esa fase esta desenergizada y puede ocurrir algún problema sobre todo en el variador de frecuencia.

FIGURA No.3.12



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características

- Tipo LED
- 110V CA
- 1W

Jacks y Cables

Utilizados para implementar los circuitos eléctricos de una manera segura y fácil.

FIGURA No.3.13



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Características.

- ❖ Cable N°14 AWG
- ❖ **Longitud:** 20cm. 50cm. 70 cm
- ❖ **Color:** rojo y negro

FIGURA No.3.14
Banco de Trabajo



Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

3.7.5 Implementación

Para la realización del banco de pruebas se utilizó 3 tubos estructurales de 6 metros de largo de 1 pulgada en el cual se realizó cortes hexagonales para la confección de la misma y electrodos para soldar; posteriormente se soldó 4 garruchas para que el banco de pruebas se lo pueda movilizar; se instaló 3 juegos de rieles para los cajones; se colocó 3 agarraderas para los mismos; se utilizó una plancha de MDF de 15mm para los tableros y cajones y se procedió a pintar con anticorrosivo y esmalte a lo que es la estructura metálica, también se pintó los tableros y cajones, ; luego se colocó dos moquetas para conservar los tableros.

Una vez confeccionado el banco de prueba se procedió a calar el tablero para la instalación correspondiente de los instrumentos.

El motor trifásico de 2 hp nos va ayudar a realizar la conversión de energía eléctrica a energía mecánica, este motor con ayuda del variador de frecuencia nos permitirá proveer una energía mecánica de velocidad variable para impulsar al generador.

Este generador nos ayudará a realizar la conversión de energía mecánica a energía eléctrica para realizar las pruebas en el banco.

FIGURA No.3.15



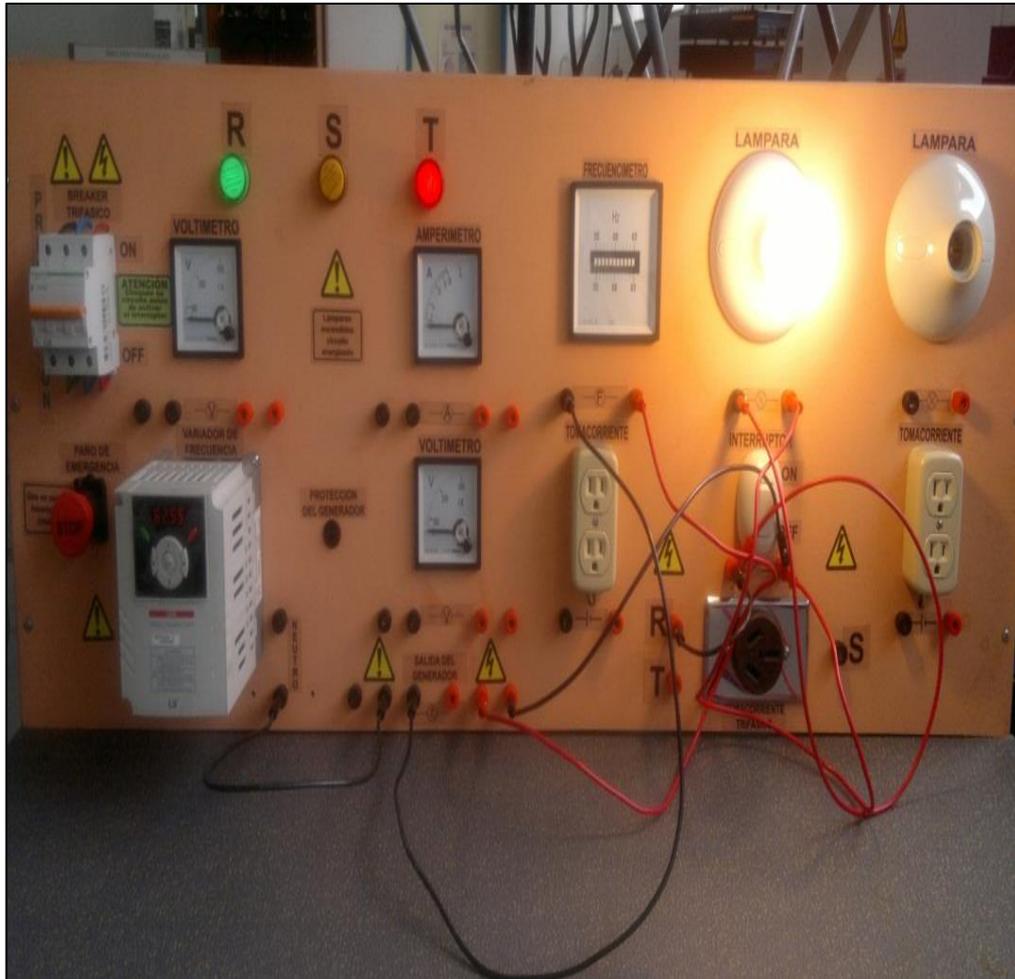
Fuente: Propia
Elaborado por: el investigador

Luego se procedió a colocar la señalética para seguridad del usuario y mejor comprensión del manejo y utilización de los diferentes equipos e instrumentos que posee el banco.

Una vez terminado la señalización se comprobó el correcto funcionamiento de cada equipo e instrumento del banco, para lo cual se elaboraron cuatro guías de

prácticas en las cuales se puede comprobar el funcionamiento del generador bajo algunos parámetros de carga y velocidad.

FIGURA No.3.16
Señalización y comprobación del banco de pruebas.



Fuente: Propia

Elaborado por: el investigador

3.8 OPERACIÓN CON EL BANCO DE PRUEBAS.

3.8.1 Planteamiento de Práctica

3.8.2 Tema: Características de operación de un generador monofásico.

Objetivos:

- ❖ Analizar el funcionamiento de un generador monofásico sin carga.
- ❖ Analizar el funcionamiento de un generador monofásico con carga.
- ❖ Aprender cómo se sincroniza un generador monofásico al sistema de distribución eléctrica.

Fundamento Teórico:

- ❖ **Generador monofásico:** Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes.

Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.

Un generador que tiene un voltaje de salida monofásico, se lo denomina generador monofásico. Este voltaje de salida se obtiene con un conjunto de bobinas de armadura en el estator, si se trata de un generador monofásico de dos polos; entonces, se dice que estos polos son Norte y Sur con conductores que son parte de los conductores de armadura continuos y que llenan las ranuras del estator.

Equipo y materiales:

- ❖ Banco de prueba.
- ❖ Variador de frecuencia
- ❖ Generador
- ❖ Motor trifásico acoplado al generador.
- ❖ Frecuencímetro.

- ❖ Voltímetro.
- ❖ Amperímetro.
- ❖ Lámparas.
- ❖ Cables de conexión.
- ❖ Multímetro digital (opcional).

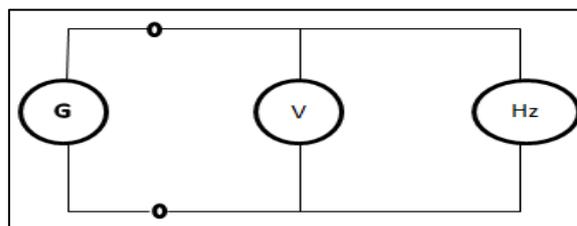
Procedimiento:

A. Funcionamiento del generador en vacío.

Ubíquese frente al generador e identifique sus partes constitutivas.

Nota: De ser necesario retire la tapa del generador.

1. Conecte el cable del banco de pruebas a una toma trifásica y el enchufe a una toma monofásica para obtener el neutro.
2. Verifique que no existan objetos cerca del motor y generador para evitar accidentes.
3. Arme el siguiente circuito en el banco de pruebas, asegúrese que no exista energía eléctrica para evitar algún incidente (breaker apagado).



4. Accione el breaker trifásico localizado a la izquierda del tablero de control, con lo que deberán encenderse las tres lámparas indicando que existen las tres fases de alimentación.

Nota 1: Si una o más lámparas no se encienden apague el breaker y revise la conexión del banco de pruebas para evitar daños en el variador trifásico.

Nota 2: El variador trifásico puede trabajar con dos de las tres fases pero no por periodos largos de tiempo. Tome las debidas precauciones en este caso.

5. Programe el variador de frecuencia para una señal de 50Hz.

Nota: Si no sabe cómo programar esta frecuencia remítase al manual del usuario.

6. Presione el interruptor RUN, espere que se estabilice el motor por unos treinta segundos y lea las lecturas del voltímetro y frecuencímetro. Comente el valor de estas lecturas (recuerde que es un generador auto-excitado).
7. Aumente la frecuencia del variador (velocidad del motor) hasta que de una lectura (en el voltímetro), anote dicha frecuencia.
8. Mida el voltaje y frecuencia que entrega el generador, si desea utilice un multímetro digital.

