

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



CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
EN POTENCIA.

TEMA:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD MOTOR GENERADOR AC-AC, PARA REALIZAR PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS DE LA PUESTA EN PARALELO ENTRE DOS UNIDADES DE GENERACIÓN AC, EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

AUTORES:

ACOSTA GUTIÉRREZ SEGUNDO HERNÁN
VELASCO CHIMBA JUAN ROLANDO

DIRECTOR:

ING. XAVIER PROAÑO

ASESOR:

MSC. HUGO ARMAS

LATACUNGA, NOVIEMBRE DE 2013





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Latacunga – Cotopaxi - Ecuador


APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban que el presente Informe técnico de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: ACOSTA GUTIÉRREZ SEGUNDO HERNÁN y VELASCO CHIMBA JUAN ROLANDO, con el título de tesis: IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD MOTOR GENERADOR AC-AC, PARA REALIZAR PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS DE LA PUESTA EN PARALELO ENTRE DOS UNIDADES DE GENERACIÓN AC, EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 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, 4 de Noviembre del 2013.

Para su constancia firman:


.....
PRESIDENTE
Ing. Miguel Lucio


.....
OPOSITOR
Ing. Vicente Quispe


.....
MIEMBRO
Dr. Marcelo Bautista

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación es de exclusiva autoría de los postulantes: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán y Velasco Chimba Juan Rolando, quienes nos responsabilizamos por las ideas y comentarios emitidos en la elaboración de este proyecto.



Hernán Acosta Gutiérrez

C.I. 0501438956



Juan Velasco Chimba

C.I. 0502714439



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Latacunga – Cotopaxi - Ecuador

AVAL DEL DIRECTOR

En calidad de Director de Tesis del tema de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD MOTOR GENERADOR AC-AC, PARA REALIZAR PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS DE LA PUESTA EN PARALELO ENTRE DOS UNIDADES DE GENERACIÓN AC, EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de los postulantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán y Velasco Chimba Juan Rolando, tengo a bien certificar que el presente trabajo investigativo cumple con los requerimientos metodológicos así como aportes científicos y técnicos, a la vez que considero que cumplen los objetivos planteados para ser sometidos a la evaluación del Honorable Consejo Académico de la Carrera de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Latacunga, 3 de octubre de 2013

Ing. Eléct. Xavier Proaño

DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Latacunga – Cotopaxi - Ecuador

CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de Director de Tesis del tema de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD MOTOR GENERADOR AC-AC, PARA REALIZAR PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS DE LA PUESTA EN PARALELO ENTRE DOS UNIDADES DE GENERACIÓN AC, EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, tengo a bien certificar que los postulantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán y Velasco Chimba Juan Rolando, han realizado la respectiva implementación de un módulo que contiene un grupo motor generador AC-AC, así como los instrumentos necesarios para realizar la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, cumpliendo con los objetivos planteados para ser sometidos al acto de defensa de tesis.

Latacunga, 3 de octubre de 2013

Ing. Eléct. Xavier Proaño

DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Latacunga – Cotopaxi - Ecuador

AVAL DE LA TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Msc. CANDO GUANOLUISA FABIOLA SOLEDAD, con cédula de ciudadanía N° 050288460-4, CERTIFICO que he realizado la respectiva revisión del ABSTRACT, con el tema: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD MOTOR GENERADOR AC-AC, PARA REALIZAR PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS DE LA PUESTA EN PARALELO ENTRE DOS UNIDADES DE GENERACIÓN AC, EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, cuyos autores son: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán y Velasco Chimba Juan Rolando, postulantes a Ingenieros Eléctricos en Sistemas Eléctricos de Potencia y el Director de Tesis Ing. Xavier Proaño.

Latacunga, 3 de octubre de 2013

Docente:



Msc. Fabiola Cando

050288460-4

AGRADECIMIENTO

Mi profundo reconocimiento y agradecimiento a Dios y la gratitud al cuerpo Docente de la universidad Técnica de Cotopaxi, por haber aportado con sus sabios conocimientos para culminar una etapa de mi vida.

De manera especial al Ing. Xavier Proaño, por su valioso aporte técnico y dirección en el desarrollo del presente proyecto.

Mi reconocimiento al Ing. Alfonso Echeverría por su apoyo constante en las pruebas de la implementación de este trabajo.

Al Msc. Hugo Armas y al Dr. Galo Terán, por su asesoramiento y apoyo incondicional en la fase metodológica.

Hernán Acosta Gutiérrez

DEDICATORIA

A mis padres Julián† y Lastenia, a mi esposa Marcela, a mis adorables hijos Sandy y Diego quienes siempre han sido y serán la razón de mi existencia.

La confianza y apoyo incondicional de ellos se ve reflejada en la culminación de este objetivo en mi vida.

Hernán Acosta Gutiérrez

AGRADECIMIENTO

Al culminar mi carrera universitaria, después de Dios, expreso mi sincero agradecimiento a todo el personal Docente y Administrativo de esta prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi, quienes me permitieron entrar por la puerta grande a sus aulas, permanecer y asimilar los conocimientos técnicos y científicos junto a mis compañeros durante varios años y finalmente alcanzar mi formación profesional.

Al Ing. Xavier Proaño, quien con su motivación técnica y científica hizo posible la terminación de este proyecto.

Un reconocimiento al Ing. Alfonso Echeverría por la confianza y motivación para alcanzar el objetivo propuesto en el desarrollo de este trabajo

Al señor Msc. Hugo Armas y al señor Dr. Galo Terán quienes desde las aulas, hasta la culminación del presente trabajo han sido los guías metodológicos en el asesoramiento para el desarrollo de este proyecto.

Juan Velasco Chimba

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a DIOS, por darme salud, vida y la fuerza necesaria para seguir adelante, a mis padres Segundo Camilo Velasco y Martha Dolores Chimba quienes con su esfuerzo y sacrificio depositados en todas las etapas de mi vida han hecho posible mi formación profesional, ellos que siempre me iluminaron por el camino del bien.

A mis hermanos Andrés, Mayra, Cosme y David por brindarme su confianza, ayuda y sobre todo creer en mí, y a toda mi familia que de una u otra manera me apoyaron incondicionalmente.

Juan Velasco Chimba

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AUTORÍA.....	iii
AVAL DEL DIRECTOR.....	iv
CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AVAL DE LA TRADUCCIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA	x
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
INTRODUCCIÓN	xxiii

CAPITULO I

CAPÍTULO I.....	1
-----------------	---

1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 INTRODUCCIÓN A LOS GENERADORES ELÉCTRICOS	2
1.3 GENERADOR SINCRÓNICO.....	3
1.3.1 Partes de un generador sincrónico.....	5
1.3.1.1.- Rotor, campo o excitación del generador sincrónico.....	5
1.3.1.2.- Estator o armadura.....	6
1.3.1.3.- Regulador Automático de Voltaje (AVR).....	6
1.3.1.4- Regulador de velocidad.....	6
1.3.2.- Excitación del generador sincrónico.....	7
1.3.3 Eficiencia en los generadores sincrónicos.....	7
1.3.4 Generador sincrónico de rotor cilíndrico.....	8
1.3.5 Generador sincrónico de polos salientes.....	10
1.3.6 Reacción del generador sincrónico ante la aplicación de carga lineal, tipo resistiva, inductiva y capacitiva.....	12
1.3.7 Operación en los cuatro cuadrantes.....	13
1.4 MOTOR ASINCRÓNICO O INDUCCIÓN.....	16
1.4.1 Clasificación de los motores de inducción.....	17
1.4.1.1 Clasificación según el número de devanados en el estator:.....	18
1.4.1.2 Clasificación según el tipo de inducido.....	18
1.4.2 Principio de funcionamiento del motor asincrónico.....	20

<i>1.5 GENERADORES SINCRÓNICOS EN PARALELO.</i>	21
<i>1.5.1 Importancia de generadores sincrónicos en paralelo.</i>	21
<i>1.5.2 Las condiciones requeridas para operar en paralelo</i>	22
<i>1.5.3 Condiciones a cumplir</i>	23
<i>1.5.4 Procedimiento general para poner generadores en paralelo</i>	24
<i>1.5.5 Características de frecuencia- potencia y voltaje- potencia reactiva en un generador sincrónico.</i>	27
<i>1.5.6 Niveles de regulación de frecuencia</i>	31
<i>1.5.7 Sistemas de control para la regulación de frecuencia</i>	31
<i>1.6 REPARTO DE CARGA ENTRE GENERADORES EN PARALELO</i>	31
<i>1.7 CONTROL POTENCIA REACTIVA Y VOLTAJE (Q-V) EN SISTEMAS ELECTRICOS.</i>	36
<i>1.7.1 Compensación de carga</i>	36
<i>1.7.2 Objetivos principales de la compensación de carga:</i>	38
<i>1.8 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS</i>	38
<i>1.8.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</i>	39

CAPITULO II

CAPITULO II	41
2.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
<i>2.1.1 Introducción.</i>	41

2.1.2 Diseño metodológico.....	42
2.1.3 Técnicas e instrumentos de investigación.....	42
2.1.4 Obtención de resultados y análisis de la entrevista realizada a los Ingenieros Eléctricos de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	43
2.1.5 Obtención de resultados y análisis de la encuesta.....	48
2.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	57
2.2.1 Planteamiento de las hipótesis a ser verificadas.....	57
2.2.2 Hipótesis Nula.- H_0	57
2.2.3 Hipótesis alternativa.- H_1	57
2.2.4 Deducción matemática.....	58
2.2.5 Niveles de significación para la interpretación de los resultados.....	58
2.2.6 Tabulación de datos.....	58
2.2.7 Cálculo de frecuencias esperadas (f_e).....	59
2.2.8 Cálculo del Chi - cuadrado (f_e).....	60
2.2.9 Cálculo del grado de libertad.....	61
2.2.10 Decisión en la selección de hipótesis.....	63
2.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
2.3.1 Conclusiones:.....	64
2.3.2 Recomendaciones:.....	65

CAPITULO III

CAPITULO III.....	68
3.1 PROPUESTA.....	68
3.2 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	68
3.2.1 Tema:	68
3.2.2 <i>Presentación de la Propuesta</i>	68
3.2.3 <i>Justificación de la Propuesta</i>	69
3.2.4 <i>Objetivos</i>	70
3.2.4.1 <i>Objetivo General</i>	70
3.2.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	70
3.2.5 <i>Análisis de Factibilidad</i>	71
3.2.5.1 <i>Factibilidad Técnica</i>	71
3.2.6 <i>Alcance del proyecto.</i>	71
3.2.7 <i>Desarrollo de la Propuesta</i>	72
3.2.7.1 <i>Implementación del modulo didáctico de la Unidad Motor – Generador</i>	72
3.2.7.2 <i>Descripción del funcionamiento de la unidad Motor-Generador para realizar prácticas demostrativas</i>	74
3.2.8 <i>Materiales utilizados para el Montaje de la Unidad Motor- Generador</i>	76
3.2.9. <i>Ubicación de los elementos y accesorios en el banco de trabajo de la unidad Motor- Generador</i>	78

<i>3.2.10 Manual de Operación del Banco de Trabajo del Módulo Motor – Generador Sincrónico Autoexcitado de 10.000 VA</i>	<i>79</i>
<i>3.2.11 Solución de Problemas.....</i>	<i>80</i>
<i>3.2.12 Planteamiento de prácticas.....</i>	<i>82</i>
BIBLIOGRAFIA	95

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Partes de un Generador Sincrónico.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.2 Circuito Equivalente de un Generador Sincrónico.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.3 Rotor de un Generador Sincrónico.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1.4 Estator de un Generador Sincrónico.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 1.5 Diagrama Fasorial del Generador de Rotor Cilíndrico.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.6 Diagrama Fasorial del Generador de Polos Salientes.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 1.7 Comportamiento Fasorial del Generador Síncrono con Carga Resistiva (1).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.8 Comportamiento Fasorial del Generador Síncrono con Carga Inductiva (-).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.9 Comportamiento Fasorial del Generador Síncrono con Carga Capacitiva (+).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1.10 Operación de la Máquina Sincrónica en el Diagrama P-Q.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 1.11 Diagrama de Operación de un Generador Sincrónico.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 1.12 Motor Asíncrono Trifásico.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.13 Partes de un Rotor Devanado.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.14 Partes de un Rotor Jaula de Ardilla.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.15 Principio de Funcionamiento de un Motor Asíncrono o de Inducción.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 1.16 Generador que se Conecta en Paralelo con un Sistema de Potencia en Operación.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 1.17 Las dos Secuencias de Fases Posibles de un Sistema Trifásico.....</i>	<i>24</i>

<i>Figura 1.18 Método de las Tres Lámparas para Comprobar la Secuencia de Fases.</i>	25
<i>Figura 1.19 Método del Sincronoscopio.</i>	26
<i>Figura 1.20 Curvas Velocidad-Potencia: a) De un Motor Primario</i>	28
<i>Figura 1.21 Curvas Velocidad-Potencia: b) De Frecuencia Resultante-Potencia del Generador.</i>	28
<i>Figura 1.22 Curva de Voltaje en Terminales (VT) contra Potencia Reactiva (Q) para un Generador Sincrónico.</i>	30
<i>Figura 1.23 Características de Regulación de dos Alternadores Operando en Paralelo.</i>	32
<i>Figura 1.24 Operación en Paralelo de dos Generadores Sincrónicos.</i>	33
<i>Figura 1.25 Características Velocidad-Potencia de los Motores Primarios.</i>	35
<i>Figura 1.26 Compensación de Carga.</i>	37

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Operación de la Máquina Síncrona en el Diagrama P-Q.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 1.2 Variable Independiente.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 1.3 Variable Dependiente.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 2.1 Entrevista.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 2.2 Entrevista.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 2.3 Entrevista.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 2.4 Entrevista.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2.5 Entrevista.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 2.6 Resultado de la pregunta n°1.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2.7 Resultado de la pregunta n° 2.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 2.8 Resultado de la pregunta n° 3.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 2.9 Resultado de la pregunta n° 4.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 2.10 Resultado de la pregunta n° 5.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 2.11 Resultado de la pregunta n° 6.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 2.12 Resultado de la pregunta n° 7.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 2.13 Resultado de la pregunta n° 8.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2.14 Datos Obtenidos de las Encuestas Realizadas.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2.15 Frecuencias Observables.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 2.16 Frecuencias Esperadas.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 2.17 Valores de Chi Cuadrado.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 2.18 Valores Percentiles (χ^2) para la Distribución Chi-Cuadrado.....</i>	<i>62</i>

INDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 2.1 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 1</i>	49
<i>Gráfico 2.2 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 2</i>	50
<i>Gráfico 2.3 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 3</i>	51
<i>Gráfico 2.4 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 4</i>	52
<i>Gráfico 2.5 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 5</i>	53
<i>Gráfico 2.6 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 6</i>	54
<i>Gráfico 2.7 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 7</i>	55
<i>Gráfico 2.8 Representación de los Resultados de la Pregunta n° 8</i>	56

RESUMEN

El proceso enseñanza aprendizaje de carreras técnicas implica la interrelación de la teoría con la práctica, por esta razón se implementó el laboratorio de máquinas eléctricas con una unidad motor generador, el propósito de esta implementación es disponer de un equipo que permita realizar experimentos de laboratorio en forma independiente y conectar en paralelo con otras unidades de generación eléctrica que posea parámetros similares. Este grupo motor-generador también está implementado con equipos de tecnología avanzada, los cuales controlan en forma automática sus parámetros ante una carga eléctrica variable. Una característica muy importante de este equipo es la facilidad para experimentar transferencias de carga eléctrica entre generadores AC y además experimentar el comportamiento de generadores frente a variaciones rápidas de carga eléctrica. Otras características importantes de este equipo es que cuenta con equipos de medición digital y sus controles de velocidad del rotor y suministro de voltaje al devanado de campo son automáticos, debemos resaltar el control de velocidad con el que está implementado, el cual controla indirecta y automáticamente el giro del generador, controlando la velocidad y torque de la máquina primaria, este control se hace sin realimentación eléctrica del generador. La presentación de este proyecto está dividido en tres capítulos, descritos como sigue: En el primer capítulo se recopila una introducción a las máquinas eléctricas sincrónicas y asincrónicas, también describe las condiciones necesarias para la conexión y distribución de carga, entre generadores sincrónicos conectados en paralelo, contiene además el control del voltaje y potencia reactiva en sistemas eléctricos. El segundo capítulo, contiene el tipo, métodos y técnicas de investigación utilizados en el desarrollo de este proyecto y los resultados son interpretados por medio del análisis de los gráficos obtenidos; además contiene las conclusiones y recomendaciones de este trabajo. El tercer capítulo es una descripción de todos los elementos utilizados para implementar la unidad motor generador AC-AC, contiene también las guías de laboratorio y el Manual de Operación.

