



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE**  
**POTENCIA**

**TEMA:**

MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA UTILIZACIÓN DEL MÓDULO MÁQUINA SINCRÓNICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE GUÍAS PRÁCTICAS EN EL PERIODO 2014

**Autores:**

Escobar Ortega Luis Francisco

Mayo Edison Gonzalo

**Director:**

Ing. Vicente Javier Quispe Toapanta

LATACUNGA – ECUADOR

NOVIEMBRE 2014





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

**Latacunga – Ecuador**

---


**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe 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: Luis Francisco Escobar Ortega y Edison Gonzalo Mayo Mayo, con la tesis, cuyo título es: MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA UTILIZACIÓN DEL MÓDULO MÁQUINA SINCRÓNICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE GUÍAS PRÁCTICAS EN EL PERIODO 2014 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, 20 de noviembre del 2014

Para constancia firman:

  
Lic. Susana Pallascó


PRESIDENTE

  
Ing. Xavier Proaño

OPOSITOR

  
Ing. Amibal Mullo

MIEMBRO

  
Ing. Vicente Quispe  
TUTOR (DIRECTOR)



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

**Latacunga – Ecuador**


---

**AUTORÍA**

Las ideas y opiniones emitidas en el presente proyecto de tesis “**MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA UTILIZACIÓN DEL MÓDULO DE MÁQUINA SINCRÓNICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE GUÍAS PRÁCTICAS EN EL PERIODO 2014**” son de nuestra y exclusiva responsabilidad y autoría.

El contenido del presente trabajo de investigación constituye propiedad de los autores.

El trabajo fue realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la ciudad de Latacunga por parte de los señores Luis Francisco Escobar Ortega y Edison Gonzalo Mayo Mayo, por lo tanto los autores asumen la responsabilidad de la misma.

  
Luis Francisco Escobar Ortega

**CI 0501622260**

  
Edison Gonzalo Mayo Mayo

**CI 0502129737**



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

**Latacunga – Ecuador**

---

**AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que los postulantes LUIS FRANCISCO ESCOBAR ORTEGA Y EDISON GONZALO MAYO MAYO, han desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL MÓDULO MÁQUINA SINCRÓNICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS DE ESTE MÓDULO EN EL PERÍODO 2014”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

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

Latacunga, 20 de noviembre de 2014

.....  
ING. VICENTE JAVIER QUISPE TOAPANTA

C.C. # 0502918014

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado

Le doy gracias a mis padres, por los valores que me supieron inculcar, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanas, cuñados, sobrinas, sobrinos por ser parte importante de mi vida, darme el apoyo para seguir adelante y representar la unidad de la familia les agradezco con todo mi corazón.

A mi Esposa e hijo por estar siempre a mi lado con su apoyo y comprensión muchas gracias

**Francisco**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia por el esfuerzo realizado por ellos. El apoyo en mis estudios, de ser así no hubiese sido posible. Gracias por el apoyo que me brindan, la alegría y la fortaleza que necesitaba para seguir adelante.

A mis maestros, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo

**Edison**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis de grado está dedicado a DIOS, por darme la vida a través de mis queridos PADRES quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores para poder desenvolverme como: ESPOSO, PADRE Y PROFESIONAL

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en mi vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi agradecimiento, PAPÁ Y MAMÁ los llevo en mi corazón.

Además esto se lo dedico a mi esposa Margoth y mi hijo Panchito que son lo más importante de mi vida

**Francisco**

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre (†), a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado, Mayarí. A mis hijos Gadiel, Emil y Leslie, ustedes han complementado mi existencia y mi felicidad. A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

**Edison**

# ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....   | i    |
| AUTORÍA.....   | ii   |
| AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS.....  | iii  |
| AGRADECIMIENTO .....   | iv   |
| DEDICATORIA .....  | vi   |
| ÍNDICE GENERAL.....  | viii |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....   | xi   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | xii  |
| RESUMEN.....   | xiii |
| ABSTRACT .....   | xiv  |
| AVAL DE TRADUCCIÓN .....   | xv   |
| INTRODUCCIÓN .....   | xvi  |
| CAPÍTULO I.....  | 1    |
| 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....  | 1    |
| 1.1. Antecedentes .....  | 1    |
| 1.1.1. Antecedentes de la Institución .....  | 1    |
| 1.1.2. Estudios Realizados .....   | 1    |
| 1.2. Planteamiento del Problema.....   | 2    |
| 1.2.1. Concepto .....  | 3    |
| 1.2.2. Ventajas .....  | 5    |
| 1.2.3. Construcción .....  | 5    |
| 1.2.4. Principio de Funcionamiento .....   | 7    |
| 1.2.5. Módulo de Máquina Sincrónica (Composición).....   | 8    |
| 1.3. Generador síncrono Trifásico Abierto & Características de corto Circuito<br>(opción 60 -070- SMC) .....                     | 10   |
| 1.4. Procedimientos de sincronización y funcionamiento del motor de una<br>máquina síncrona Trifásico (opción 60 -070- SMC)..... | 12   |
| 1.4.1. La máquina síncrona como generador y motor .....  | 12   |
| 1.5. Marco Conceptual .....  | 13   |
| CAPÍTULO II .....  | 17   |

|  |    |
|--|----|
| 2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 17 |
| 2.1. Descripción de la Institución Beneficiaria .....  | 17 |
| 2.1.1. Misión.....   | 17 |
| 2.1.2. Visión.....   | 18 |
| 2.1.3. Análisis de la Institución.....   | 18 |
| 2.2. Diseño Metodológico .....   | 19 |
| 2.2.1. Tipos de Investigación.....   | 19 |
| 2.2.2. Métodos de Investigación .....  | 19 |
| 2.2.3. Técnicas de Investigación.....  | 20 |
| 2.3. Instrumentos utilizados en esta Investigación .....   | 22 |
| 2.3.1. Unidad de Estudio.....  | 22 |
| 2.3.2. Criterio de selección muestral.....   | 23 |
| 2.4. Método de estudio .....   | 23 |
| 2.5. Técnicas e instrumentos .....   | 24 |
| 2.6. Resultados y análisis de la encuesta aplicada a los estudiantes de la<br>Universidad Técnica de Cotopaxi. ....  | 24 |
| 2.7. Análisis de encuestas dirigidas a los profesores de la carrera.....   | 31 |
| 2.8. Verificación de la hipótesis .....  | 40 |
| 2.8.1. Manifiesto de la hipótesis .....  | 40 |
| 2.8.2. Argumento .....   | 40 |
| 2.8.3. Decisión .....  | 41 |
| CAPÍTULO III.....  | 42 |
| 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....   | 42 |
| 3.1. Justificación.....  | 42 |
| 3.2. Objetivos .....   | 43 |
| 3.2.1. Objetivo General.....   | 43 |
| 3.2.2. Objetivos Específicos .....   | 43 |
| 3.3. Desarrollo de las Prácticas .....   | 44 |
| 3.4. Tema 1: Generador síncrono Trifásico Abierto & Características de corto<br>Circuito (opción 60 -070- SMC) ..... | 48 |
| 3.4.1. Práctica 1: Circuito Abierto .....  | 50 |
| 3.4.2. Práctica 2 - Característica de cortocircuito.....   | 56 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.3. Práctica 3: Efecto de la variación de la velocidad en la salida de voltaje y frecuencia.....                                    | 62  |
| 3.5. Tema 2: Procedimientos de sincronización y funcionamiento del motor de una máquina síncrona Trifásica (opción 60 -070- SMC) ..... | 67  |
| 3.5.1. Práctica 4: Sincronización de un generador síncrono trifásico.....  | 68  |
| 3.5.2. Práctica 5: Control del factor de potencia de un motor síncrono trifásico .....   | 78  |
| CONCLUSIONES .....   | 91  |
| RECOMENDACIONES.....   | 93  |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 94  |
| Bibliografía citada .....  | 94  |
| Sitios Web Consultados.....  | 94  |
| ANEXOS .....   | 96  |
| ANEXO 1 .....  | 97  |
| ANEXO 2 .....  | 100 |

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

## CAPITULO I

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1. 1: Motor Sincrónico y Campo Magnético Rotatorio ..... | 6  |
| Gráfico 1. 2: Cambio de Voltaje .....                            | 11 |

## CAPITULO II

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 2. 1 Resultado Pregunta 1 .....  | 25 |
| Gráfico 2. 2 Resultado Pregunta 2 .....  | 26 |
| Gráfico 2. 3 Resultado Pregunta 3 .....  | 27 |
| Gráfico 2. 4 Resultado Pregunta 4 .....  | 28 |
| Gráfico 2. 5 Resultado Pregunta 5 .....  | 29 |
| Gráfico 2. 6 Resultado Pregunta 6 .....  | 30 |
| Gráfico 2. 7 Resultados Pregunta 1 ..... | 31 |
| Gráfico 2. 8 Resultados Pregunta 2.....  | 32 |
| Gráfico 2. 9 Resultados Pregunta 3.....  | 33 |
| Gráfico 2. 10 Resultados Pregunta 4..... | 34 |
| Gráfico 2. 11 Resultados Pregunta 5..... | 35 |
| Gráfico 2. 12 Resultados Pregunta 6..... | 36 |
| Gráfico 2. 13 Resultados Pregunta 7..... | 37 |
| Gráfico 2. 14 Resultados Pregunta 8..... | 38 |
| Gráfico 2. 15 Resultados Pregunta 9..... | 39 |

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPITULO II

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2. 1 Muestra.....                | 22 |
| Tabla 2. 2 Resultados Pregunta 1 ..... | 25 |
| Tabla 2. 3 Resultados Pregunta 2.....  | 26 |
| Tabla 2. 4 Resultados Pregunta 3.....  | 27 |
| Tabla 2. 5 Resultados Pregunta 4.....  | 28 |
| Tabla 2. 6 Resultados Pregunta 5.....  | 29 |
| Tabla 2. 7 Resultados Pregunta 6.....  | 30 |
| Tabla 2. 8 Resultados Pregunta 1.....  | 31 |
| Tabla 2. 9 Resultados Pregunta 2.....  | 32 |
| Tabla 2. 10 Resultados Pregunta 3..... | 33 |
| Tabla 2. 11 Resultados Pregunta 4..... | 34 |
| Tabla 2. 12 Resultados Pregunta 5..... | 35 |
| Tabla 2. 13 Resultados Pregunta 6..... | 36 |
| Tabla 2. 14 Resultados Pregunta 7..... | 37 |
| Tabla 2. 15 Resultados Pregunta 8..... | 38 |
| Tabla 2. 16 Resultados Pregunta 9..... | 39 |

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación constituye la elaboración de las guías prácticas para el módulo de Máquina Sincrónica, mediante el cual se podrá complementar de mejor manera al proceso de enseñanza de los profesores de la Universidad Técnica de Cotopaxi a sus estudiantes. Además será un aporte a las carreras técnicas que reciben las asignaturas de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación. Ya que la elaboración de estas guías implica la utilización de una metodología que permita sistematizar de mejor manera el manejo de la máquina sincrónica, será necesaria la selección apropiada de herramientas y equipos, así como la interacción entre estudiante y docente.

Finalmente la presentación de las guías nos permite poner a disposición de los estudiantes una herramienta útil para la realización de las prácticas y fortalecimiento de su formación académica considerando que la educación a nivel mundial requiere de asignaturas prácticas que vayan de la mano de cátedras teóricas. En este punto y a lo largo de todo el documento, se detallan todas las prácticas que se pueden realizar con el Módulo implementado, además de enunciar los aspectos teóricos y prácticos más relevantes que beneficiarán tanto a estudiantes como a profesores.

Descriptores: MÁQUINA SINCRÓNICA, GUÍAS PRÁCTICAS, ENSEÑANZA, CIRCUITO ELÉCTRICO, TRANSFORMACIÓN

## **ABSTRACT**

This research project is the development of practice guidelines for the Synchronous Machine module, by which may better complement to the teaching of the professors of the Technical University of Cotopaxi their students. It will also be a contribution to technical careers that are the subjects of Electrical Machines and Generating Plant. Since the development of these guidelines involves the use of a methodology to better systematize the management of synchronous machine, the proper selection of tools and equipment, as well as the interaction between student and teacher is necessary.

Finally the presentation of the guides allows us to offer students a useful tool for conducting practices and strengthen their academic training whereas education worldwide requires practical subjects that go hand in hand with theoretical lectures. Here and throughout the paper, all practices that can be done with implemented module. In addition to state the most relevant theoretical and practical aspects that will benefit both students and teachers.

Descriptors: SYNCHRONOUS MACHINE, PRACTICAL GUIDES, ELECTRIC CIRCUIT, TRANSFORMATION



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

---

**AVAL DE TRADUCCIÓN**

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas : LUIS FRANCISCO ESCOBAR ORTEGA Y EDISON GONZALO MAYO MAYO cuyo título versa **“MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL MÓDULO MÁQUINA SINCRÓNICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS DE ESTE MÓDULO EN EL PERÍODO 2014”**, lo realizó bajo mi supervisión y se encuentra correctamente traducido bajo la estructura del idioma inglés.

Los interesados pueden hacer uso de este certificado como mejor convenga a sus intereses.

Latacunga, 20 de noviembre de 2014

Atentamente.

Lic. M.Sc. Lorena Gonzales Ortiz

DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

C.I. 1002377271

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la tecnología ha crecido notablemente, en este sentido, la industria eléctrica y electrónica en la actualidad ven la necesidad de profesionales altamente capacitados para brindar servicios de calidad. Sin lugar a dudas este es un requerimiento cada vez más extensivo a las profesiones denominadas de alguna manera como técnicas o prácticas.

En el Ecuador hasta el año 2005 las materias prácticas ocupaban apenas un 20% del total de la malla curricular (Hurtado, 2005). Sin embargo, a partir del gobierno de Rafael Correa (2007) esto ha cambiado. Según la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT 2014) las materias prácticas dictadas en las universidades han crecido en un 120%, alcanzando un 44% del total de las mallas curriculares a nivel nacional.

La Universidad Técnica de Cotopaxi no es la excepción, esta ha crecido y se ha diversificado al punto de adoptar entre sus facultades a cátedras como Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electromecánica; lo que ha desembocado en el desarrollo de laboratorios técnicos especializados que sean capaces de cubrir las deficiencias y despejar las inquietudes acerca del funcionamiento y comportamiento de los diferentes sistemas eléctricos de forma práctica. En este punto la implementación de un módulo práctico de máquina sincrónica se hace indispensable para fortalecer el conocimiento adquirido teóricamente acerca de estas máquinas eléctricas rotativas que ocupan un papel principal en las actividades productivas en todo el mundo. Por esta razón, el factor tecnológico ha influenciado en el alto crecimiento de la producción de bienes y servicios para la sociedad.

Esta investigación se halla distribuida de la siguiente manera:

CAPÍTULO I: Se establecen los fundamentos teóricos acerca de la máquina sincrónica, su definición, sus componentes y sus tipos.

CAPÍTULO II: Contiene información de la entidad beneficiada así como el análisis e interpretación de los resultados de la encuesta realizada a los Docentes y alumnos de las Carreras de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

CAPÍTULO III. Abarca el diseño de la guía con cada una de las prácticas del módulo de máquina Sincrónica, así como las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el transcurso de la investigación. Además se añade un apartado bibliografía así como de anexos.

# CAPÍTULO I

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1. Antecedentes

#### *1.1.1. Antecedentes de la Institución*

La Universidad Técnica de Cotopaxi orienta sus esfuerzos hacia la búsqueda de mayores niveles de calidad, pertinencia y cooperación nacional e internacional, tratando de lograr niveles adecuados de eficiencia, eficacia y efectividad en su gestión, se distingue de otras instituciones de Educación Superior de la Provincia al ser una universidad alternativa vinculada fuertemente al pueblo en todas sus actividades.

#### *1.1.2. Estudios Realizados*

Por su riqueza como material de práctica para la carrera de ingeniería eléctrica, la máquina sincrónica ha sido objeto de estudio en diversos institutos superiores. A nivel nacional podemos señalar los estudios realizados en la Escuela Politécnica Nacional. En primer lugar (y desde un orden cronológico), el trabajo desarrollado por (Argüello Ríos, 1974) donde se realiza el desarrollo teórico de la máquina sincrónica como introducción a su análisis la manera de medir inductancias en la máquina sincrónica con el uso de amplificadores operacionales. Se realizan pruebas para la determinación de los parámetros con el rotor detenido.

Finalmente, y al igual que Poveda & Núñez (2007) determinan coincidencias con resultados obtenidos mediante la utilización de



métodos tradicionales. Sin embargo, el aporte del estudio de 2007 es que presentan un modelo matemático de la máquina sincrónica en las coordenadas de referencia que giran con el rotor. El modelo presentado aquí es válido para ser implementado en el computador analógico o digital. Se implementa el modelo en el computador digital y los resultados obtenidos de la simulación digital se contrastan con resultados experimentales, lográndose una comparación satisfactoria (Poveda Almeida & Núñez Villacrés, 2007).

Otro trabajo que es necesario señalar es el de (Rivera Argoti & Poveda Almeida, 1987) donde se busca representar la máquina sincrónica con todos sus parámetros, incluyéndose dentro de la modelación al Sistema de Excitación. Se utiliza un sistema eléctrico compuesto de una máquina sincrónica conectada a una barra infinita a través de un transformador y una línea de transmisión y los respectivos sistemas de excitación. Para cumplir con lo expuesto se realiza la modelación de la máquina sincrónica, se da una explicación general de cómo están conformados los distintos tipos de sistemas de excitación con sus reguladores de voltaje y cuál es la función que desempeña cada una de las partes constitutivas de los mismos. Se hace un análisis de los sistemas de excitación de corriente continua los mismos que utilizan un generador DC como fuente de excitación de la máquina. Se describe los sistemas de excitación de corriente alterna, los que están formados por un alternador y un rectificador estático o rotativo. Analiza los sistemas de excitación estáticos, cuyo voltaje de excitación para el generador sincrónico se obtiene a través de transformadores y rectificadores.

Para probar la bondad del modelo matemático se realiza una prueba de funcionamiento en estado estable; además se analiza el comportamiento de los sistemas de excitación y del sistema en general en estado transitorio ante cambios repentinos de carga (Rivera Argoti & Poveda Almeida, 1987).

## **1.2. Planteamiento del Problema**

Debido al crecimiento que está experimentando, la Universidad Técnica de Cotopaxi, la cual se ha convertido en pilar fundamental para la educación superior en el centro del país; la alta demanda de estudiantes y los cambios tecnológicos; han generado la necesidad de modificar e innovar el laboratorio de máquinas eléctricas.

La institución educativa cuenta con el espacio físico que incluyen laboratorios en cada una de las especialidades, sin embargo dentro del laboratorio de máquinas eléctricas, es necesario incrementar un nuevo módulo de máquina rotativa (máquina sincrónica) debido al cambio e innovación de tecnología dentro de las industrias.

Esto, a simple vista puede ser identificado como un problema con repercusión para los estudiantes, sin embargo el inconveniente va más allá. Los profesores también experimentan una divergencia al no poder transmitir sus conocimientos capturados a través de su vasta experiencia. Quizá los libros, las tareas y las lecciones no han sido suficientes; ahora es necesario el proceso de práctica exigente para el cumplimiento catedrático.

La implementación de un nuevo módulo de máquina eléctrica rotativa (máquina sincrónica) es una herramienta para mejorar el desempeño y conocimiento en materia práctica, lo que favorecerá a los estudiantes y a la Universidad. Los estudiantes que reciben la cátedra de máquinas eléctricas, deben combinar lo aprendido en las aulas con el desarrollo práctico. El manejo del módulo de máquinas sincrónicas ayudará a despejar dudas acerca del fundamento teórico, su funcionamiento y control.

### ***1.2.1. Concepto***

Una máquina síncrona es una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna que convierte energía eléctrica en energía mecánica, siendo en este caso utilizada como motor síncrono, o bien convierte energía mecánica en energía eléctrica, siendo en este caso utilizada como generador síncrono, o sin carga como compensador sincrónico (Nasar & Unnewehr, 1982). Las máquinas sincrónicas se utilizan en mayor medida como generadores de corriente alterna que como motores de corriente alterna, ya que no presentan par de arranque y hay que emplear diferentes métodos de arranque y aceleración hasta la velocidad de sincronismo. También se utilizan para controlar la potencia reactiva de la red por su capacidad para, manteniendo la potencia activa desarrollada constante, variar la potencia reactiva

que absorbe o cede a la red (Fitzgerald, Kingsley, & Umans, 2003)

El motor sincrónico es una máquina doblemente excitada, una excitación de ca para el estator y una excitación de cc para el rotor. Debido a la posibilidad de variación de excitación, el motor sincrónico de ca posee una característica que no tienen ningún otro tipo de motor de ca el factor de potencia al cual funciona puede hacerse variar a voluntad. (Cadena Quimbita, 1998)

Las máquinas sincrónicas están entre los tres tipos más comunes de las máquinas eléctricas; se llaman así porque trabajan a velocidad constante y frecuencia constante en condiciones de operación estacionarias. Como la mayoría de las máquinas giratorias, una máquina sincrónica es capaz de trabajar como motor o como generador (Nasar & Unnewehr, 1982).

La operación de un generador sincrónico se basa en la ley de Faraday de inducción electromagnética y un generador sincrónico trabaja de manera muy semejante a un generador de corriente continua, en el que la generación de FEM se logra por medio del movimiento relativo entre conductores y un flujo magnético. Sin embargo, un generador sincrónico no tiene un conmutador como el generador de corriente continua (Fitzgerald, Kingsley, & Umans, Máquinas Eléctricas, 2003).

Las dos partes básicas de una máquina sincrónica son estructura del campo magnético, que lleva un devanado excitado por corriente continua y la armadura. La armadura tiene con frecuencia un devanado trifásico en el que se genera la FEM de corriente alterna. Casi todas las máquinas sincrónicas modernas tienen armaduras estacionarias y estructuras de campo giratorias. El devanado de corriente continua sobre la estructura giratoria del campo se conecta una fuente externa por medio de anillos deslizantes y escobillas. Algunas estructuras de campo no tienen escobillas, sino que tienen una excitación sin escobillas por medio de diodos giratorios. En algunos aspectos, el estator que lleva los devanados de armadura es semejante al estator de un motor de inducción polifásico (Ponce Cruz & Sampé López, 2008).