F (variador)	S (motor)	V (gen.)	F (Gen.)
58 HZ	3480 RPM	105 V	56

Nota: La velocidad del motor deberá ser calculado con la formula

$$S = \frac{120 * F}{P}$$

9. Aumente la frecuencia del variador y mida los valores de voltaje y frecuencia de acuerdo a la siguiente tabla:

F (variador)	S (motor) calculado	V (gen.) medido	F (Gen.) medido
60Hz.	3600 RPM.	110 V.	59 Hz.
62 Hz.	3720 RPM.	120 V.	61 Hz.
64 Hz.	3840 RPM.	125 V.	62 Hz.
65 Hz.	3900 RPM.	130 V.	63 Hz.

10. Disminuya gradualmente la frecuencia del variador (velocidad del motor) hasta que el generador deje de trabajar ($V=0$). Anote este valor.

F (variador)	S (motor)	V (gen.)
48 Hz	2880 RPM	0 V.

11. Compare la velocidad del punto 8 y 10 (velocidad a la que se encendió y apago el generador).

No son las mismas velocidades existe una histéresis.

12. Apague el variador de velocidad con la tecla STOP.

13. Desenergice el banco de pruebas.

14. Desconecte el circuito de prueba y guarde los cables en su lugar.

Resumen:

- ❖ El voltaje inducido en un generador depende de la velocidad de giro de la maquina impulsadora.

- ❖ La frecuencia de un generador monofásico depende de la velocidad de giro de la maquina impulsadora.

Análisis y resultados:

- ❖ Calcule la velocidad de giro del motor, en base a la frecuencia que entrega el variador de velocidad, anótelos en la respectiva tabla.

Cuestionario:

1. Que sucede con el voltaje del generador al aumentar la velocidad de giro de la maquina impulsadora (motor).

R: Aumenta

2. Que sucede con la frecuencia del generador al aumentar la velocidad de giro de la maquina impulsadora (motor).

R: Aumenta.

3. Porque razón a bajas velocidades el generador no trabaja.

R: Porque el magnetismo residual del rotor no produce un voltaje y corriente necesaria para excitar el sistema.

4. Porque el generador deja de trabajar a una velocidad cuando se incrementa y otra cuando se decrementa la velocidad (histéresis).

R: Por el magnetismo del núcleo de la maquina generadora.

5. Que sucederá si el motor (máquina impulsadora) gire en sentido contrario.

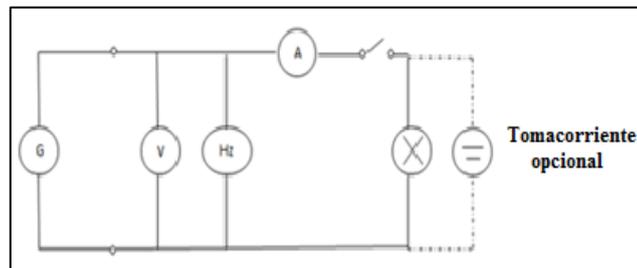
R: Genera energía, pero el voltaje se desfazaría 180 grados con respecto al voltaje generado en el otro sentido de la máquina.

B. Funcionamiento del generador con carga.

Ubíquese frente al generador e identifique sus partes constitutivas.

Nota: De ser necesario retire la tapa del generador.

1. Conecte el cable del banco de pruebas a una toma trifásica y el enchufe a una toma monofásica para obtener el neutro.
2. Verifique que no existan objetos cerca del motor y generador para evitar accidentes.
3. Arme el siguiente circuito en el banco de pruebas, asegúrese que no exista energía eléctrica para evitar algún incidente (breaker apagado).



4. Programe el variador de frecuencia para una señal de 60Hz

Nota: Si no sabe cómo programar esta frecuencia remítase al manual del usuario o a la práctica N°1.

5. Después de unos treinta segundos, apague el interruptor que está conectado a la lámpara.

6. Varía la frecuencia del variador de velocidad hasta que el frecuencímetro que está conectado en el circuito de prueba del generador vibre la lámina de 60Hz. (aproximadamente 61,5Hz).
7. Mida el voltaje, corriente y frecuencia en vacío

V	I	F
118 V.	0	60 Hz.

8. Coloque una lámpara de 40w como carga, prenda el interruptor y mida voltaje corriente y frecuencia, de ser necesario utilice un multímetro digital anote en la tabla N°3.2

P (W)	V	I medida (A)	I calculada (A)	F(Hz)
40	118	0,2	0,3	60
60	118	0,2	0,5	60
100	118	0,5	0,84	60
150	118	0,9	1,27	60
200	118	1,3	1,7	59
250	118	1,7	2,1	58
300	118	2,2	2,2	57
655	118	5,7	5,5	57
1000	118	7,5	8,47	55

9. Apague el interruptor y cambien la lámpara por los valores de la tabla 3.2 encienda el interruptor y repita las mediciones para cada caso.

Nota1: Puede utilizar lámparas en paralelo para obtener el valor que pide la tabla.

Nota2: Las lámparas por lo general se calientan, tenga cuidado de sufrir quemaduras.

Nota3: En lugar de las lámparas puede utilizar otros elementos para producir carga como: plancha, calefactores, etc. Asegúrese de no sobrecargar el generador con corrientes superiores a 10 amperios (1200 w), para lo cual se encuentra instalado un breaker el cual se activara como protección.

10. Apague el variador de frecuencia con el botón STOP.

11. Apague el breaker.

12. Desconecte el circuito y guarde los cables, lámparas en su lugar.

Análisis y resultados:

❖ Con los valores de la potencia y voltaje calcule el valor de la corriente.

$$I = P/V$$

C. Operación del generador sincrónico monofásico.

Objetivos

❖ Aprender cómo se sincroniza un generador monofásico al sistema de servicio eléctrico.

❖ Entender cómo puede alterarse el proceso de sincronización debido a una secuencia de fase inadecuada.

Fundamento Teórico

La frecuencia de un gran sistema de energía eléctrica está determinada por la velocidad de rotación de varios generadores muy potentes, todos ellos conectados mediante diversas líneas de unión a la red general.

La inercia colectiva y la potencia de estos generadores es tan enorme que ninguna carga o perturbación puede cambiar su velocidad de rotación. Por lo tanto, la frecuencia de un sistema eléctrico es notablemente estable.

Si un generador ha de producir potencia para un sistema eléctrico existente, debe operar a la misma frecuencia que dicho sistema. Un sistema cuya frecuencia es 60,000Hz, no puede recibir potencia de un generador que opera a 60,001Hz. Tanto uno como otro deben operar exactamente a la misma frecuencia. Esto no es tan difícil de lograr como parece a primera vista, pues cuando un generador se conecta a un sistema existente, automáticamente entran en juego fuerzas que mantienen constante su frecuencia.

Para efectuar una sincronización suave de un generador se requiere primeramente que su frecuencia sea igual a la de la fuente. Además, la secuencia de fases (o rotación) debe ser la misma también.

Volviendo al ejemplo de los engranes, a nadie se le ocurriría acoplar dos engranes cuyos dientes de contacto tuvieran velocidades opuestas aunque de igual valor.

La siguiente cosa que se debe observar cuando se acoplan dos engranes, es ver que el diente de uno quede dentro de la ranura del otro. En términos eléctricos esto significa que el voltaje de un generador debe estar en fase con el voltaje de la fuente.

Por último, cuando se acoplan dos engranes, siempre se escoge un tamaño de diente que sea compatible con el engrane maestro.

Desde el punto de vista eléctrico, la amplitud de voltaje de un generador debe ser idéntica a la amplitud del voltaje de la fuente.

Una vez que se satisfacen estas condiciones, el alternador está perfectamente sincronizado con la red, y el interruptor que está entre ambos se puede cerrar.

Instrumentos y Equipo

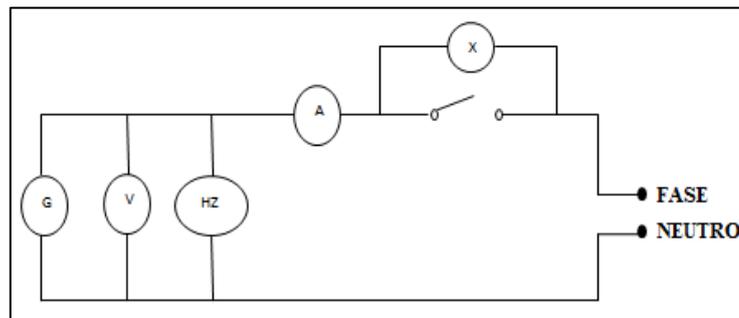
- ❖ Banco de pruebas
- ❖ Variador de frecuencia
- ❖ Motor trifásico
- ❖ Cables de conexión
- ❖ Lámpara de 60w

Procedimiento.

Advertencia: ¡En este Experimento de Laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!