ABSTRACT

The teaching-learning process of technical courses involves the interplay of theory and practice. For this reason we implemented the electrical machines laboratory with a motor-generator group. The purpose of this implementation is to have equipment that allows doing the laboratory experiments independently and allows connecting in parallel with other electric generating units that has similar parameters. This motor-generator group is also implemented with advanced technology equipment, which automatically controls its parameters to a variable electrical load. A very important feature of this equipment is the facility to experience transfers charge between AC generators and also experience the behavior of generators against rapid variations of electric charge. Other important features of this implementation is that it has digital measuring equipment, and its control rotor speed and supply voltage to the field winding are automatic. We highlight the speed control with which it is implemented, which indirectly and automatically controls the rotation of the generator, controlling the speed and torque of the primary machine. This control is done without any electrical feedback generator. The presentation of this project is divided into three chapters, described as follows: In the first chapter it includes an introduction to synchronous and asynchronous electrical machines. Also it describes the necessary conditions for the connection and load sharing between parallel connected synchronous generators, also contains voltage control and reactive power in electrical systems. The second chapter contains the type, methods and research techniques used in the development of this project and the results are interpreted through the analysis of the graphs obtained; also contains the conclusions and recommendations of this work. The third chapter is a description of all the elements used to implement the motor unit AC-AC generator, also contains laboratory guidelines and Operation Manual.

INTRODUCCIÓN

Desde los primeros días en los que apareció la distribución de energía eléctrica, ha sido prioridad incrementar su potencia para satisfacer los incrementos de la carga eléctrica a la cual alimenta. Considerando que si la carga eléctrica instalada tiende a superar la potencia del generador, se siente la necesidad imperiosa, que varios grupos de generación se conecten en paralelo para cumplir con el suministro de energía sin interrumpir el proceso. Para realizar este tipo de conexiones, el personal técnico que vaya a implementar sistemas eléctricos de potencia en paralelo debe estar familiarizado con los siguientes aspectos: Fundamentos teóricos de máquinas eléctricas rotativas y conocimientos prácticos demostrativos. Estos dos aspectos son importantes para no cometer algún error, el cual puede ser fatal tanto para el personal técnico que implemente un sistema eléctrico en paralelo, así como para las maquinarias y equipos acoplados a este sistema.

Considerando la importancia de la correcta implementación y operación de sistemas eléctricos en paralelo, en este proyecto se ha planteado la implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Para conectar en paralelo se requieren de dos o más unidades de generación, por lo tanto inicialmente se consideraron implementar dos unidades de generación, las mismas que debido al costo se dividió en dos anteproyectos, consecuentemente se desarrollaron dos proyectos de tesis los cuales pueden funcionar de forma independiente o en forma complementaria.

Los dos proyectos ya implementados, al enfocarse a sistemas eléctricos de potencia son similares, pero completamente diferentes tanto en su potencia, como en sus formas de control de velocidad y suministro de voltaje de campo.

Las similitudes y las diferencias fundamentales que debía cada grupo de generación están establecidas en los siguientes temas de tesis:

1. Implementación y montaje de un motor-generador AC-AC trifásico de 5 kw, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con la elaboración de un manual de operación, para realizar prácticas demostrativas.
2. Implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Avalados los dos anteproyectos, considerando que van a ser utilizados por Docentes y alumnos de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, se realizaron en forma conjunta ciertos aspectos que implican similitud, tales como los universos para las encuestas y cuestionarios así como la ubicación de los equipos e instrumentos comunes que deben ir en los bancos de trabajo.

Para la implementación del presente proyecto, se utilizó un motor de 10 hp marca Siemens, para proporcionar la energía primaria; un generador de 10 kw marca Onan; un variador de frecuencia marca Siemens; una tarjeta reguladora automática de voltaje y los elementos de protección necesarios, así como la implementación de los elementos de sincronismo.

Este proyecto permite sincronizar y conectar en paralelo con otros sistemas eléctricos de potencia de similares características, para realizar transferencias de carga y visualizar el comportamiento de los parámetros.

La implementación de esta unidad permitirá a los Docentes y alumnos de la Carrera de Ingeniería Eléctrica y afines, mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En Estados Unidos de Norteamérica y otros países desarrollados, entre los años 1845 y 1870 se hicieron diversas modificaciones a los generadores y motores eléctricos, con lo que se mejoró sustancialmente su funcionamiento.

Hacia principios de la década de 1890 se empezaron a utilizar conjuntos de generadores conectados en paralelo, con lo que se logró producir grandes cantidades de electricidad, para mover los generadores se usaban máquinas de vapor, y ocasionalmente fuentes hidráulicas.

El inicio de la industria eléctrica en nuestro país empieza en los años de 1890 con la instalación de la primera central hidráulica en la ciudad de Loja, hoy en día el campo de la ingeniería eléctrica a dado nuevas visiones de cómo compartir la distribución de potencia eléctrica y para ello se recurre a los tradicionales generadores síncronos.

Desde el inicio de la generación eléctrica, ha sido prioridad el incremento de potencia en base al incremento de carga, esto conlleva a la conexión en paralelo de varios grupos de generación.



Para realizar este tipo de conexiones, el personal técnico debe estar familiarizado con los siguientes aspectos:

- a) Fundamentos teóricos de generadores eléctricos.
- b) Reparto de carga entre generadores en paralelo.
- b) Los conocimientos prácticos demostrativos.

Estos aspectos son necesarios para no cometer algún error, mismo que puede causar daños irreparables, tanto humanos como materiales.

1.2 INTRODUCCIÓN A LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

La función del generador eléctrico es transformar la energía mecánica suministrada por un motor o una turbina, en energía eléctrica.

Existen dos tipos de generadores, los sincrónicos y los asincrónicos.

Los generadores sincrónicos son capaces de suministrar la energía reactiva de la carga, por lo cual, pueden utilizarse para redes aisladas o conectadas al sistema, son más complejos debido a que poseen un sistema de control de la excitación de corriente continua.

Los generadores asincrónicos o de inducción no pueden suministrar energía reactiva por lo que, tanto el reactivo de la excitación propia como el reactivo de la carga, debe ser suministrado por capacitores, los cuales pasan a formar parte esencial de la instalación. La gran ventaja de este tipo de generador es que se encuentra en el mercado a un menor precio.

Las especificaciones del generador deben ser tanto eléctricas como mecánicas; como la capacidad del generador, los soportes, temperatura de operación, nivel de aislamiento, entre otras.

1.3 GENERADOR SINCRÓNICO

Los generadores sincrónicos pueden funcionar aislados a la red, aunque también se pueden interconectar. Por esta razón se debe tener claro el proceso de sincronización. Para su puesta en marcha se debe arrancar inicialmente en vacío, luego se regula la potencia mecánica de entrada, para incrementar gradualmente la velocidad. El generador se sincroniza con la red igualando previamente, los niveles de voltaje, las frecuencias, las secuencias y los desfases.

Los generadores sincrónicos poseen la desventaja de que necesitan un circuito extra que le brinde la excitación al generador para poder generar.

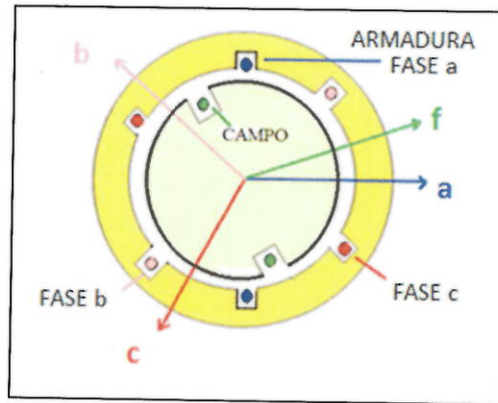
El generador sincrónico es el encargado de suministrar energía a una carga cuya frecuencia depende de la máquina motriz asociada al generador; la corriente y el factor de potencia, dependen de la excitación del campo, de la impedancia del generador y de la carga.

La corriente de armadura producida por la carga crea un campo magnético que gira a velocidad sincrónica, y éste reacciona con el campo magnético que es producido por el devanado de campo al aplicar una corriente continua, produciéndose el torque electromecánico que se opone al movimiento de la máquina motriz.

En la configuración dispuesta en la figura 1.1, se aprecia una máquina sincrónica de rotor cilíndrico bipolar, con tres bobinas en el estator distribuidas uniformemente a lo largo del entrehierro, a, b y c son las fases desplazadas 120° cada una.

El valor máximo de voltaje se conseguirá cuando los ejes del devanado del rotor y de cada una de las fases estén alineados.

FIGURA 1.1 PARTES DE UN GENERADOR SINCRÓNICO

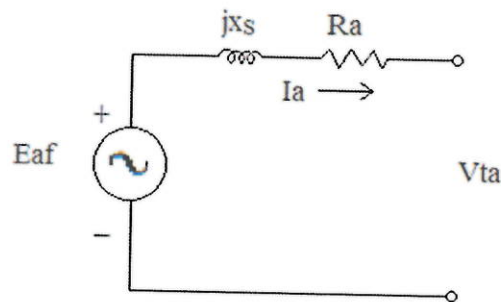


Fuente: <http://www.endesaeduca.com/conceptos-básicos/v.-funcionamiento-de-generadores>.

Cuando el generador síncrono genera, la frecuencia depende de la velocidad de la máquina motriz, mientras que la corriente y el factor de potencia dependen de la carga, de la impedancia del generador y de la excitación del campo.

El circuito equivalente del generador síncrono es el siguiente:

FIGURA 1.2 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN GENERADOR SINCRÓNICO



Fuente: Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia Theodore Wildi 6 Ed.

Donde: $\overline{E_{af}}$ = voltaje generado (fem interna en el generador)

$\overline{V_{ta}}$ = voltaje en los bornes del generador

R_a = resistencia de la bobina (de fase)

$j x_s$ = inductancia de la bobina (de fase)

Por lo tanto el voltaje en los bornes será:

$$\overline{E_{af}} = R_a \bar{I}_a + jx_s \bar{I}_a + \overline{V_{ta}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

1.3.1 Partes de un generador sincrónico

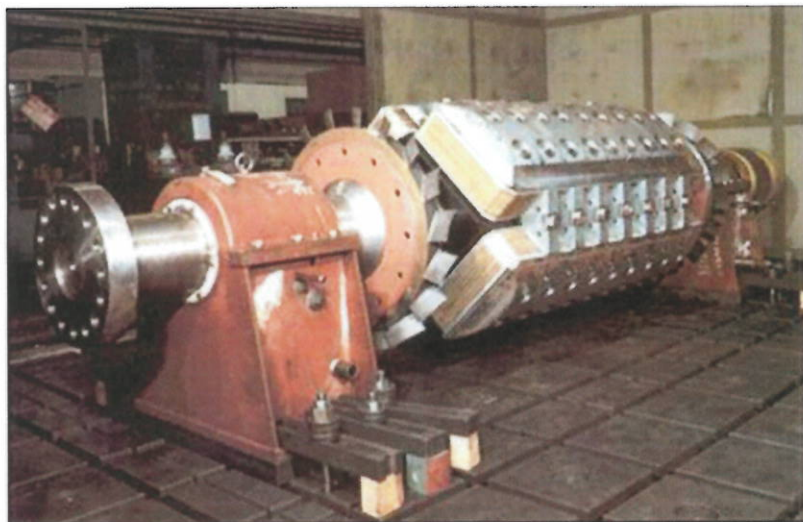
Un generador sincrónico básicamente está compuesto de las siguientes partes:

- Rotor, campo o excitación del generador sincrónico
- Estator o armadura.
- Regulador automático de voltaje.
- Regulador de velocidad.

1.3.1.1.- Rotor, campo o excitación del generador sincrónico.

Es la parte de la máquina que realiza el movimiento rotatorio, constituido de un material envuelto de un enrollamiento llamado enrollamiento de campo, que tiene como función producir un campo magnético constante, para interactuar con el campo producido por el enrollamiento del estator.

FIGURA 1.3 ROTOR DE UN GENERADOR SINCRÓNICO

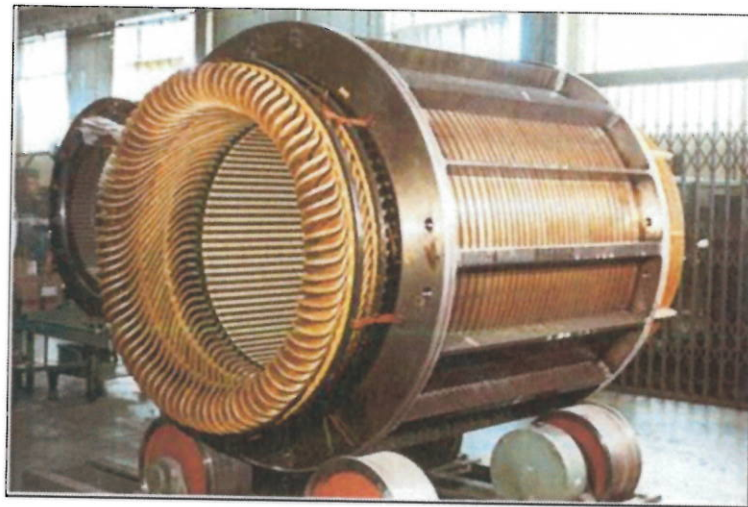


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores>

1.3.1.2.- Estator o armadura.

Parte fija de la máquina, que envuelve al rotor, tal que el mismo puede girar en su interior, constituido por material ferro magnético, en el cual se colocan los devanados.

FIGURA 1.4 ESTATOR DE UN GENERADOR SINCRÓNICO



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores>

1.3.1.3.- Regulador Automático de Voltaje (AVR).

Proporciona la excitación al rotor, el rotor debe tener un campo magnético constante y esto se logra con corriente continua. El regulador automático de voltaje es un circuito realimentado, el cual cuando baja el nivel de voltaje, trata de mantener constante incrementando la corriente de campo.