Además de los devanados de armadura y de campo, una máquina sincrónica tiene barras amortiguadas en el rotor. Éstas operan durante los transitorios y en el arranque. Dependiendo de la construcción del rotor, una máquina sincrónica puede ser ya sea del tipo de rotor liso o bien del tipo de polos salientes. El primer tipo se usan en máquinas de alta velocidad tales como los

generadores de turbina mientras que el segundo tipo es adecuado para generadores de baja velocidad en generadores hidráulicos (Nasar & Unnewehr, 1982)

El motor sincrónico inherente no arranca por sí solo, Debe llevarse a su funcionamiento mediante medios auxiliares y luego debe conectarse a la línea. Otra característica de los motores sincrónicos es su susceptibilidad a las oscilaciones. El uso de devanados amortiguadores en estructura de los Rotores ha terminado con ese problema, y al mismo tiempo ha hecho posible que el motor sincrónico pueda arrancar por sí mismo como motor de inducción (Cadena Quimbita, 1998).

### ***1.2.2. Ventajas***

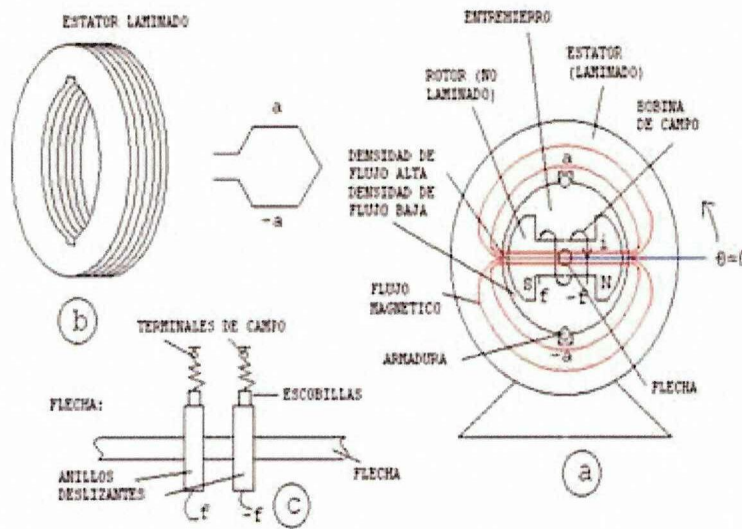
Los motores sincrónicos presentan las siguientes ventajas sobre los motores de inducción:

- Los motores sincrónicos pueden usarse para la corrección del factor de potencia, además de suministrar par para accionar cargas.
- Son de mayor rendimiento que los motores de inducción de las correspondientes potencias y tensiones nominales.
- Los motores de los polos de excitación de los motores sincrónicos permiten el uso de entre hierros más anchos que los correspondientes al tipo de jaula de ardilla usados en motores de inducción, exigiendo menos tolerancia te cojinetes y permitiendo un mayor desgaste de cojinetes.
- Son de menor costo a igualdad de potencia velocidad y tensión nominal.

### ***1.2.3. Construcción***

El bobinado estatórico es similar al bobinado de cualquiera de los motores. El rotor es generalmente de polos salientes, excepto en los tipos de velocidad muy elevada. Para eliminar oscilaciones y desarrollar el par de arranque necesario cuando se aplica una tensión de ca al estator, los polos del rotor contienen conductores en la cara del polo, que están cortocircuitados en sus extremos (Nasar & Unnewehr, 1982).

**Gráfico 1. 1:** Motor Sincrónico y Campo Magnético Rotatorio



**Fuente:** <http://www.plusformacion.com/Recursos/r/Operacion-Paralelo-Generadores-Sincronos>

### 1.2.3.1. Estator.-

El estator, o parte estática, de una máquina síncrona es similar al de una máquina asíncrona. Contiene un devanado trifásico de corriente alterna denominada devanada inducida y un circuito magnético formado por apilamiento de chapas magnéticas (Nasar & Unnewehr, 1982).

El campo magnético presente en el estator de una máquina síncrona gira con una velocidad constante (Ponce Cruz & Sampé López, 2008).

La velocidad de giro en régimen permanente está ligada con la frecuencia de la tensión en bornes y el número de pares de polos.

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Donde:

- $f$ : Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)
- $P$ : Número de pares de polos que tiene la máquina
- $p$ : Número de polos que tiene la máquina

- $n$ : Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

### ***1.2.3.2. Rotor***

El rotor, o parte rotativa, de una máquina síncrona es bastante diferente al de una máquina asíncrona. Contiene un devanado de corriente continua denominado devanado de campo y un devanado en cortocircuito, que impide el funcionamiento de la máquina a una velocidad distinta a la de sincronismo, denominado devanado amortiguador (Fitzgerald, Kingsley, & Umans, Máquinas Eléctricas, 2003).

Además, contiene un circuito magnético formado por apilamiento de chapas magnéticas de menor espesor que las del estator (Ponce Cruz & Sampé López, 2008).

Según (Kosow, 1993), el resto de las características del rotor están relacionadas con el objetivo de obtener un campo entre el rotor y el estator de carácter senoidal y dependen del tipo de máquina síncrona:

- **Máquina de polos salientes:** El rotor presenta expansiones polares que dan lugar a un entrehierro variable.
- **Máquina de rotor liso:** El devanado de campo está distribuido en varias bobinas situadas en diferentes ángulos.

## ***1.2.4. Principio de Funcionamiento***

### ***1.2.4.1. 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 (Ponce Cruz & Sampé López, 2008).

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 estático (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.

#### ***1.2.4.2. 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 (Kosow, 1993)

La interacción entre los campos creados por ambas corrientes mantiene el giro del rotor a la velocidad de sincronismo.

### ***1.2.5. Módulo de Máquina Síncrona (Composición)***

#### ***1.2.5.1. Fuente de alimentación universal 60-105***

Las fuentes de alimentación de la serie 60-070 son proporcionados por una fuente de alimentación universal 60-105. La fuente de alimentación está diseñado para ser montado entre los dos carriles estrechos de la trama en la más baja área de la trama.

La fuente de alimentación universal 60-105 recibe una entrada trifásica de la red eléctrica y la entrada de conexiones están muy arraigadas en la parte trasera de la unidad. Después de ser conectado a la unidad 60-105, la alimentación está protegida a través de un interruptor de circuito trifásico que cuando se cierra proporciona energía, salidas de corriente alterna fijos y salidas de corriente continua variables y fijos (se indica por un LED indicador de color verde "Power on"). Un botón de "apagado de emergencia" es siempre lo que permite a un operador eliminar todas las salidas de alimentación desde el panel y otras unidades de suministro de la misma. El suministro salidas pueden ser restablecidos por la liberación de la 'energía de emergencia off' (girar en sentido horario para liberación)

y restablecer los interruptores de palanca en el interruptor de circuito de una posición.

#### ***1.2.5.2. Torque y panel de control de velocidad***

El panel de control de Par y velocidad junto con el motor trifásico y el variador de frecuencia, en Modo de par proporciona un sistema para la aplicación de cargas a un motor, permitiendo medir parámetros para determinar el rendimiento del motor. En el modo de velocidad del panel permite un generador para ser llevado a una velocidad deseada, permitiendo que los parámetros de rendimiento del generador puedan medirse.

#### ***1.2.5.3. Equipos que se Requirieron***

- Power Universal Suministro 60-105.
- Motor/Generador Síncrono Trifásico– rotor partido 64-510
- Panel de control de Torque & Velocidad
- Máquina Trifásica
- Poleas y Bandas para acople
- Estructura del sistema Marco 91-200
- Set estándar de cables 68-800
- Instrumentación Convencional
- Voltímetro y Amperímetro

### 1.3. Generador síncrono Trifásico Abierto & Características de corto Circuito (opción 60 -070- SMC)

Las máquinas síncronas se construyen con bobinas de la armadura estacionaria y polos giratorios. El rotor o devanado de campo suelen estar energizados por una fuente externa.

La forma de onda de la FEM generada en un generador síncrono se somete a un ciclo completo cuando el conductor se mueve más allá de un par de polos. Por tanto, para una máquina con P polos la frecuencia de la alimentación generada es directamente proporcional a la velocidad de la máquina.

La frecuencia de la tensión generada está dada por:

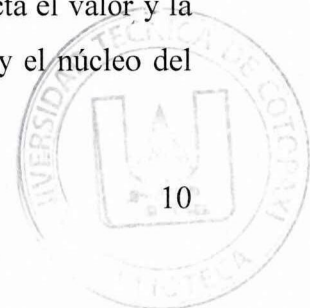
$$f = \frac{pN}{60} \quad \text{Eq1}$$

Donde p es el número de pares de polos (el 64-510 es una máquina de dos polos, por lo tanto, p = 1)

N es la velocidad del eje en rpm

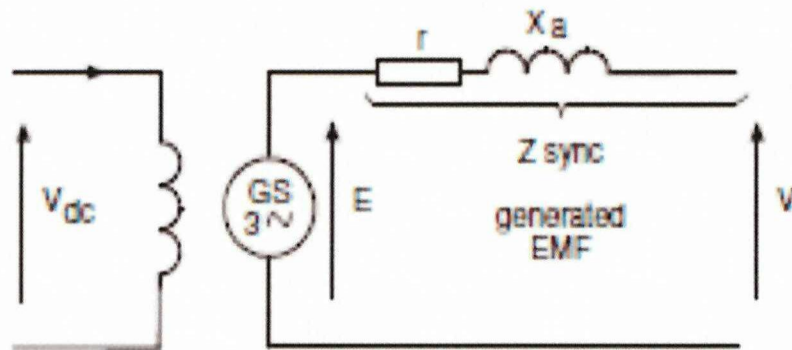
El flujo debido a la FMM del rotor está considerado como la generación de un FEM debido a la rotación de los polos. El flujo debido a la FMM del estator es considerado como la generación de un FEM que se retrasa a la corriente del estator.

Corrientes trifásicas balanceadas en un trifásico produce una fuerza magnética resultante de magnitud constante que gira a una velocidad constante de bobinado. El flujo resultante total es una combinación de flujo del estator y el flujo del rotor. Cuando el generador se carga la corriente en el devanado del estator produce un efecto magnético conocido como la reacción de armadura que afecta el valor y la distribución del flujo magnético en el entrehierro entre los polos y el núcleo del estator.



El cambio en el voltaje terminal de lo que se produce entre vacío y plena carga para una corriente de velocidad y campo constante se llama regulación de voltaje. El Gráfico 1.2 muestra el circuito equivalente de una máquina síncrona.

**Gráfico 1. 2:** Cambio de Voltaje



Fuente: Kosow (1993)

Donde  $R$  es la resistencia inherente del devanado, y  $X_a$  es la reactancia equivalente a la reacción de inducido, conocida como la reactancia sincrónica.

Con el fin de calcular de manera efectiva la tensión de salida del generador es necesario medir el valor de la reactancia de la reacción de inducido. Esto se logra mediante el examen de las características de circuito abierto y cerrado del generador.

La característica de circuito abierto se relaciona la tensión en los bornes de la cantidad de campo de excitación. El valor de la tensión de circuito abierto es el valor de la FEM inducida.

La característica de circuito cerrado relaciona la reacción de la armadura a la excitación del campo. Se supone que el valor de la FEM inducida es la misma que la medida por la característica de circuito abierto para la misma velocidad y corriente de campo. Por lo tanto la corriente de cortocircuito se puede medir.

Por lo tanto el valor de la impedancia sincrónica  $Z_{sync} = \sqrt{r^2 + x_a^2}$  se puede calcular.

$$Z_{sync} = \frac{\text{Circuito abierto FEM}}{\text{corriente de corto circuito}} \quad \text{Eq2}$$

#### **1.4. Procedimientos de sincronización y funcionamiento del motor de una máquina síncrona Trifásico (opción 60 -070- SMC)**

Cuando un generador síncrono AC está conectado en paralelo con un suministro que puede ser usado para demostrar las características de un gran generador conectado a las barras de bus de un sistema de energía. Con el fin de ejecutar un generador en paralelo con un suministro es necesario sincronizar el generador el suministro. De ahí que las siguientes condiciones deben cumplirse.

- La FEM generada debe ser la misma que la de la alimentación.
- La frecuencia de la FEM generada debe ser la misma que la de la alimentación.
- La FEM generada debe estar en fase con el suministro.

##### ***1.4.1. La máquina síncrona como generador y motor***

Si la velocidad de un generador síncrono se aumenta o disminuye, a la corriente de excitación constante, en consecuencia el lazo de tensión de salida de corriente alterna y frecuencia aumentará o disminuirá.

Para ejecutar la máquina como un motor síncrono, primero es necesario ejecutarlo como un generador. La velocidad debe ajustarse para que sea la misma que la frecuencia de alimentación ("sincronización") usando un instrumento tal como las lámparas de sincronización 68-120. A continuación, la corriente de excitación de corriente continua debe estar en su valor nominal, por lo que cuando se ejecuta como un motor haya suficiente intensidad de campo para que el motor

pueda desarrollar el par adecuado. Cuando las operaciones anteriores se han llevado a cabo el suministro a la máquina es conmutada, mientras que al mismo tiempo el suministro al motor de accionamiento de la máquina se reduce a cero. La máquina ya está funcionando como un motor, sincronizado con el suministro.

## 1.5. Marco Conceptual

El siguiente marco conceptual es tomado del texto de Kosow (1993) Máquinas eléctricas y transformadores.

- **Acción desmagnetizante.-** Efecto de la reacción de armadura que reduce el flujo mutuo en el entrehierro.
- **Acción magnetizante.-** Cualquier efecto que produce flujo adicional para ayudar o aumentar el flujo mutuo de entrehierro.
- **Ángulo de par.-** Ángulo de adelanto o retraso en grados eléctricos, entre el centro del polo del rotor y el centro de un polo opuesto en el estado de una máquina sincrónica. Cuando el ángulo del par es positivo la máquina está en el modo generador. Cuando el ángulo del par es negativo o menor que cero la máquina está en el modo motor.
- **Bajoexcitación.-** Véase subexcitación.
- **Cambiador de frecuencia.-** Conjunto motor-generador cuya entrada al motor opera en la frecuencia de línea y cuya salida da una frecuencia mayor o menor que la anterior.
- **Capacitador sincrónico.-** Motor sincrónico que trabaja sin carga mecánica y que suministra potencia absorbe potencia reactiva en adelanto.
- **Corrección del factor de potencia.-** Diversos modos de mejorar o elevar el FP empleando dispositivos conectados con la línea, en paralelo con las cargas existentes, para tomar corrientes en adelanto de dichas líneas.
- **Cuadrícula de tabulación de potencia.-** Tabla que muestra los componentes horizontales y verticales de la potencia compleja respectivamente para las condiciones de carga original agregada y final así como el factor de potencia de cada una.

- **Curvas V.-** Familia de curvas para un motor sincrónico demuestran la relación entre la corriente de armadura y la de campo para valores constantes de cargas con FP en adelante en atraso y unidad.
- **Devanados amortiguadores.-** Conductores en corto circuito permanente embebidos en las caras polares de un motor sincrónico.
- **Excitación normal.-** Caso en el cual el voltaje generado de excitación y el voltaje de fase en la barra de distribución son de magnitud aproximadamente igual quien el que la corriente de fase que toma el motor está en fase con el voltaje de fase produciendo un estado de FP unidad.
- **Factor de potencia.-** Relación de watts totales a volts -amperes totales (rms)  
**Factor de potencia en adelanto del motor.-** Corriente de fase de la armadura de un motor que está adelantada con respecto al voltaje como resultado de la carga y de la sobreexcitación del campo.
- **Factor de potencia en atraso del motor.-** Corriente de fase de la armadura de un motor que está retrasada con respecto al voltaje como resultado de la carga y la subexcitación del campo.
- **Motor de histéresis.-** Motor sincrónico monofásico de inducción o de polo sombreado te lleva a sincronismo y a la marcha normal mediante par de histéresis.
- **Motor de reluctancia.-** Motor monofásico sincrónico de inducción de polos salientes que arranca y llega la velocidad sincrónica como motor de inducción pero que entran sincronismo como resultado del par de reluctancia.
- **Motor sincrónico.-** Dínamo sincrónica que tienen los polos de campo excitados con cd para transformar energía eléctrica en mecánica y cuya velocidad media es exactamente proporcional a la frecuencia del suministro de corriente eléctrica.
- **Motor sincrónico de inducción.-** Motor que arranca y llega su velocidad como motor de inducción, pero que entra en sincronismo como resultado del parte reclutase una vez en sincronismo trabaja a velocidad constante como motor sincrónico.

- **Motor sincrónico sin escobillas.-** Motor sincrónico polifásico o monofásico que no necesita de suministro externo de cd para su devanado de campo en el rotor.
- **Motor sub sincrónico.-** Un tipo de motor de histéresis con rotor multipolar que según sea la carga aplicada trabaja a diversos sus múltiplos de la velocidad sincrónica en el par de histéresis.
- **Motor súper sincrónico.-** Motor sincrónico que tiene rotor simplex capaz de arrancar y trabajar al par máximo del motor sincrónico.
- **Par de histéresis.-** Par que se produce por la magnetización del rotor de un motor de histéresis como resultado de Corrientes para citas inducidas en el rotor.
- **Par de reluctancia.-** Par desarrollado por los motores sincrónicos de polos salientes o sincrónicos de inducción que se debe a variaciones en el entrehierro producidas por la reacción de armadura.
- **Par sincrónico.-** Par que se desarrolla en un motor sincrónico dado como función de excitación del campo y del seno del ángulo del par o la carga mecánica sobre el eje del motor.
- **Polo no saliente.-** Polo de campo en un rotor que no se proyecta de la superficie de éste.
- **Polo saliente.-** Polo de campo que se proyecta del yugo o cubo hacia el núcleo devanado de armadura.
- **Potencia compleja.-** Producto fasorial del voltaje y la corriente conjugada en una impedancia trata de un circuito de CA. Se usa la potencia compleja para que los triángulos de impedancia y de potencia sean semejantes con la relación ( $I^2$ ).
- **Reactor sincrónico.-** Capacitor sincrónico cuya excitación se controla automáticamente para mantener una caída por impedancia mínima y constante, en las líneas de transmisión, A fin de tener un voltaje constante en la carga, independiente de las variaciones en la corriente y en el factor de potencia de la carga.
- **Rotor con devanados amortiguadores de fase.-** (véase rotor simplex).

- **Rotor simplex.-** Construcción especial del rotor de un motor sincrónico que emplea cinco anillos rosantes para un rotor trifásico devanado y un devanado de campo de cd, que se usa en el motor súper síncrono.
- **SCR.-** Siglas de las palabras inglesas que denomina al rectificador controlado de silicio (véase tiristor).
- **Sobreexcitación.-** Caso en el que el voltaje generado de excitación es mayor que el voltaje de fase y en el que la corriente de armadura precede al voltaje de fase produciendo un estado de FP en adelanto.
- **Subexcitación.-** Caso en el que el voltaje generado de excitación es menor que el voltaje de fase en un motor sincrónico y en el que la corriente de armadura está retrasada con respecto al voltaje de fase produciendo una condición de FP en retraso.
- **Teorema de Tellegen.-** Para cualquier circuito o sistema dados, que cumplan las leyes de corriente y de voltaje de Kirchhoff, la suma algebraica de todos los productos de corriente y voltaje de ramal, respectivamente es cero independientemente de la conexión del circuito.
- **Tiristor.-** Un dispositivo semiconductor biestable que tiene tres o más empalmes capaces de conmutar del estado de ENCENDIDO (ON) al de APAGADO (OFF) o viceversa. El rectificador controlado de silicio es un tipo de tiristor.
- **Velocidad Sincrónica.-** Velocidad de rotación del flujo magnético que se produce en enlazando el devanado primario y el que varía en proporción a la frecuencia para una dinámica dada.

## **CAPÍTULO II**

### **2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. Descripción de la Institución Beneficiaria**

La Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) fue creada el 24 de enero de 1995. En primera instancia, funcionó en el local de la UNE-C. Luego, se utilizaron las instalaciones del colegio Luis Fernando Ruiz para posteriormente ubicarse en el Instituto Agropecuario Simón Rodríguez. Finalmente, la U.T.C. se instaló propiedad propia. En la actualidad el prestigioso centro de educación Superior se compone del campus de cinco hectáreas de extensión ubicado en el sector San Felipe y el Centro de Experimentación, Investigación y Producción Salache de 82 hectáreas de extensión.

##### ***2.1.1. Misión***

La Universidad "Técnica de Cotopaxi", es pionera en desarrollar una educación para la emancipación; forma profesionales humanistas y de calidad; con elevado nivel académico, científico y tecnológico; sobre la base de principios de solidaridad, justicia, equidad y libertad, genera y difunde el conocimiento, la ciencia, el arte y la cultura a través de la investigación científica; y se vincula con la sociedad para contribuir a la transformación social-económica del país.

### ***2.1.2. Visión***

En el año 2015 seremos una universidad acreditada y líder a nivel nacional en la formación integral de profesionales críticos, solidarios y comprometidos en el cambio social; en la ejecución de proyectos de investigación que aporten a la solución de los problemas de la región y del país, en un marco de alianzas estratégicas nacionales e internacionales; dotada de infraestructura física y tecnología moderna, de una planta docente y administrativa de excelencia; que mediante un sistema integral de gestión le permite garantizar la calidad de sus proyectos y alcanzar reconocimiento social.

### ***2.1.3. Análisis de la Institución***

La Universidad Técnica de Cotopaxi es un centro de educación superior de carácter público, laico y gratuito. Posee plena autonomía y desarrolla una educación liberadora en busca de una transformación social, que satisfaga las demandas de formación y superación profesional. En este sentido, apoya el avance científico-tecnológico de la sociedad desde el centro del país.

La U.T.C. pretende ser el centro generador de investigación, ciencia y tecnología del Ecuador. En este sentido emprende amplias actividades académicas de calidad y vinculación con la ciudadanía demostrando en cada paso características productivas que generen el foco de desarrollo de la sociedad.

Además, esta institución busca mejorar la capacitación profesional de sus alumnos. En tal virtud, la presente investigación se identifica como un claro ejemplo de este atributo institucional. La puesta en práctica de la teoría recibida en clases busca ser el refuerzo específico para que los profesores puedan transferir los conocimientos de Máquinas Sincrónicas a los estudiantes.

## **2.2. Diseño Metodológico**

### ***2.2.1. Tipos de Investigación***

Para el desarrollo del siguiente estudio se tomará en cuenta a los siguientes tipos de investigación:

**Aplicada.-** Esta basada sobre la aplicación inmediata y el desarrollo de la ciencia, es decir que está orientada a dar solución de problemas.