1. Conecte el circuito que aparece en la Figura. Utilice una lámpara de 60w, conecte el punto marcado fase a cualquiera de las tres fases (RST) de la red eléctrica a la cual se desea sincronizar el generador monofásico.

El interruptor debe estar abierto (off) antes de realizar el experimento.



2. Accione el breaker trifásico localizado a la izquierda del tablero de control, con lo que deberán encenderse las tres lámparas indicando que existen las tres fases de alimentación.

Nota 1: Si una o más lámparas no se encienden apague el breaker y revise la conexión del banco de pruebas para evitar daños en el variador trifásico.

Nota 2: El variador trifásico puede trabajar con dos de las tres fases pero no por periodos largos de tiempo. Tome las debidas precauciones en este caso.

3. El variador de velocidad deberá estar encendido indicándonos en la pantalla frontal un número, este número muestra la frecuencia de salida del variador.
4. Encienda el motor presionando el botón verde del variador (run), observe las lecturas del voltímetro frecuencímetro y el estado de la lámpara.
5. Varíe la frecuencia del variador según los pasos señalados anteriormente, comente sobre las lecturas del voltaje, frecuencia y el estado de la lámpara.

Nota: la luz de sincronización (lámpara de 60w) debe parpadear, encendiéndose y apagándose intermitentemente, lo que indica que no está en sincronía.

6. Varíe la frecuencia del variador hasta que la lámpara este apagada, lo que indica que el generador esta sincronizado a la fase de la red eléctrica.

Nota: cada vez que varíe la frecuencia del variador espere un tiempo hasta que el sistema se estabilice.

7. Cierre el interruptor de sincronización cuando la lámpara este apagada, y observe qué pasa con los instrumentos en el momento en que cierra el interruptor.
8. Abra el interruptor de sincronización.

9. Apague el motor (interruptor rojo del variador STOP)
10. Presione el interruptor **STOP** con lo que el motor deberá detenerse gradualmente.

Nota: En caso de una emergencia puede utilizarse el botón de paro de emergencia que se encuentra al lado izquierdo del tablero.

11. Desenergice el banco de pruebas con el respectivo breaker.

Cuestionario:

1. Qué condiciones se deben satisfacer para poder sincronizar un generador a una línea de potencia trifásica existente.

R: Misma frecuencia y misma secuencia de fases

2. Un generador podría sufrir grandes daños mecánicos durante el proceso de sincronización con la línea de alimentación. En cuales 2 condiciones puede suceder eso.

R: Cuando no tenga la misma frecuencia y no tenga la misma secuencia

3. Un generador puede generar un voltaje diferente del de la línea de alimentación y puede no estar exactamente en fase con ella, pero debe satisfacer una condición para que pueda entregarle potencia. Cual es esta condición.

R: La amplitud del voltaje del alternador debe ser idéntica a la amplitud del voltaje de la fuente.

3.9 DESCRIPCIÓN DEL COSTO ECONÓMICO DEL PROYECTO

TABLA N° 3.1

DESGLOSE DE COSTOS EN MATERIALES ADQUIRIDOS PARA LA CONSTRUCCION DEL BANCO DE PRUEBAS PARA CONVERSION DE ENERGIA MECANICA- ELECTRICA

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR/UNITARIO	SUBTOTAL
GENERADOR	1	350,00	350,00
MOTOR 2 HP TRIFASICO	1	180,00	180,00
VARIADOR DE FRECUENCIA 3KVA	1	400,00	400,00
MEDIDORES	5	18,50	92,50
ROLLO CABLE #12	1	26,00	26,00
JUEGO DE TORNILLOS	1	3,50	3,50
ANGULO DE PLATNA DE 2mm	2	20,00	40,00
LIBRA DE ELECTRODOS	2	2,50	5,00
TUBO ESTRUCTURAL 1"x1 1/4	2	30,00	60,00
PLANCHA PLAYWOOD DE 18mm	1	35,00	35,00
GALON ANTICORROSIVO	1	25,00	25,00
GALON PINTURA ESMALTE	1	20,00	20,00
PLIEGO DE LIJA	3	1,00	3,00
PERNOS	100	0,15	15,00
COMPROBADORES DE FASE	1	20,00	20,00
BREAKER TRIFASICO	1	30,00	30,00
PAR DE GUANTES INDUSTRIALES	1	3,00	3,00
TAYPE NORMAL	1	3,50	3,50
MOQUETA	2m	9,00	18,00
CEMENTO DE CONTACTO	1Ltr.	6,00	6,00
LAMPARAS	8	0,90	7,20
BOQUILLAS	2	0,90	1,80
INTERRUPTOR	1	0,80	0,80
TOMACORRIENTE POLARIZADO	2	0,95	1,90
TOMACORRIENTE TETRAPOLAR	1	3,50	3,50
LUCES PILOTO	3	1,35	4,05
JACKS	70	0,18	12,60
PULSADOR	1	6,00	6,00
CINTA AUTOFUNDENTE	1	11,00	11,00
ADHESIVO	1	1,35	1,35
MULTIMETRO DIGITAL	1	30,00	30,00
ACOPLE MECANICO	1	60,00	60,00
SEÑALÉTICA	1JUEGO	25,00	25,00
		V/TOTAL 1	1500,70

Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

COSTO GLOBAL DEL PROYECTO

TABLA N° 3.2

COSTO GLOBAL DEL PROYECTO

DESCRIPCION	TOTAL
Costos por materiales adquiridos	1500,70
Gastos operativos	335,00
COSTO TOTAL	1835.70

Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

3.10 CONCLUSIONES

Se utilizó elementos de uso frecuente en la industria, para que el alumno se familiarice con estos y adquiera habilidades en dicho manejo.

El banco de pruebas fue diseñado de tal manera que se pueda realizar pruebas, demostración y visualización de los componentes de generación eléctrica.

Los manuales de operación y prácticas son una herramienta importante ya que en ellos se detalla de una manera comprensiva para el usuario como operar el banco de pruebas y se sugieren algunas prácticas para la comprensión de los sistemas electromecánicos.

3.11 RECOMENDACIONES

Comparar las ventajas y desventajas de los sistemas monofásicos y trifásicos.

El banco de pruebas deberá actualizarse de acuerdo al avance de la tecnología.

Los manuales deberán actualizarse y modificarse de acuerdo al objetivo que el instructor desee darle a su materia.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ❖ CATHEY J.J, Maquinas Eléctricas Análisis y Diseño, primera edición, McGraw-Hill, México, 2002.
- ❖ LEIVAZEA, Francisco, Investigación Científica, Editorial DIMAXI, Quito 2001.
- ❖ Ing. Msc. Luis Tapia pg.
- ❖ MALONEY, Timothy. Electrónica Industrial Moderna, Primera edición, Editorial PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. México 1996.
- ❖ NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas Eléctricas, México, 1999.
- ❖ SOISSON, Harold. Instrumentación y Automatización Industrial. Editorial LIMUSA, México 1992.
- ❖ S. J. CHAPMAN. Máquinas Eléctricas. Cuarta Edición. McGraw-Hill. México D.F. 2002.
- ❖ SYED A, NASAR. Maquinas eléctricas y electromecánicas. Editorial McGraw-Hill, España 1984.
- ❖ VALENCIA, DAVID. Diagnóstico del aislamiento estático en motores de inducción. Editorial Sevilla, España 2005.
- ❖ V. IVANOV-SMOLENSKI. Máquinas Eléctricas. Tomos I y II. Editorial Mir. Moscú. 1984.
- ❖ [http:// www.siemens/ Manual de Motores Trifásicos de Inducción.htm](http://www.siemens/Manual%20de%20Motores%20Trifásicos%20de%20Inducción.htm) (19/09/2012 a las 9:30 am.)
- ❖ [http:// www. schneiderelectric.com/Analizador/tesysT.htm](http://www.schneiderelectric.com/Analizador/tesysT.htm) (23/10/2012 a las 14:25 pm.)
- ❖ [http:// www. Schneiderelectric/módulo de expansiónTLMR.com](http://www.Schneiderelectric/módulo%20de%20expansiónTLMR.com) (20/11/2012 a las 10:00 am.)
- ❖ [http:// www.WebInstrumentacion/IIIndustrial.com](http://www.WebInstrumentacion/IIIndustrial.com) (22/11/2012 a las 15:00 pm.)

- ❖ <http://www.bunca.org/fasciculos/espa%F1ol/FasciculoMotores.pdf> (23/11/2012 a las 14:15 pm.)
- ❖ http://www.gte.us.es/~galvan/IE_4T/TutorialLabview.pdf (11/12/2012 a las 8:30 am.)
- ❖ www.motoresdecorriente/alterna.com (17/12/2012 a las 16:00 pm.)