1.3.1.4- Regulador de velocidad.

Es un dispositivo separado del generador mismo, pero forma parte del sistema de generación, por cuanto es el que controla la velocidad del sistema y consecuentemente la frecuencia de generación.

1.3.2.- Excitación del generador sincrónico.

La excitación de un generador sincrónico consiste en hacer circular una corriente continua por el circuito de campo. Generalmente la potencia utilizada para la excitación del generador representa entre el 0,5% al 1% de la potencia útil del mismo. Se pueden mencionar tres tipos principales de excitatrices para el caso de los generadores sincrónicos: rotativas de corriente continua, de corriente alterna sin escobillas y estáticas.

1.3.3 Eficiencia en los generadores sincrónicos.

La eficiencia del generador se define como la razón de la potencia de salida entre la potencia de entrada. Existen cinco principales causas de pérdidas asociadas con un generador eléctrico:

1. Fricción y resistencia aerodinámica.
2. Pérdidas en el núcleo.
3. Pérdidas en el cobre del devanado de campo.
4. Pérdidas en el cobre de la armadura.
5. Pérdidas misceláneas (aproximadamente 1% de la potencia de entrada).

Los primeros tipos de pérdidas (1 y 2) son constantes, y no dependen de la carga.

Las pérdidas por fricción y resistencia aerodinámica se ven afectadas por aspectos como el tamaño y la forma del rotor, también se pueden disminuir mediante un buen diseño del abanico de ventilación interna. Las pérdidas en el núcleo están relacionadas con la energía necesaria para magnetizar el núcleo del rotor y el estator. Las pérdidas en el cobre del devanado de campo se refieren a la pérdida a través de la resistencia en el mismo. De manera similar, las pérdidas en la armadura se calculan a partir de la resistencia de los devanados del estator. Las pérdidas misceláneas cubren todas aquellas pérdidas no contempladas anteriormente, como lo pueden ser las causadas por campos armónicos.

Se debe recordar que la velocidad de giro de una máquina síncrona está ligada al número de polos de la misma y que a menor velocidad se requieren más polos para una frecuencia dada y esto hace necesario más cobre y por ende baja un poco la eficiencia. También cabe mencionar que la eficiencia va ligada directamente con el costo de los generadores, entre mayor sea la eficiencia mayor será el costo del generador.

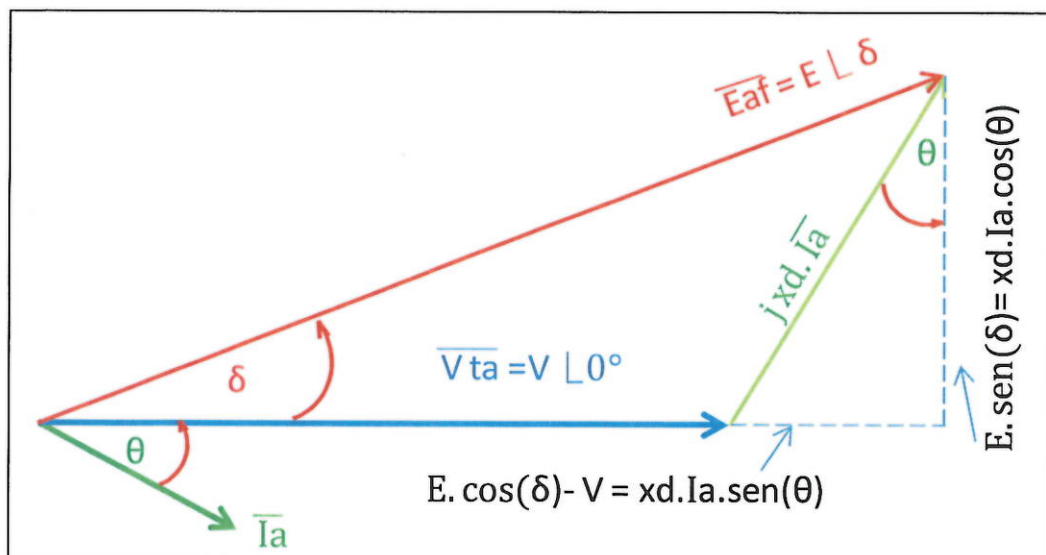
Fuente: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0629t.pdf>

1.3.4 Generador síncrono de rotor cilíndrico

Según Luis Tapia en su texto de máquinas eléctricas, dice que el rotor cilíndrico se usa en máquinas de alta velocidad (con 2 ó 4 polos), lo cual es propio de turbinas a gas o vapor empleadas en centrales térmicas. Se caracteriza porque los devanados se encuentran uniformemente distribuidos.

A continuación se muestra el diagrama fasorial del generador de rotor cilíndrico despreciando la resistencia de armadura.

FIGURA 1.5 DIAGRAMA FASORIAL DEL GENERADOR DE ROTOR CILÍNDRICO.



Fuente: UTC, cátedra de Planificación de SEP, Análisis Variacional de P y Q

El voltaje inducido $E \angle \delta$ sin considerar a resistencia de armadura en la fase está dado por:

$$E \angle \delta = V \angle 0^\circ + j x_d I \angle \theta \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

E = Voltaje interno del generador

V = Voltaje terminal del generador

δ = Ángulo interno entre el voltaje interno y el voltaje terminal

I = Corriente en el estator

θ = Ángulo de desfase entre el voltaje terminal y la corriente en el estator

x_d = Reactancia en eje directo del generador.

La potencia suministrada, por fase, se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$S = V \cdot I_a^* \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

S = Potencia aparente nominal, por fase.

I_a^* = Conjugada de la corriente en el estator.

V = Voltaje en los terminales del generador

$$P = \frac{V \cdot E}{x_d} \sin(\delta) \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

P = es la potencia activa, por fase.

V = Voltaje terminal del generador

E = Voltaje interno del generador

δ = Ángulo interno entre los voltajes: interno y terminal.

x_d = Reactancia en el eje directo del generador sincrónico.

$$Q = \frac{V \cdot E}{x_d} \cos(\delta) - \frac{V^2}{x_d} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

Q = Es la potencia reactiva, por fase.

E = Voltaje interno del generador

V = Voltaje terminal del generador

δ = Ángulo interno entre los voltajes: interno y terminal.

x_d = Reactancia en eje directo del generador sincrónico.

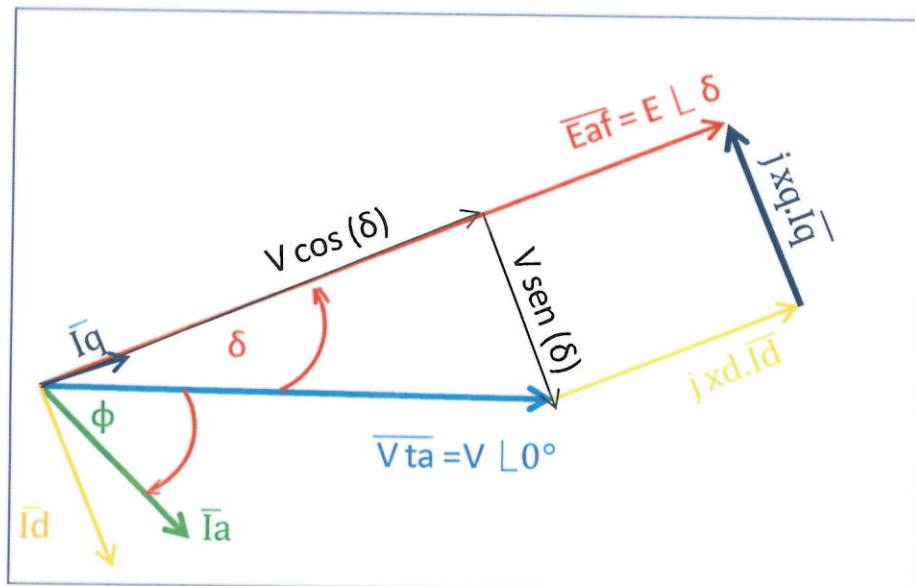
Fuente: TAPIA Luis, "Máquinas Eléctricas" Ecuador, 2010

1.3.5 Generador sincrónico de polos salientes

Según Luis Tapia en su texto de máquinas eléctricas, dice que el rotor puede ser de polos salientes cuando la máquina va a funcionar a baja velocidad (tiene alto número de polos) y se lo emplea para turbinas hidráulicas.

A continuación se muestra el diagrama fasorial del generador de polos salientes despreciando la resistencia de la armadura:

FIGURA 1.6 DIAGRAMA FASORIAL DEL GENERADOR DE POLOS SALIENTES



Fuente: UTC, cátedra de Planificación de SEP, Análisis Variacional de P y Q

La potencia suministrada por fase, se obtiene a partir las siguientes ecuaciones:

$$\bar{S} = \bar{V} (\bar{I}_q + \bar{I}_d) \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

\bar{S} = Potencia aparente nominal.

\bar{I}_d = Corriente en el eje directo.

\bar{I}_q = Corriente en el eje de cuadratura.

$$P = \frac{V \cdot E}{x_d} \sin(\delta) + \frac{V^2}{2} \sin(2\delta) * \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

P= Es la potencia activa, por fase.

E = Voltaje interno del generador.

V = Voltaje terminal del generador.

δ = Ángulo interno entre el voltaje interno y el voltaje terminal.

x_d = Reactancia en eje directo del generador.

x_q = reactancia de eje de cuadratura del generador.

La potencia reactiva por fase es:

$$Q = \frac{V \cdot E}{x_d} \cos(\delta) + \frac{V^2}{2} \cos(2\delta) * \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) - \frac{V^2}{2} * \left(\frac{1}{x_q} + \frac{1}{x_d} \right) \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

Q = es la potencia reactiva, por fase.

E = Voltaje interno del generador.

V = Voltaje terminal del generador.

δ = Ángulo interno entre el voltaje interno y el voltaje terminal.

x_d = Reactancia en eje directo del generador.

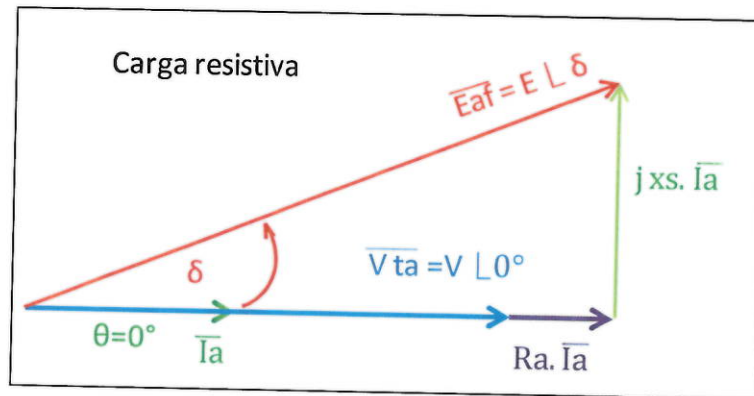
x_q = reactancia en eje de cuadratura del generador.

Fuente: TAPIA Luis, "Máquinas Eléctricas" Ecuador, 2005

1.3.6 Reacción del generador síncrono ante la aplicación de carga lineal, tipo resistiva, inductiva y capacitiva.

En las figuras siguientes se puede observar que tipo de comportamiento fasorial tendrá el alternador al tener cada una de estas cargas:

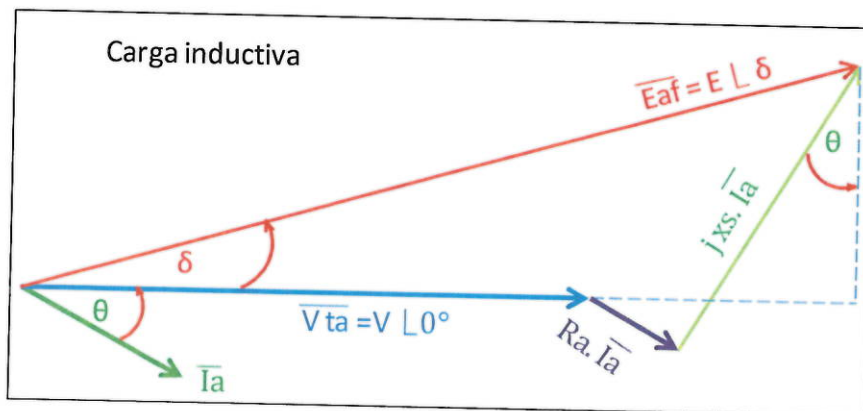
FIGURA 1.7 COMPORTAMIENTO FASORIAL DEL GENERADOR SÍNCRONO CON CARGA RESISTIVA.



Fuente: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32917/1/cuevasrodriguez.pdf>

Para el caso de cargas resistivas se puede observar en la figura que no se tiene ni un atraso ni un adelanto en la corriente con respecto al voltaje. Es decir las cargas resistivas tienen un comportamiento lineal.

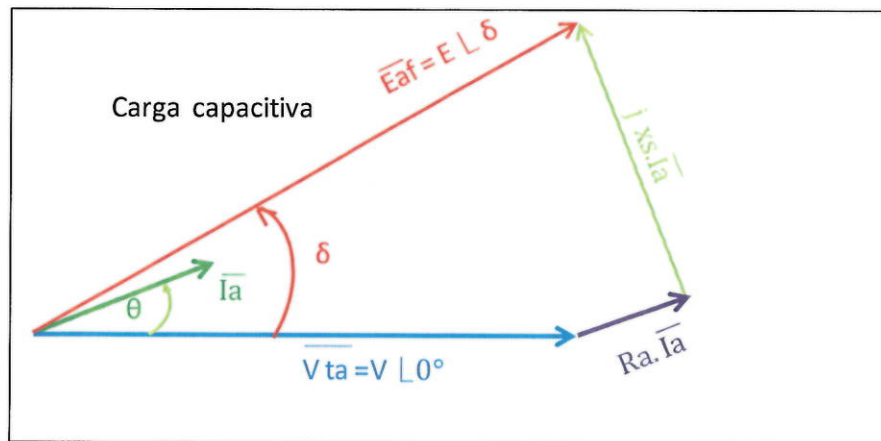
FIGURA 1.8 COMPORTAMIENTO FASORIAL DEL GENERADOR SÍNCRONO CON CARGA INDUCTIVA (-)



Fuente: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32917/1/cuevasrodriguez.pdf>

Al observar la representación fasorial del generador con carga inductiva, se tendrá una corriente atrasada en relación con el voltaje, además de tener en cuenta que mediante la aplicación de este tipo de carga, el generador tenderá a desmagnetizarse debido al efecto inductivo.

FIGURA 1.9 COMPORTAMIENTO FASORIAL DEL GENERADOR SÍNCRONO CON CARGA CAPACITIVA (+).



Fuente: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32917/1/cuevasrodriguez.pdf>

Al tener una carga capacitiva la corriente se adelantará al voltaje y causará una magnetización debido al efecto capacitivo.