**De laboratorio.-** En esta investigación interactúan los sujetos y fenómenos, los cuales son controlados en forma directa y minuciosa por el investigador en el lugar previamente delimitado.

**De campo.-** Es cuando se realiza en el mismo lugar en que se presentan los acontecimientos, en forma directa con quien o quienes son los gestores del problema que se investiga.

### ***2.2.2. Métodos de Investigación***

Los métodos que se tomaron en cuenta para el desarrollo de la tesis se describen a continuación.

#### ***2.2.2.1. Método Científico o Experimental***

Es un proceso disciplinado por medio del cual llegamos al conocimiento, proceso técnico científico que busca descubrir las leyes que rigen la naturaleza, y el pensamiento satisfaciendo de esta manera diversas necesidades.

Puesto que éste proyecto está destinado a mejorar el nivel educativo, realizaremos las simulaciones y aplicaciones para determinar errores; para ello, se deberá seguir los siguientes procedimientos:

- Determinar la necesidad primordial del estudiante
- Formular el problema
- Plantear una hipótesis
- Recolectar datos
- Tomar decisiones

#### ***2.2.2.2. Método Descriptivo***

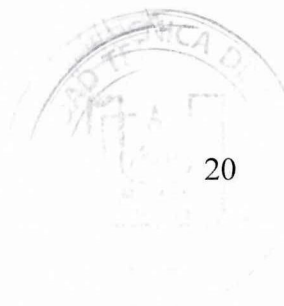
Este método permite describir una realidad concreta en su totalidad y adquirir un dominio cognoscitivo acerca del problema de investigación. De tal manera que, utilizando el método descriptivo se desarrollará un proceso heurístico completo. Partiendo de la definición del problema, la medición, la organización y el análisis hasta llegar a conclusiones y soluciones prácticas de valor y trascendencia científica o social.

#### ***2.2.2.3. Analítico – Sintético***

Para un adecuado uso de la información se hará uso de este método. Dicho método nos permitirá efectuar un análisis riguroso de las debilidades y fortalezas dentro de la carrera de ingeniería eléctrica. Esto nos permitirá a nosotros como postulantes planificar una estructura de soluciones que se ajustarán a las necesidades de las personas beneficiarias. Este método se utilizará durante el proceso del Capítulo II del presente trabajo académico sobre el análisis de interpretación de los resultados; esto claro, luego de haber realizado las entrevistas y encuestas respectivas.

### ***2.2.3. Técnicas de Investigación***

La presente investigación se llevará a cabo a través de la aplicación de técnicas las cuales serán:



### ***2.2.3.1. Lectura científica***

Esta es utilizada en el marco teórico. Esta técnica permitirá al investigador hacer una valoración de carácter científico de la información bibliográfica realizada mediante libros, revistas, catálogos, etc.

### ***2.2.3.2. Observación directa***

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso que se produce en sus condiciones naturales para su posterior análisis. La observación debe ser cuidadosa, exhaustiva y exacta a partir de la observación surge el planteamiento del problema que se va a estudiar. Esto lleva a emitir alguna hipótesis o suposición provisional de la que se intenta extraer una consecuencia.

### ***2.2.3.3. Encuesta***

Es la técnica destinada a obtener datos de varias personas cuyas opiniones son de gran ayuda para los postulantes que a través de un cuestionario adecuado nos permite recopilar datos de toda la población o de una parte representativa de ella. Se caracteriza porque la persona investigada llena el cuestionario sin intervención o supervisión del postulante.

### ***2.2.3.4. Entrevista***

Es una técnica que permite obtener datos que consiste en un diálogo entre dos personas. El entrevistador “postulante” y el entrevistado, se realiza con el fin de obtener información de parte de éste. En nuestro caso, será la autoridad de la institución.

## 2.3. Instrumentos utilizados en esta Investigación

Los instrumentos que se utilizaron para la adecuada realización de esta investigación fue:

**Encuesta:** Cuestionario

### 2.3.1. Unidad de Estudio

#### 2.3.1.1. Población o Universo

Para la presente investigación realizada en la Universidad Técnica de Cotopaxi particularmente en la carrera de ingeniería eléctrica, la población o universo involucrado fue la siguiente:

**Tabla 2. 1** Muestra

| <b>Sujetos de la investigación</b>                   | <b>No.</b> |
|--|------------|
| Coordinadores ingeniería eléctrica y electromecánica | 2          |
| Profesores de carrera                                | 7          |
| Estudiantes  | 99         |

**Fuente:** Universidad Técnica De Cotopaxi

**Elaborado por:** Autores

#### 2.3.1.2. Tamaño de la Muestra

De los estudiantes que forman parte de la carrera de ingeniería eléctrica debemos sacar una muestra ya que son un número considerable, para la cual ponemos a consideración la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{E^2 * (N - 1) + 1}$$

De dónde:

n= tamaño de la muestra

N=tamaño de la población

E= error máximo admisible al cuadrado

$$n = \frac{N}{E^2 * (N - 1) + 1}$$
$$n = \frac{99}{0.05^2 * (99 - 1) + 1}$$
$$n = 80$$

### ***2.3.2. Criterio de selección muestral***

Se realizará una encuesta de seis preguntas a 80 estudiantes de la carrera ya que es el número que refleja el pensar y sentir de todos los estudiantes de la carrera. Además se implementará una encuesta a la totalidad de los profesores pertenecientes a la carrera (7 profesores).

Este capítulo ha de continuar con el análisis de los datos obtenidos de las encuestas aplicadas tanto a los estudiantes como a los profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica a través de la herramienta computacional estadística SPSS. Con esto se pretende corroborar la necesidad de implementar un módulo de Máquina Sincrónica. Para tal efecto, se han utilizado los siguientes métodos e instrumentos:

### **2.4. Método de estudio**

Se realizó un estudio analítico y descriptivo con el objeto de establecer la necesidad de la implementación de un módulo de Máquinas Sincrónicas en la Universidad Técnica de Cotopaxi además de su guía de prácticas.

## **2.5. Técnicas e instrumentos**

El instrumento de investigación utilizado lo constituyó un cuestionario de 9 preguntas para profesores y de 6 preguntas para estudiantes. El banco de preguntas hecho se trata de un cuestionario enfocado la necesidad de contar con un módulo de Máquina Síncrona así como su necesidad de ser implementado en los laboratorios pertinentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi. A continuación se presentarán los resultados del trabajo de campo realizado.

## **2.6. Resultados y análisis de la encuesta aplicada a los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.**

A continuación se presenta los resultados de la encuesta realizada a 80 alumnos de la carrera de ingeniería Eléctrica. Este número de estudiantes es representativo con el que se trabajará en este capítulo.

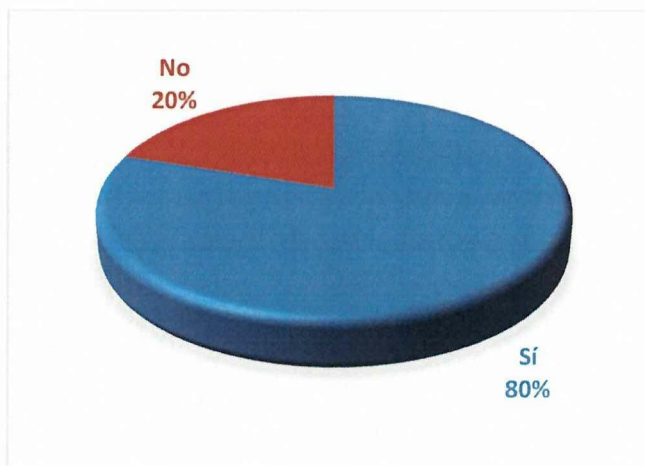
**Pregunta 1: ¿Cree Ud. que es necesario comprobar los conocimientos teóricos de la máquina Sincrónica?**

**Tabla 2. 2** Resultados Pregunta 1

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 64         | 80,0       |
| No    | 16         | 20,0       |
| Total | 80         | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 1** Resultado Pregunta 1



Fuente: Elaborado por los Autores

Esta pregunta avala de una manera rotunda la investigación hecha. La necesidad de la mayoría de los estudiantes se ve reflejada en la respuesta positiva de un 80% de los estudiantes creen necesario comprobar los conocimientos teóricos de la máquina sincrónica para estar capacitados de mejor manera.

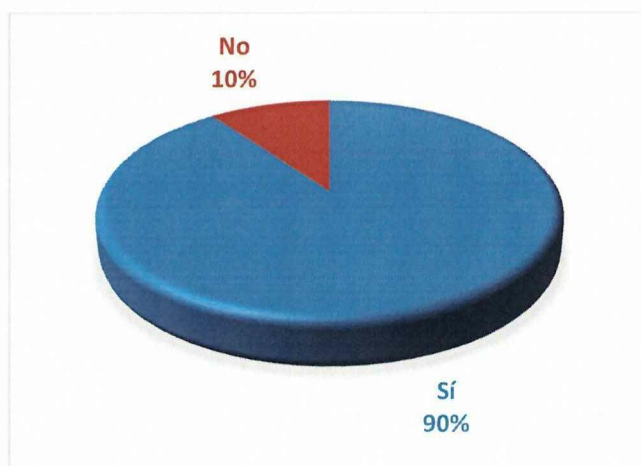
**Pregunta 2: ¿Cree Ud. que la realización de prácticas de laboratorio podrán fortalecer los conocimientos sobre de máquina Sincrónica?**

**Tabla 2. 3 Resultados Pregunta 2**

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 72         | 90,0       |
| No    | 8          | 10,0       |
| Total | 80         | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 2 Resultado Pregunta 2**



Fuente: Elaborado por los Autores

Esta pregunta, al igual o en mayor medida que la anterior avala la realización de esta investigación ya que el 90%, es decir 72 estudiantes consideran que la realización de prácticas fortalecerían los conocimientos teóricos adquiridos en clases ya que se convierte en una aplicación tácita de los mismos.

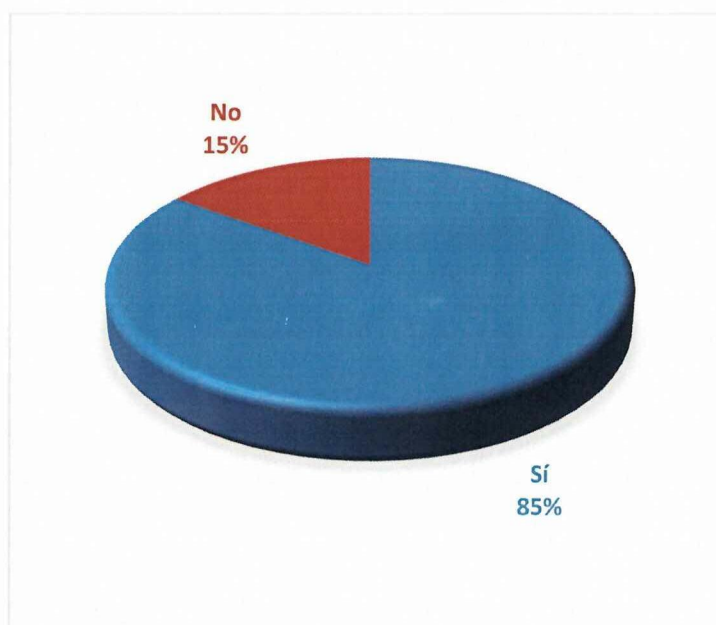
**Pregunta 3: ¿Cree Ud. que puede reforzar lo aprendido en las clases de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación con prácticas en un módulo de máquina Sincrónica?**

**Tabla 2. 4** Resultados Pregunta 3

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 68         | 85,0       |
| No    | 12         | 15,0       |
| Total | 80         | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 3** Resultado Pregunta 3



Fuente: Elaborado por los Autores

Al igual que la pregunta anterior, 68 estudiantes (85%) consideran que mediante la implementación de un módulo de Máquinas Sincrónicas se pueden reforzar lo aprendido en clases de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación, ya que analizarían el comportamiento de dicha máquina como generador y motor.

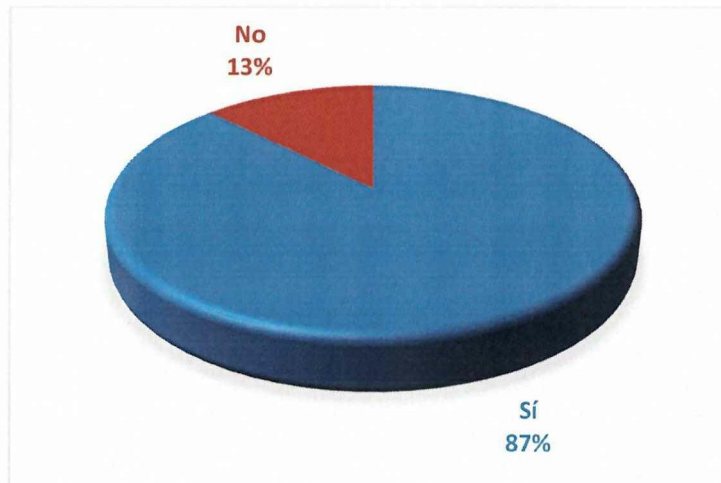
**Pregunta 4: ¿Cree Ud. que los docentes de las materias Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación fortalecerán los conocimientos mediante el uso de simuladores?**

**Tabla 2. 5** Resultados Pregunta 4

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 70         | 87,5       |
| No    | 10         | 12,5       |
| Total | 80         | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 4** Resultado Pregunta 4



Fuente: Elaborado por los Autores

La respuesta afirmativa a esta pregunta alcanza el porcentaje 87.5% de los estudiantes. Es decir que de manera mayoritaria, los estudiantes consideran que mediante la implementación de un módulo de Máquina Sincrónica fortalecería la acción del profesor al impartir conocimiento a sus alumnos.

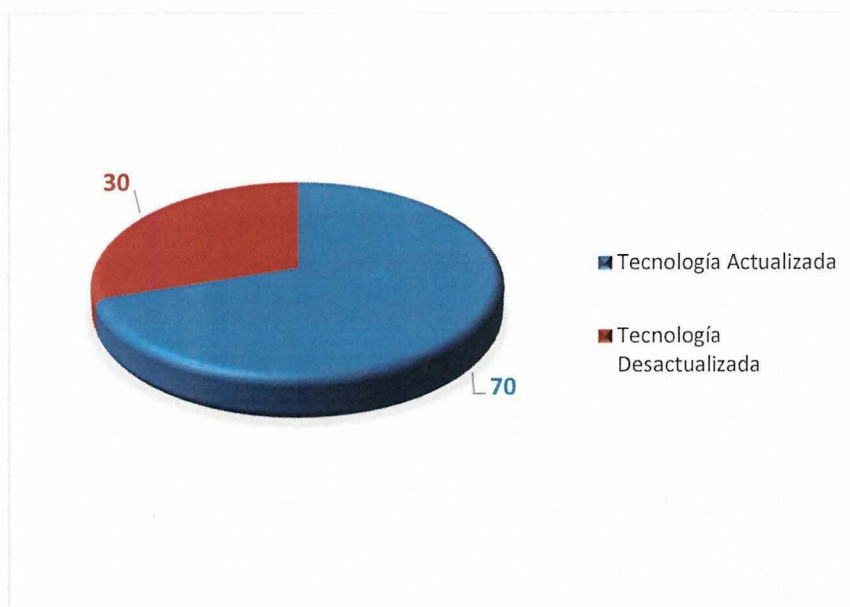
**Pregunta 5: ¿Seleccione cómo califica la tecnología actual del equipamiento de los laboratorios con respecto a Máquina Sincrónica?**

**Tabla 2. 6** Resultados Pregunta 5

|                           | Frecuencia | Porcentaje |
|---------------------------|------------|------------|
| Tecnología Actualizada    | 56         | 70,0       |
| Tecnología Desactualizada | 24         | 30,0       |
| Total                     | 80         | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 5** Resultado Pregunta 5



Fuente: Elaborado por los Autores

A pesar de tener una gráfica bien clara, vale la pena recalcar que la mayoría de estudiantes (70%) consideran que los laboratorios de la institución se encuentran equipados con la tecnología que hoy en día se encuentra en la industria. Por otro lado el 30% piensan que se encuentran con tecnología desactualizada, lo que avala la implementación del módulo de máquina sincrónica ya que se trata de equipos de gran impacto en la industria.

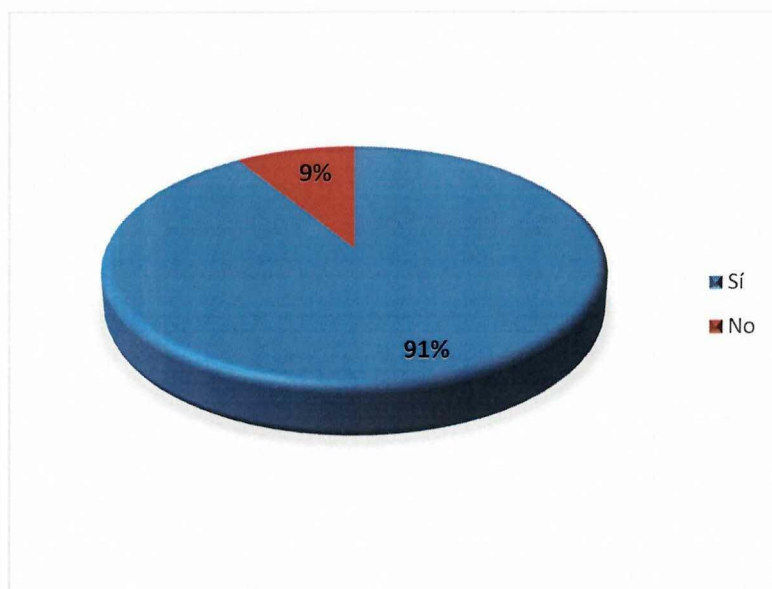
**Pregunta 6: ¿Para Ud., es necesaria la elaboración de guías prácticas del módulo de máquina sincrónica para el laboratorio de máquinas eléctricas de la carrera de ingeniería eléctrica?**

**Tabla 2. 7** Resultados Pregunta 6

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 73         | 91,3       |
| No    | 7          | 8,8        |
| Total | 80         | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 6** Resultado Pregunta 6



Fuente: Elaborado por los Autores

Finalmente la pregunta número 6 identifica que casi el total de los estudiantes (91.3%) consideran que es completamente necesaria la elaboración de las guías prácticas del módulo de Máquina Sincrónica, lo que permitirá el correcto desarrollo de las actividades detalladas en las mismas haciendo posible la interacción entre la teoría y la práctica.

## 2.7. Análisis de encuestas dirigidas a los profesores de la carrera

En esta sección se presentan los resultados de la encuesta realizada a los 7 profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

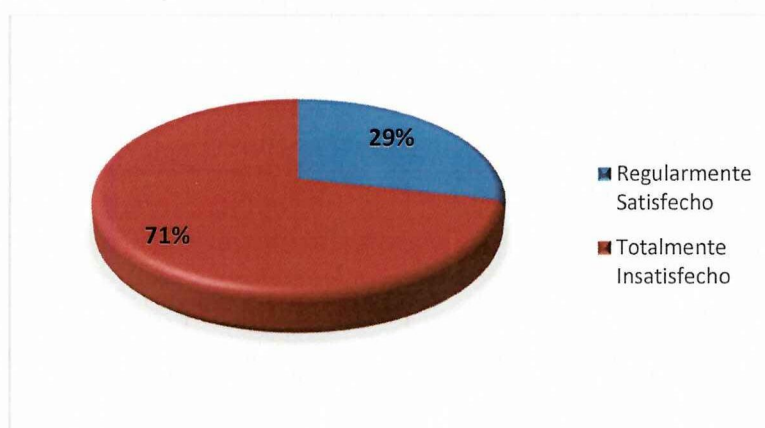
**Pregunta 1: ¿La tecnología de los equipos de Máquinas Sincrónicas del laboratorio de máquinas eléctricas satisfacen las necesidades para las prácticas?**

**Tabla 2. 8** Resultados Pregunta 1

|                         | Frecuencia | Porcentaje |
|-------------------------|------------|------------|
| Regularmente Satisfecho | 2          | 28,6       |
| Totalmente Insatisfecho | 5          | 71,4       |
| Total                   | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 7** Resultados Pregunta 1



Fuente: Elaborado por los Autores

En esta primera pregunta, los profesores opinan que se encuentran en su mayoría totalmente insatisfechos (5 profesores) en el estado actual de la transferencia de conocimiento acerca de máquinas sincrónicas en las materias de Máquinas Eléctricas y Teoría Electromagnética. Solo 2 catedráticos se encuentran regularmente satisfechos.

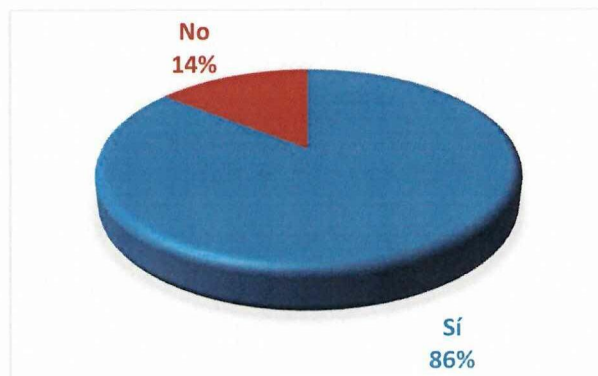
**Pregunta 2: Las autoridades conocen sobre las necesidades de profesores que imparten las materias de Máquinas Eléctricas y Teoría electromagnética**

**Tabla 2. 9** Resultados Pregunta 2

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 1          | 14,3       |
| No    | 6          | 85,7       |
| Total | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 8** Resultados Pregunta 2



Fuente: Elaborado por los Autores

En esta pregunta, se identifica la opinión de los catedráticos acerca de las autoridades. En este sentido, 6 profesores de la U.T.C. sugieren que las autoridades conocen acerca de las necesidades de los profesores al impartir materias de máquinas Eléctricas y teoría Electromagnética, lo que ha derivado en la apertura de las mismas, para permitir desarrollar proyectos que vayan encaminados en equipar los laboratorios.