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ❖ <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448127641.pdf> pg.243 (28/12/2012 a las 11:00 am.)
- ❖ LOBOSCO S., Orlando; DÍAS, José, Selección y Aplicación de Motores Eléctricos, tercera edición, España 2008.pg 52-56 Explica:
- ❖ Según, Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas (2º edición), McGraw-Hill,1993 pg.25
- ❖ A.E. Fitzgerald-Charles Kingsley,Jr.-Stephen D. Umans Máquinas eléctricas sexta edición pág. 72-75
- ❖ ABC de las Máquinas Eléctricas: motores de corriente alterna” autor: Enríquez Harper iii 2004 pág. 15, 17, 18, 307,310.

ANEXOS

ANEXO 3.1 FORMULARIO DE ENCUESTAS A ESTUDIANTES

1. Conoce Ud. que es una conversión de energía mecánica eléctrica y viceversa?

SI () NO ()

2. Los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, hacen uso del laboratorio de máquinas eléctricas para la realización de prácticas?

SI () NO ()

3. Cree Ud. que con un módulo didáctico de conversión de energía mecánica eléctrica donde se visualice los equipos mejoraría el aprendizaje?

SI () NO ()

4. Cree Ud. que el banco de pruebas debe tener la señalización adecuada para evitar riesgos eléctricos?

SI () NO ()

5. De los siguientes equipos e instrumentos, señale los más indispensables para un banco de pruebas eléctrico:

Instrumentos	✓
Voltímetro	
Amperímetro	
Frecuencímetro	
Variador de frecuencia	
Medidor potencia activa	
Vatímetro	
Osciloscopio	
Otros	

ANEXO 3.2 IMPLEMENTACIÓN

Corte de Tubos Estructurales

Para la realización del banco de pruebas se utilizó 3 tubos estructurales de 6 metros de largo de 1 pulgada en el cual se realizó cortes hexagonales para la confección de la misma.

FIGURA No.3.17



Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

Armado y Soldadura del Banco de Pruebas.

Una vez realizados los cortes se procedió a soldar el banco de trabajo con ayuda de una suelda y Electrodo.

FIGURA No.3.18



Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

FIGURA No.3.19
PROCESO DE ARMADO Y SOLDADURA



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Estructura Metálica Armada

FIGURA No.3.20
ESTRUCTURA METÁLICA ARMADA



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Pulida de la Estructura Metálica.

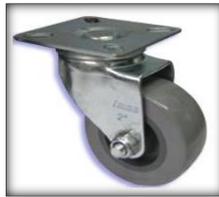
**FIGURA No.3.21
PULIDA**



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Posteriormente se soldó 4 garruchas para que el banco de pruebas se lo pueda movilizar;

FIGURA No.3.22



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Se utilizó una plancha de MDF de 15mm para los tableros y cajones del banco de pruebas

**FIGURA No.3.23
PLANCHA MDF**



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Cepillada del MDF

**FIGURA No.3.24
CEPILLADA MDF**



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Pulida de los Tableros y Cajones del Banco de Pruebas

**FIGURA No.3.25
PULIDA DE TABLEROS**



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación de Tableros Sobre la Estructura Metálica

FIGURA No.3.26
COLOCACIÓN DE TABLEROS



Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

Una vez armado el banco de pruebas, se procedió a pintarlo con anticorrosivo y esmalte a lo que es la estructura metálica, también se pintó los tableros y cajones, luego se colocó dos moquetas para conservar los tableros.

Luego de confeccionado el banco de prueba se procedió a calar el tablero para la instalación correspondiente de los instrumentos.

Ubicación Temporal de Equipos

FIGURA No.3.27
UBICACIÓN DE EQUIPOS

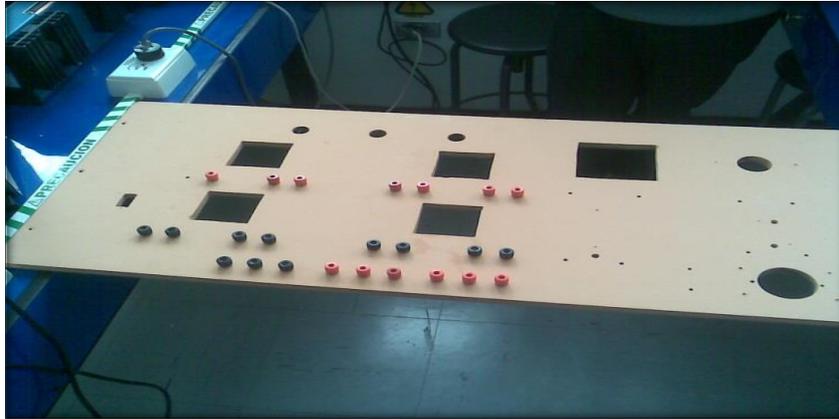


Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación de Jacks

FIGURA No.3.28
UBICACIÓN DE JACKS



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación de Tomacorriente Polarizado

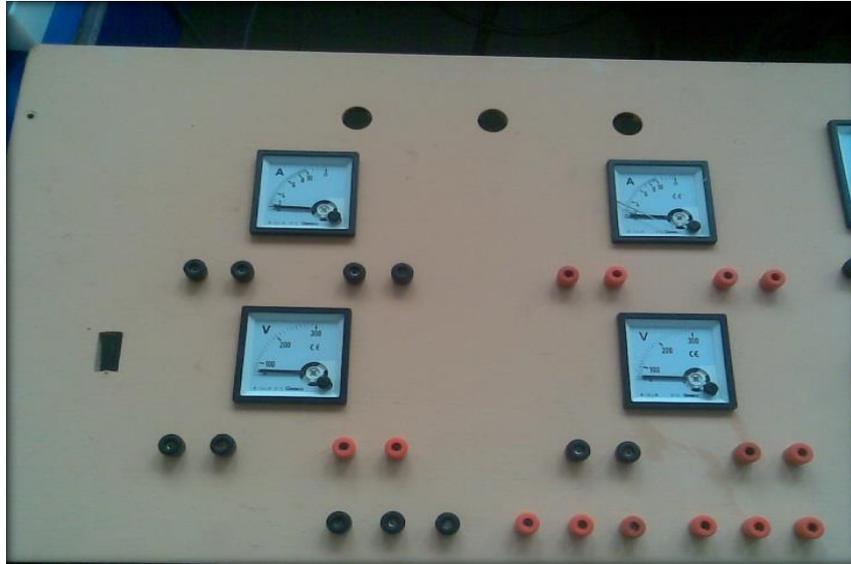
FIGURA No.3.29
UBICACIÓN DE TOMACORRIENTE POLARIZADO



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Colocación de Medidores

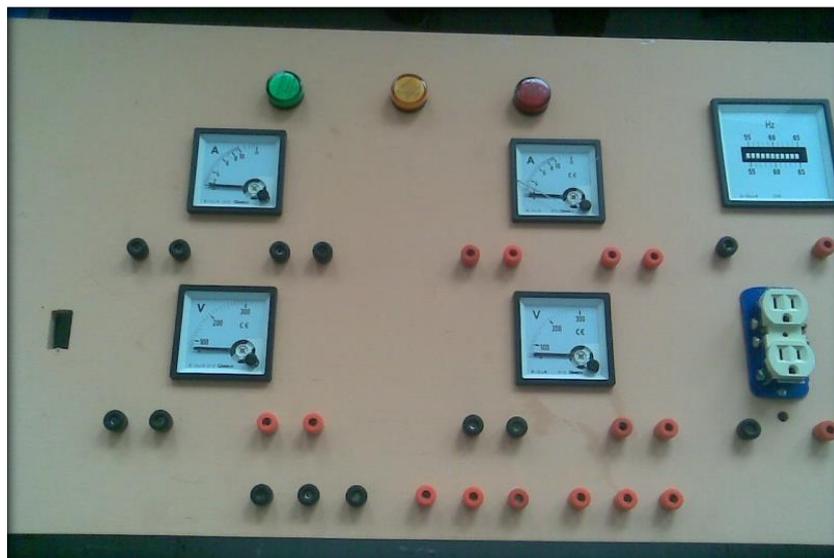
FIGURA No.3.30
COLOCACIÓN DE MEDIDORES



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación de Luces Piloto

FIGURA No.3.31
UBICACIÓN DE LUCES PILOTO



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Colocación del Pulsador

FIGURA No.3.32
COLOCACIÓN DEL PULSADOR



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación del Tomacorriente Terra Polar

FIGURA No.3.33
UBICACIÓN DEL TOMACORRIENTE TERRA POLAR



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Colocación de Boquillas

FIGURA No.3.34
COLOCACIÓN DE BOQUILLAS



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación del Breaker Trifásico

FIGURA No.3.35
UBICACIÓN DEL BREAKER TRIFÁSICO



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación del Variador de Frecuencia