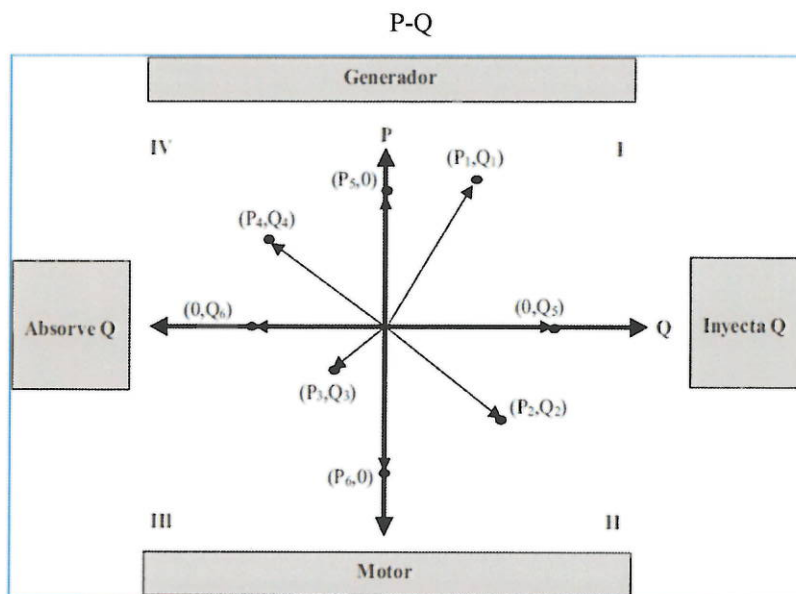
1.3.7 Operación en los cuatro cuadrantes.

La figura 1.10 muestra la operación de una máquina síncrona en los cuatro cuadrantes de un diagrama P-Q.

En el diagrama de la figura 1.10 se considera potencia activa positiva cuando ésta es suministrada a la red, con lo cual los cuadrantes I y IV corresponden a la máquina operando como generador.

En el caso de la potencia reactiva, ésta es positiva si se está inyectando a la red, lo cual se consigue en los cuadrantes I y II.

FIGURA 1. 10 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA EN EL DIAGRAMA



Fuente:

https://www.ucursos.cl/ingenieria/2010/1/EL42C/1/material_docente/bajar?id_material=276007

TABLA 1.1 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA SÍNCRONA EN EL DIAGRAMA P-Q

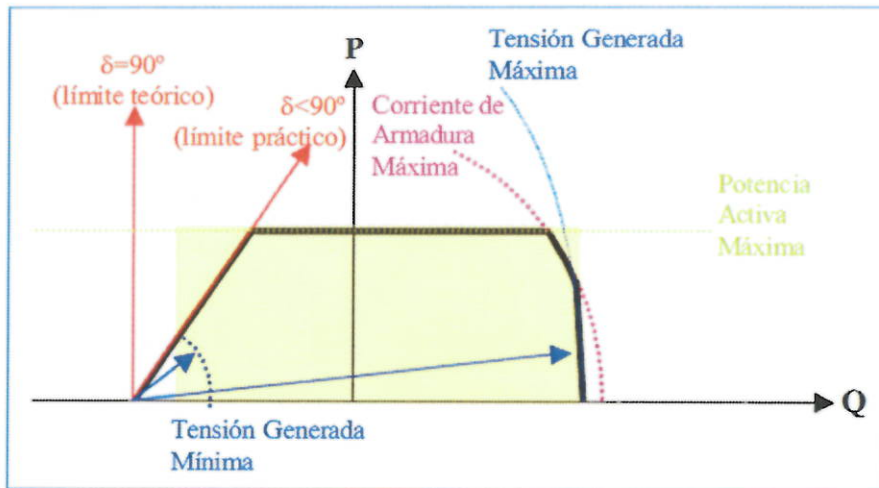
PUNTO	OPERACIÓN
(P1,Q1)	Generador sobrecitado o generador inductivo($P1>0$, $Q1>0$)
(P2,Q2)	Motor sobrecitado o motor capacitivo ($P2<0$, $Q2>0$)
(P3,Q3)	Motor subexcitado o motor inductivo ($P3<0$, $Q3<0$)
(P4,Q4)	Generador subexcitado o generador capacitivo ($P4>0$, $Q4<0$)
(0,Q5)	Condensador síncrono ($P=0$, $Q5>0$)
(0,Q6)	Reactor síncrono ($P=0$, $Q6<0$)
(P5,0)	Generador operando con factor de potencia unitario ($P5>0$, $Q=0$)
(P6,0)	Motor operando con factor de potencia unitario ($P6<0$, $Q=0$)

Fuente:

https://www.ucursos.cl/ingenieria/2010/1/EL42C/1/material_docente/bajar?id_material=276007

En el caso particular de la máquina síncrona operando como generador (su configuración más ampliamente utilizada), es posible establecer un diagrama de operación práctico como el que muestra la figura 1.11:

FIGURA 1.11 DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE UN GENERADOR SINCRÓNICO



Fuente: https://www.ucursos.cl/ingenieria/2010/1/EL42C/1/material_docente/bajar?id_material=276007

La expresión para el torque instantáneo de la máquina está dado por:

$$T(t) = K_T F_e F_r \sin(\delta) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

$T(t)$ = torque instantáneo.

K_T = es una constante de diseño de la máquina.

F_e = es la fuerza magnetomotriz del estator.

F_r = es la fuerza magnetomotriz del rotor.

δ = es el ángulo entre las fuerzas magnetomotrices del estator y rotor

En la figura 1.11, el área coloreada en amarillo corresponde a la zona donde el generador es factible de ser operado, los límites están dados por condiciones prácticas tales como:

a.- Máximo ángulo entre las fuerzas magnetomotrices: el límite teórico es 90° , sin embargo en la práctica se opera con ángulos menores ya que se debe garantizar la estabilidad en la operación (si el ángulo δ llegase a sobrepasar los 90° la máquina se sale de sincronismo y se acelera peligrosamente).

b.- Potencia activa máxima: corresponde al límite de potencia activa que es capaz de entregar la máquina operando en condiciones nominales (límite dado por el fabricante del generador)

c.- Tensión generada mínima y máxima: el generador requiere una excitación mínima en el rotor para poder generar tensión y puede generar hasta un límite práctico dado por la máxima corriente rotórica de la máquina.

d.- Máxima corriente de estator (armadura): corresponde al límite de corriente que puede circular por la armadura en condiciones nominales. Exceder este límite perjudica la vida útil de la máquina debido al calentamiento y posible fallas en aislaciones de la máquina.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/32986085/Maquinas-Electricas>

1.4 MOTOR ASINCRÓNICO O INDUCCIÓN

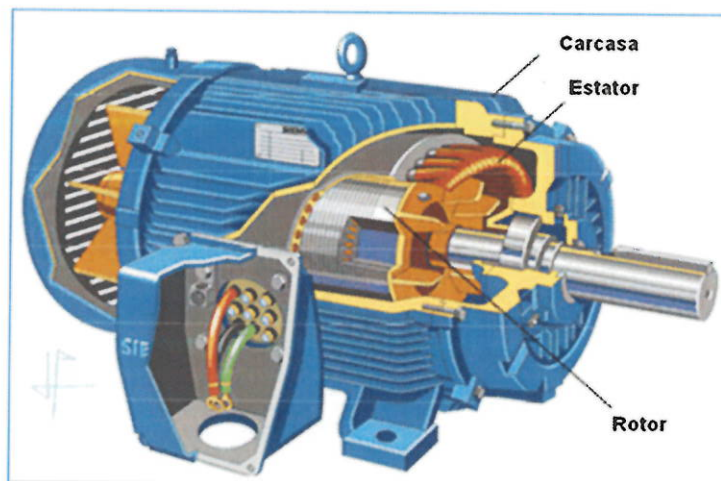
Los motores asíncronos o de inducción, son máquinas rotativas de flujo variable y sin colector. El campo inductor está generado por corriente alterna. Generalmente, el inductor está en el estator y el inducido en el rotor.

Son motores que se caracterizan porque son mecánicamente sencillos de construir, lo cual los hace muy robustos y sencillos, apenas requieren mantenimiento, son

baratos y, en el caso de motores trifásicos, no necesitan arrancadores (arrancan por sí solos al conectarles la red trifásica de alimentación) y no se ven sometidos a vibraciones por efecto de la transformación de energía eléctrica en mecánica, ya que la potencia instantánea absorbida por una carga trifásica es constante e igual a la potencia activa. Estas son las principales ventajas que hacen que sea ampliamente utilizado en la industria.

Como inconvenientes, podemos mencionar que son motores que tienen bajos pares de arranque, que presentan una zona inestable de funcionamiento y que el control de velocidad en amplios rangos es complejo.

FIGURA 1.12 MOTOR ASINCRÓNICO TRIFÁSICO



Fuente: <http://www.maquinariayocio.com/GENERADORES-Y-MAQUINARIA/funcionamiento-generadores-y-motores-trifasicos>

La máquina de inducción básicamente está formada por un estator o armadura, un rotor el cual puede ser tipo jaula de ardilla o de rotor devanado, el rotor siempre debe estar cortocircuitado, caso contrario trabaja como transformador.

1.4.1 Clasificación de los motores de inducción.

Se clasifican de acuerdo al número de devanados en el estator y de acuerdo al tipo de inducido

1.4.1.1 Clasificación según el número de devanados en el estator:

a.- Monofásicos: tienen un sólo devanado en el estator. Se utilizan en aplicaciones tanto en el hogar como en la industria (bombas, ventiladores, lavadoras, electrodomésticos en general, pequeñas máquinas-herramientas, etc.).

b.- Bifásicos: tienen dos devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $\pi/(2P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones de control de posición.

c.- Trifásicos: tienen tres devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $2\pi/3$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones industriales: máquinas-herramientas (tornos, fresadoras, cepilladoras, etc.), grúas, bombas, compresores, ventiladores.

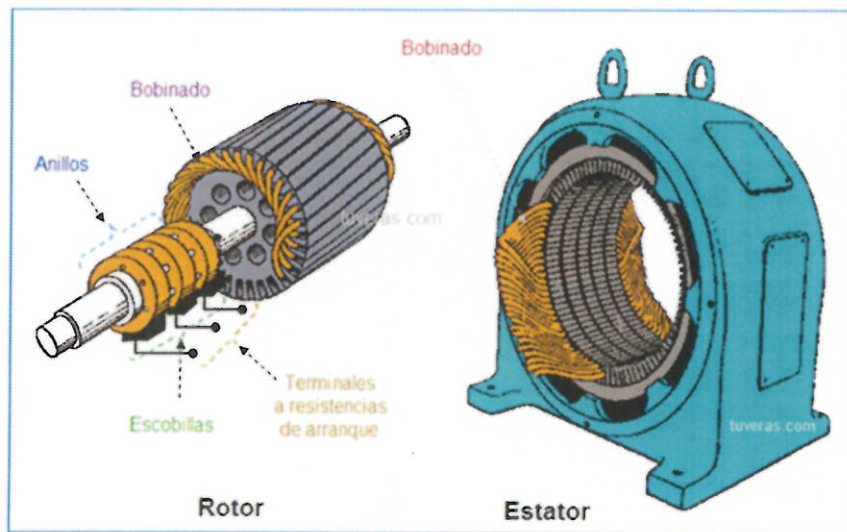
1.4.1.2 Clasificación según el tipo de inducido.

a.- Rotor devanado: los devanados del rotor son similares a los del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene porqué ser el mismo que el del estator, lo que sí tiene que ser igual es el número de polos.

Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.

En la figura 1.13 se dispone de un motor asincrónico con rotor devanado, el cual contiene a más del bobinado en el inducido, anillos con sus terminales para ser conectados a resistencias para realizar adecuadamente un arranque.

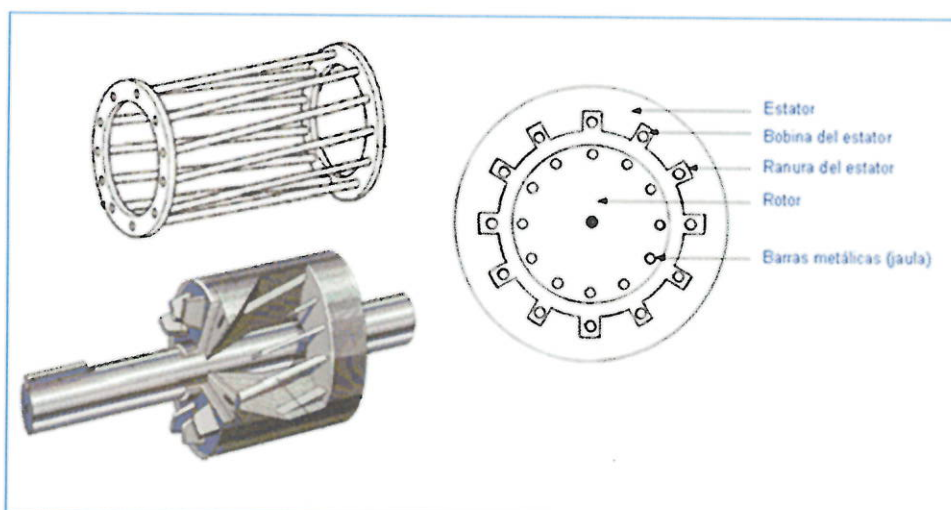
FIGURA 1.13 PARTES DE UN ROTOR DEVANADO.



Fuente: <http://www.maquinariayocio.com/GENERADORES-Y-MAQUINARIA/funcionamientogeneradores-y-motores-trifasicos>

b.- Rotor en jaula de ardilla: Es el más utilizado, los conductores del rotor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estos conductores están cortocircuitados, por tanto no hay posibilidad de conexión del devanado del rotor con el exterior.

FIGURA 1.14 PARTES DE UN ROTOR JAULA DE ARDILLA

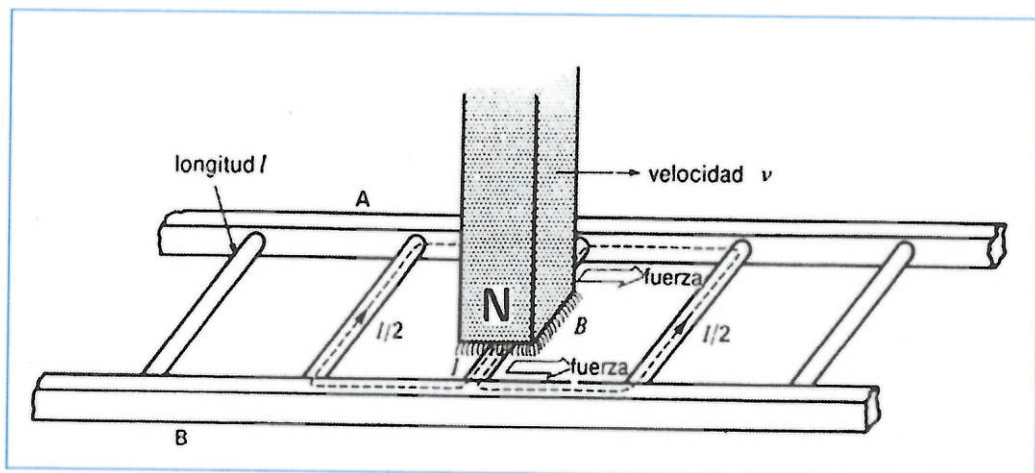


Fuente: <http://www.maquinariayocio.com/GENERADORES-Y-MAQUINARIA/funcionamiento-generadores-y-motores-trifasicos>

1.4.2 Principio de funcionamiento del motor asincrónico.

Para explicar el funcionamiento de un motor asincrónico trifásico, nos vamos a servir de un símil sencillo. Supongamos que tenemos un imán moviéndose a lo largo de una escalerilla conductora tal y como se indica en la figura adjunta:

FIGURA 1.15 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASINCRÓNICO O DE INDUCCIÓN



Fuente: <http://www.maquinariayocio.com/GENERADORES-Y-MAQUINARIA/funcionamiento-generadores-y-motores-trifasicos>

Este imán en su desplazamiento a velocidad v provoca una variación de flujo sobre los recintos cerrados que forman los peldaños de la escalera. Esta variación de flujo genera una fuerza electromotriz o fem, definida por la Ley de Faraday: $e = - (d\phi / dt)$, que a su vez hace que por dichos recintos circule una corriente i .