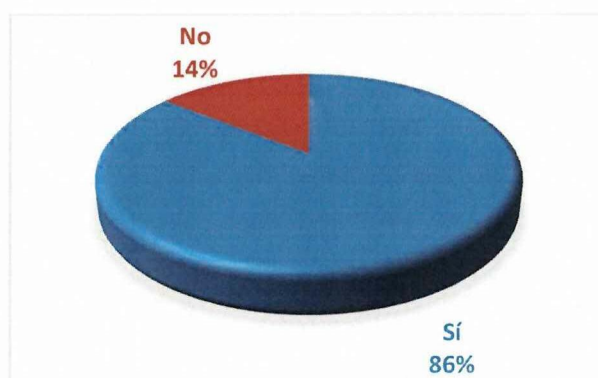
**Pregunta 3: ¿En el plan de estudios en la carrera de ingeniería eléctrica y electromecánica se tiene establecido como fortalezas el adiestramiento técnico-practico en los conocimientos sobre Máquinas Sincrónicas?**

**Tabla 2. 10** Resultados Pregunta 3

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 6          | 85,7       |
| No    | 1          | 14,3       |
| Total | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 9** Resultados Pregunta 3



Fuente: Elaborado por los Autores

La respuesta que arroja esta pregunta que se les realizó a los docentes, es la mayoría con un 86 %, lo que indica claramente que el propósito es prepararles a los estudiantes técnica y prácticamente para que sus conocimientos estén complementados con respecto a Máquinas Sincrónicas.

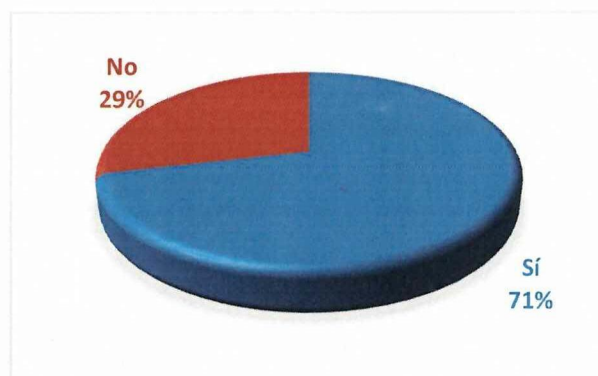
**Pregunta 4: ¿En lo concerniente a materias de máquinas eléctricas y Centrales de Generación, cree usted que se requiere de un módulo para efectuar prácticas con Máquinas Sincrónicas?**

**Tabla 2. 11** Resultados Pregunta 4

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 5          | 71,4       |
| No    | 2          | 28,6       |
| Total | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 10** Resultados Pregunta 4



Fuente: Elaborado por los Autores

En concordancia con el análisis de la pregunta anterior se identifica que la intención es potencializar los laboratorios de la carrera. Por lo tanto esta pregunta nos da una versión de la necesidad de adquirir un módulo de Máquina Sincrónica en vista que el 71% de los profesores así lo afirman.

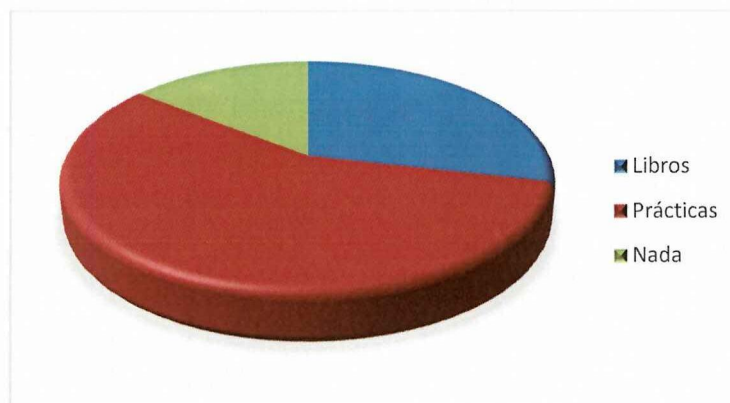
**Pregunta 5: ¿Indique Ud. cuál de las siguientes opciones refuerzan lo aprendido en clases de Máquinas eléctricas y teoría electromagnética?**

**Tabla 2. 12** Resultados Pregunta 5

|           | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------|------------|------------|
| Libros    | 2          | 28,6       |
| Prácticas | 4          | 57,1       |
| Nada      | 1          | 14,3       |
| Total     | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 11** Resultados Pregunta 5



Fuente: Elaborado por los Autores

Esta pregunta identifica el pensar de los profesores acerca del refuerzo de la materia impartida en clase. Es por ello que se considera una herramienta fundamental las prácticas que se puedan desarrollar en los laboratorios, de igual manera 2 de los docentes afirman que otra forma de afianzar los conocimientos es mediante libros.

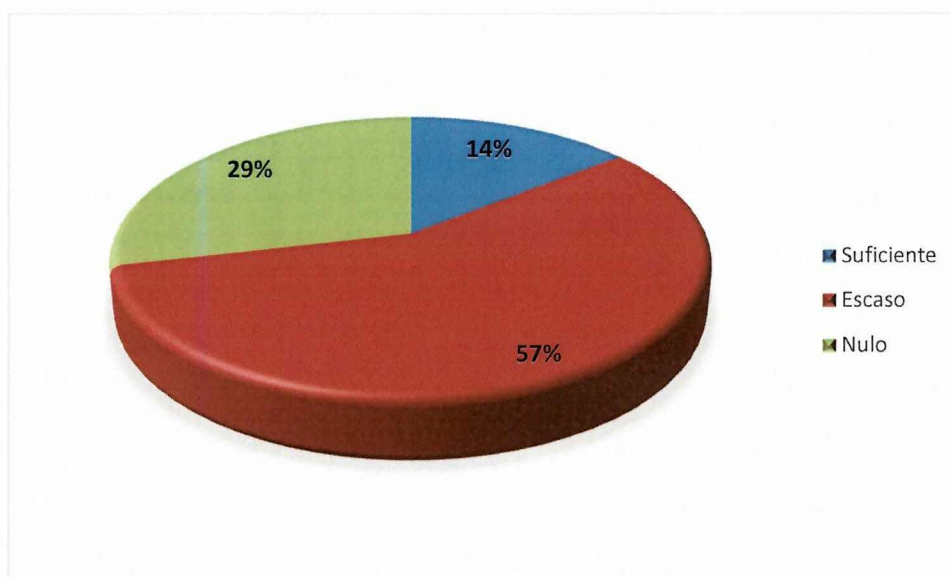
**Pregunta 6: ¿Califique la tecnología de los equipos para la práctica de Máquinas Sincrónicas para el dictamen de las materias de Máquinas Eléctricas?**

**Tabla 2. 13** Resultados Pregunta 6

|            | Frecuencia | Porcentaje |
|------------|------------|------------|
| Suficiente | 1          | 14,3       |
| Escaso     | 4          | 57,1       |
| Nulo       | 2          | 28,6       |
| Total      | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 12** Resultados Pregunta 6



Fuente: Elaborado por los Autores

La interpretación esta pregunta arroja la conclusión de que existe una escasa capacidad en instalaciones para el dictamen de las materias de máquinas eléctricas y centrales de generación. Solo un profesor piensa que existe suficiente capacidad. Mientras que dos catedráticos sugieren la nula capacidad de la institución.

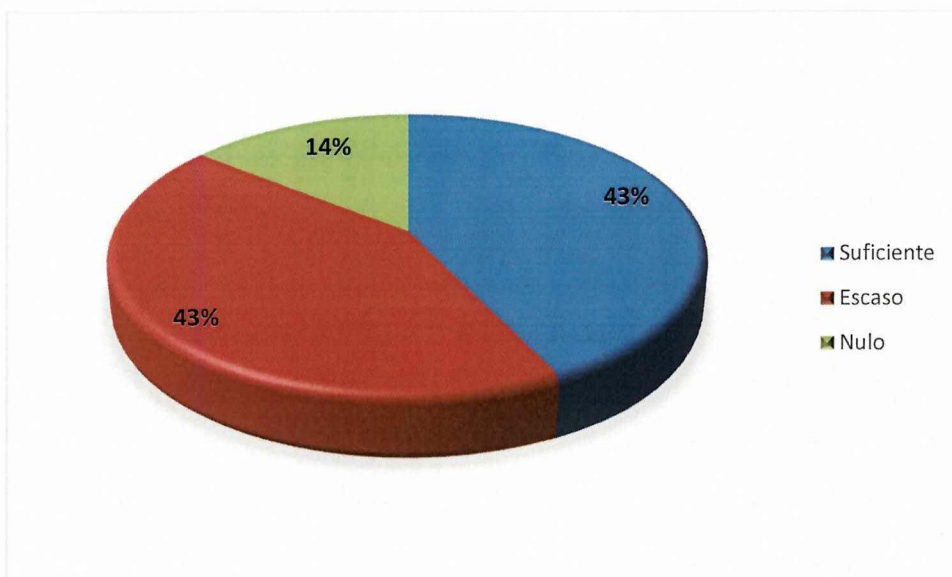
**Pregunta 7: ¿Con que frecuencia utilizan los profesores y estudiantes los laboratorios de las materias de Máquinas Eléctricas y teoría electromagnética?**

**Tabla 2. 14** Resultados Pregunta 7

|            | Frecuencia | Porcentaje |
|------------|------------|------------|
| Suficiente | 3          | 42,9       |
| Escaso     | 3          | 42,9       |
| Nulo       | 1          | 14,3       |
| Total      | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 13** Resultados Pregunta 7



Fuente: Elaborado por los Autores

Las respuestas a esta pregunta de la encuesta no presenta una conclusión contundente. Por lo que 3 docentes indican que existe un uso suficiente por parte de profesores y alumnos de los laboratorios existentes de las materias máquinas eléctricas y centrales de generación. Sin embargo, también hay 3 profesores que señalan que hay un uso escaso mientras que hay una respuesta de uso nulo a los laboratorios. Esta pregunta aunque señala una mayoría de desuso de los laboratorios no representa una conclusión verás.

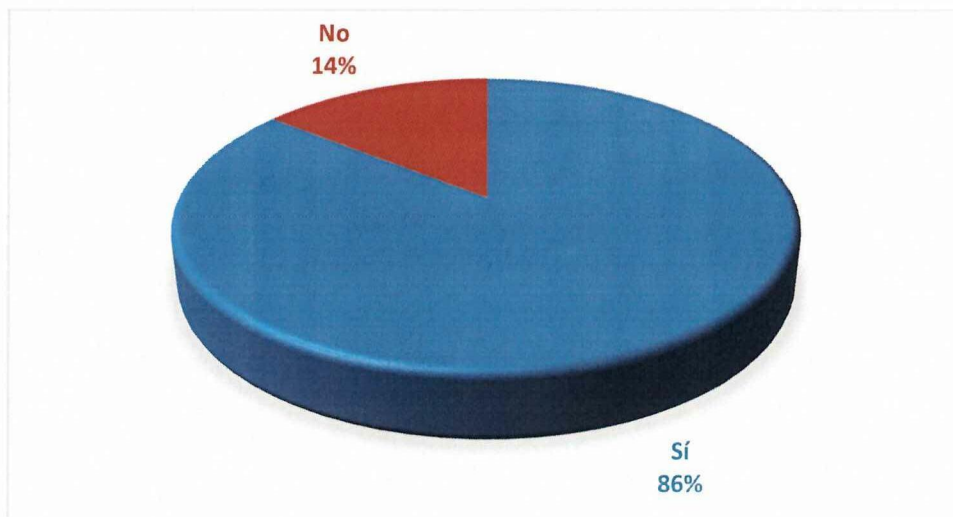
**Pregunta 8: Cómo docente, ¿cree usted que se fortalecerán los conocimientos en los estudiantes mediante el equipamiento de un módulo de Máquina Sincrónica?**

**Tabla 2. 15** Resultados Pregunta 8

|       | Frecuencia | Porcentaje |
|-------|------------|------------|
| Sí    | 6          | 85,7       |
| No    | 1          | 14,3       |
| Total | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 14** Resultados Pregunta 8



Fuente: Elaborado por los Autores

A diferencia de la pregunta anterior en esta la respuesta a esta pregunta en la encuesta arroja una conclusión contundente. Es decir se puede observar a simple vista que 6 de los 7 profesores encuestados señalan que sí se fortalecerán los conocimientos mediante el uso de simuladores y aplicaciones

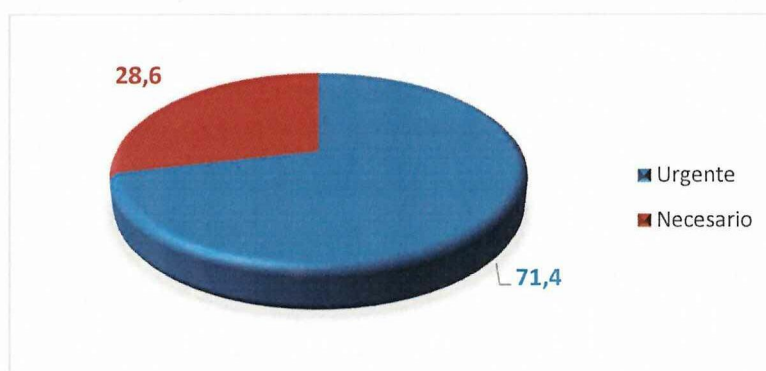
**Pregunta 9: ¿En referencia a la pregunta anterior es necesaria la elaboración de guías prácticas para la utilización del módulo de Máquinas Sincrónicas?**

**Tabla 2. 16** Resultados Pregunta 9

|           | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------|------------|------------|
| Urgente   | 5          | 71,4       |
| Necesaria | 2          | 28,6       |
| Total     | 7          | 100,0      |

Fuente: Elaborado por los Autores

**Gráfico 2. 15** Resultados Pregunta 9



Fuente: Elaborado por los Autores

Esta respuesta señala la necesidad imperante de guías prácticas del módulo de Máquinas Sincrónicas. Todos los profesores sugieren la necesidad de elaborar dichas guías. Del total de 7 profesores, 5 identifican la necesidad como urgente mientras que 2 como necesaria. Sin embargo ningún catedrático señaló que no se necesitan estas guías prácticas.

## **2.8. Verificación de la hipótesis**

A continuación se dará paso a la verificación de la hipótesis. En este sentido se llevará a cabo el manifiesto, el argumento y finalmente se tomará una decisión para el desarrollo del trabajo de grado.

### ***2.8.1. Manifiesto de la hipótesis***

La hipótesis con la que se ha trabajado es:

H = La implementación de un módulo de Máquina Sincrónica en el laboratorio de máquinas eléctricas servirá como herramienta didáctica en el proceso de enseñanza de las cátedras de máquinas eléctricas y de centrales de generación.

### ***2.8.2. Argumento***

En el proceso de investigación que se planteó en esta tesis, se ha recolectado información mediante la técnica de investigación de campo y la herramienta estadística de la encuesta aplicada tanto a los estudiantes como a los profesores de la carrera de ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi (U.T.C.). Dicha información comprueba que la implementación de un módulo de Máquina Sincrónica en el laboratorio de máquinas eléctricas facilitará el proceso de enseñanza de la cátedra de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación de la Universidad Técnica de Cotopaxi a través de un manual de uso de la misma. Es así que en las respuestas de los estudiantes en las preguntas 1 y 2 que en su mayoría con un 80% y 90%, necesitan un refuerzo en los conocimientos que les dan en clases, a más que en la pregunta 5 nos indica con 66% que los laboratorios se encuentran mal equipados al igual que en las respuestas de los docentes en la pregunta 1 y 6 con un promedio de 65%, dan a conocer la insatisfacción con respecto a la tecnología existente en dichos laboratorios. Las respuestas tanto de catedráticos como de los alumnos encuestados no dejan lugar a dudas. Además, tanto la investigación teórica, como la elaboración del trabajo de campo afirman la

utilidad del módulo así como de las guías prácticas a desarrollarse en el siguiente capítulo.

### ***2.8.3. Decisión***

Luego de analizar los resultados estadísticos de las encuestas realizadas a los docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se logra concluir que la gran mayoría están de acuerdo con la elaboración de las guías prácticas de un módulo de Máquina Sincrónica así como de la implementación del mismo. Los mencionados productos derivados de esta tesis lograrían complementar sus conocimientos teóricos.

## **CAPÍTULO III**

### **3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **3.1. Justificación**

Se justificará el tema antes expuesto basándonos en los siguientes ítems:

- Oportunidad

La capacitación práctica del módulo de máquina síncrona es una faceta de las cátedras requerida para la carrera Ingeniería Eléctrica en todas las universidades de la región. Sin embargo, las instituciones de educación superior de América Latina históricamente han abandonado esta idea. Hoy por hoy el cambio está dado y la ruta trazada. Es un tema constantemente demandado por profesores y estudiantes que en su implementación beneficiará a ambos.

- Viabilidad

Para este tema de investigación, se poseen los datos necesarios tanto en libros como en las mismas carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica. Esto nos permitirá (además del acceso a la base teórica) el acceso a entrevistas y encuestas al interior de dicha carrera tanto a profesores como a alumnos de las materias de Máquinas Eléctricas I, II y de Centrales de generación.

- Importancia

El estudio propuesto es importante en términos académicos al relacionar la teoría con la práctica. Esto se da ya que nos permitirá aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, además en la parte institucional podrá ser de ayuda para complementar el laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. En este sentido beneficiará tanto a sus alumnos como a sus profesores. Además, con la implementación de una máquina sincrónica se puede desarrollar ciertas prácticas en las materias dictadas dentro de la malla curricular.

## **3.2. Objetivos**

### ***3.2.1. Objetivo General***

Implementar el módulo de máquinas sincrónicas para dotar de una herramienta para la enseñanza por parte del docente a través de guías didácticas para las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica.

### ***3.2.2. Objetivos Específicos***

- Socializar la base teórica y conceptual que permitirá el manejo científico, tecnológico e investigativo del módulo de máquina sincrónica en la práctica.
- Implementar el módulo de máquina sincrónica mediante el análisis estadístico en alumnos, profesores y autoridades de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi
- Implementar un manual de guías didácticas y técnicas para la operación que servirá para manejar adecuadamente el módulo de máquina sincrónica permitiendo de esta manera el desarrollo de conocimientos prácticos en los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica.

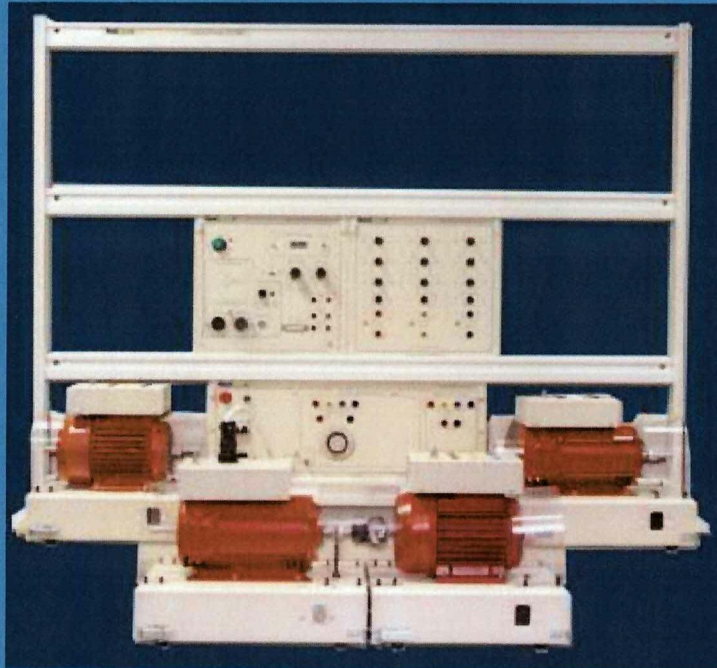
### **3.3. Desarrollo de las Prácticas**

Después de haber detallado en el Capítulo I los antecedentes teóricos a utilizarse; y de identificar en el Capítulo II la necesidad de la implementación de un módulo de máquinas sincrónicas, el presente apartado busca desarrollar las prácticas pertinentes.

Cada una de estos apartados se compone de una sección de introducción donde se trazan los objetivos, el equipo necesario y la manera en la que se pone en marcha el equipo. Después se realizarán las prácticas correspondientes a cada subtema. Además, dependiendo de la profundidad del tema, se sugiere una pequeña sección referente a los aspectos prácticos.



## GUÍAS DE MÓDULO DE MÁQUINA SINCRÓNICA



**AUTORES:**

Luis Francisco Escobar Ortega

Edison Gonzalo Mayo Mayo

2014

## **Presentación**

Ante la necesidad de capacitar a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica de mejor manera en las cátedras Máquinas Eléctricas y Centrales de generación y con el propósito de convertirse en una herramienta fundamental para el profesorado en su forma de transferir conocimientos a sus educandos; se desarrolló la presente guía de prácticas para el Módulo de Máquina Sincrónica.

Al realizar estas guías de prácticas se pretende que el estudiante al momento de manejar este módulo adquiriera el conocimiento necesario para resolver problemas que puedan suceder al momento de trabajar con motores sincrónicos en el campo profesional, tanto en su construcción, montaje, uso, mantenimiento y reparación.

Dicha guía consta de ejercicios con un nivel de dificultad adecuado para estas 5 prácticas que están divididas en 2 temas generales. En ellas se detallan los equipos, procedimientos y los distintos pasos de registro en el módulo de Máquina Sincrónica.

Las prácticas contienen:

- Tema
- Objetivo
- Equipo
- Fundamento teórico
- Procedimiento
- Análisis de resultados
- Cuestionario
- Conclusiones
- Recomendaciones

## **Introducción**

Los motores síncronos son máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina. A diferencia de los motores asíncronos, la puesta en marcha requiere de maniobras especiales a no ser que se cuente con un sistema automático de arranque. Otra particularidad del motor síncrono es que al operar de forma sobreexcitado consume potencia reactiva y mejora el factor de potencia.

Casi toda la potencia eléctrica usada en el mundo es generada mediante las máquinas síncronas. Estas son movidas por distintos métodos. Ya sean éstas turbinas hidráulicas, turbinas de vapor o motor de combustión. Así, la máquina síncrona es la principal máquina eléctrica para la conversión de energía mecánica a eléctrica

Los generadores síncronos son la principal fuente de energía eléctrica en los sistemas de potencia. Hoy en día, la gran mayoría de las industrias utilizan este tipo de tecnología o en su defecto una variación de ella. Por lo tanto, el estudio de las máquinas síncronas es de mucha importancia, no solo en términos académicos sino en la vida práctica misma.

Este documento es un aporte para el trabajo en este tipo de instrumentos. La presente guía de prácticas es un acercamiento al conocimiento de su funcionamiento y del trabajo que puede realizar esta máquina eléctrica.