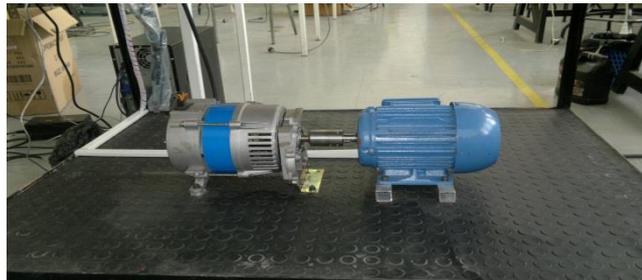
FIGURA No.3.36
Variador de Frecuencia



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Ubicación del Motor Generador

FIGURA No.3.37
MOTOR GENERADOR



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Aislamiento y Conexiones Internas

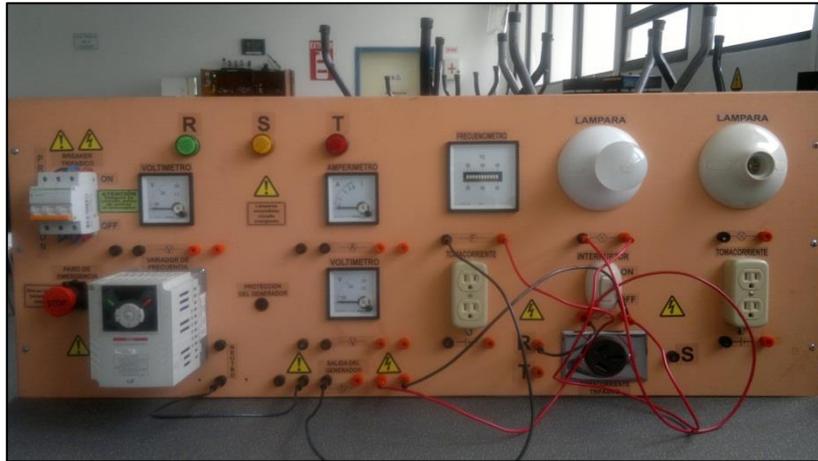
FIGURA No.3.38
AISLAMIENTO Y CONEXIONES INTERNAS



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Colocación de la Señalética

FIGURA No.3.39
SEÑALÉTICA



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

BANCO DE PRUEBAS TERMINADO

FIGURA No.3.40
BANCO DE PRUEBAS

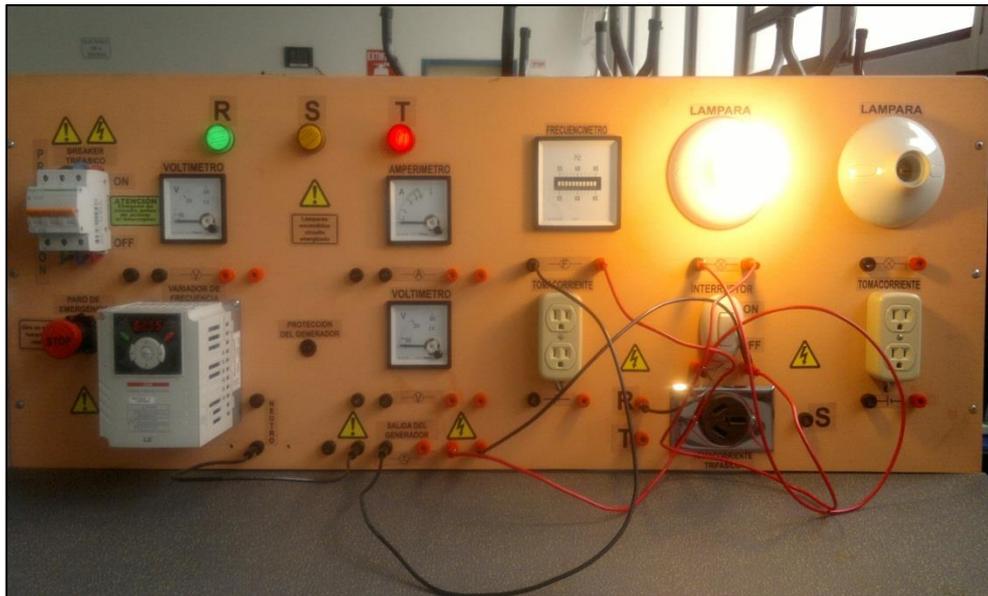


Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

Pruebas en el Banco Didáctico Práctico

Este generador nos ayuda a realizar la conversión de energía mecánica a energía eléctrica. Para comprobar el correcto funcionamiento se realizaron 4 guías didácticas en las que se realiza las pruebas con carga y sin carga del generador.

FIGURA No.3.41
PRUEBAS CON GENERADOR MONOFÁSICO



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé



Fuente: Propia
Elaborado por: Marco Malavé

ANEXO 3.3 Sistema Didáctico Práctico terminado



Fuente: Propia

Elaborado por: Marco Malavé

ANEXO 3.4 Manual de Operación con el Banco de Pruebas.

Objetivo:

- ❖ Aprender las reglas fundamentales de seguridad.
- ❖ Aprender a usar la fuente de energía o alimentación de c-a

A Todos Los Estudiantes y Docentes:

Es necesario saber en qué parte del taller o laboratorio está el BOTIQUÍN DE PRIMEROS AUXILIOS. Se debe insistir en que cualquier cortadura o raspón, aunque parezca muy leve, sea atendido sin demora. Avise inmediatamente al maestro o instructor, cuando ocurre algún accidente; él sabe lo que debe hacerse.

Si el estudiante sigue las instrucciones con cuidado, no se presentarán peligros ni riesgos graves con los SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS de aprendizaje. Cada año, numerosas personas sufren choques fatales con la corriente ordinaria de *120 volts* de uso casero.

Es absolutamente necesario que cualquier persona que trabaje con electricidad aplique estrictamente las normas de seguridad. La electricidad puede ser peligrosa e incluso fatal para quienes no entienden o no practican las reglas básicas de SEGURIDAD. Se registran muchos accidentes fatales con electricidad, entre técnicos bien preparados que, por un exceso de confianza o descuido violan las reglas fundamentales de SEGURIDAD personal. La primera regla de seguridad personal es siempre:

"PIENSE PRIMERO"



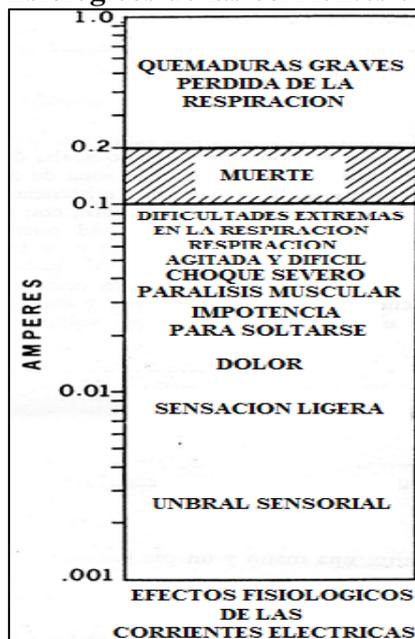
Esta regla se aplica a todo el trabajo industrial así como a los técnicos en electricidad. Adquiera buenos hábitos de trabajo y aprenda a manejar los instru-

mentos en una forma correcta y segura. Estudie siempre el trabajo que está por hacer y antes de empezarlo piense meticulosamente en los procedimientos, los métodos y la aplicación de herramientas, instrumentos y máquinas* No se distraiga en el trabajo ni distraiga a otra persona ocupada en una tarea peligrosa. ¡No trate de hacerse el gracioso! Las bromas son divertidas al igual que el "pasar un buen rato"; pero nunca cerca de maquinaria en movimiento o la electricidad- Por lo general, existen tres tipos de accidentes que se producen con demasiada frecuencia entre estudiantes y técnicos en este campo* Si cada alumno conoce y estudia estos casos, y obedece las sencillas reglas de seguridad, dejará de ser un peligro para sus compañeros. Si lo logra, se evitará experiencias dolorosas y caras, e incluso, puede ser que esté salvando su vida y podrá gozar de una vejez tranquila.

El Choque Eléctrico

¿Qué se sabe de los choques eléctricos? ¿Son fatales? Los efectos que producen las corrientes eléctricas en el organismo se pueden predecir en lo general, mediante el siguiente cuadro

Efectos fisiológicos de las corrientes eléctricas.



Fuente: Manual de seguridad varios autores.

Elaborado por: el investigador.

Como se puede observar, la corriente eléctrica es peligrosa. Las corrientes superiores a 100 miliamperios o de sólo un décimo de ampere, son fatales. Un trabajador que haya recibido una descarga de corrientes superiores a 200 miliamperios, podría sobrevivir si se le atiende inmediatamente. Choques producidos por corrientes inferiores a 100 miliamperios pueden ser graves y dolorosas. Una regla de seguridad es: no se ponga en un lugar donde pueda sufrir cualquier tipo de choque.

¿Y el VOLTAJE?