La circulación de esta corriente eléctrica provoca la aparición de una fuerza sobre la escalera.

Esta fuerza hace que la escalera se desplace en el mismo sentido que lo hace el imán. Debe tenerse en cuenta que la escalera nunca podrá desplazarse a la velocidad del imán, debido a dos razones fundamentalmente: la primera porque hay unas pérdidas por rozamiento que se lo impiden y la segunda, que en el supuesto caso de que se desplazase a la misma velocidad que el imán, la variación de flujo sobre los recintos cerrados sería nula y por tanto la f.e.m. inducida también, por tanto la fuerza resultante también sería nula.

El voltaje en una máquina de inducción al alimentarse con corriente alterna, se produce una acción transformadora y se induce voltaje en el devanado del rotor, el mismo que está cortocircuitado y por lo tanto por este cortocircuito circulará corriente alterna que a su vez da origen a un flujo magnético. El flujo de la armadura adelanta al flujo del rotor y se produce un torque.

Una vez que se tienen dos flujos, el flujo de la armadura y el flujo del rotor giran sincrónicamente, por lo tanto giran a la misma frecuencia. Cabe mencionar que la velocidad del rotor es menor que la velocidad sincrónica, consecuentemente las corrientes inducidas en el rotor tienen una frecuencia menor que las corrientes en el estator. A esta diferencia entre la velocidad real de giro del rotor y la velocidad sincrónica se denomina deslizamiento.

1.5 GENERADORES SINCRÓNICOS EN PARALELO.

1.5.1 Importancia de generadores sincrónicos en paralelo.

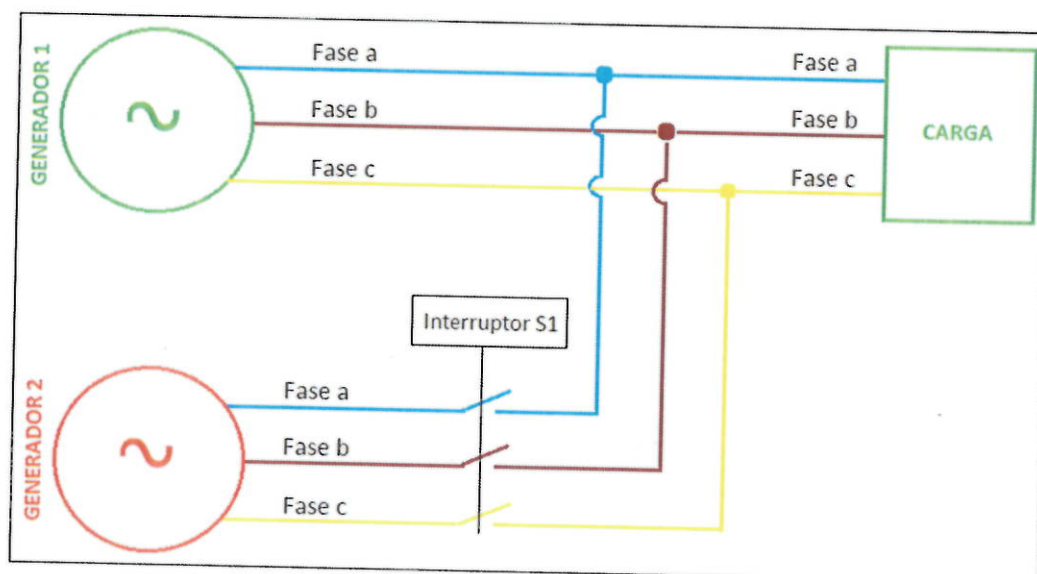
En la generación de energía eléctrica el uso de generadores es la parte principal de todo el proceso, hasta cierto punto se podría decir que es el corazón del proceso de generación. Se conocen diferentes conexiones prácticas muy usadas en la actualidad pero la más confiable y recomendada es el paralelo de generadores para tener un control más preciso de la energía generada así mismo como para mejorar su confiabilidad en caso de falla, de aquí su importancia en utilizar generadores síncronos en paralelo:

- a.-Varios generadores pueden alimentar una carga más grande que una sola máquina.
- b.-Con varios generadores se incrementa la confiabilidad del sistema de potencia, debido a que la falla de cualquiera de ellos no causa la pérdida total de potencia en la carga.
- c.-Tener varios generadores que operan en paralelo permite la remoción de uno o más de ellos para cortes de potencia y mantenimientos preventivos.
- d.-Cuando se utiliza un solo generador y este opera cerca de plena carga, no podrá tomar una carga adicional ya que su funcionamiento no será eficiente. Con varias máquinas más pequeñas trabajando en paralelo, el sistema se vuelve más estable contra variaciones de carga y por lo tanto mejora la calidad de servicio.

1.5.2 Las condiciones requeridas para operar en paralelo

La siguiente figura muestra un generador sincrónico G1 que suministra potencia a una carga, otro generador G2 que se puede emparalelar con G1 cerrando el interruptor S1.

FIGURA 1.16 GENERADOR QUE SE CONECTA EN PARALELO CON UN SISTEMA DE POTENCIA EN OPERACIÓN.



Fuente: STEPHEN Chapman, Máquinas Eléctricas, 4 edición, Mc Graw Hill, México.

Si el interruptor se cierra de manera arbitraria en cualquier momento, es posible que los generadores se dañen severamente y que la carga pierda potencia.

Si los voltajes no son exactamente iguales en cada uno de los generadores que se conectan juntos, habrá un flujo de corriente muy grande cuando se cierre el interruptor. Para evitar este problema, cada una de las tres fases de los dos sistemas eléctricos de potencia debe tener exactamente la misma magnitud de voltaje y ángulo de fase.

1.5.3 Condiciones a cumplir

1. Deben de ser iguales los voltajes de línea rms.
2. Los dos generadores deben tener la misma secuencia de fase.
3. Los ángulos de fase de dos fases deben de ser iguales.
4. La frecuencia del generador nuevo, llamado generador en aproximación, debe ser un poco mayor que la frecuencia del sistema en operación.

Para entender de mejor manera estas condiciones requiere de una explicación:

La condición 1 lógico, pues para que dos grupos de voltajes sean iguales, deben tener la misma magnitud rms. Los voltajes en las fases a de los dos generadores serán completamente iguales todo el tiempo, si sus magnitudes y ángulos son iguales, lo cual explica la condición 3.

La condición 2 afirma que la secuencia en la cual los voltajes de fase alcanzan su valor máximo en los dos generadores es igual. Si la secuencia de fases es diferente, aunque un par de voltajes (los de las fases a) estén en fase, los otros dos pares de voltajes están desfasados 120° . Si se conectaran en la misma forma los generadores no habría problema con la fase a, pero en las fases b y c podrían fluir muy altas corrientes, que averiarían ambas máquinas. Para corregir el problema de secuencia de fases se conmutan dos cualesquiera de las tres fases de una de las máquinas.

Si las frecuencias de los generadores no son muy cercanas cuando se conectan entre sí, ocurrirá grandes transitorios de potencia hasta que los generadores se estabilicen a una frecuencia común.

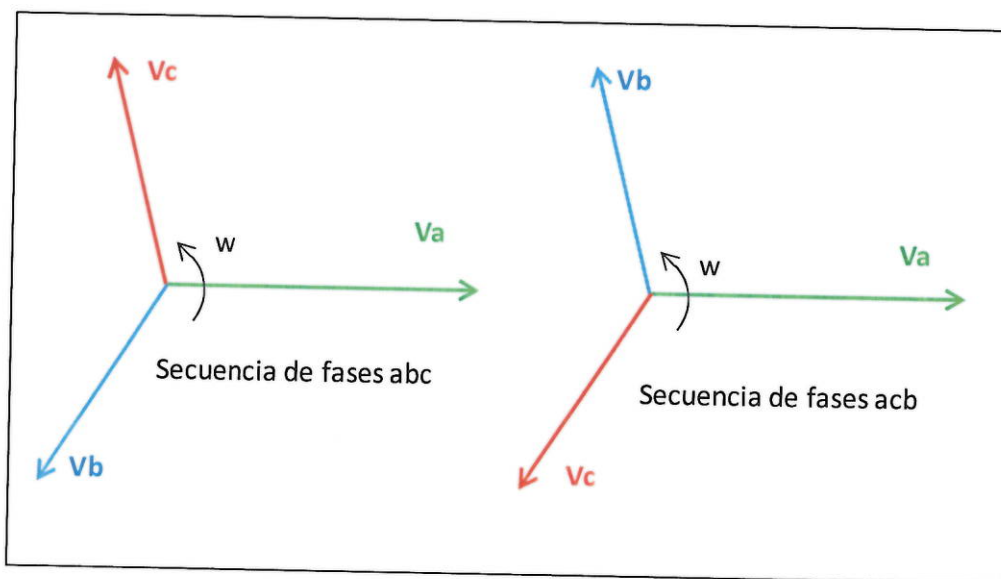
Las frecuencias de las dos máquinas deben ser casi iguales pero no exactamente iguales, ya que ellas diferirán una pequeña cantidad, tal que los ángulos de fase de la máquina en aproximación, cambiarán con lentitud respecto de los ángulos de fase del sistema en funcionamiento. De esta forma, los ángulos entre los voltajes pueden ser observados y el interruptor S1 puede cerrar cuando los sistemas estén exactamente en fase.

1.5.4 Procedimiento general para poner generadores en paralelo

Si el generador G2 se va a conectar al sistema en funcionamiento, para llevar a cabo el emparellamiento deben darse los siguientes pasos.

Paso primero, utilizando voltímetros, debe ajustarse la corriente de campo del generador en aproximación hasta que el voltaje en los terminales de éste sea igual al voltaje de línea del sistema que se encuentra funcionando.

FIGURA 1.17 LAS DOS SECUENCIAS DE FASES POSIBLES DE UN SISTEMA TRIFÁSICO

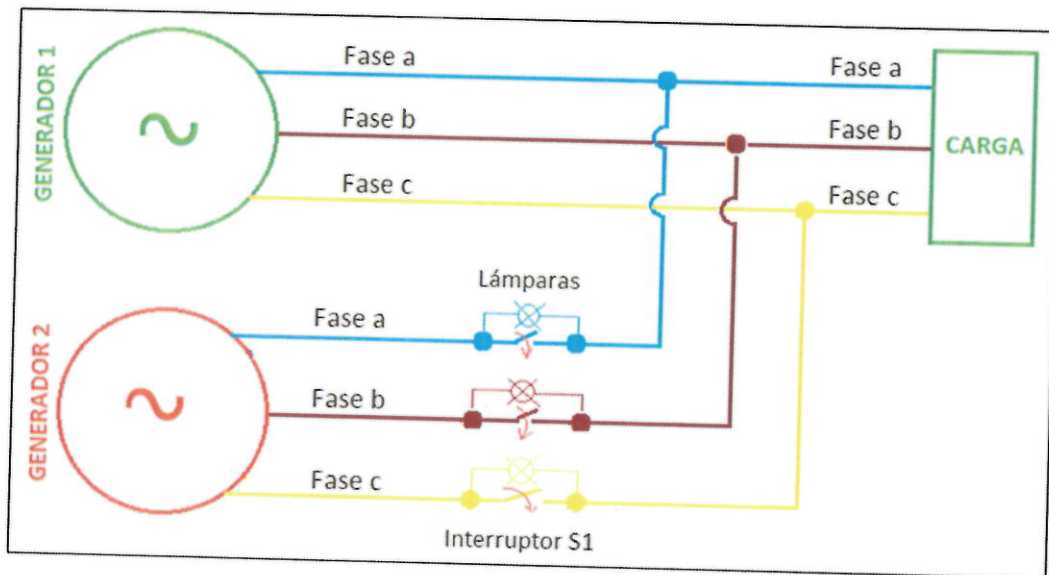


Fuente: STEPHEN Chapman, Máquinas Eléctricas, 4 edición, Mc Graw Hill, México

Paso segundo, se debe comprobar la secuencia de fases del generador en aproximación con la secuencia de fases del sistema en funcionamiento, la cual puede llevarse a cabo de varias maneras. Una forma de ellas consiste en conectar alternadamente un pequeño motor de inducción a los terminales de cada uno de los dos generadores. Si el motor gira en la misma dirección en ambas ocasiones, la secuencia de fases es igual para los dos generadores, si el motor gira en sentido contrario, la secuencia de fases difiere y deben invertirse dos de los conductores del generador en aproximación.

Otra forma de comprobar la secuencia de fases es el método de las tres lámparas, se conectan tres lámparas a través de los terminales abiertos del interruptor que conecta el generador al sistema, como se aprecia en la siguiente figura.

FIGURA 1.18 MÉTODO DE LAS TRES LÁMPARAS PARA COMPROBAR LA SECUENCIA DE FASES.



Fuente: STEPHEN Chapman, Máquinas Eléctricas, 4 edición, Mc Graw Hill, México

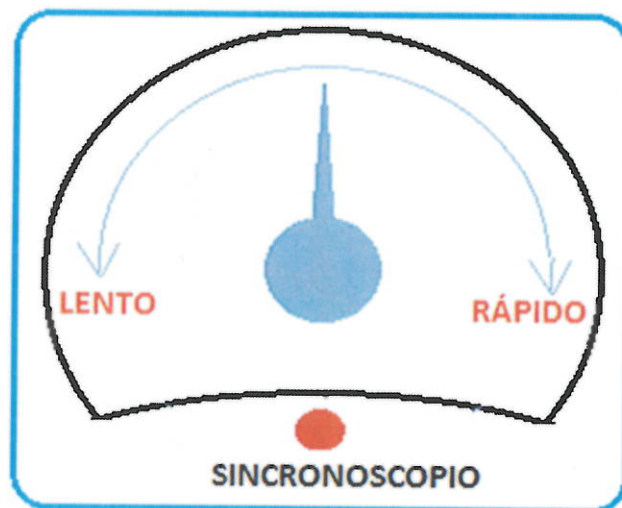
Como la fase cambia entre los dos sistemas, las lámparas lucirán primero brillantes (gran diferencia de fase), y luego se oscurecerán (pequeña diferencia de

fases). Si las tres lámparas se iluminan y se oscurecen al mismo tiempo, entonces los sistemas tienen la misma secuencia de fases.

Si las lámparas brillan sucesivamente los sistemas tienen secuencia de fases opuestas y se debe invertir una de ellas.

Un método más preciso consiste en emplear un sincronoscopio el cual mide la diferencia de ángulo entre las fases de los dos sistemas. Si el generador o el sistema en aproximación es más rápido que el sistema en funcionamiento (situación deseada), entonces el ángulo de fase aumenta y la aguja del sincronoscopio rota en sentido de las manecillas del reloj. Si la máquina en aproximación es más lenta, la aguja rota en sentido contrario a las manecillas del reloj. Cuando la aguja del sincronoscopio está en posición vertical, los voltajes están en fase, el interruptor puede cerrarse para interconectar los sistemas.