### **3.4. Tema 1: Generador síncrono Trifásico Abierto & Características de corto Circuito (opción 60 -070- SMC)**

Las prácticas en esta tarea investigan las características de un motor/generador trifásico síncrono de rotor bobinado.

#### **OBJETIVOS:**

- Apreciar la diferencia entre Ac y Dc generadores.
- Ser conscientes de algunos de los parámetros utilizados para medir la actuación del generador de corriente alterna

#### **MARCO TEÓRICO**

La máquina sincrónica es un convertidor electromecánico de energía con una pieza giratoria denominada rotor o campo, cuya bobina se excita mediante la inyección de una corriente continua, y una pieza fija denominada estator o armadura por cuyas bobinas circula corriente alterna. Las corrientes alternas que circulan por los enrollados del estator producen un campo magnético rotatorio que gira en el entrehierro de la máquina con la frecuencia angular de las corrientes de armadura. El rotor debe girar a la misma velocidad del campo magnético rotatorio producido en el estator para que el torque eléctrico medio pueda ser diferente de cero. Si las velocidades angulares del campo magnético rotatorio y del rotor de la máquina sincrónica son diferentes, el torque eléctrico medio es nulo. Por esta razón a esta máquina se la denomina sincrónica; el rotor gira mecánicamente a la misma frecuencia del campo magnético rotatorio del estator durante la operación en régimen permanente.

Se utilizan en mayor medida como generadores de corriente alterna que como motores de corriente alterna, ya que no presentan par de arranque y hay que emplear diferentes métodos de arranque y aceleración hasta la velocidad de sincronismo. También se utilizan para controlar la potencia reactiva de la red por

su capacidad para mantener la potencia activa desarrollada constante, variar la potencia reactiva que absorbe o ceder a la red.

Una máquina síncrona es una maquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya velocidad de giro en régimen permanente está ligada con la frecuencia de la tensión en bornes y el número de pares de polos.

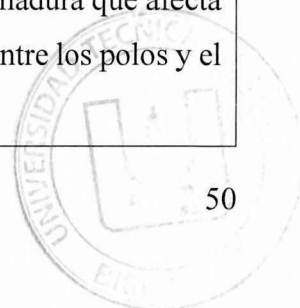
$$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Donde:

1. **f**: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (HZ)
2. **P**: Número de pares de polos que tiene la máquina
3. **p**: Número de polos que tiene la máquina
4. **n**: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

### 3.4.1. Práctica 1: Circuito Abierto

| PRÁCTICA 1  | TEMA: CIRCUITO ABIERTO | 1/6 |
|---|------------------------|-----|
| <p data-bbox="225 378 352 412"><b>Objetivo:</b></p> <p data-bbox="225 434 951 468">Conocer cómo se configura y se mide el circuito abierto.</p> <p data-bbox="225 544 427 577"><b>Marco Teórico</b></p> <p data-bbox="225 600 1254 904">Las máquinas síncronas se construyen con bobinas de la armadura estacionaria y polos giratorios. El rotor o devanado de campo suelen estar energizados por una fuente externa. La forma de onda de la FEM generada en un generador síncrono se somete a un ciclo completo cuando el conductor se mueve más allá de un par de polos. Por tanto, para una máquina con P polos la frecuencia de la alimentación generada es directamente proporcional a la velocidad de la máquina.</p> <p data-bbox="225 927 879 960">La frecuencia de la tensión generada está dada por:</p> $f = \frac{pN}{60} \quad \text{Eq1}$ <p data-bbox="225 1095 1254 1182">Donde p es el número de pares de polos (el 64-510 es una máquina de dos polos, por lo tanto, p = 1)</p> <p data-bbox="225 1256 636 1290">N es la velocidad del eje en rpm</p> <p data-bbox="225 1366 1254 1671">El flujo debido a la FMM del rotor está considerado como la generación de un FEM debido a la rotación de los polos. El flujo debido a la FMM del estator es considerado como la generación de una FEM que se retrasa a la corriente del estator. Corrientes trifásicas balanceadas en un motor trifásico produce una fuerza magnética resultante de magnitud constante que gira a una velocidad constante de bobinado.</p> <p data-bbox="225 1747 1254 2002">El flujo resultante total es una combinación de flujo del estator y el flujo del rotor. Cuando actúa como generador se carga la corriente en el devanado del estator produce un efecto magnético conocido como la reacción de armadura que afecta el valor y la distribución del flujo magnético en el entrehierro entre los polos y el núcleo del estator.</p> |                        |     |



La característica de circuito abierto relaciona el voltaje en los bornes de la cantidad de excitación de campo. El valor del voltaje de circuito abierto es el valor de la FEM inducida.

### Equipo necesario

- Fuente de alimentación universal 60-105.
- Motor / Generador Trifásico sincrónico - Rotor partido 64-510
- Panel de Control de Par y velocidad
- Motor Trifásico
- Poleas y Bandas
- Frame System 91 -200
- Set de cables deconexión 68-800
- Otros

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| Instrumentación | Medidores Individuales y trifásicos  |
| Convencional    | Panel de Voltímetro y amperímetro dc |

### Ajuste preliminar

1. Desconecte toda la alimentación poniendo el interruptor Trifásico de la Fuente de alimentación universal 60-105 a la posición de apagado.
2. Hacer las conexiones mostradas en el Gráfico 3.1 (a) para la instrumentación convencional. Tenga en cuenta que los generadores 64-510 están conectados en configuración en triángulo. El Gráfico 3.1 (c) muestra el cableado para los generadores de 64-510. Asegúrese de que las tapas del eje estén en su lugar.

| PRÁCTICA 1  | TEMA: CIRCUITO ABIERTO   | 3/6 |
|---|--|-----|
| <b>Ajustes de control</b>   |  |     |
| Fuente de alimentación 60 – 105   | Gire el “control variable” a 0% y luego cierre el disyuntor “Trifásico” a la posición de encendido.  |     |
| Control de Torque y Velocidad   | Apague la alimentación principal de CA con el botón verde de encendido/apagado. Ajuste los dos controles rotativos en la mayoría de las posiciones en contra-reloj.<br>Conecte el motor trifásico a la toma en modo velocidad.<br>Ajuste el interruptor de “voltaje de demanda” a + ve. Pulse el botón principal "de la Fuente" que se ilumina de color verde.<br>Pulse el botón “Encendido del Motor Trifásico” para que se encienda el LED rojo adyacente. |     |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Use el control de velocidad constante del Instrumento convencional de 230 V a 3000 rpm y 120V a 3600 rpm., sistema generador para girar a.60 Hz del suministro.</li> <li>4. Gire el “control de la variación de Voltaje de salida en la Fuente de alimentación universal 60-105 para proporcionar una tensión de campo de 10 V dc.</li> <li>5. Registre la línea de circuito abierto a la línea de voltaje y corriente de campo en una copia adecuada de la Tabla de resultados (230 V o 120 V versión del producto).</li> <li>6. Aumente la tensión de campo en pasos de 10 V hasta 50 V y Registre los valores correspondientes de la tensión de línea de circuito abierto y la corriente de campo en la tabla de resultados (230 V o 120 V versión del producto).</li> <li>7. Cuando todas las mediciones se han hecho desconectar el 60-105 Fuente de alimentación universal en el disyuntor y encienda la entrada de la variable a 0%.</li> <li>8. Use el control de velocidad constante de Instrumento convencional, establezca la velocidad de la máquina a cero.</li> </ol> |  |     |

GRÁFICO 3.1 LOS DIAGRAMAS DE CIRCUITO Y CABLEADO

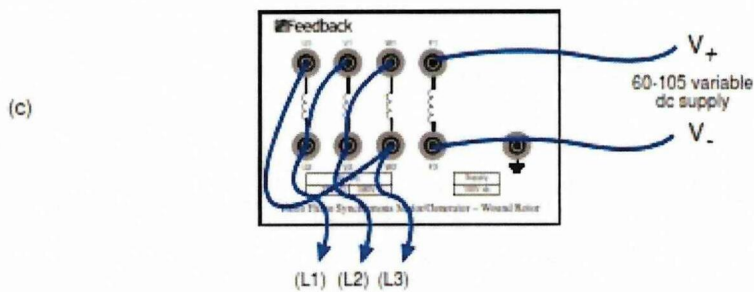
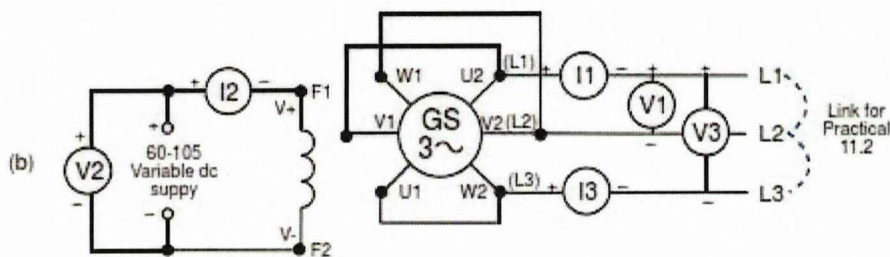
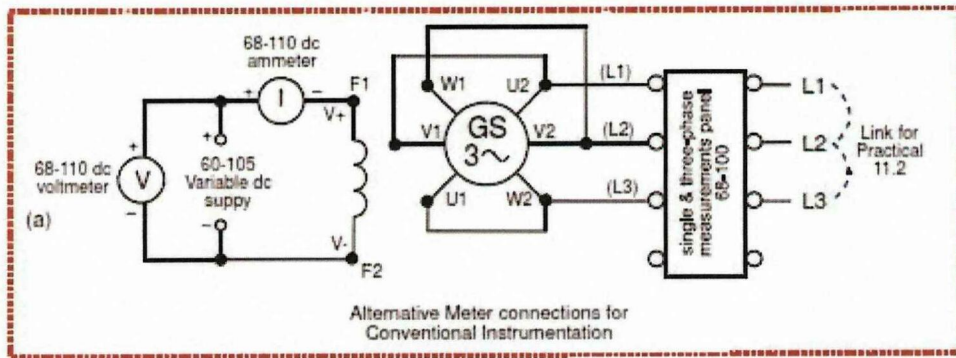


Figure 3-11-2

Elaborado por: Autores

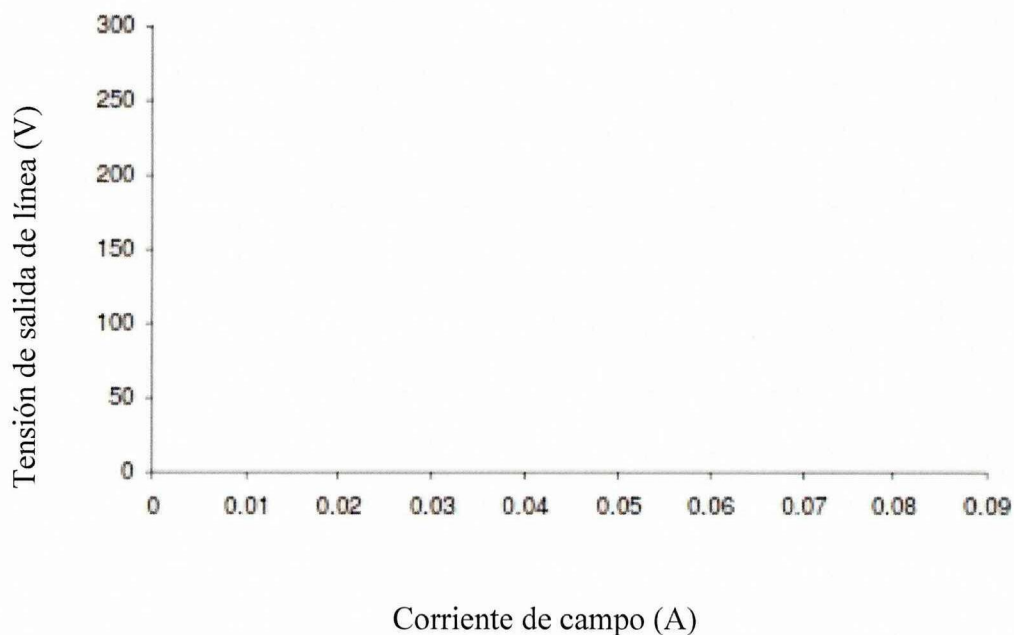
Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

Trazar una gráfica de los resultados sobre el papel cuadrícula utilizando los ejes sugeridos en 3.1 Resultados prácticos de la mesa (230 V versión del producto)

**TABLA 3.1. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 1  
(230 V VERSIÓN DEL PRODUCTO)**

| Tensión de salida de línea<br>(V) | Corriente de campo<br>(A) |
|-----------------------------------|---------------------------|
|                                   |                           |
|                                   |                           |
|                                   |                           |



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

### PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

- Indique el funcionamiento del motor síncrono
- ¿Qué función cumple el bobinado rotórico y el estatórico en este tipo de máquinas?
- ¿La diferencia de una máquina síncrona y una asíncrona?

**CONCLUSIONES:**

.....  
.....  
.....  
.....

**RECOMENDACIONES:**

.....  
.....  
.....  
.....

### 3.4.2. Práctica 2 - Característica de cortocircuito

|            |                                       |     |
|------------|---------------------------------------|-----|
| PRÁCTICA 2 | TEMA: CARACTERÍSTICA DE CORTOCIRCUITO | 1/6 |
|------------|---------------------------------------|-----|

#### Objetivo:

Saber cómo configurar y las características de corto circuito de un generador síncrono

#### Marco Teórico

El flujo debido a la FMM del rotor está considerado como la generación de un FEM debido a la rotación de los polos. El flujo debido a la FMM del estator es considerado como la generación de un FEM que se retrasa a la corriente del estator.

Corrientes trifásicas balanceadas en un trifásico produce una fuerza magnética resultante de magnitud constante que gira a una velocidad constante de bobinado.

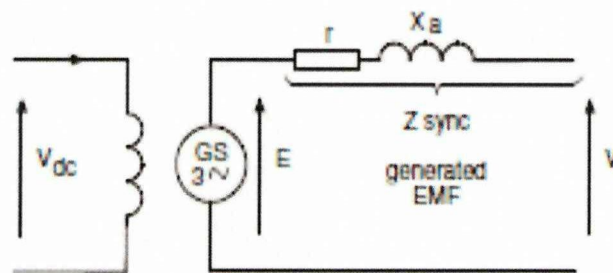
El flujo resultante total es una combinación de flujo del estator y el flujo del rotor.

Cuando el generador se carga la corriente en el devanado del estator produce un efecto magnético conocido como la reacción de armadura que afecta el valor y la distribución del flujo magnético en el entrehierro entre los polos y el núcleo del estator.

El cambio en el voltaje terminal de la que se produce entre vacío y plena carga para una corriente de velocidad y campo constante se llama regulación de voltaje.

El Gráfico 3.2 muestra el circuito equivalente de una máquina síncrona.

**Gráfico 3.2 Circuito de Máquina Síncrona**



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

Donde  $R$  es la resistencia inherente del devanado, y  $X_s$  es la reactancia equivalente a la reacción de inducido, conocida como la reactancia sincrónica.

Con el fin de calcular de manera efectiva el voltaje de salida del generador es necesario medir el valor de la reactancia de la reacción de inducido. Esto se logra mediante el examen de las características del circuito abierto y cerrado del generador.

La característica de circuito cerrado relaciona la reacción de la armadura a la excitación del campo. Se supone que el valor de la FEM inducida es la misma que la medida por la característica de circuito abierto para la misma velocidad y corriente de campo. Por lo tanto la corriente de cortocircuito se puede medir.

### **Equipo necesario**

- Fuente de alimentación universal 60-105.
- Trifásico Motor sincrónico / Generador - Rotor partido 64-510
- Panel de Control de Par y velocidad
- Motor Trifásico
- Poleas y Bandas
- Frame System 91 -200
- Set de Latiguillos Estándar 68-800
- Otros

Convencional      Individuales y los valores  
Instrumentación      trifásicos  
Voltímetro y amperímetro del  
panel

### **Ajuste preliminar**

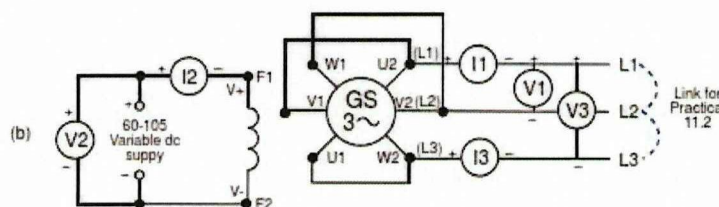
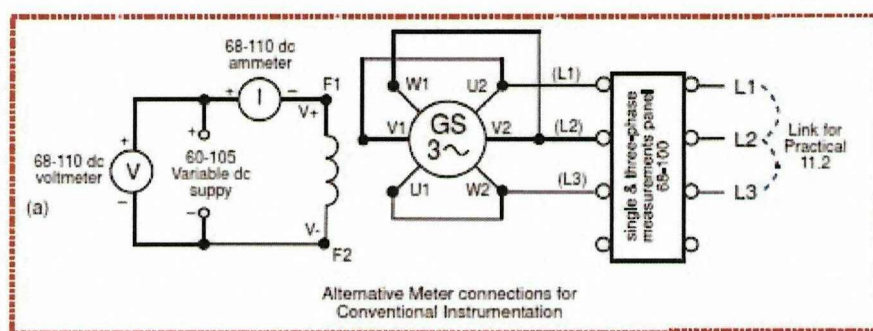
1. Desconecte toda la alimentación poniendo el interruptor Trifásico de la Fuente de alimentación universal 60-105 a la posición de apagado.

| PRÁCTICA 2   | TEMA: CARACTERÍSTICA DE CORTOCIRCUITO   | 3/6 |
|--|---|-----|
| <p>2. Hacer las conexiones mostradas en el Gráfico 3.3 (a) para la instrumentación convencional. Tenga en cuenta que los generadores 64-510 están conectados en configuración en triángulo. El Gráfico 3.3 (c) muestra el cableado para los generadores de 64-510. Asegúrese de que las tapas del eje estén en su lugar.</p> |   |     |
| <p><b>Ajustes de control</b></p>   |   |     |
| <p>Fuente de alimentación 60 – 105</p>   | <p>Gire el ' control variable' a 0% y luego cierre el disyuntor 'Trifásico " a la posición de encendido.</p>  |     |
| <p>Control de Torque y Velocidad</p>   | <p>Apague la alimentación principal de CA con el botón verde de encendido / apagado.</p>  |     |
|  | <p>Ajuste los dos controles rotativos en la mayoría de las posiciones en contra-reloj.</p>  |     |
|  | <p>Conecte el motor trifásico a la toma de modo velocidad.</p>  |     |
|  | <p>Ajuste el interruptor de ' tensión de la demanda " a + ve.</p>   |     |
|  | <p>Pulse el botón principal "de la Fuente" que se ilumina de color verde. Pulse el "Encendido del Motor Trifásico ' en el botón para que se encienda el LED rojo adyacente.</p> |     |
| <p>3. Asegúrese de que el control de " Voltaje de salida variable" en el 60-105 se establece en % y que el interruptor de circuito trifásico está en la posición de apagado</p>  |   |     |
| <p>4. Conecte los enlaces que se muestran en el Gráfico 3.3 (a), un cortocircuito en la salida del generador.</p>  |   |     |
| <p>5. En la unidad 60-105, ajuste el interruptor trifásico a la posición de encendido. La fuente de Voltaje esta ahora disponible como indica el " sobre poder" indicador verde se ilumina.</p>  |   |     |
| <p>6. Use el control de velocidad constante de Instrumento convencional sistema generador para girar a 3000 rpm. con 230 V. y 3600 rpm. a 120 V. (60 Hz. De suministro).</p>   |   |     |

7. Usando el suministro variable 60 - 105, ajuste la corriente de campo a 0.02 A
8. Anote la práctica en la tabla de resultados (230 V o 120 V versión del producto), la línea de cortocircuito es aproximada a la línea actual (para condiciones de corto circuito de la línea actual es la misma que la línea de corriente de neutro). Todas las corrientes de fase deben ser aproximadamente iguales, tome la lectura de fase actual para L1. Aumente la corriente de campo en pasos de 0.02 A. hasta 0.18 A.
9. Registre los valores correspondientes del voltaje de fase de cortocircuito en la tabla de resultados (230 V o 120 V versión del producto).
10. A continuación apague la fuente de alimentación universal 60-105 en el disyuntor y cambie la velocidad del generador a cero rpm y elimine los enlaces de cortocircuito de la salida del generador síncrono.

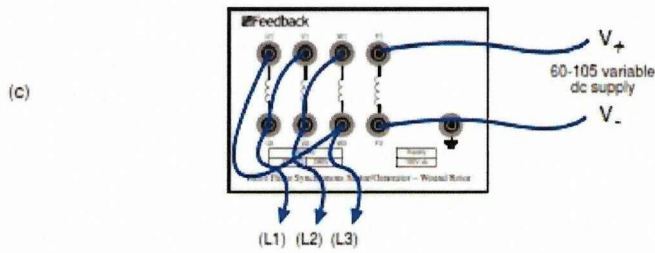
### Gráficos

#### GRÁFICO 3.3 LOS DIAGRAMAS DE CIRCUITO Y CABLEADO



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070



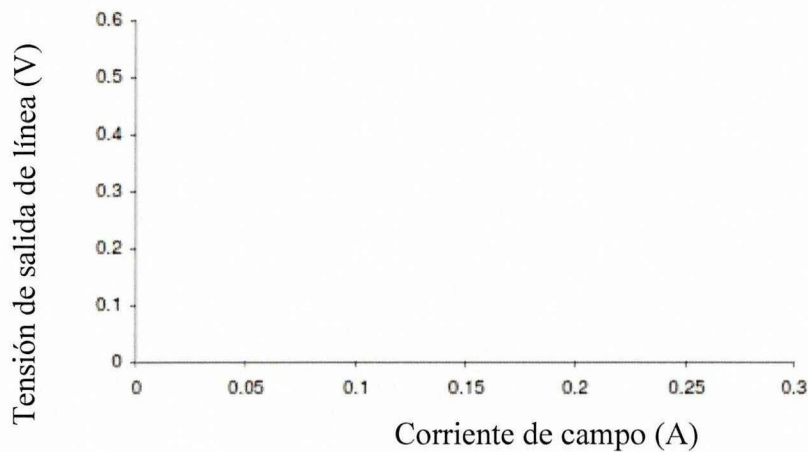
Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**Análisis De Resultados**

**TABLA 3.2. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 2 (230 V VERSIÓN DEL PRODUCTO)**

| Corriente de salida de línea<br>(V) | Corriente de campo<br>(A) |
|-------------------------------------|---------------------------|
|                                     |                           |
|                                     |                           |
|                                     |                           |



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**PRUEBA DE CONOCIMIENTO**

¿Qué características tiene un generador sincrónico al cortocircuitar los terminales con su velocidad nominal?