La corriente depende del voltaje y la resistencia. A continuación, cada alumno medirá su resistencia. Use el ohmímetro para determinar la resistencia del cuerpo entre los siguientes puntos:

De la mano derecha a la izquierda, _____ ohms (resistencia)

De la mano al pie, _____ ohms (resistencia.)

Ahora, humedézcase los dedos y repita las mediciones:

De la mano derecha a la izquierda, _____ ohms (resistencia)

De la mano al pie, _____ ohms (resistencia.)

Por supuesto, la resistencia real varía dependiendo de los puntos de contacto y, como acaba de descubrirlo, de la condición de la piel y la zona de contacto. Observe la forma en que varía la resistencia cuando aprieta las terminales, es decir, los dedos, con mayor o menor fuerza. La resistencia de la piel puede variar entre 250 ohms, cuando está húmeda y se tiene una \ zona grande de contacto, hasta 500,000 ohms en caso de que la piel esté seca. Tomando en cuenta la resistencia del cuerpo recién determinada, y que 100 miliamperios es una corriente fatal, ¿qué voltajes podrían ser fatales?

Use la fórmula: Volts = .1 X ohms.

Contacto entre las dos manos (secas):

_____volts.

Contacto entre una mano y un pie (secos):

_____volts

Contacto entre las dos manos (húmedas):

_____volts

Contacto entre una mano y un pie (húmedos):

_____volts

¡POR NINGÚN MOTIVO TRATE DE COMPROBARLO!

Existen nueve reglas de seguridad para evitar los choques eléctricos:

1. Antes de comenzar a trabajar con cualquier equipo, averigüe en qué condiciones está el equipo y si existe algún peligro. Muchas personas han muerto porque se suponía que la pistola estaba descargada y a muchos electricistas les ha pasado lo mismo porque creían que los circuitos estaban "muertos".
2. Nunca confíe en dispositivos de seguridad tales como fusibles, relevadores y sistemas de cierre, como base de su protección. Puede ser que no estén funcionando o que no logren protegerlo cuando más lo necesita.
3. Nunca quite la punta de tierra de un enchufe de entrada de tres alambres. Esto elimina la característica de conexión a tierra del equipo, convirtiéndolo en un verdadero peligro.
4. **Orden en la mesa de trabajo:** Trabajar entre una maraña de cables de conexión y con un montón de componentes y herramientas sólo propicia el descuido, con lo que aumentan las posibilidades de un corto circuito, choques y accidentes. Acostúmbrese a trabajar en forma sistemática y organizada.
5. **No trabaje sobre pisos mojados:** Esto hace que se reduzca sustancialmente su resistencia, al haber mejor contacto a tierra; trabaje sobre tapetes ahulados o pisos aislados.
6. **No trabaje solo:** Siempre conviene que haya otra persona para cortar la corriente, aplicar respiración artificial y llamar a un médico.

7. **Trabaje siempre con una mano a la espalda o en el bolsillo:** Cualquier corriente que pase entre las manos atraviesa el corazón y puede ser más letal que cuando va de una mano al pie. Los técnicos experimentados trabajan siempre con una sola mano. Observe con cuidado a su técnico de televisión.
8. **Jamás hable con nadie mientras trabaja:** No permita que le distraigan y no converse con nadie, sobre todo si trabajan con equipos peligrosos. No sea la causa de un accidente.
9. **Muévase siempre con lentitud:** Cuando trabaje cerca de circuitos eléctricos. Los movimientos rápidos y violentos son la causa de muchos choques, accidentes y cortos circuitos.

Quemaduras

Los accidentes que producen quemaduras rara vez son fatales, aunque las lesiones pueden ser muy dolorosas y graves. La disipación de la energía eléctrica produce calor.

Existen cuatro reglas de seguridad para evitar quemaduras:

1. Las resistencias se calientan mucho, sobre todo las que llevan corrientes elevadas. Tenga cuidado con las resistencias de cinco y diez watts; pueden quemarle la piel de los dedos. No las toque hasta que se enfríen.
2. Tenga cuidado con todos los capacitores que aún puedan tener alguna carga. La descarga eléctrica no sólo puede producirle un choque peligroso o fatal, sino, también, quemaduras. Si se excede el voltaje nominal de un capacitor electrolítico o se invierten sus polaridades, éste puede calentarse de un modo excesivo e inclusive explotar.
3. Tenga sumo cuidado con los cautines o las pisto-tas de soldar. Nunca los deje en la mesa de manera que pueda tocarlo accidentalmente con el brazo.

No los guarde jamás mientras estén calientes; puede ser que un estudiante poco perspicaz lo tome.

4. La soldadura caliente puede producirle quemaduras muy dolorosas en la piel. Espere a que las uniones soldadas se enfríen. Cuando proceda a desoldar uniones, no vaya a sacudirlas, porque la soldadura puede caer sobre los ojos, las ropas o el cuerpo de sus compañeros.

Lesiones por Causas Mecánicas

Esta tercera clase de reglas de seguridad se aplica a todos los estudiantes que ejecutan algún trabajo mecánico con herramientas y maquinaria. Esta es el área donde el técnico debe poner mayor cuidado y donde las normas de seguridad se basan en el uso correcto de las herramientas. A continuación se dan cinco reglas para trabajar bien y evitar lesiones por causas mecánicas.

1. Las esquinas de puyas metálicas y los bordes filosos del chasis y los tableros pueden cortar y arañar. Límelas hasta que estén lisas.
2. La selección inadecuada de la herramienta para cierto trabajo puede causar daño al equipo y heridas personales.
3. Recuerde que debe proteger los ojos con una careta, cuando lime, corte o trabaje con metales calientes que puedan salpicar.
4. Protéjase las manos y la ropa cuando trabaje con ácidos para baterías, y cualesquiera ácidos fuertes o líquidos para acabados. ¡Todos ellos son muy corrosivos!
5. Si hay algo que desconoce pregunte a su docente.

Cuestionario.

1. La resistencia del cuerpo humano depende del estado de ánimo de la persona. Explique.
Si depende ya que el estado de ánimo de la persona hace variar los signos vitales.

2. Qué sucede con la corriente si la resistencia interna del cuerpo disminuye? explique

Si la resistencia interna del cuerpo disminuye la corriente aumenta, ya que la corriente es inversamente proporcional a la resistencia (ley de ohm)

3. Consulte 4 reglas de primeros auxilios que se debe dar a una persona que ha sufrido un shock eléctrico

- ❖ Desenergizar el circuito eléctrico y apartar a la víctima utilizando materiales aislantes.
- ❖ Controlar signos vitales como respiración y pulso
- ❖ Si los signos vitales están alterados utilizar la maniobra RCP
- ❖ Trasladar a un centro médico a la víctima.

PRÁCTICAS

PRÁCTICA N° 1

Tema: Familiarización con el Banco de Prueba

Objetivo:

- ❖ Familiarización con los componentes, equipos y dispositivos del banco de pruebas para el generador monofásico.

Fundamento Teórico:

- ❖ Breaker
- ❖ Variador de frecuencia
- ❖ Motor trifásico
- ❖ Generador

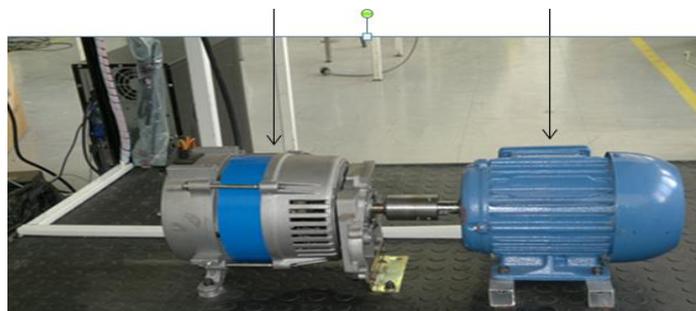
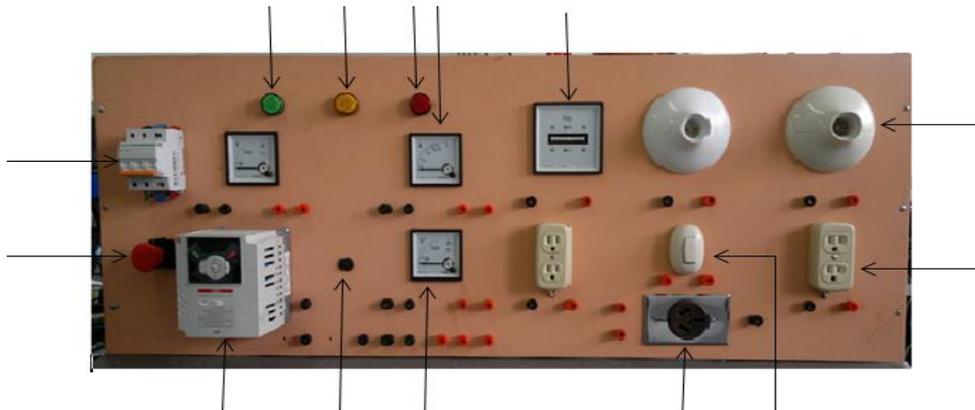
Equipo y materiales:

- ❖ Banco de pruebas.