FIGURA 1.19 MÉTODO DEL SINCRONOSCOPIO.



Fuente: STEPHEN Chapman, Máquinas Eléctricas, 4 edición, Mc Graw Hill, México

1.5.5 Características de frecuencia- potencia y voltaje- potencia reactiva en un generador sincrónico.

Todos los generadores son accionados por un motor primario, que es la fuente de potencia mecánica del generador. El tipo de motor primario más común es la turbina.

Independientemente de la fuente original de potencia, todos los motores primarios tienden a comportarse de manera similar; cuando la potencia tomada de ellos se incrementa, decrece la velocidad a la cual gira.

Como esta disminución de velocidad en general no es lineal, usualmente se incluye alguna forma de mecanismo gobernador para hacerla lineal con el incremento de potencia demandada.

Cualquiera que sea el mecanismo gobernador presente en el motor primario, siempre se ajusta para suministrar una característica de caída suave con el incremento de la carga. La caída de velocidad (SD) de un motor primario se define mediante la ecuación.

$$SD = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} * 100\% \qquad \text{Ecuación (10)}$$

Donde: n_{nl} es la velocidad del motor primario en vacío y n_{fl} es la velocidad a plena carga. La mayoría de los motores primarios tienen una caída de velocidad de 2 a 4%, según la ecuación 10.

Además la mayoría de los gobernadores tienen algún tipo de ajuste del punto fijado para permitir que varíe la velocidad de vacío de la turbina. Puesto que la velocidad del eje está relacionada con la frecuencia eléctrica resultante por la siguiente ecuación.

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

Ecuación (11)

La potencia de salida de un generador sincrónico está relacionada con la frecuencia. Las características de frecuencia – potencia cumplen un papel esencial en la operación en paralelo de los generadores sincrónicos.

FIGURA 1.20 CURVAS VELOCIDAD-POTENCIA:

a) DE UN MOTOR PRIMARIO

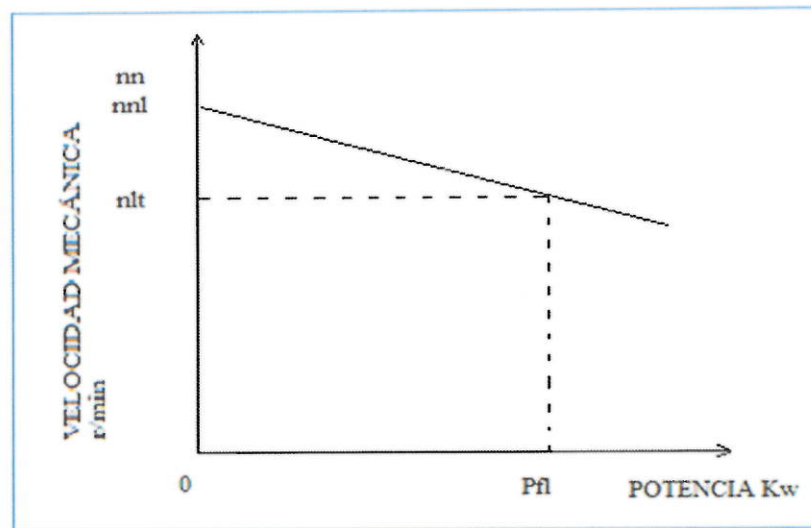
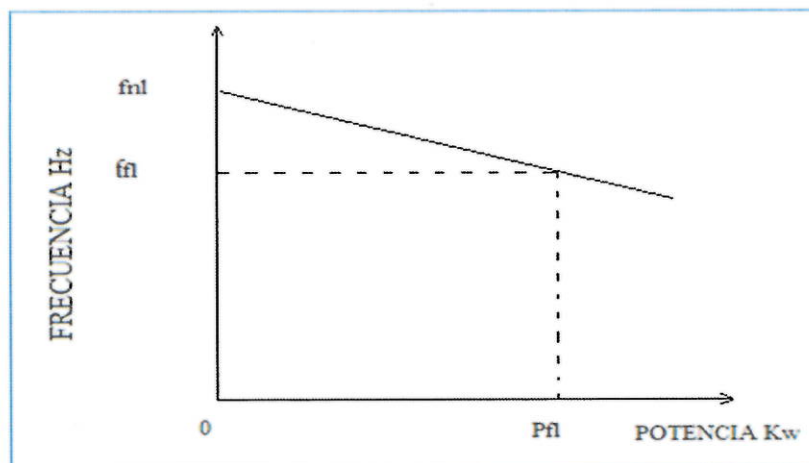


FIGURA 1.21 CURVAS VELOCIDAD-POTENCIA:

b) DE FRECUENCIA RESULTANTE-POTENCIA DEL GENERADOR



Fuente: STEPHEN Chapman, Máquinas Eléctricas, 4 edición, Mc Graw Hill, México

La relación entre frecuencia y potencia puede definirse por la siguiente ecuación.

$$P = S_p * (f_{nl} - f_{sis}) \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

P = potencia de salida del generador

f_{nl} = frecuencia del generador en vacío.

f_{sis} = frecuencia de operación del sistema

S_p = pendiente de la curva en Kw/Hz o Mw/Hz

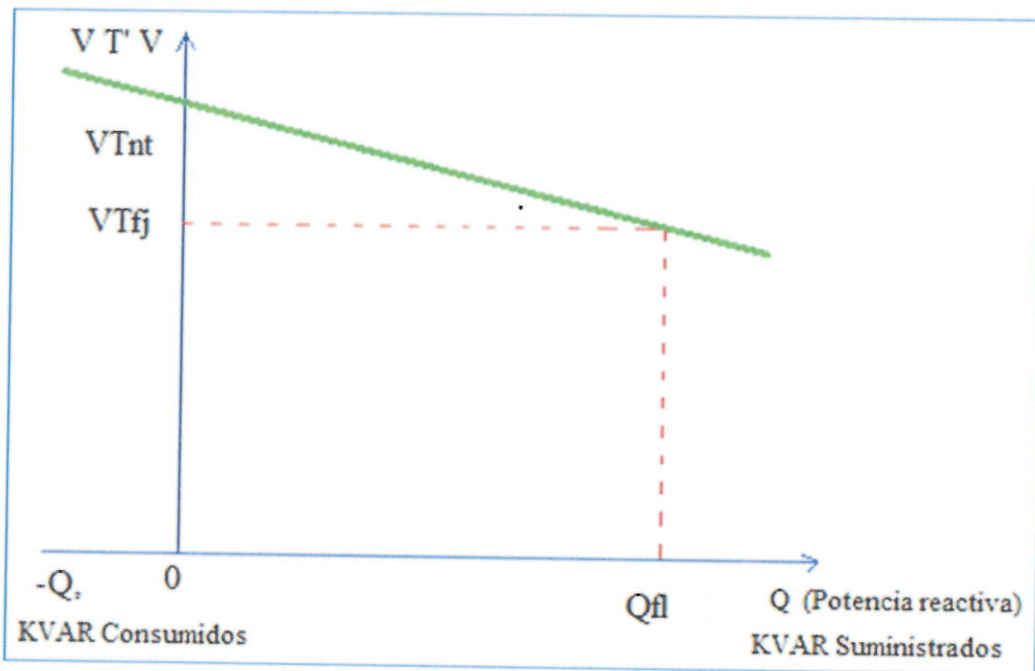
Se puede deducir una relación similar para la potencia reactiva Q y el voltaje en los terminales V_T , cuando se adiciona una carga en atraso a un generador sincrónico, cae su voltaje en los terminales.

Por el contrario, cuando se adiciona carga en adelante a un generador sincrónico, se incrementa su voltaje en los terminales.

Esta característica no es intrínsecamente lineal pero muchos reguladores de voltaje de generadores incluyen un dispositivo para volverla lineal.

La curva característica puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo cambiando el punto de ajuste del voltaje en los terminales en vacío del regulador de voltaje. Como en el caso de la característica frecuencia- potencia, esta curva es de vital importancia en la operación de generadores en paralelo.

FIGURA 1.22 CURVA DE VOLTAJE EN TERMINALES (V_T) CONTRA POTENCIA REACTIVA (Q) PARA UN GENERADOR SINCRÓNICO.



Fuente: STEPHEN Chapman, Maquinas Eléctricas, 4 edición, Mac Graw Hill, México

La relación entre voltaje en los terminales y potencia reactiva se puede expresar por una ecuación similar a la relación frecuencia- potencia, si el regulador de voltaje produce una salida lineal con los cambios de la potencia reactiva.

Es importante tener en cuenta que cuando está operando un único generador, la potencia real P y la potencia reactiva Q suministradas por el generador, serán la cantidad demandada por la carga conectada al generador (las potencias P y Q suministradas no pueden ser controladas por los controles del generador).

Entonces, para una potencia real dada, los puntos de ajuste del gobernador controlan la frecuencia de operación del generador f_e y para cada potencia reactiva dada, la corriente de campo controla el voltaje en los terminales del generador V_T .

1.5.6 Niveles de regulación de frecuencia

La frecuencia de un sistema depende del balance de potencia activa. Un cambio en la demanda de potencia activa se refleja en todo el sistema por un cambio de la frecuencia.

Los generadores mediante el sistema de regulación de frecuencia, comandan a los reguladores de velocidad para mantener al generador trabajando en condiciones adecuadas.

1.5.7 Sistemas de control para la regulación de frecuencia

- Regulador de velocidad: Regulación primaria de frecuencia (RPF).
- Control automático de generación: Regulación secundaria de frecuencia (RSF).
- Control del error del equipo: Regulación terciaria de frecuencia (RTF).

Fuente:<http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/34/Regulaci%C3%B3nVelocidad%203.pdf>.

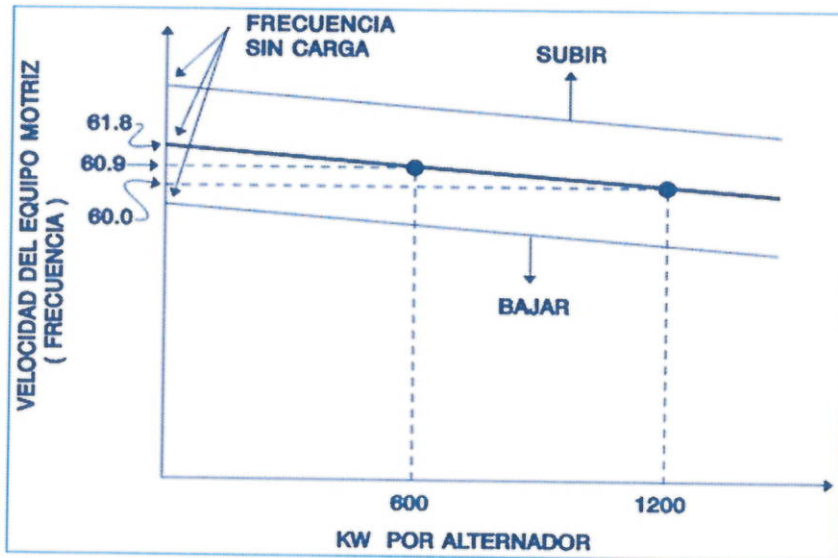
1.6 REPARTO DE CARGA ENTRE GENERADORES EN PARALELO

La transferencia de la carga entre dos generadores, se hace a través del elemento de velocidad del motor primario, llamado gobernar o gobernador

La máquina que absorbe más carga ajusta su gobernador de manera tal que el motor primario admite más energía. La máquina que pierde carga ajusta su gobernador de manera tal que el motor primario pierde energía. El reparto de KW entre generadores AC operando en paralelo, depende de la característica carga-velocidad (carga-frecuencia) del gobernador de velocidad de la máquina motriz. Es independiente de las características del gobernador. En la

siguiente figura.1.23 ilustra la característica típica de una máquina motriz manejada por un gobernador mecánico.

FIGURA 1.23 CARACTERÍSTICAS DE REGULACIÓN DE DOS ALTERNADORES OPERANDO EN PARALELO.



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

Para un ajuste de velocidad en vacío dado, hay una relación fija entre la frecuencia y la carga en KW. Ajustando la velocidad en vacío a 61,8 Hz,(fig.1.23) una carga de 600 KW ocasionará que la frecuencia caiga a 60 Hz.

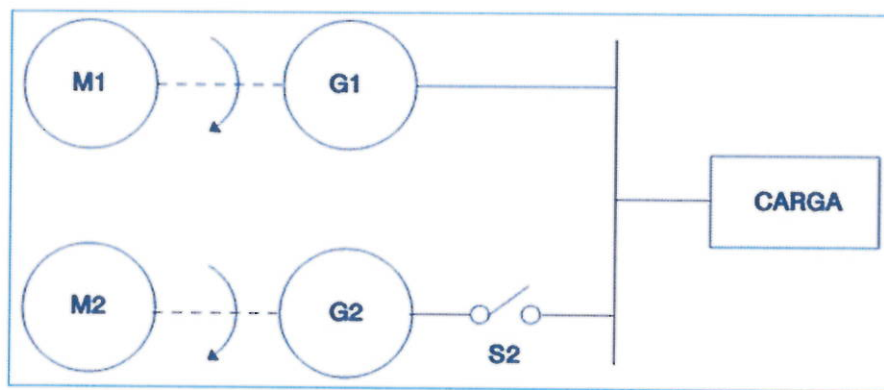
En algunas aplicaciones es deseable operar las máquinas con ajustes de pendientes distintas en sus gobernadores, por ejemplo: si una máquina se ajusta para cero pendientes y las otras en paralelo con ellas, con una pendiente del 2 ó 3%. Las máquinas con pendiente podrán cargarse para operar a óptima eficiencia.

La máquina con pendiente puede manejar una carga fija para una frecuencia específica. Ya que todas las fluctuaciones de la carga en la barra serán absorbidas por la máquina cuyo gobernador ha sido ajustado a cero pendiente, ella absorberá toda la carga adicional de la barra, de la misma manera perderá carga si disminuye la carga de la barra e incluso se saldrá de la barra si la carga en la máquina llega a

ceros. La carga puede transferirse ajustando solamente el gobernador de la máquina con pendiente.

Consideremos un sistema elemental formado por dos generadores trifásicos G1 y G2 con sus dos motores primarios M1 y M2 suministrando potencia a una carga L tal como se representa en la fig.1.24

FIGURA 1.24 OPERACIÓN EN PARALELO DE DOS GENERADORES SINCRÓNICOS



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

Supongamos que el generador G1 está alimentando a la carga L a la tensión y frecuencia nominales estando desconectado el generador G2. El generador G2 podrá acoplarse en paralelo con el G1 llevándolo a la velocidad de sincronismo y ajustando el reóstato de excitación hasta igualar su tensión con la de las barras. Si la frecuencia de la máquina se pretende acoplar no es exactamente igual a la de las barras, la diferencia vectorial entre su tensión y la existente en las barras irá variando a una frecuencia igual a la diferencia de frecuencias de ambas tensiones, diferencia que puede ser de una fracción de ciclo por segundo. El interruptor S2 deberá cerrarse en el instante en que ambas tensiones están momentáneamente en fase, momento en el que la tensión entre bornes del interruptor es igual a cero.