¿Qué pasa con la corriente de campo y la corriente de armadura en el motor sincrónico?

¿Indique a que se le conoce como la reacción de armadura y en qué afecta al motor?

¿Qué es la regulación de voltaje

**CONCLUSIONES:**

.....  
.....  
.....  
.....

**RECOMENDACIONES:**

.....  
.....  
.....  
.....

**3.4.3. Práctica 3: Efecto de la variación de la velocidad en la salida de voltaje y frecuencia**

|   |  |            |
|---|--|------------|
| <b>PRÁCTICA 3</b>   | <b>TEMA: EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SALIDA DE VOLTAJE Y FRECUENCIA</b> | <b>1/5</b> |
| <p><b>Objetivo:</b></p> <p>Entender el término reactancia síncrona.</p> <p><b>Marco Teórico.</b></p> <p>La característica de circuito cerrado relaciona la reacción de la armadura a la excitación del campo. Se supone que el valor de la FEM inducida es la misma que la medida por la característica de circuito abierto para la misma velocidad y corriente de campo. Por lo tanto la corriente de cortocircuito se puede medir. Por lo tanto el valor de la impedancia sincrónica <math>Z_{sync} = \sqrt{r^2 + x_a^2}</math> se puede calcular.</p> $Z_{sync} = \frac{\text{Circuito abierto FEM}}{\text{corriente de corto circuito}}$ <p><b>Equipo necesario</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de alimentación universal 60-105.</li> <li>• Trifásico Motor sincrónico / Generador - Rotor partido 64-510</li> <li>• Panel de Control de Par y velocidad</li> <li>• Motor Trifásico</li> <li>• Poleas y Bandas</li> <li>• Frame System 91 -200</li> <li>• Set de Latiguillos Estándar 68-800</li> <li>• Otros <ul style="list-style-type: none"> <li>Instrumentación      Medidores Individuales y trifásicos</li> <li>Convencional            Panel de Voltímetro y amperímetro dc</li> </ul> </li> </ul> |  |            |

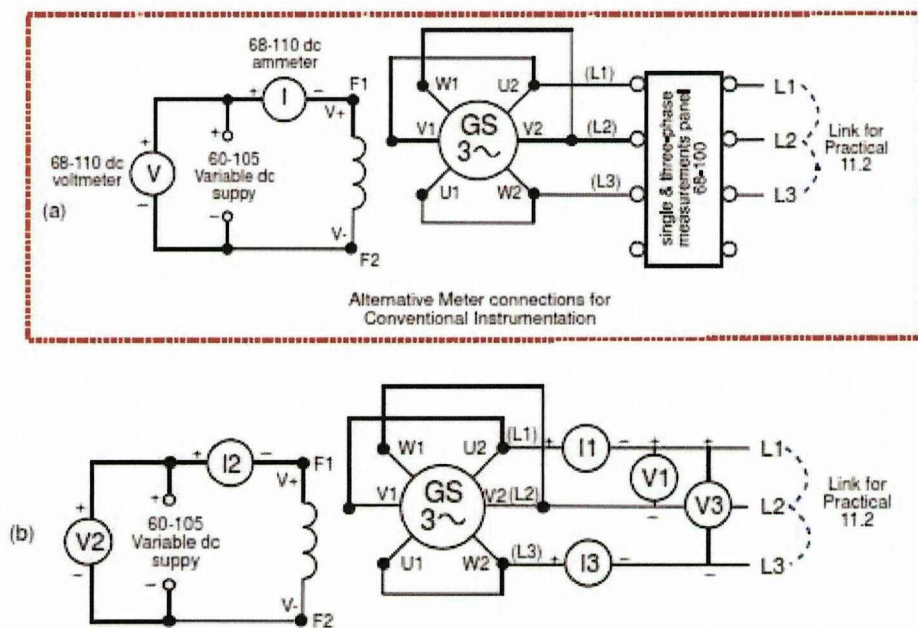
|   |  |            |
|---|--|------------|
| <b>PRÁCTICA 3</b>   | <b>TEMA: EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SALIDA DE VOLTAJE Y FRECUENCIA</b>   | <b>2/5</b> |
| <b>Ajuste preliminar</b>  |  |            |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desconecte toda la alimentación poniendo el interruptor Trifásico de la Fuente de alimentación universal 60-105 a la posición de apagado.</li> <li>2. Hacer las conexiones mostradas en el Gráfico 3.4 (a) para la instrumentación convencional. Tenga en cuenta que los generadores 64-510 están conectados en configuración en triángulo. El Gráfico 3.4 (c) muestra el cableado para los generadores de 64-510. Asegúrese de que las tapas del eje estén en su lugar.</li> </ol> |  |            |
| <b>Ajustes de control</b>   |  |            |
| Fuente de alimentación 60 – 105   | Gire el ' control variable' a 0% y luego cierre el disyuntor 'Trifásico " a la posición de encendido.  |            |
| Control de Torque y Velocidad   | <p>Apague la alimentación principal de CA con el botón verde de encendido / apagado.</p> <p>Ajuste los dos controles rotativos en la mayoría de las posiciones en contra-reloj.</p> <p>Conecte el motor trifásico a la toma de modo velocidad.</p> <p>Ajuste el interruptor de “tensión de la demanda” a + ve.</p> <p>Pulse el botón principal "de la Fuente" que se ilumina de color verde. Pulse el "Encendido del Motor Trifásico ' en el botón para que se encienda el LED rojo adyacente.</p> |            |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>3. En la unidad 60-105, gire el control de variación de voltaje de salida 0% y luego ponga el interruptor trifásico sin descargar voltios a la posición de encendido. La fuente de alimentación esta ahora disponible como indica el " sobre poder " el indicador verde se ilumina.</li> </ol>   |  |            |

|                   |  |            |
|-------------------|--|------------|
| <b>PRÁCTICA 3</b> | <b>TEMA: EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SALIDA DE VOLTAJE Y FRECUENCIA</b> | <b>3/5</b> |
|-------------------|--|------------|

4. Use el control de velocidad constante Instrumento convencional, establezca el generador para que gire a 3000 rpm. Con 230 V. 3600 rpm. a 120 V. Ac. y ajuste la tensión de campo para dar una tensión de salida de 230V y 120 V.
5. Registre el voltaje de la línea y la frecuencia en la tabla de resultados (230 V o 120 V versión del producto). Reducir la velocidad en lapsos de 500 rpm anote la tensión de red y la frecuencia registre en la tabla de Resultados prácticos (230 V o 120 V versión del producto).
6. Apague el 60-105 Fuente de alimentación universal con el interruptor, y reduzca la velocidad del generador a cero rpm.

### Gráficos

**GRÁFICO 3.4 LOS DIAGRAMAS DE CIRCUITO Y CABLEADO**

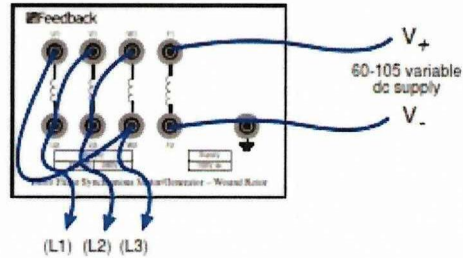


Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**PRÁCTICA 3****TEMA: EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SALIDA DE VOLTAJE Y FRECUENCIA****4/5**

(c)

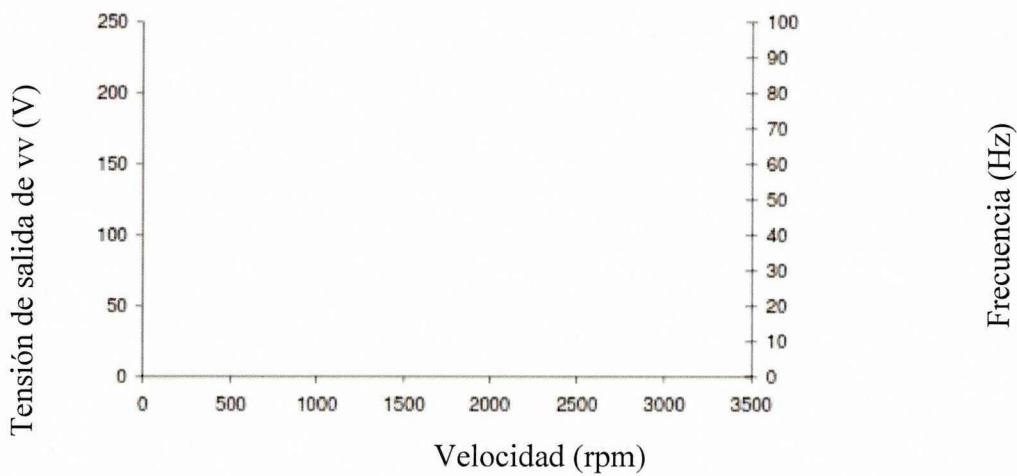


Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**ANÁLISIS DE RESULTADOS****TABLA 3.3. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 3 (230 V VERSIÓN DEL PRODUCTO)**

| Velocidad<br>(rpm) | Tensión de salida de línea<br>(V) | Frecuencia<br>(Hz) |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 3000               |                                   |                    |
| 2500               |                                   |                    |
| 2000               |                                   |                    |
| 1500               |                                   |                    |
| 1000               |                                   |                    |



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

|                   |  |            |
|-------------------|--|------------|
| <b>PRÁCTICA 3</b> | <b>TEMA: EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SALIDA DE VOLTAJE Y FRECUENCIA</b> | <b>5/5</b> |
|-------------------|--|------------|

**PRUEBA DE CONOCIMIENTO**

¿Cuál es el efecto de variar la velocidad con respecto al voltaje y la frecuencia a la salida?

¿Qué es la corriente de cortocircuito?

¿Por qué es posible medir la corriente de cortocircuito?

**CONCLUSIONES:**

.....

.....

.....

.....

**RECOMENDACIONES:**

.....

.....

.....

.....

### **3.5. Tema 2: Procedimientos de sincronización y funcionamiento del motor de una máquina síncrona Trifásica (opción 60 -070- SMC)**

Las prácticas en esta tarea investigan el procedimiento de sincronización y el funcionamiento de una máquina síncrona.

#### **Objetivos:**

- Apreciará el funcionamiento de las máquinas síncronas y los procedimientos necesarios para llevar un motor en la sincronización con la frecuencia de alimentación.
- Comprenderá cómo la máquina síncrona funciona como un reactor síncrona.

#### **Marco Teórico**

##### **Procedimiento Sincronización**

Cuando un generador síncrono AC está conectado en paralelo con un suministro que puede ser usado para demostrar las características de un gran generador conectado a las barras de bus de un sistema de energía. Con el fin de ejecutar un generador en paralelo con un suministro es necesario sincronizar el generador el suministro. De ahí que las siguientes condiciones deben cumplirse.

- La FEM generada debe ser la misma que la de la alimentación.
- La frecuencia de la FEM generada debe ser la misma que la de la alimentación.
- La FEM generada debe estar en fase con el suministro.

### 3.5.1. Práctica 4: Sincronización de un generador síncrono trifásico

| PRÁCTICA 4   | TEMA: SINCRONIZACIÓN DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO | UN | 1/10 |
|--|---|----|------|
| <p><b>Objetivos:</b></p> <p>Apreciará el funcionamiento de las máquinas síncronas y los procedimientos necesarios para llevar un motor en la sincronización con la frecuencia de alimentación.</p> <p><b>Marco Teórico</b></p> <p><b>La máquina síncrona como generador y motor</b></p> <p>Si la velocidad de un generador síncrono se aumenta o disminuye, a la corriente de excitación constante, el lazo de tensión de salida de corriente alterna y frecuencia aumentará o disminuirá en consecuencia.</p> <p>Para ejecutar la máquina como un motor síncrono, primero es necesario ejecutarlo como un generador. La velocidad primero debe ajustarse para que sea la misma que la frecuencia de alimentación ("sincronización ") usando un instrumento tal como las lámparas de sincronización 68-120. A continuación, la corriente de excitación de corriente continua debe estar - dejó de su valor nominal, por lo que cuando se ejecuta como un motor haya suficiente intensidad de campo para que el motor pueda desarrollar el par adecuado. Cuando las operaciones anteriores se han llevado a cabo el suministro a la máquina es conmutada en, mientras que al mismo tiempo el suministro al motor de accionamiento de la máquina se reduce a cero. La máquina ya está funcionando como un motor, sincronizado con el suministro.</p> <p><b>Equipo necesario</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fuente de alimentación universal 60-105.</li><li>• Motor Trifásico sincrónico / Generador - Rotor partido 64-510</li><li>• Panel de Control de Par y velocidad</li><li>• Motor Trifásico</li><li>• Poleas y Bandas</li><li>• Frame System 91 -200</li><li>• Set de cables de conexión 68-800</li></ul> |   |    |      |

| PRÁCTICA 4   | TEMA: <b>SINCRONIZACIÓN DE GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | UN 2/10 |
|--|---|---------|
| <p>O bien:</p> <p>Convencional Instrumentación                      Individuales y los valores trifásicos</p> <p>   Voltímetro y amperímetro del panel</p> <p><b>PROCEDIMIENTO</b></p> <p>En la Fuente de alimentación universal 60-105, apague el interruptor Trifásico”, gire el control de voltaje variable de salida a 0%</p> <p>Asegúrese de que el motor Trifásico que sirve para llegar al sincronismo esté acoplado al generador por el acoplamiento de poleas y bandas. Asegúrese de que las tapas del eje están en su lugar.</p> <p>Completar el circuito del Gráfico 3.5 mediante el establecimiento de las conexiones en el Gráfico 3.7. En primer lugar, completar el cableado del panel en el Gráfico 3.6 con el 64-510 conectado en estrella y en segundo lugar en el Gráfico 3.7 (instrumentación convencional).</p> <p><b>Ajuste de control</b></p> <p>Fuente de alimentación 60-105                      En la unidad 60-105, asegúrese que el "control de la tensión de salida variable se establece en 0 % y luego ajuste el interruptor de circuito de fase '3 ' a la posición de encendido. La alimentación de la fuente está disponible como se indica por el indicador verde 'on' iluminado.</p> <p>Control de Torque y Velocidad                      Apague la alimentación principal de CA con el botón verde de encendido / apagado. Ajuste los dos controles rotativos en las posiciones en contra-reloj.</p> |   |         |

|                   |  |             |
|-------------------|--|-------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: SINCRONIZACIÓN DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>3/10</b> |
|-------------------|--|-------------|

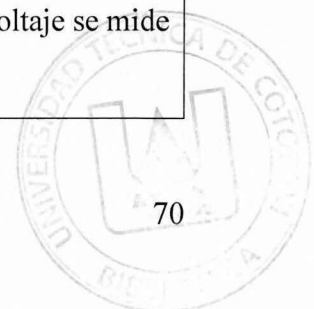
Ajuste el interruptor de 'tensión de la demanda' a + ve. Conecte el dinamómetro a la toma de la modalidad de velocidad. Pulse el botón de "poder" que se ilumina de color verde. Pulse el botón 'dinamómetro power' on para que se encienda el LED rojo adyacente.

#### **NOTAS DE SEGURIDAD:**

1. NO maneje el dinamómetro en el momento en el modo de velocidad. Esto se sobrecaliente el motor del dinamómetro y dañar el equipo.
2. Apague siempre el control de voltaje 60-105 de variable a ceros antes de parar la rotación del generador
3. En circunstancias en las que el banco no está siendo utilizado por un periodo superior a 5 minutos, pulse el botón de apagado de potencia del motor trifásico. Cuando esté listo para continuar con la tarea, pulse el botón de alimentación del motor trifásico en traer el poder de nuevo en el sistema.

#### **PUESTA EN MARCHA**

1. Ajuste la velocidad en el generador mediante el "control de velocidad constante aproximadamente a 3000 rpm. a 230 V si trabaja en este voltaje y a 3600 rpm. a 120 V.
2. En la unidad 60-105, establezca el circuito Trifásico póngale en la posición de encendido. La fuente de voltaje está ahora disponible como lo indica el "encendido" del indicador verde que se ilumina.
3. Ajustar el voltaje de campo dc girando el control del voltaje de salida variable 60-105 de tal manera que el voltaje de salida del generador sea del mismo valor que el de la alimentación trifásica que se conectará cuando el interruptor de sincronización está cerrado. Este voltaje se mide en la instrumentación convencional voltímetro.



| PRÁCTICA 4   | TEMA: SINCRONIZACIÓN DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO | UN 4/10 |
|--|---|---------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Usted se dará cuenta de que la lámpara patrón de sincronización 68-120 parece girar.</li> <li>5. Disminuya la velocidad en una pequeña cantidad. Si las luces parecen girar más rápido, a continuación, aumente la velocidad en una pequeña cantidad. Ajuste la velocidad hasta que las luces parezcan girar a una velocidad la más lenta posible. En este punto la tensión de salida del generador se encuentra en la misma frecuencia que el suministro.</li> <li>6. En el panel de lámparas de sincronización 68-120 cuando sólo las lámparas LP1 y LP2 tengan el mismo brillo y la lámpara LP3 esté apagada, encienda el interruptor de 68-120.</li> <li>7. Aumente la corriente de campo dc utilizando el control en el "voltaje de salida variable" 60-105 a 150 mA y reduzca lentamente con el control de par y velocidad constante a cero. La máquina está ahora funcionando como un motor, y gira a una velocidad sincronizada con la frecuencia de suministro.</li> <li>8. Apague el Panel de control de Par y velocidad pulsando el botón verde "poder". y luego conecte el motor trifásico a la toma de " conexión en modo de par"</li> <li>9. Encienda el Panel de control de Par y velocidad pulsando de nuevo el botón verde "poder" y pulse el encendido del dinamómetro "poder " o el botón para que se encienda el led rojo.</li> <li>10. Use el control "voltaje de salida variable" 60-105, ajuste el voltaje continuo dc aplicado al devanado de campo hasta que la corriente de campo hasta aproximadamente 340 mA y mantenga el valor durante toda la prueba</li> </ol> |   |         |
| <p>NOTA:</p> <p>En caso de que el motor síncrono se retirarse del sincronismo en cualquier momento, cambiar las lámparas Sincronización apagado y reducir la corriente del rotor dc (60-105) a cero. Repita el proceso anterior para que el motor de nuevo entre en sincronización</p>   |   |         |

**Test de Par / Velocidad**

Utilizando la instrumentación convencional, empiece aplicando valores de torque desde un valor mínimo hasta 0,5 Nm en incrementos de 0,1 Nm. Registre para cada valor de torque aplicado grave la velocidad, la corriente de la línea (L1), factor de potencia y la potencia de entrada en tabla de resultados de la práctica 4 (230 V o 120 V versión del producto).

Cuando las mediciones se realizan en todo el rango de par, restablecer el control del par en la posición de bloqueo de energía.

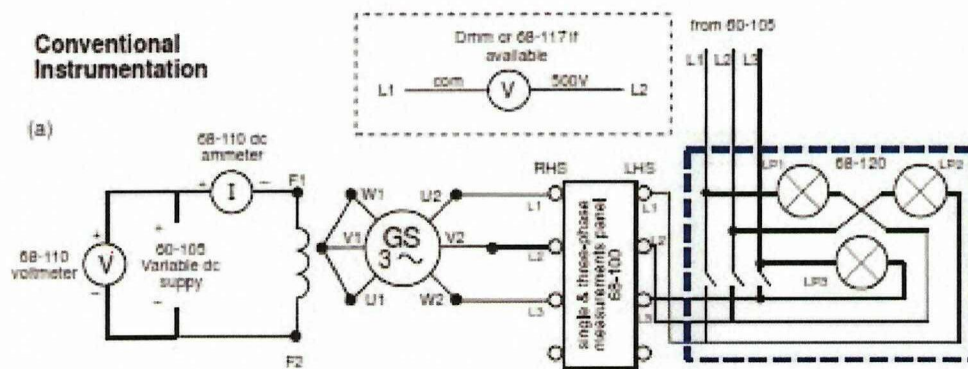
Gire el interruptor de la Sincronización Lámparas 68-120 a la posición de apagado.

Girar el control de salida variable en el 60-105 a 0 %.

Apague el interruptor de circuito 60-105 ‘fuente de alimentación trifásica’.