- ❖ Variador de frecuencia.
- ❖ Motor trifásico

Procedimiento:

- A. Ubíquese frente al banco de pruebas y sin hacer ninguna conexión eléctrica identifique los componentes que se encuentran en la parte superior del banco de pruebas y en la parte inferior.



Nota: De ser necesario retire la tapa del generador que se encuentra en la parte inferior del banco de pruebas para que se visualicen las partes internas de este.

B.

1. Conecte el cable del banco de pruebas a una toma trifásica y el enchufe a una toma monofásica para obtener el neutro.
2. Verifique que no existan objetos cerca del motor y generador para evitar accidentes.

3. Accione el breaker trifásico localizado a la izquierda del tablero de control, con lo que deberán encenderse las tres lámparas indicando que existen las tres fases de alimentación.

Nota 1: Si una o más lámparas no se encienden apague el breaker y revise la conexión del banco de pruebas para evitar daños en el variador trifásico.

Nota 2: El variador trifásico puede trabajar con dos de las tres fases pero no por periodos largos de tiempo. Tome las debidas precauciones en este caso.

4. El variador de velocidad deberá estar encendido indicándonos en la pantalla frontal un número, este número muestra la frecuencia de salida del variador.

5. En el variado presione la tecla central **ENT**. con la que deberá encender el indicador **SET** (fijar parámetro de frecuencia), presione las teclas de las flechas izquierda - derecha y observe que cambia el brillo de un dígito, lo que significa que este es dígito que se va a cambiar de parámetro al presionar las flechas arriba – abajo.

Nota: Si el variador presenta el mensaje **EST** y las lámparas se encienden intermitentes significa que está activado el paro de emergencia, desactívelo antes de continuar con la programación del variador, gire el paro de emergencia en el sentido que indican las flechas.

6. Como ejercicios coloque o fije la frecuencia en los siguientes valores: 10Hz, 25 Hz, 32,5 Hz, 40 Hz, 55,55 Hz, 60 Hz, 65 Hz.

Nota: El variador está configurado para que máximo entregue 65 Hz. Ya que el motor se puede dañar con frecuencias superiores, si desea cambiar este parámetro diríjase al manual del usuario.

7. Para programar y aceptar la configuración de frecuencia presione la tecla **ENT** dos veces con lo que el display mostrara el parámetro seleccionado con el mismo brillo los dígitos y se apagara el indicador **SET**.

Nota 1: Para configurar la frecuencia asegúrese que la pantalla muestre un número y no palabras de configuración (código de grupos como: drC, n0n, u0L, dCL,rPn, ACC), si este es el caso presione las teclas arriba – abajo hasta que aparezca los números que indican la frecuencia, en caso de algún problema diríjase al manual del usuario.

Nota 2: Si en lugar de palabras aparecen letras y números como **F 0**, **H 0** y **I 0**, quiere decir que está en el menú de los grupos, presione las teclas izquierda – derecha hasta que se muestre solo números.

8. Seleccione una frecuencia de 10 Hz utilizando los pasos indicados anteriormente, presione el botón de color verde **RUN** observe el comportamiento del motor.

Nota: El motor se encuentra energizado.

9. Seleccione una frecuencia de 20 Hz, luego siga aumentando la frecuencia hasta llegar a 65 Hz utilizando los pasos indicados anteriormente, para cada frecuencia observe el comportamiento del motor.

Nota 1: Tenga cuidado que no estén objetos cerca del rotor del motor.

Nota 2: El motor esta energizado siga las precauciones para estos casos.

10. Presione el interruptor **STOP** con lo que el motor deberá detenerse gradualmente.

Nota: En caso de una emergencia puede utilizarse el botón de paro de emergencia que se encuentra al lado izquierdo del tablero.

11. Desenergice el banco de pruebas con el respectivo breaker.

Resumen:

- ❖ Los motores trifásicos se varían la velocidad solamente aumentando o disminuyendo la frecuencia de la red de alimentación.
- ❖ Los variadores de frecuencia electrónicos están diseñados para proveer una señal trifásica pero de frecuencia variable mediante circuitos de control electrónico.

Cuestionario:

1. Para las frecuencias que se programó el variador en esta práctica calcule la velocidad del motor estas le servirán para futuras referencias, el motor según el fabricante es de dos polos para referencia remítase a la placa del fabricante.

$$S = \frac{120 * F}{P}$$

Dónde:

F= Frecuencia en Hz.

P= Número de polos.

S= Velocidad.

PRÁCTICA N°2

Tema: Funcionamiento del generador en vacío.

Objetivo:

- ❖ Analizar el funcionamiento de un generador monofásico sin carga.

Fundamento Teórico:

- ❖ Generador monofásico.

Equipo y materiales:

- ❖ Banco de prueba.
- ❖ Variador de frecuencia
- ❖ Generador
- ❖ Motor.
- ❖ Voltímetro.
- ❖ Amperímetro.
- ❖ Cables de conexión.
- ❖ Multímetro digital (opcional).

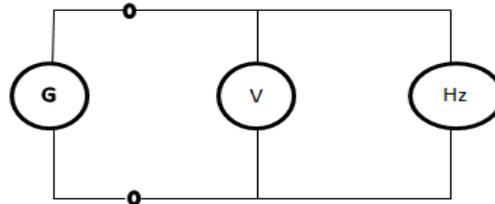
Procedimiento:

A. Ubíquese frente al generador e identifique sus partes constitutivas.

Nota: De ser necesario retire la tapa del generador.

B.

1. Conecte el cable del banco de pruebas a una toma trifásica y el enchufe a una toma monofásica para obtener el neutro.
2. Verifique que no existan objetos cerca del motor y generador para evitar accidentes.
3. Arme el siguiente circuito en el banco de pruebas, asegúrese que no exista energía eléctrica para evitar algún incidente (breaker apagado).



4. Accione el breaker trifásico localizado a la izquierda del tablero de control, con lo que deberán encenderse las tres lámparas indicando que existen las tres fases de alimentación.

Nota 1: Si una o más lámparas no se encienden apague el breaker y revise la conexión del banco de pruebas para evitar daños en el variador trifásico.

Nota 2: El variador trifásico puede trabajar con dos de las tres fases pero no por periodos largos de tiempo. Tome las debidas precauciones en este caso.

5. Programe el variador de frecuencia para una señal de 50Hz.

Nota: Si no sabe cómo programar esta frecuencia remítase al manual del usuario o a la práctica N°1.

6. Presione el interruptor RUN, espere que se estabilice el motor por unos treinta segundos y lea las lecturas del voltímetro y frecuencímetro. Comente el valor de estas lecturas (recuerde que es un generador auto-excitado).
7. Aumente la frecuencia del variador (velocidad del motor) hasta que de una lectura (en el voltímetro), anote dicha frecuencia.

8. Mida el voltaje y frecuencia que entrega el generador, si desea utilice un multímetro digital.

TABLA PRACTICA 2.1

F (variador)	S (motor)	V (gen.)	F (Gen.)

Nota: La velocidad del motor deberá ser calculado con la formula

$$S = \frac{120 * F}{P}$$

9. Aumente la frecuencia del variador y mida los valores de voltaje y frecuencia de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA PRACTICA 2.2

F (variador)	S (motor) calculado	V (gen.) medido	F (Gen.) medido
60Hz			
62 Hz			
64 Hz			
65 Hz			

10. Disminuya gradualmente la frecuencia del variador (velocidad del motor) hasta que el generador deje de trabajar (V=0). Anote este valor.

TABLA PRACTICA 2.3

F (variador)	S (motor)	V (gen.)

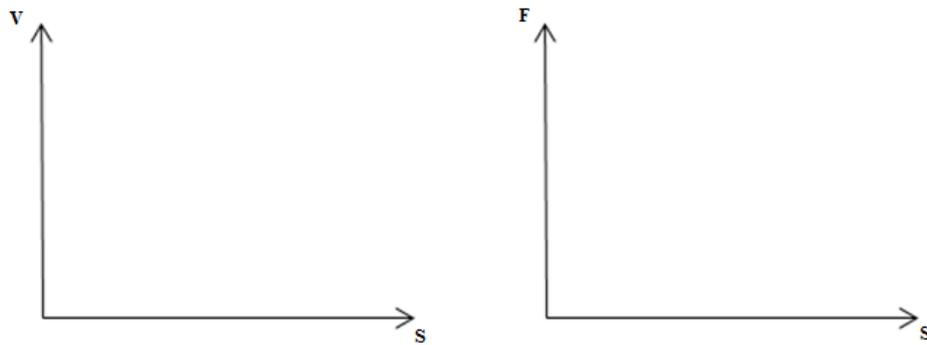
11. Compare la velocidad del punto 8 y 10 (velocidad a la que se encendió y apago el generador).
12. Apague el variador de velocidad con la tecla STOP.
13. Desenergice el banco de pruebas.
14. Desconecte el circuito de prueba y guarde los cables en su lugar.