Para determinar el momento oportuno de cerrar el interruptor se utiliza un dispositivo denominado sincronoscopio. Una vez sincronizado G2 en la forma indicada se puede distribuir la carga tanto activa como reactiva entre las dos

máquinas actuando adecuadamente sobre los reguladores de los motores primarios y sobre los reóstatos de excitación.

Las rectas inclinadas de trazo continuo M1 y M2 de la fig.1.25 (a) representan la característica velocidad-potencia de dichos motores con abertura constante de sus reguladores.

Todos los motores primarios tienen sus características velocidad-potencia descendente. La carga total PL está representada por la recta horizontal AB y las potencias de salida de los generadores por P1 y P2.

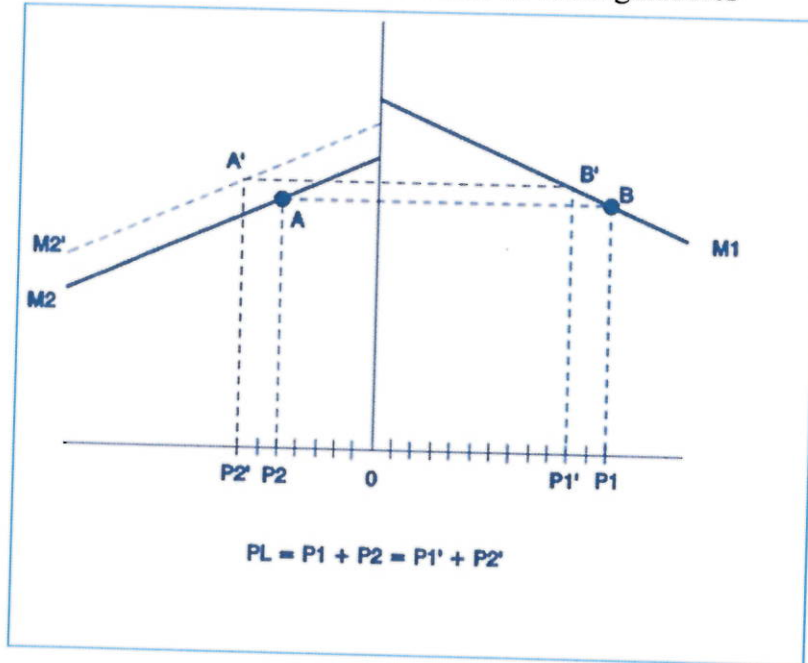
Supongamos que se abre más el regulador de M2 trasladándose hacia arriba la característica hasta M2, la carga será ahora la línea de trazos A' B'. Obsérvese que la potencia de salida del generador 2 se ha elevado desde P2 hasta P2' mientras que la del generador 1 a descendido desde P1 hasta P1' y que ha aumentado la frecuencia del sistema: esta frecuencia puede restituirse a su valor normal transfiriendo carga del generador 1 al generador 2 cerrando parcialmente el regulador del motor M1 de forma que su característica pase a ocupar la posición de la línea de trazos M1' de la fig. 1.25 (b).

La carga total estará ahora representada por A" B" y las potencias de salida de los generadores por P1" y P2" respectivamente. Como puede apreciarse, la frecuencia del sistema y el reparto de carga activa entre los dos generadores pueden ajustarse maniobrando sobre los reguladores de los motores primarios.

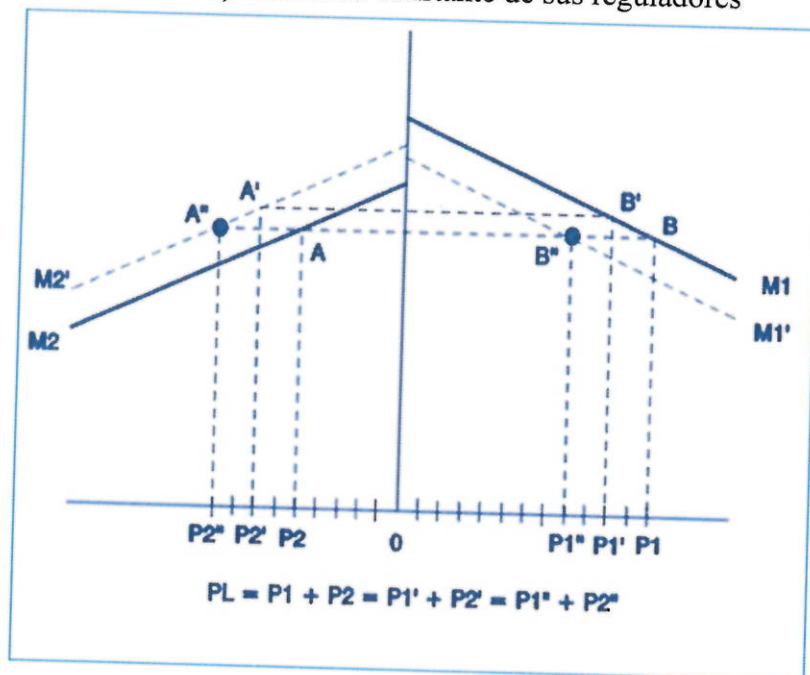
La variación de las excitaciones influye sobre la tensión en bornes y sobre la distribución de los KVA reactivos.

FIGURA 1.25 CARACTERÍSTICAS VELOCIDAD-POTENCIA DE LOS MOTORES PRIMARIOS.

a) Abertura constante de sus reguladores



b) Abertura constante de sus reguladores



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

1.7 CONTROL POTENCIA REACTIVA Y VOLTAJE (Q-V) EN SISTEMAS ELECTRICOS.

El control de potencia reactiva en sistemas eléctricos de potencia ha crecido en importancia por varias razones:

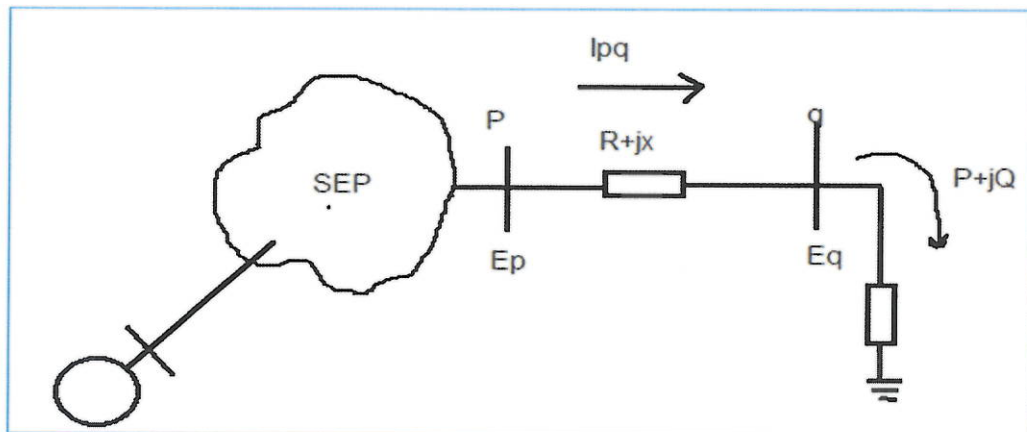
- La necesidad de mantener magnitudes adecuadas de voltaje en todas las barras del sistema con el objeto de mantener índices de calidad aceptables.
- Los requerimientos de una operación más eficiente debido a incrementos de costos de combustible y costos operativos. Para una distribución dada de potencia activa de generación, se puede minimizar las pérdidas (MW) en la red, mediante la optimización del flujo de potencia reactiva. Este principio se aplica a través de todo el sistema, la simple corrección del factor de potencia de una carga inductiva hasta los requerimientos de control en distintos puntos del sistema.
- Los requerimientos cada vez mayores de transferencia de potencia activa pueden ocasionar problemas de inestabilidad y de colapso de voltaje. En estos casos el control de potencia reactiva juega un papel fundamental.

1.7.1 Compensación de carga

La compensación de carga es uno de los aspectos básicos en el manejo de potencia reactiva, para mejorar la calidad de servicio en todo el sistema de potencia.

El nivel de voltaje está influenciado directamente por el flujo de potencia reactiva requerido por la carga así:

FIGURA 1.26 COMPENSACIÓN DE CARGA.



Fuente: ARGUELLO Ríos Gabriel, "ANÁLISIS Y CONTROL DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA", Ecuador, Abril 1990.

$$V_p^2 = (V_q + \Delta V)^2 + \partial V^2 \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$V_p^2 = (V_q + IR\cos\phi + IX\sin\phi)^2 + (IX\cos\phi - IR\sin\phi)^2$$

Reemplazando P y Q

$$P = V_q * I\cos\phi$$

$$Q = V_q * I\sin\phi$$

Tenemos que:

$$V_p^2 = \left(V_q + \frac{PR}{V_q} + \frac{QX}{V_q}\right)^2 + \left(\frac{PX}{V_q} - \frac{QR}{V_q}\right)^2 \quad \text{Ecuación (14)}$$

Comparando las ecuaciones 13 y 14 se obtiene:

$$\Delta V = \frac{PR+QX}{V_q} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$\partial V = \frac{PX-QR}{V_q} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

ΔV Representa la caída de voltaje con respecto a la magnitud de V_p . En cambio

∂V representa la caída de voltaje con respecto al ángulo de V_p .

- La caída de voltaje en magnitud depende fundamentalmente del flujo de potencia reactiva (Q).
- La desviación angular entre las dos barras depende fundamentalmente del flujo de potencia activa (P).

1.7.2 Objetivos principales de la compensación de carga:

a). Corrección del factor de potencia.- La cual se requiere para generar la potencia reactiva lo más cerca posible a los requerimientos de la carga, con lo cual se tienen menores desviaciones de voltaje, menores pérdidas y mayor capacidad de transferencia de potencia activa.

b). Mejoramiento de la regulación de voltaje.- La regulación de voltaje por efecto de las variaciones continuas de la carga, tiene que ver con el control que se debe efectuar en el sistema, de tal forma que siempre la magnitud de voltaje esté dentro de los límites aceptables, generalmente +/- 5% del valor nominal.

c). Balance de la carga.- En ciertos puntos de la red es importante tener una carga balanceada, con el fin de evitar componentes de secuencia negativa y cero, que puede causar problemas del mal funcionamiento en motores y generadores.

Fuente: ARGUELLO Ríos Gabriel, "ANÁLISIS Y CONTROL DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA", Ecuador, Abril 1990.

1.8 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

La implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, permitirá a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica disponer de una herramienta que permita mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje con los alumnos.

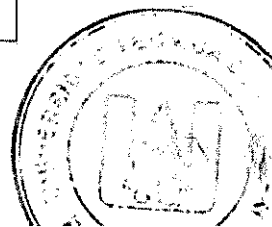
1.8.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA 1.2 VARIABLE INDEPENDIENTE: Implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la UTC.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMES BÁSICOS	INSTRUMENTOS
<p>Es un banco de pruebas que permite realizar prácticas de la puesta en paralelo entre dos grupos motor-generador AC. Está acondicionado con equipos de tecnología de punta, el cual es capaz de mantener su frecuencia y voltaje de manera automática ante la conexión y desconexión de los diversos tipos de cargas.</p>	<p>Realización de guías para el laboratorio de máquinas eléctricas.</p>	<p>Necesidad de implementar el laboratorio de máquinas eléctricas</p>	<p>Sabe usted si el laboratorio de máquinas eléctricas cuenta con sistemas de generación eléctrica didácticos? Considera necesario realizar prácticas demostrativas de sistemas de generación eléctrica?.</p>	<p>Encuestas</p> <p>Entrevistas</p>
		<p>Hojas guías para experimentar el comportamiento de la máquina sincrónica.</p>	<p>Se debe implementar instrumentos de medición, que permitan obtener datos de experimentos realizados, con generadores sincrónicos en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas? Considera usted que los alumnos de ingeniería eléctrica, deberían realizar prácticas de laboratorio para operar en paralelo dos unidades de generación?</p>	

TABLA 1.3 VARIABLE DEPENDIENTE: Permitir a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica disponer de una herramienta que permita mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje con los alumnos.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	INSTRUMENTOS
<p>El proceso enseñanza aprendizaje de carreras técnicas implica la interrelación de la teoría con la práctica, por esta razón se requiere implementar el laboratorio de máquinas eléctricas con un grupo motor generador; el propósito es disponer de un equipo que permita a docentes y alumnos mediante la realización de experimentos de laboratorio, integrar la parte teórica con la práctica.</p>	<p>Simulación del comportamiento de sistemas eléctricos de potencia a pequeña escala.</p>	<p>Necesidad de realizar prácticas demostrativas entre generadores eléctricos.</p> <p>Facilitar de una herramienta al docente para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje</p>	<p>Considera usted que los alumnos de los últimos niveles de ingeniería eléctrica, deben realizar aplicaciones de sistemas eléctricos de potencia?.</p> <p>El uso de instrumentos de medición y control apropiados permitirá maniobrar generadores en paralelo?.</p> <p>Considera usted que las prácticas de laboratorio en sistemas eléctricos de potencia, contribuirán a un mejor desempeño profesional en la vida práctica?.</p> <p>Cree usted que con la implementación de dos grupos motor generador se realizarán prácticas de laboratorio enfocados a la realidad?</p>	<p>Encuestas</p> <p>Entrevistas</p>



CAPITULO II

2.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1.1 Introducción.

Este capítulo involucra a los usuarios de los equipos del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por lo tanto contiene el análisis de los datos obtenidos mediante entrevistas a los profesores de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, así como el análisis e interpretación de las encuestas aplicadas a los alumnos de séptimo y octavo niveles de mencionada Carrera, situaciones que permitirán demostrar la necesidad de implementar el Laboratorio de Máquinas Eléctricas con una unidad motor-generator AC-AC de 10 kw, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC.

Este equipo permitirá realizar prácticas independientes y complementarias, con el grupo motor-generator AC-AC trifásico de 5 kw, mismo que está por implementarse en el citado laboratorio, para efectos de análisis se considerará ya implementado. Los dos grupos motor-generator AC-AC aparentemente son similares, pero su principio de control es completamente diferente, por citar unas diferencias tenemos que el generador de 5 kw tiene un rotor de dos polos y el generador de 10 kw un rotor de 4 polos por lo tanto sus velocidades promedio de giro del motor y del generador son de 3600 RPM y 1800 RPM respectivamente. Además el grupo de 5 kw no contiene un AVR, solo dispone de una fuente de voltaje variable, es decir no se recupera automáticamente; otra diferencia fundamental en el control de velocidad, el grupo de 5 kw no está implementado con un control automático de velocidad, ésta se controla con un variador manual

de velocidad. Estos cuatro elementos: número de polos, velocidad promedio de giro del motor y del generador, método de control de voltaje de campo y control de velocidad del grupo motor-generador, son factores determinantes en la diferencia de fondo de los dos grupos motor-generador AC-AC implementado (5 kw) y el nuevo a implementar (10 kw)

Es importante recalcar que en determinadas prácticas para laboratorio, los dos equipos son complementarios, consecuentemente es necesario recabar información por medio de las encuestas y entrevistas a los profesionales y alumnos que utilizarán los dos grupos motor-generador de 5 kw y de 10 kw.