**GRÁFICOS:**

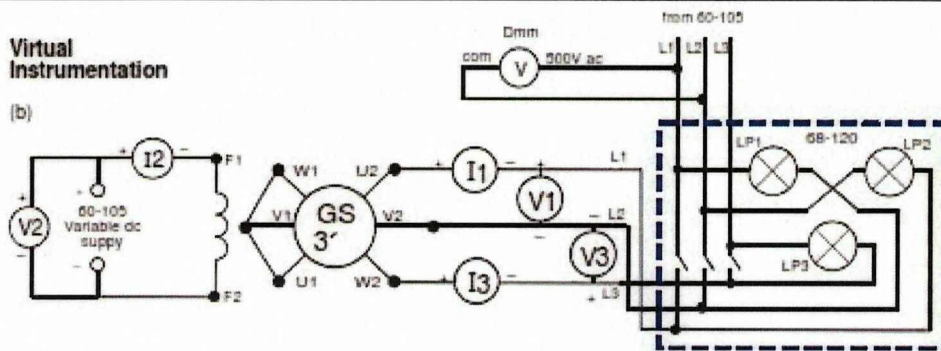
**GRÁFICO 3.5: LOS DIAGRAMAS DE CIRCUITO**



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

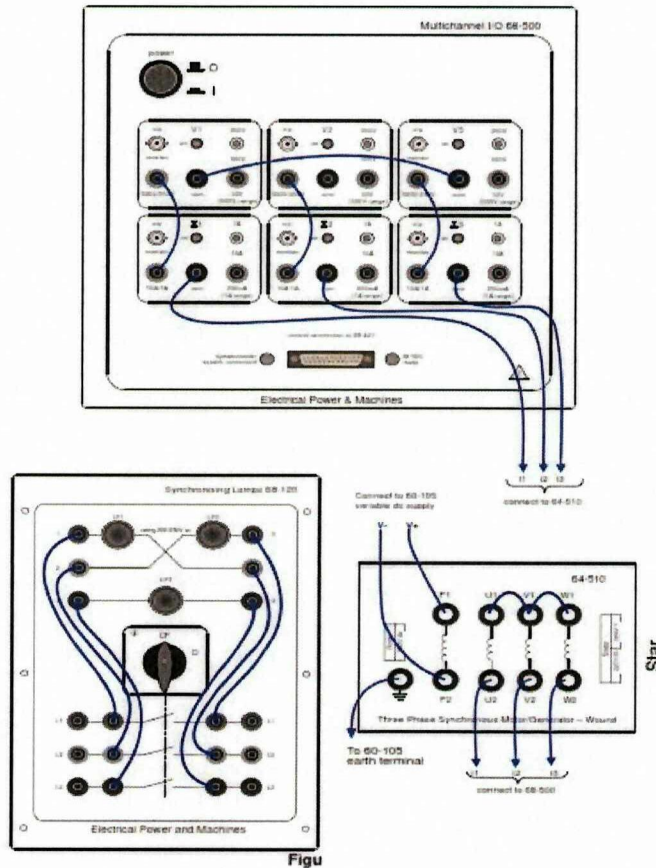
|                   |   |                |
|-------------------|---|----------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: SINCRONIZACIÓN DE GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>UN 6/10</b> |
|-------------------|---|----------------|



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

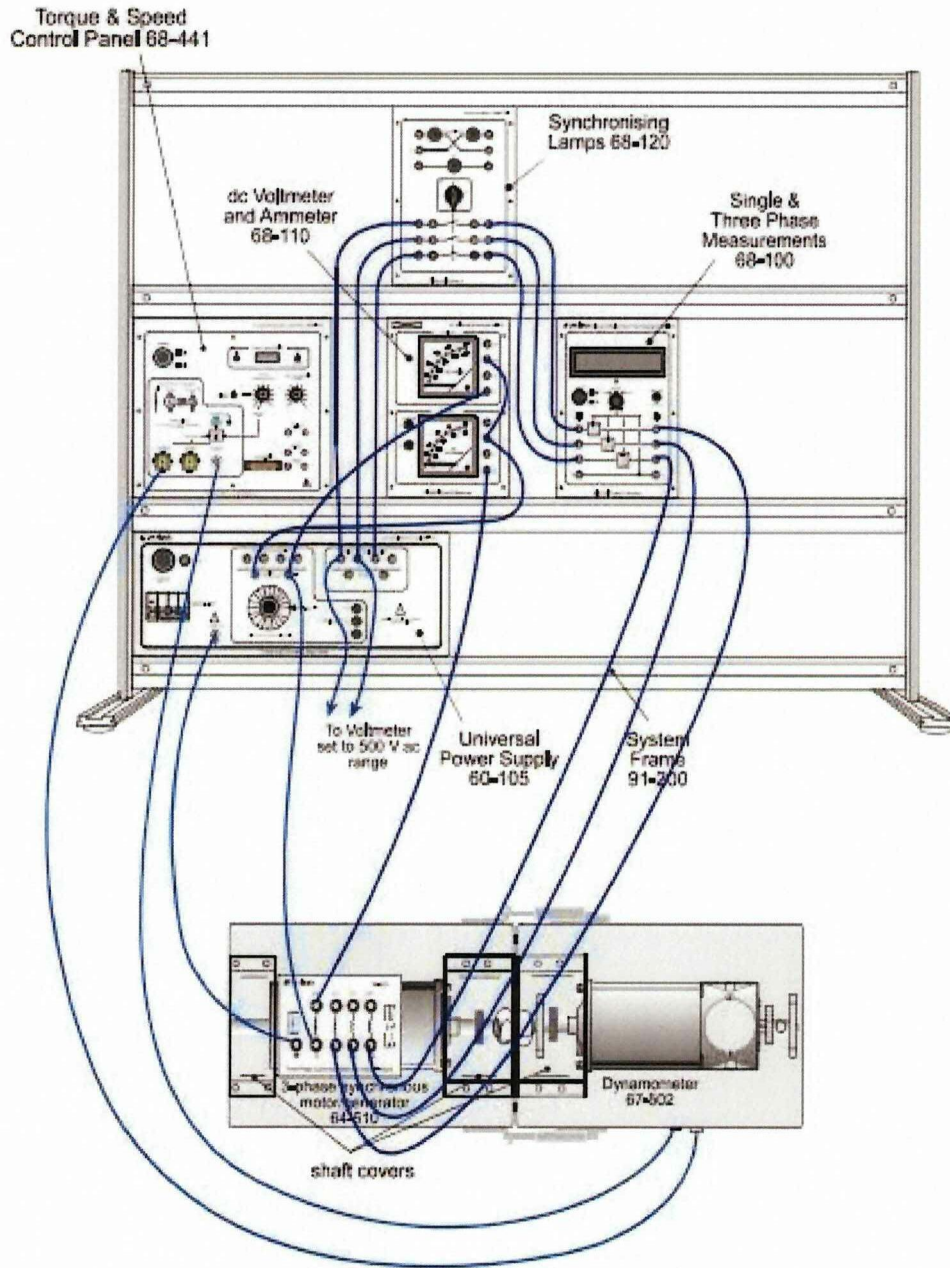
**GRÁFICO 3.6: DIAGRAMAS DE CABLEADO**



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**GRÁFICO 3.7: CONEXIONES**



**Figure 3-13-5: Conventional Instrumentation Wiring**

Elaborado por: Autores

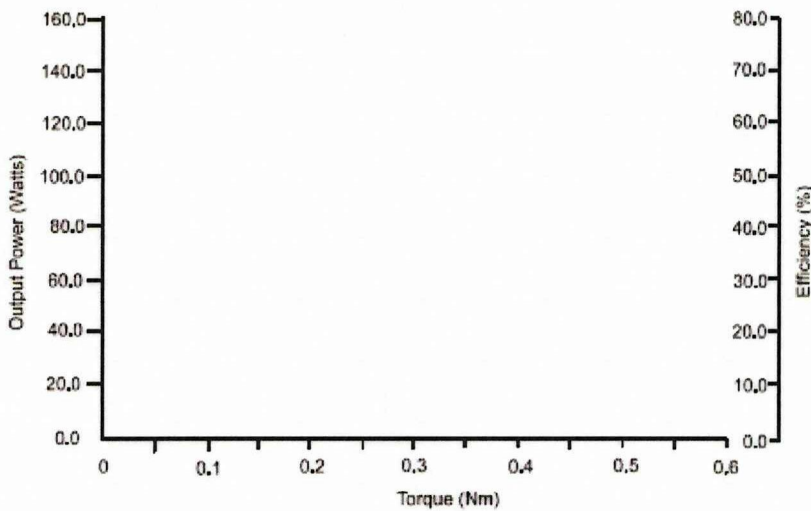
Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**TABLA 3.4. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 4 (230 VERSIÓN DEL PRODUCTO)**

Con Corriente de Rotor a 340 mA

| Esfuerzo de torsión (Nm) | Velocidad (rpm) | Corriente de línea (A) | Factor de Potencia ( $\cos \phi$ ) | Potencia Trifásica (W) | Potencia de salida (W) | Eficiencia (%) |
|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
|                          |                 |                        |                                    |                        |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                        |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                        |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                        |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                        |                        |                |



Elaborado  
por: Autores  
Fuente:

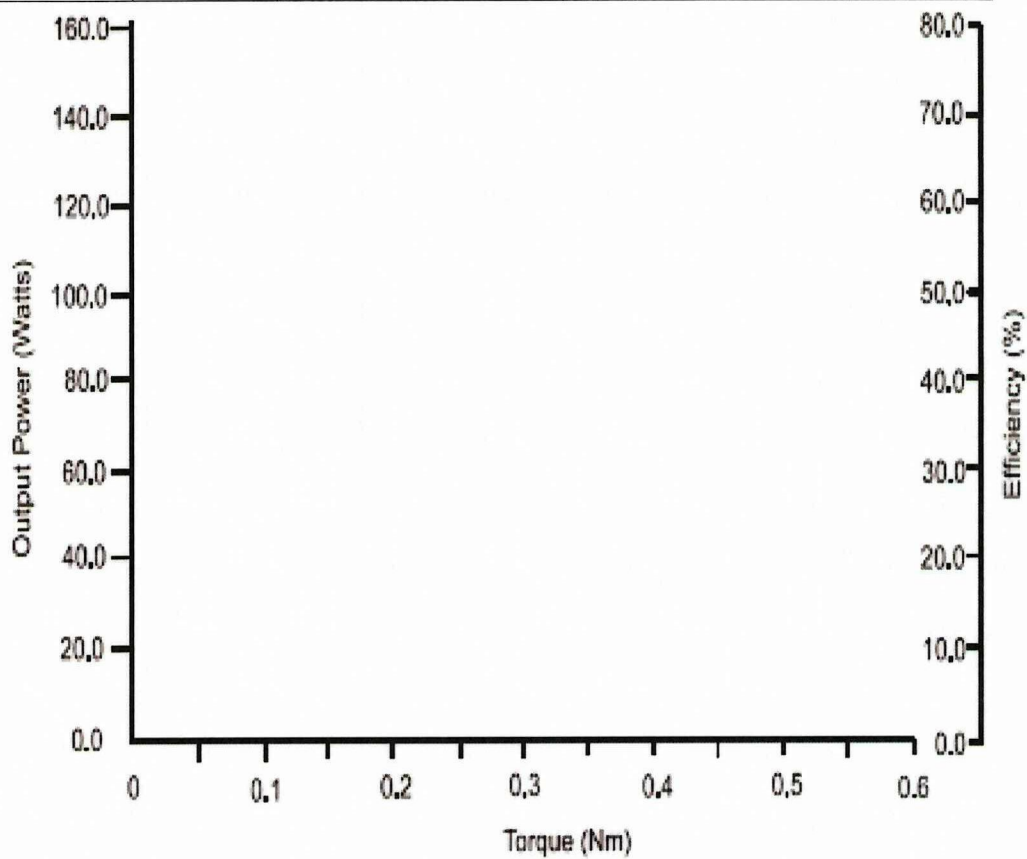
Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

|                   |   |           |             |
|-------------------|---|-----------|-------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: SINCRONIZACIÓN DE GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>UN</b> | <b>9/10</b> |
|-------------------|---|-----------|-------------|

**TABLA 3.5. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 4 (120 V VERSIÓN DEL PRODUCTO)**

Con Corriente de Rotor a 340 mA

| Esfuerzo de torsión (Nm) | Velocidad (rpm) | Corriente de línea (A) | Factor de Potencia ( $\cos \phi$ ) | Potencia trifásica Input (W) | Potencia de salida (W) | Eficiencia (%) |
|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------|
|                          |                 |                        |                                    |                              |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                              |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                              |                        |                |
|                          |                 |                        |                                    |                              |                        |                |



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

|                   |  |                 |
|-------------------|--|-----------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: SINCRONIZACIÓN DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>UN 10/10</b> |
|-------------------|--|-----------------|

**PRUEBA DE CONOCIMIENTOS**

- ¿Por qué se conecta en paralelo los generadores?
- ¿Cuáles son las condiciones requeridas para poner en sincronismo a una máquina sincrónica?
- ¿Cuáles son los pasos para poner en sincronismo a la máquina Sincrónica?

**CONCLUSIONES:**

.....

.....

.....

.....

**RECOMENDACIONES:**

.....

.....

.....

.....

**3.5.2. Práctica 5: Control del factor de potencia de un motor  
síncrono trifásico**

|                   |  |             |
|-------------------|--|-------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>1/13</b> |
|-------------------|--|-------------|

**OBJETIVOS:**

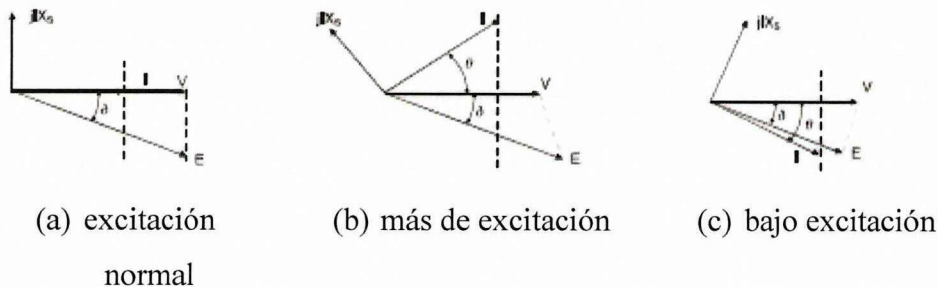
Comprenderá cómo la máquina sincrónica funciona como un reactor síncrona

**MARCO TEÓRICO**

**Control de Factor de Potencia y Efecto de la carga en una máquina síncrona que funciona como un motor**

Cuando se carga el motor el rotor se desliza detrás del campo de rotación en un ángulo conocido como el ángulo de carga. Esto se muestra en el Gráfico 3.8 (a) donde E, la FEM generada, se retrasa el voltaje de suministro por el ángulo  $\delta$ .

**Gráfico 3.8 Voltaje de suministro por el ángulo  $\delta$ .**



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

El Gráfico 3.8 muestra los diagramas vectoriales de un funcionamiento del motor síncrono con carga constante para valores variables de la corriente de excitación es el ángulo de corriente de línea que retrasa o adelanta al voltaje de alimentación en el estator. El Gráfico 3.8 (a) muestra la corriente de línea en fase con la tensión de alimentación.

Para una carga dada la potencia de entrada al motor debe ser el mismo para diferentes valores de excitación.

Potencia de entrada  $P_i = \sqrt{3}VI \cos \theta$

Donde V es la tensión de la línea y I la corriente de línea.

Cos  $\phi$  se conoce como el factor de potencia del estator.

Si la FEM se incrementa considerablemente (mediante el aumento de la corriente de excitación) a continuación,  $\theta$  se convierte en grande y líder. Las líneas de corriente aumentan como se ilustra en el Gráfico 3.8 (b).

Por el contrario, si la FEM se reduce considerablemente (por la disminución de la corriente de excitación), entonces  $\theta$  se pone grande y se retrasa. La corriente de línea volvería a aumentar como se ilustra en el Gráfico 3.8 (c).

Potencia de salida  $P_o = 2\pi NT/60$

Donde N es la velocidad en rpm y T es el par en Nm

Eficiencia 
$$\frac{\text{Power Out}}{\text{Power In}} \times 100\%$$

$$= \frac{2\pi NT/60}{\sqrt{3}VI \cos \theta} \times 100\%$$

**Equipo necesario**

- Fuente de alimentación universal 60-105.
- Motor Trifásico sincrónico / Generador - Rotor partido 64-510
- Panel de Control de Par y velocidad
- Motor Trifásico
- Poleas y Bandas
- Frame System 91 -200
- Set de cables de conexión 68-800

| PRÁCTICA 4   | TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO   | 3/13 |
|--|---|------|
| Otros:   |   |      |
| Instrumentación  | Medidores Individuales y trifásicos   |      |
| Convencional   | Panel de Voltímetro y amperímetro de  |      |
| <b>PROCEDIMIENTO</b>   |   |      |
| En la Fuente de alimentación universal 60-105, apague el interruptor Trifásico, gire el control de voltaje variable de salida a 0%   |   |      |
| Asegúrese de que el motor Trifásico que sirve para llegar al sincronismo esté acoplado al generador por el acoplamiento de poleas y bandas. Asegúrese de que las tapas del eje están en su lugar.  |   |      |
| Completar el circuito del Gráfico 3.9 mediante el establecimiento de la conexión en 3.11. En primer lugar, completar el cableado del panel en el Gráfico 3.4 con el 64-510 conectado en estrella y en segundo lugar en el Gráfico 3.10 (instrumentación convencional). |   |      |
| <b>Ajuste de control</b>   |   |      |
| Fuente de alimentación 60-105  | de En la unidad 60-105, asegúrese que el "control de la tensión de salida variable se establece en 0 % y luego ajuste el interruptor de circuito de fase '3' a la posición de encendido. La alimentación de la fuente está disponible como se indica por el indicador verde 'on' iluminado. |      |

| PRÁCTICA 4                    | TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO   | 4/13 |
|-------------------------------|---|------|
| Control de Torque y Velocidad | <p>Apague la alimentación principal de CA con el botón verde de encendido/apagado. Ajuste los dos controles rotativos en las posiciones en contra-reloj. Ajuste el interruptor de "tensión de la demanda" a +ve</p> <p>Conecte el dinamómetro a la toma de la modalidad de velocidad. Pulse el botón de "poder" que se ilumina de color verde. Pulse el botón "dinamómetro power "on" para que se encienda el LED rojo adyacente.</p> <p style="text-align: center;"><b>NOTAS DE SEGURIDAD</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. NO maneje el dinamómetro en el momento en el modo de velocidad. Esto se sobrecaliente el motor del dinamómetro y dañar el equipo.</li> <li>2. Apague siempre el control de voltaje 60-105 dc variable a ceros antes de parar la rotación del generador</li> <li>3. En circunstancias en las que el banco no está siendo utilizado por un periodo superior a 5 minutos, pulse el botón de apagado de potencia del motor trifásico. Cuando esté listo para continuar con la tarea, pulse el botón de alimentación del motor trifásico en traer el poder de nuevo en el sistema.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>PUESTA EN MARCHA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ajuste la velocidad del generador utilizando el control de torque velocidad aproximadamente a 3000 rpm. a 230 V. y 3600 rpm. a 120 V.</li> <li>2. En la unidad 60-105, ajuste el interruptor de circuito trifásico a la posición de encendido. La fuente de Voltaje está ahora disponible como se indica por el encendido de la luz verde.</li> <li>3. Ajustar el voltaje de campo dc girando el control de la tensión de salida variable en el 60-105 de tal manera que el voltaje de la salida del generador sea el mismo valor que el de la alimentación trifásica que va a ser conectado cuando el interruptor de sincronización este cerrado. Este voltaje se mide con</li> </ol> |      |

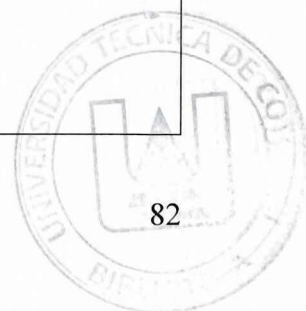
|                   |  |             |
|-------------------|--|-------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>5/13</b> |
|-------------------|--|-------------|

un voltímetro externo se establece en el rango de 500 V ac.

4. Usted se dará cuenta que las lámparas de sincronización parecen girar.
5. Disminuya la velocidad en una pequeña cantidad. Si las luces parecen girar más rápido, a continuación, aumente la velocidad por una pequeña cantidad. Ajuste la velocidad hasta que las luces parecen girar a su velocidad más lenta posible. En este punto la tensión de salida del generador se encuentra en la misma frecuencia que el suministro
6. En el panel de lámparas de sincronización 68-120 cuando sólo las lámparas LP1 y LP2 tienen el mismo brillo y LP3 lámpara está apagada, encienda el interruptor de 68-120.
7. Aumente la corriente de campo dc con el control de voltaje de salida variable 60-105 a 150 mA. .
8. Reduzca lentamente con el control de velocidad y torque a la posición cero. La máquina está ahora funcionando como un motor, y gira a una velocidad sincronizada con la frecuencia de suministro.
9. Apague el Panel de control de Par y velocidad pulsando el botón verde "poder". y luego conecte el motor trifásico a la toma de " conexión en modo de par".
10. Encienda el Panel de control de Par y velocidad pulsando de nuevo el botón verde "poder" y pulse el "poder dinamómetro " o el botón para que se encienda el led rojo
11. Para el motor síncrono, ajustar la corriente de campo dc a 340 mA y utilizar el control de la tensión de salida variable en el 60-105
12. Registre los valores de la corriente de línea y el factor de potencia en la Tabla de resultados 3.9, (230 V o 120 V versiones del producto). Coloque una etiqueta a la carga mínima de la tabla.
13. Al completar la tabla ajustar la corriente de campo lentamente mediante el uso del control de voltaje de salida variable 60-105 a 340 mA.

**NOTA:**

Se debe tener cuidado cuando se hacen ajustes de corriente de campo pequeños estos se realizan con el control variable dc. Los ajustes grandes harán que el motor al ' arranque ' de sincronismo en los niveles más bajos requieran que el procedimiento de sincronización se repita.



|                   |  |             |
|-------------------|--|-------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>6/13</b> |
|-------------------|--|-------------|

14. Ahora aumente el par poco a poco desde el controlador de par / velocidad y establezca un valor de 0,2 Nm. Tome lecturas antes y después en la Tabla de resultados 3.9 (230 V o 120 V versiones del producto).

15. Ajuste la corriente de excitación del motor síncrono a 340 mA mediante el uso del control de ' voltaje de salida variable' 60-105, cuando la tabla este completa.

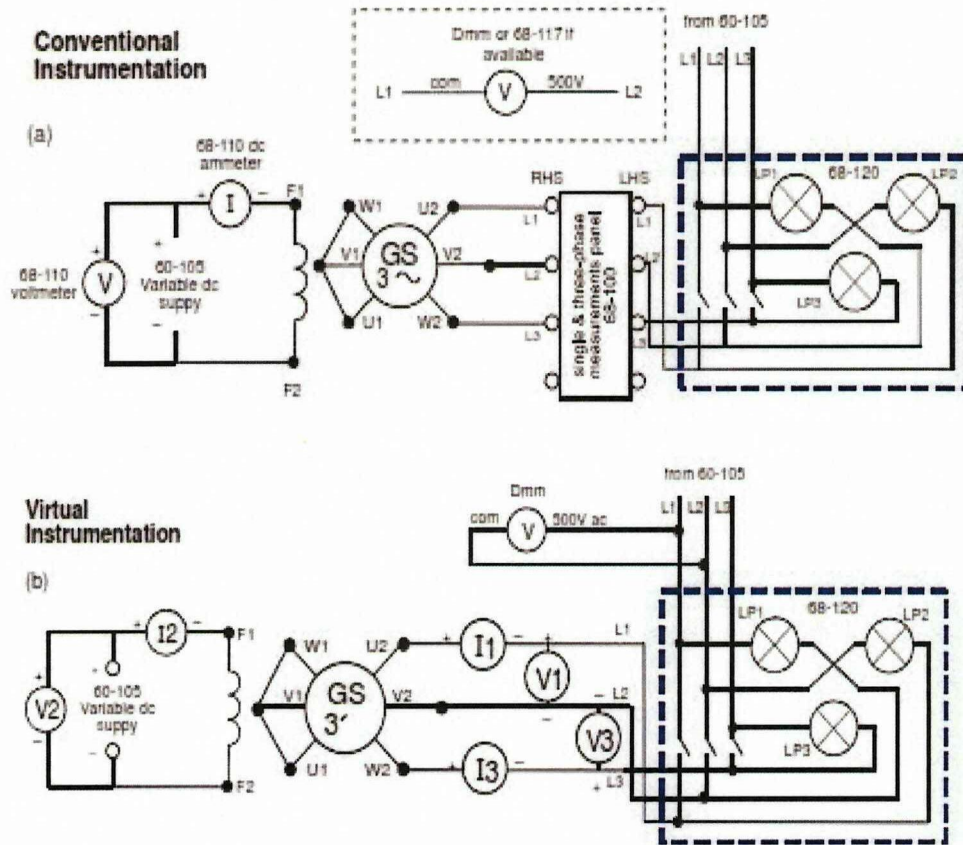
16. Para obtener un conjunto de resultados para una carga de 0,3 Nm se debe tener cuidado de no sobre reducir la corriente de campo niveles de valores bajos. Puede que no sea posible tomar todas las lecturas antes de que las máquinas este fuera de sincronización. En el caso de que esto ocurra, cambiar la sincronización de las lámparas a apagado y reducir la corriente de campo a cero.