Resumen:

- ❖ El voltaje inducido en un generador depende de la velocidad de giro de la maquina impulsadora.
- ❖ La frecuencia de un generador monofásico depende de la velocidad de giro de la maquina impulsadora.

Análisis y resultados:

- ❖ Calcule la velocidad de giro del motor, en base a la frecuencia que entrega el variador de velocidad, anótelos en la respectiva tabla.
- ❖ Realice grafico del voltaje en función de la velocidad con los datos obtenidos en el punto 9.



Cuestionario:

1. Que sucede con el voltaje del generador al aumentar la velocidad de giro de la maquina impulsadora (motor).
2. Que sucede con la frecuencia del generador al aumentar la velocidad de giro de la maquina impulsadora (motor).
3. porque razón a bajas velocidades el generador no trabaja.
4. Porque el generador deja de trabajar a una velocidad cuando se incrementa y otra cuando se decrementa la velocidad (histéresis).
5. Que sucederá si el motor (maquina impulsadora) gire en sentido contrario.

PRÁCTICA N°3

Tema: Funcionamiento del generador con carga.

Objetivo:

- ❖ Analizar el funcionamiento de un generador monofásico con carga.

Fundamento Teórico:

- ❖ Generador monofásico (curvas de carga).

Equipo y materiales:

- ❖ Banco de prueba.
- ❖ Variador de frecuencia
- ❖ Generador
- ❖ Motor.
- ❖ Frecuencímetro.
- ❖ Voltímetro.
- ❖ Amperímetro.
- ❖ Lámparas.
- ❖ Cables de conexión.
- ❖ Multímetro digital (opcional).

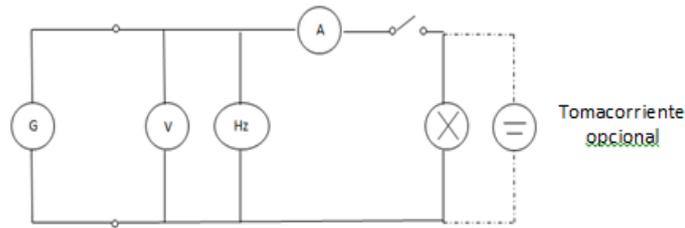
Procedimiento:

A. Ubíquese frente al generador e identifique sus partes constitutivas.

Nota: De ser necesario retire la tapa del generador.

B.

1. Conecte el cable del banco de pruebas a una toma trifásica y el enchufe a una toma monofásica para obtener el neutro.
2. Verifique que no existan objetos cerca del motor y generador para evitar accidentes.
3. Arme el siguiente circuito en el banco de pruebas, asegúrese que no exista energía eléctrica para evitar algún incidente (breaker apagado).



4. Programe el variador de frecuencia para una señal de 60Hz
Nota: Si no sabe cómo programar esta frecuencia remítase al manual del usuario o a la práctica N°1.
5. Después de unos treinta segundos, apague el interruptor que está conectado a la lámpara.
6. Varia la frecuencia del variador de velocidad hasta que el frecuencímetro que está conectado en el circuito de prueba del generador vibre la lámina de 60Hz. (aproximadamente 61,5Hz).
7. Mida el voltaje, corriente y frecuencia en vacío.

TABLA PRACTICA 3.1

V	I	F

8. Coloque una lámpara de 40w como carga, prenda el interruptor y mida voltaje corriente y frecuencia, de ser necesario utilice un multímetro digital anote en la tabla

TABLA PRACTICA 3.2

P	V	I medida	I calculada	F
40w	118			60Hz
60w	118			60Hz
100w	118			60Hz
150w	118			60Hz
200w	118			59Hz
250w	118			58Hz
300w	118			57Hz
655w	118			57Hz
1000w	118			55Hz

9. Apague el interruptor y cambien la lámpara por los valores de la tabla 3.2 encienda el interruptor y repita las mediciones para cada caso.

Nota1: Puede utilizar lámparas en paralelo para obtener el valor que pide la tabla.

Nota2: Las lámparas por lo general se calientan, tenga cuidado de sufrir quemaduras.

Nota3: En lugar de las lámparas puede utilizar otros elementos para producir carga como: plancha, calefactores, etc. Asegúrese de no sobrecargar el generador con corrientes superiores a 10 amperios (1200 w), para lo cual se encuentra instalado un breaker el cual se activara como protección.

10. Apague el variador de frecuencia con el botón STOP.

11. Apague el breaker.

12. Desconecte el circuito y guarde los cables, lámparas en su lugar.

Análisis y resultados:

- ❖ Con los valores de la potencia y voltaje calcule el valor de la corriente.

PRÁCTICA N°4

Tema: Operación del generador sincrónico monofásico.

Objetivos

- ❖ Aprender cómo se sincroniza un alternador monofásico al sistema de servicio eléctrico.
- ❖ Entender cómo puede alterarse el proceso de sincronización debido a una secuencia de fase inadecuada.

Fundamento Teórico

- ❖ Generador sincrónico monofásico

Instrumentos y Equipo

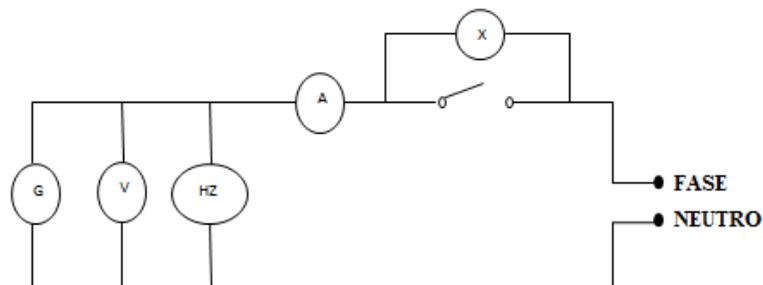
- ❖ Banco de pruebas
- ❖ Variador de frecuencia
- ❖ Motor trifásico
- ❖ Cables de conexión
- ❖ Lámpara de 60w

Procedimiento.

Advertencia: ¡En este Experimento de Laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!

12. Conecte el circuito que aparece en la Figura. Utilice una lámpara de 60w, conecte el punto marcado fase a cualquiera de las tres fases (RST) de la red eléctrica a la cual se desea sincronizar el alternador monofásico.

El interruptor debe estar abierto (off) antes de realizar el experimento.



13. Accione el breaker trifásico localizado a la izquierda del tablero de control, con lo que deberán encenderse las tres lámparas indicando que existen las tres fases de alimentación.

Nota 1: Si una o más lámparas no se encienden apague el breaker y revise la conexión del banco de pruebas para evitar daños en el variador trifásico.

Nota 2: El variador trifásico puede trabajar con dos de las tres fases pero no por periodos largos de tiempo. Tome las debidas precauciones en este caso.

14. El variador de velocidad deberá estar encendido indicándonos en la pantalla frontal un número, este número muestra la frecuencia de salida del variador.

15. Encienda el motor presionando el botón verde del variador (run), observe las lecturas del voltímetro frecuencímetro y el estado de la lámpara.

16. Varíe la frecuencia del variador según los pasos señalados anteriormente, comente sobre las lecturas del voltaje, frecuencia y el estado de la lámpara.

Nota: la luz de sincronización (lámpara de 60w) debe parpadear, encendiéndose y apagándose intermitentemente, lo que indica que no está en sincronía.

17. Varíe la frecuencia del variador hasta que la lámpara este apagada, lo que indica que el generador esta sincronizado a la fase de la red eléctrica.

Nota: cada vez que varíe la frecuencia del variador espere un tiempo hasta que el sistema se estabilice.

18. Cierre el interruptor de sincronización cuando la lámpara este apagada, y observe qué pasa con los instrumentos en el momento en que cierra el interruptor.

19. Abra el interruptor de sincronización.

20. Apague el motor (interruptor rojo del variador STOP)

21. Presione el interruptor **STOP** con lo que el motor deberá detenerse gradualmente.

Nota: En caso de una emergencia puede utilizarse el botón de paro de emergencia que se encuentra al lado izquierdo del tablero.

22. Desenergice el banco de pruebas con el respectivo breaker.

Cuestionario:

4. Qué condiciones se deben satisfacer para poder sincronizar un alternador a una línea de potencia trifásica existente.
5. Un alternador podría sufrir grandes daños mecánicos durante el proceso de sincronización con la línea de alimentación. En cuales 2 condiciones puede suceder eso.
6. Un alternador puede generar un voltaje diferente del de la línea de alimentación y puede no estar exactamente en fase con ella, pero debe satisfacer una condición para que pueda entregarle potencia. Cual es esta condición.