Repita el procedimiento de sincronización si desea continuar, registre los resultados en la tabla 3.7 (230 V o 120 V versiones del producto) debe ser completado para el aumento del par de carga.

1. En el control de par y velocidad. Restablecer el par aplicado a la " posición de apagado " girando la velocidad constante o control de par.
2. Sobre la 68-120, gire el interruptor de las luces Sincronización a la posición de apagado.
3. Sobre la Fuente de alimentación universal 60-105 , gire el "control a 0 % y luego desactivar toda la energía ajustando el interruptor de circuito trifásico ' la tensión de salida variable a la posición de apagado

GRÁFICOS:

GRÁFICO 3.9: LOS DIAGRAMAS DE CIRCUITO



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

GRÁFICO 3.10: DIAGRAMAS DE CABLEADO

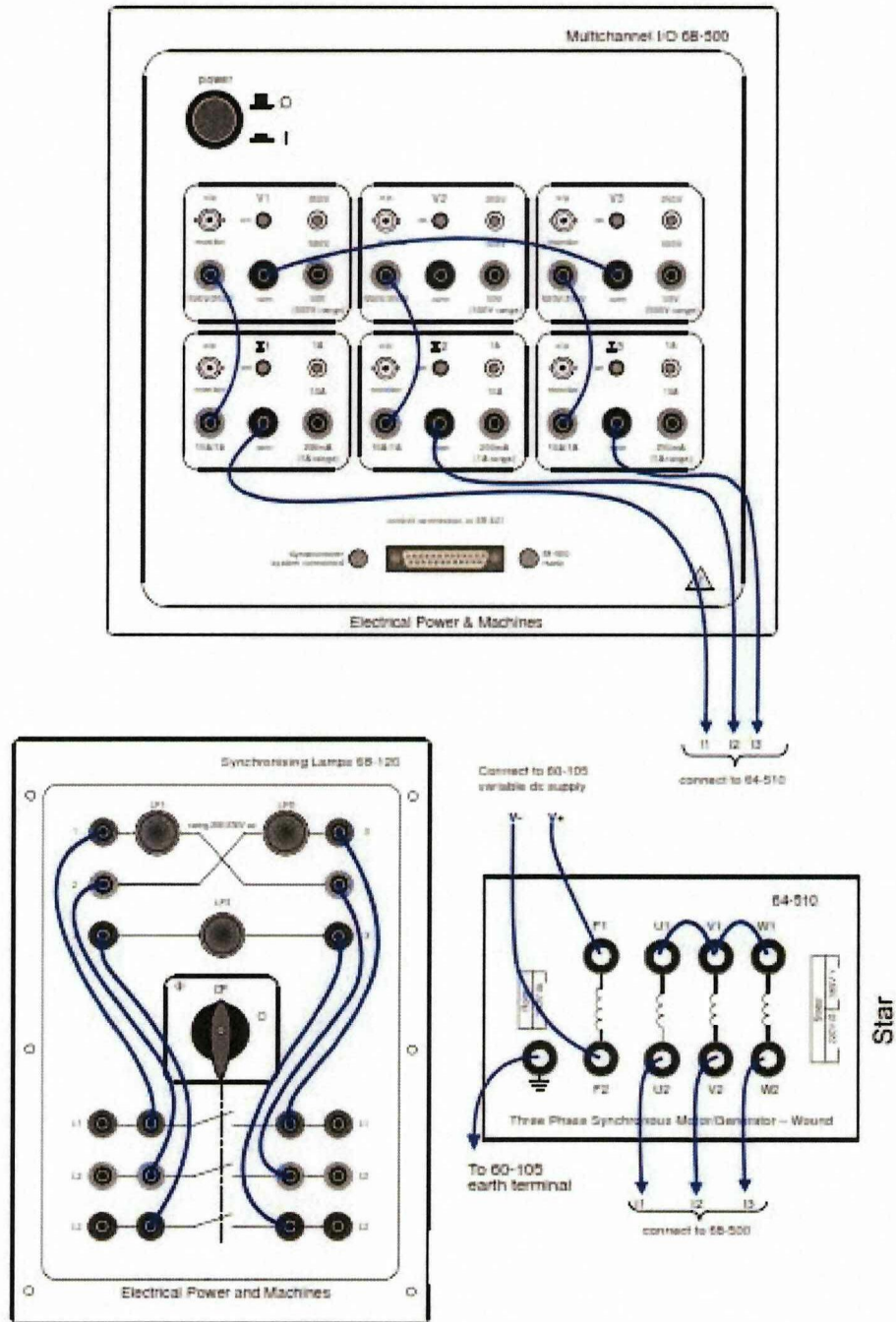
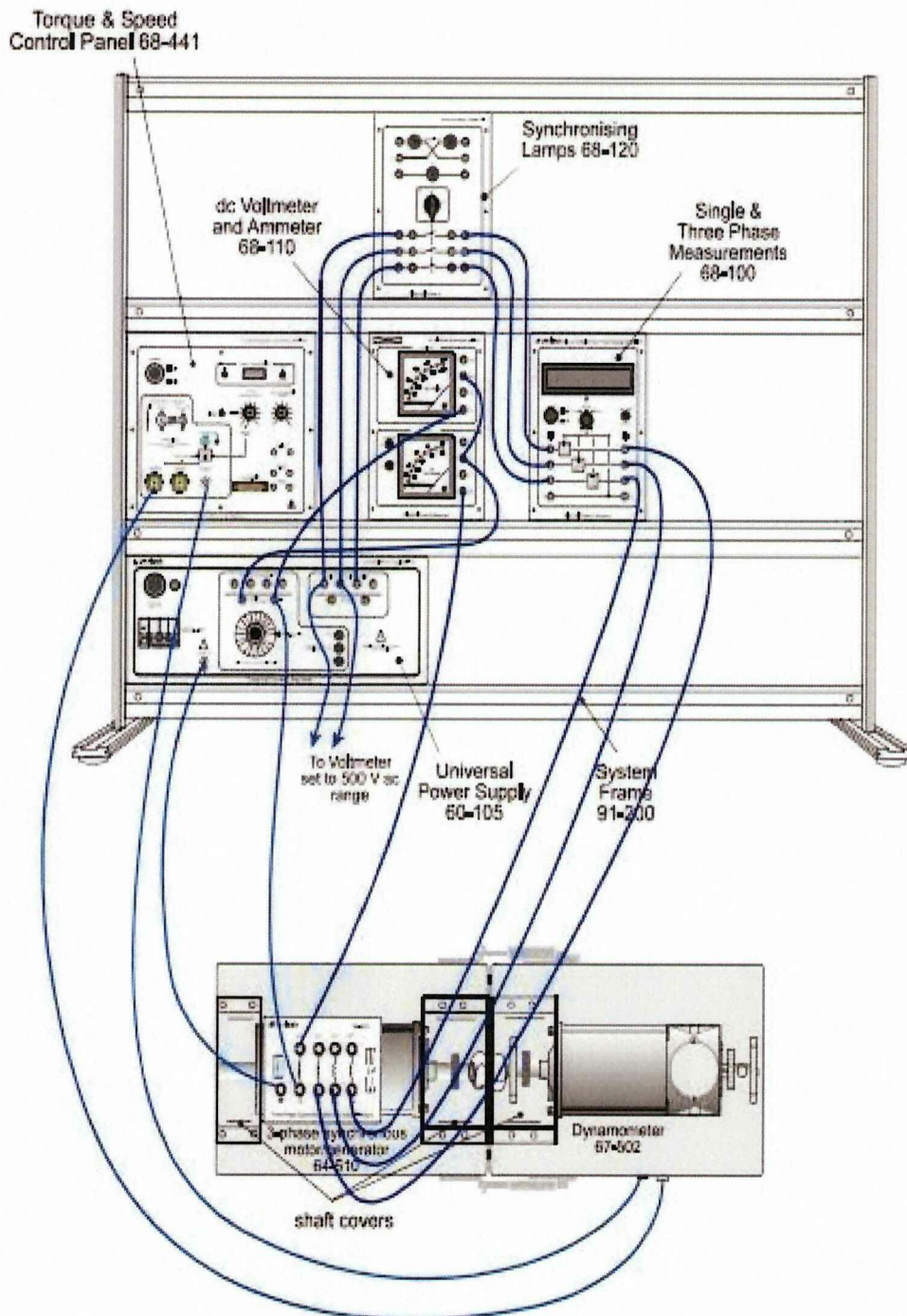


Figure 3-13-3

Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

GRÁFICO 3.11: CONEXIONES



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

|                   |  |              |
|-------------------|--|--------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>10/13</b> |
|-------------------|--|--------------|

**ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

**TABLA 3.6. RESULTADOS Y TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 5 (230 V VERSIÓN DEL PRODUCTO).**

| <b>Corriente de Rotor<br/>(mA)</b> | <b>ac Corriente de línea<br/>(mA)</b> | <b>Factor de Potencia<br/>(cos <math>\phi</math>)</b> |
|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 340                                |                                       |   |
| 315                                |                                       |   |
| 280                                |                                       |   |
| 248                                |                                       |   |
| 233                                |                                       |   |
| 205                                |                                       |   |
| 200                                |                                       |   |
| 157                                |                                       |   |
| 149                                |                                       |   |
| 146                                |                                       |   |
| 142                                |                                       |   |
| 138                                |                                       |   |
| 131                                |                                       |   |
| 122                                |                                       |   |
| 116                                |                                       |   |

Control del factor de potencia de carga mínima

Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**TABLA 3.7. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 5 RESULTADOS (230 V VERSIÓN DEL PRODUCTO).**

| <b>dc Rotor actual<br/>(mA)</b> | <b>ac Corriente de línea<br/>(mA)</b> | <b>Factor de Potencia<br/>(cos <math>\phi</math>)</b> |
|---------------------------------|---------------------------------------|---|
| 300                             |                                       |   |
| 282                             |                                       |   |
| 261                             |                                       |   |
| 231                             |                                       |   |
| 210                             |                                       |   |
| 202                             |                                       |   |
| 188                             |                                       |   |
| 80                              |                                       |   |
| 174                             |                                       |   |
| 154                             |                                       |   |
| 153                             |                                       |   |
| 147                             |                                       |   |
| 146                             |                                       |   |
| 134                             |                                       |   |

Resultados para 0,2 Nm Carga

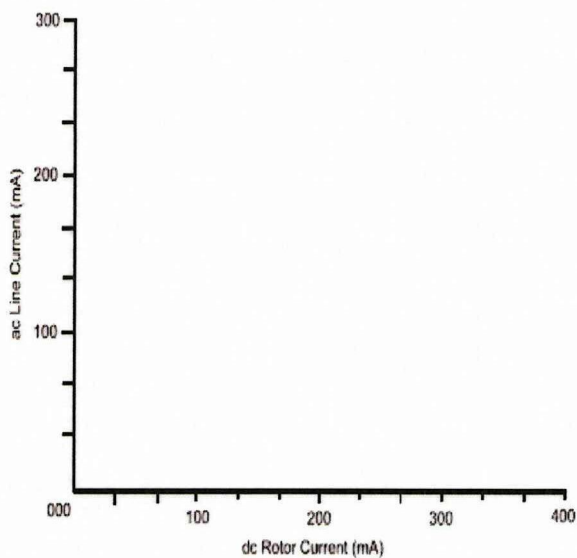
Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

**TABLA 3.8. RESULTADOS DE TABLAS Y GRÁFICOS PRÁCTICA 5 (230 V VERSIÓN DEL PRODUCTO).**

| <b>dc Rotor actual<br/>(mA)</b> | <b>ac Corriente de línea<br/>(mA)</b> | <b>Factor de Potencia<br/>(<math>\cos \phi</math>)</b> |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| 300                             |                                       |  |
| 270                             |                                       |  |
| 243                             |                                       |  |
| 225                             |                                       |  |
| 215                             |                                       |  |
| 204                             |                                       |  |
| 191                             |                                       |  |
| 177                             |                                       |  |
| 173                             |                                       |  |

Resultados para 0,3 Nm de carga



Elaborado por: Autores

Fuente: Manual del Estudiante Sistema Feedback 070

|                   |  |              |
|-------------------|--|--------------|
| <b>PRÁCTICA 4</b> | <b>TEMA: CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>13/13</b> |
|-------------------|--|--------------|

**PRUEBA DE CONOCIMIENTO**

¿Qué ocurre cuando la FEM se incrementa considerablemente?

¿Qué se concluye para la gráfica obtenida anteriormente?

¿Cuál es el efecto de la carga en una máquina síncrona que funciona como motor?

¿Influye en el par- motor de salida el grado de excitación de c.c.? Explique por qué?

**CONCLUSIONES:**

.....

.....

.....

.....

**RECOMENDACIONES:**

.....

.....

.....

.....



## CONCLUSIONES

- La implementación del módulo de Máquina Síncrona servirá como herramienta para la enseñanza por parte del docente a través de guías didácticas para las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica.
- La máquina síncrona nos da la oportunidad de observar cómo se produce el fenómeno de convertir la energía mecánica en eléctrica, actuando como motor
- Cuando opera como generador síncrono nos permite observar la conversión de la energía mecánica en eléctrica, a través de los instrumentos de medida.
- El factor de potencia se corrige a través del uso de los motores sincrónicos lo que permite mejorar la eficiencia.
- Observamos el funcionamiento del motor síncrono y se pudo relacionar con el motor de inducción como si fuera un motor de inducción síncrono.
- Si la carga del motor síncrono llega a ser demasiado grande, el motor va disminuyendo velocidad, perdiendo su sincronismo y se para, destacando que dicho efecto es perjudicial para el motor.
- Los motores sincrónicos requieren una excitación de CC para el rotor, así como una tensión CA para el motor.
- A través de la encuesta realizada a los estudiantes y profesores de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi se logró identificar la factibilidad y la oportunidad de implementar el módulo de máquina síncrona. Las encuestas arrojaron que un 91,3% de los estudiantes al igual que 71,4% de los profesores piensan

que es necesario la elaboración de guías prácticas. En este sentido el 85,7% de los encuestados señalan que la manera en que los profesores imparten su cátedra mejorará al aplicarse esta guía práctica.

- Por medio de este módulo se facilitará la demostración el aprendizaje teórico recibido en las aulas y puesto en ejecución de manera práctica en este laboratorio.
- Se implementó las guías prácticas para el proceso de utilización y manipulación del módulo de Máquina Sincrónica con los temas: Circuito Abierto, Característica de cortocircuito, Efecto de la variación de la velocidad en la salida de voltaje y frecuencia, Sincronización de un generador síncrono trifásico, Control del factor de potencia de un motor síncrono trifásico
- Al realizar pruebas de conexiones erróneas, observamos que en caso de ocurrir se garantizó que las protecciones del módulo de Máquina Sincrónica actúan proporcionando seguridad a las personas y al equipo.
- El presente proyecto de tesis ha permitido que sus autores brinden un aporte a la Universidad Técnica de Cotopaxi. En especial a las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica a través de la implementación del Módulo de Máquina Sincrónica en el proceso de aprendizaje de las cátedras de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación.

## **RECOMENDACIONES.**

- Durante la utilización de este módulo se tome en cuenta todas las medidas y normas de seguridad detalladas en las políticas del manual
- El docente realice ejercicios en base a las guías que se van a realizar, siguiendo al pie de la letra todas las directrices de los equipos, para garantizar el buen funcionamiento de los mismos otorgando de igual forma seguridad a los estudiantes
- Realizar copias adecuadas de las tablas de resultados y gráficas para anotar los datos obtenidos de la máquina.
- Realizar un control continuo de los componentes del manual y de ser necesario las afinaciones correspondientes a fin de evitar contratiempos y peligros durante las prácticas.
- Se realice la adquisición, implementación y puesta en marcha del complemento y acoplamiento de los demás accesorios.
- Es necesario que la Universidad siga apoyando esta clase de proyectos para a futuro contar con el módulo completo de máquinas eléctricas, ya que permitirá aprovechar de mejor manera los equipos adquiridos.

# BIBLIOGRAFÍA

## Bibliografía citada

- Argüello Ríos, G. A. (1974). *Método de determinación de los parámetros en régimen permanente y transitorio de una máquina síncrona*. Quito: EPN.
- Cadena Quimbita, H. M. (1998). *Vademecum de Máquinas Eléctricas y Material Industrial*.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. (2003). *Máquinas Eléctricas*. México.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. (2003). *Máquinas Eléctricas* (Sexta Edición ed.). México.
- Kosow, I. L. (1993). *Máquinas eléctricas y transformadores*. México.
- Nasar, S. A., & Unnewehr, L. E. (1982). *Eletromecánica y máquinas eléctricas*. Limusa.
- Ponce Cruz, P., & Sampé López, J. (2008). *Máquinas eléctricas y técnicas modernas de control*. 3B.
- Poveda Almeida, M., & Núñez Villacrés, G. G. (2007). *Simulación por computador de la máquina síncrona*. Quito.
- Rivera Argoti, P., & Poveda Almeida, M. (1987). *Estudio de los sistemas de excitación y reguladores de voltaje de las máquinas síncronas*. Quito : ESPE.

## Sitios Web Consultados

- Páginas especializadas
  - <http://www.MOTORES%20MANTTO%202.htm>
- [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
  - <http://www.monografias.com/trabajos10/motore/motore.shtml>
  - <http://www.monografias.com/trabajos74/motores-corriente-directa/motores-corriente-directa2.shtml>
  - <http://www.monografias.com/trabajos93/maquinas-sincronicas/maquinas-sincronicas.shtml#1565#ixzz2q6kbEtij>
- SENESCYT

- <http://www.educacionsuperior.gob.ec/>
- UNESCO
  - [http://www.unesco.org.ve/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1&Itemid=406&lang=es](http://www.unesco.org.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=406&lang=es)
  - <http://www.unesco.org/new/es/education/>
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
  - [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico)

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

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

#### **CARRERAS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTROMECAÁNICA**

#### **ENCUESTA DIRIGIDA A LOS PROFESORES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

#### **OBJETIVO**

Simular y aplicar prácticas de máquinas sincrónicas en el laboratorio de ciencias eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi

#### **INSTRUCCIONES**

Lea detenidamente, marque con un círculo la respuesta correcta

Preguntas:

**1.- ¿La tecnología de los equipos de Máquinas Sincrónicas del laboratorio de máquinas eléctricas satisfacen las necesidades para las prácticas?**

Regularmente Satisfecho

Totalmente Insatisfecho

**2.- ¿Cree Ud. que las autoridades conocen sobre las necesidades de profesores que imparten las materias de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación?**

Si

No

**3.- ¿Dentro del plan de estudios en la carrera de ingeniería eléctrica y electromecánica se tiene establecido como fortalezas el adiestramiento técnico-práctico en los conocimientos sobre Máquinas Sincrónicas?**

Si

No

**4.- ¿En lo concerniente a materias de máquinas eléctricas y teoría electromagnética, cree usted que se requiere de un módulo para efectuar prácticas con Máquinas Sincrónicas?**

Si

No

**5.- ¿Indique Ud. cuál de las siguientes opciones refuerzan lo aprendido en clases de Máquinas eléctricas Centrales de Generación?**

Libros

Prácticas

Nada

**6.- ¿Califique la tecnología de los equipos para la práctica de Máquinas Sincrónicas para el dictamen de las materias de Máquinas Eléctricas y Centrales Eléctricas?**

Suficiente

Escaso

Nulo

**7.- ¿Con que frecuencia utilizan los profesores y estudiantes los laboratorios de las materias de Máquinas Eléctricas y teoría electromagnética?**

Suficiente

Escaso

Nulo

**8.- ¿Cómo docentes cree usted que se fortalecerán los conocimientos en los estudiantes mediante el equipamiento de un módulo de Máquina Sincrónica?**

Sí

No

**9.- ¿En referencia a la pregunta anterior es necesaria la elaboración de guías prácticas para la utilización del módulo de Máquina Sincrónica?**

Urgente

Necesario

## ANEXO 2

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

**CARRERAS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTROMECAÁNICA  
ENCUESTA DIRIGIDA A LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE COTOPAXI**

### OBJETIVO

Simular y aplicar prácticas de máquinas sincrónicas en el laboratorio de ciencias eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi

### INSTRUCCIONES

Lea detenidamente y marque con un círculo la respuesta correcta

Preguntas

**1.- ¿Cree Ud. que es necesario comprobar los conocimientos teóricos de la máquina Sincrónica?**

Sí

No

**2.- ¿Cree Ud. que la realización de prácticas de laboratorio podrán fortalecer los conocimientos sobre de máquina Sincrónica?**

Sí

No



**3.- ¿Cree Ud. que puede reforzar lo aprendido en las clases de Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación con prácticas en un módulo de máquina Sincrónica?**

Si

No

**4- ¿Cree Ud. que los docentes de las materias Máquinas Eléctricas y Centrales de Generación fortalecerán los conocimientos mediante el uso de simuladores?**

Sí

No

**5.- ¿Seleccione cómo califica la tecnología actual del equipamiento de los laboratorios con respecto a Máquina Sincrónica?**

Tecnología Actualizada

Tecnología Desactualizada

**6.- ¿Para Ud., es necesaria la elaboración de guías prácticas del módulo de máquina sincrónica para el laboratorio de máquinas eléctricas de la carrera de ingeniería eléctrica?**

Si

No