2.1.2 Diseño metodológico.

Para ejecutar este trabajo se realizaron la investigación básica, analítica y descriptiva para determinar la necesidad de implementar un grupo motor-generador de 10 kw trifásico para realizar prácticas independientes y complementarias con el grupo motor-generador de 5 kw. La investigación es experimental y de aplicación formativa y descriptiva.

La información requerida se recopiló mediante una entrevista aplicado a los Ingenieros Eléctricos Docentes, así como un cuestionario a los alumnos de séptimo y octavo niveles de esta Carrera de Ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.1.3 Técnicas e instrumentos de investigación.

Se utilizaron dos instrumentos de investigación:

La entrevista para cinco ingenieros eléctricos, misma que consta de tres preguntas.

La encuesta de ocho preguntas para recabar de los alumnos la importancia y necesidad de implementar el Laboratorio de Máquinas Eléctricas con un grupo

motor-generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC.

Cabe mencionar que se tiene previsto implementar el laboratorio de Máquinas Eléctricas con dos unidades de motor-generador AC-AC, el primer grupo no dispondrá de control de voltaje de campo y velocidad automáticos, en cambio el otro grupo será de potencia mayor y si dispondrá de controles automáticos, mismo que servirá para trabajar en forma independiente o en paralelo con el primero. Es decir en la entrevista se sobreentiende que el primer grupo motor-generador ya está existente en el laboratorio.

Considerando que la implementación de los grupos generadores AC-AC de 5 kw y de 10 kw son complementarios, es decir las dos implementaciones forman un solo proyecto, las entrevistas y encuestas se realizaron a los docentes y alumnos que utilizarán el primer grupo motor generador (5 kw).

2.1.4 Obtención de resultados y análisis de la entrevista realizada a los Ingenieros Eléctricos de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Esta entrevista se realizó para comprobar la viabilidad del proyecto “Implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”.

Se entrevistó a Docentes que impartan temas afines a máquinas eléctricas y sistemas eléctricos de potencia.

TABLA 2.1 ENTREVISTA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
Entrevistado: Ing. Vicente Quispe	
Entrevistadores: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán Velasco Chimba Juan Rolando	
Fecha: 30 de Noviembre de 2012	
PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1. ¿Considera necesario la implementación de dos unidades de motores-generadores AC-AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?</p> <p>2. ¿Con el montaje de dos unidades motor-generador AC-AC, permitirá realizar pruebas demostrativas de la puesta en paralelo entre las mismas?</p> <p>3. ¿Se fortalecerán los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica y afines?</p>	<p>Es necesario implementar el laboratorio por lo menos con dos grupos motor-generador, para fortalecer y complementar los conocimientos teóricos impartidos en las aulas.</p>

TABLA 2.2 ENTREVISTA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
Entrevistado: Ing. Oscar Mallitásig	
Entrevistadores: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán Velasco Chimba Juan Rolando	
Fecha: 30 de Noviembre de 2012	
PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1. ¿Considera necesario la implementación de dos unidades de motores-generadores AC-AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?</p> <p>2. ¿Con el montaje de dos unidades motor-generator AC-AC, permitirá realizar pruebas demostrativas de la puesta en paralelo entre las mismas?</p> <p>3. ¿Se fortalecerán los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica y afines?</p>	<p>Disponer de dos unidades de motor generador, para realizar transferencias de cargas, resulta encomiable, la decisión de contar por lo menos con dos unidades, de esta forma se demostrarán en forma práctica el comportamiento de dos sistemas diferentes.</p>



TABLA 2.3 ENTREVISTA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
Entrevistado: Ing. Ernesto Abril	
Entrevistadores: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán Velasco Chimba Juan Rolando	
Fecha: 30 de Noviembre de 2012	
PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1. ¿Considera necesario la implementación de dos unidades de motores-generadores AC-AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?</p> <p>2. ¿Con el montaje de dos unidades motor-generador AC-AC, permitirá realizar pruebas demostrativas de la puesta en paralelo entre las mismas?</p> <p>3. ¿Se fortalecerán los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica y afines?</p>	<p>La parte teórica se complementa con la práctica, y así mejoran las destrezas y habilidades, con el fin que los futuros profesionales den soluciones a los problemas que se presenten en la vida diaria.</p>

TABLA 2.4 ENTREVISTA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
Entrevistado: Ing. Marcelo Barrera	
Entrevistadores: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán Velasco Chimba Juan Rolando	
Fecha: 30 de Noviembre de 2012	
PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1. ¿Considera necesario la implementación de dos unidades de motores-generadores AC-AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?</p> <p>2. ¿Con el montaje de dos unidades motor-generator AC-AC, permitirá realizar pruebas demostrativas de la puesta en paralelo entre las mismas?</p> <p>3. ¿Se fortalecerán los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica y afines?</p>	<p>La implementación de dos unidades es necesaria, porque un sistema interconectado contiene por lo menos dos unidades de generación, por lo tanto nos permitirá reforzar los principios de funcionamiento de máquinas eléctricas.</p>

TABLA 2.5 ENTREVISTA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
Entrevistado: Ing. Miguel Lucio	
Entrevistadores: Acosta Gutiérrez Segundo Hernán Velasco Chimba Juan Rolando	
Fecha: 30 de Noviembre de 2012	
PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1. ¿Considera necesario la implementación de dos unidades de motores-generadores AC-AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?</p> <p>2. ¿Con el montaje de dos unidades motor-generador AC-AC, permitirá realizar pruebas demostrativas de la puesta en paralelo entre las mismas?</p> <p>3. ¿Se fortalecerán los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica y afines?</p>	<p>Los bancos de prueba serán complementarios entre sí para apoyar los conocimientos adquiridos en algunas materias afines a máquinas eléctricas.</p>

2.1.5 Obtención de resultados y análisis de la encuesta.

Las encuestas se realizaron a los alumnos de los últimos niveles de ingeniería eléctrica, se consideró este universo por cuanto, es el personal que tiene conocimientos bien formados acerca de la ingeniería eléctrica.

2.1.5.1 Pregunta N° 1.- ¿Considera necesario realizar prácticas demostrativas de sistemas de generación eléctrica?

TABLA 2.6 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 1

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	48	100	100
NO	0	0	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.1 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 1



Interpretación de los resultados.

Del total de los resultados obtenidos en la encuesta realizada a los alumnos de séptimo y octavo ciclo, se puede apreciar que el 100% considera necesario la realización de prácticas demostrativas de sistemas de generación eléctrica. Con la realización de esta práctica los alumnos reforzarán los conocimientos adquiridos en clase.

2.1.5.2 *Pregunta N° 2.- ¿Sabe usted si el laboratorio de máquinas eléctricas cuenta con sistemas de generación eléctrica didácticos?*

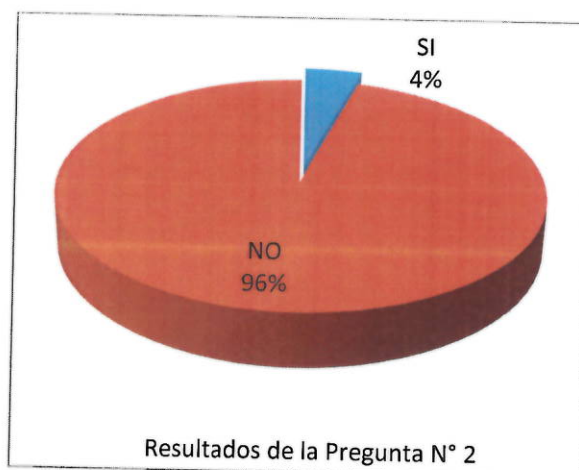
TABLA 2.7 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 2

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	2	4.17	4.17
NO	46	95.83	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.2 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 2



Interpretación de los resultados

De acuerdo a estos datos, se desprende que el 96% desconoce la existencia de sistemas de generación eléctrica en el laboratorio de máquinas eléctricas, esto también indica la necesidad imperiosa de implementar el laboratorio.

2.1.5.3 *Pregunta N° 3.- ¿Considera usted que los alumnos de ingeniería eléctrica, deberían realizar prácticas de laboratorio para operar en paralelo dos unidades de generación?*

TABLA 2.8 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 3

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	47	97.92	97.92
NO	1	2.08	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.3 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 3



Interpretación de los resultados.

De los datos de la tabla 2.8 se aprecia que de un total de 48 alumnos encuestados, 47 consideran que se deben realizar prácticas de laboratorio, para conectar en paralelo dos unidades de generación.

Los estudiantes tendrán la oportunidad de experimentar la puesta en paralelo de por lo menos dos grupos de generación.

2.1.5.4 *Pregunta N° 4.- ¿Se debe implementar instrumentos de medición, que permitan obtener datos de experimentos realizados, con generadores sincrónicos en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?*

TABLA 2.9 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 4

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	48	100	100
NO	0	0	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.4 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 4



Interpretación de los resultados.

Referente a esta pregunta, se aprecia el 100 % de los alumnos está de acuerdo que se deben implementar instrumentos de medición adecuados para realizar prácticas de laboratorio con generadores sincrónicos.

Esta implementación es importante por cuanto en la realidad, existen sistemas automáticos de control de voltaje y frecuencia.

2.1.5.5 *Pregunta N° 5.- ¿Considera usted que los alumnos de los últimos niveles de ingeniería eléctrica, deben realizar aplicaciones de sistemas eléctricos de potencia?.*

TABLA 2.10 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 5

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	48	100	100
NO	0	0	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.5 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 5



Interpretación de los resultados

En la tabla 2.10 se aprecia que el 100 % de los encuestados consideran necesario la realización de prácticas de laboratorio en sistemas eléctricos de potencia.

Esta apreciación es importante por cuanto los alumnos de los últimos niveles están conscientes de la realidad a la cual se van a enfrentar cuando salgan a la vida real.

2.1.5.6 *Pregunta N° 6.- ¿El uso de instrumentos de medición y control apropiados permitirá maniobrar generadores en paralelo?.*

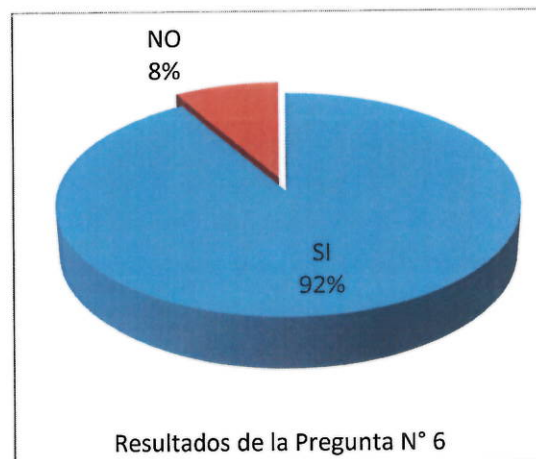
TABLA 2.11 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 6

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	44	91.67	91.67
NO	4	8.33	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.6 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 6



Interpretación de los resultados.

En esta pregunta el 91.67 % considera que cuando se traten de maniobrar generadores en paralelo, deben contar con instrumentos de medición y control.

Esta apreciación es importante para la implementación de un nuevo grupo motor generador, por cuanto el grupo anterior no dispone de estos equipos, su justificación se debe a que el equipo anterior está previsto para otras aplicaciones.

2.1.5.7 *Pregunta N° 7.- ¿Considera usted que las prácticas de laboratorio en sistemas eléctricos de potencia, contribuirán a un mejor desempeño profesional en la vida práctica?.*

TABLA 2.12 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 7

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje(%)	Porcentaje acumulado
SI	46	95.83	95.83
NO	2	4.17	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.7 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 7



Interpretación de los resultados.

En esta tabla y gráfico se aprecia que el 96% de encuestados está de acuerdo que con la realización de prácticas de laboratorio, se contribuye a un mejor desempeño profesional en la vida práctica.

Realmente se considera que mientras más prácticas de laboratorio se realicen, las destrezas mejoran.

2.1.5.8 Pregunta N° 8.- ¿Cree usted que con la implementación de dos grupos motor generador se realizarán prácticas de laboratorio enfocados a la realidad?

TABLA 2.13 RESULTADO DE LA PREGUNTA N° 8

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado
SI	45	93.75	93.75
NO	3	6.25	100
TOTAL		100	

FUENTE: Alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO 2.8 REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PREGUNTA N° 8



Interpretación de los resultados.

Como se observa en el gráfico 2.8 del 100 % de los encuestados, representado por 48 alumnos, 45 alumnos creen con la implementación de dos grupos motor generador, las prácticas se enfocan a la realidad.

Con la implementación de otra unidad motor generador, se transferirá carga entre generadores. Esta actividad es importante para comprender como ocurre en la realidad con máquinas de mayor potencia.

2.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

2.2.1 Planteamiento de las hipótesis a ser verificadas

Para la comprobación de la hipótesis: “La implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, permitirá a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica disponer de una herramienta que permita mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje con los alumnos”, se plantearon la Hipótesis Nula y la Hipótesis Alternativa, luego en base a los datos obtenidos de las encuestas, mediante el método del chi cuadrado se demostrará cuál hipótesis es la aceptable.

2.2.2 Hipótesis Nula.- H_0

H_0 = La implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, no permitirá a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica disponer de una herramienta que permita mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje con los alumnos.

2.2.3 Hipótesis alternativa.- H_1

La implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, si permitirá a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica disponer de una herramienta que permita mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje con los alumnos.

2.2.4 Deducción matemática

Para el análisis matemático de los datos obtenidos, se plantea de la siguiente forma:

Hipótesis Nula (H0):

H0 = Respuestas Observadas = Respuestas Esperadas

Hipótesis Alternativa (H1):

H1 = Respuestas Observadas \neq Respuestas Esperadas

2.2.5 Niveles de significación para la interpretación de los resultados

Los niveles de significación están definidos según Catherine M. Thompson, de la siguiente forma: “La probabilidad de rechazar la Hipótesis Nula cuando es falsa es de 5%, es decir, el nivel de confianza es del 95%.

2.2.6 Tabulación de datos.

TABLA 2.14 DATOS OBTENIDOS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS

Pregunta N°	Sí	NO	TOTAL
1	48	0	48
2	2	46	48
3	47	1	48
4	48	0	48
5	48	0	48
6	44	4	48
7	46	2	48
8	45	3	48

FUENTE: Encuestas a los alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes.

TABLA 2.15 FRECUENCIAS OBSERVABLES

Items	Pregunta N°	Frecuencias observables (<i>f_o</i>)		TOTAL
		Si (<i>f_o</i>)	NO (<i>f_o</i>)	
1	1	48	0	48
2	2	2	46	48
3	3	47	1	48
4	4	48	0	48
5	5	48	0	48
6	6	44	4	48
7	7	46	2	48
8	8	45	3	48
TOTAL		328	56	384

FUENTE: Encuestas a los alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes.

2.2.7 Cálculo de frecuencias esperadas (*f_e*)

La frecuencia esperada está dada por:

$$f_e = \frac{t_f * t_c}{t_g} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Donde:

f_e = frecuencia esperada

t_f = total filas

t_c = total columnas

t_g = total general

En esta encuesta de las ocho preguntas, se obtuvieron los cálculos de la frecuencia esperada, de la siguiente forma:

Para la respuesta SI, *f_e* resulta:

$$fe = \frac{48 * 328}{384} fe = 41$$

Para la respuesta NO, fe resulta:

$$fe = \frac{48 * 56}{384} fe = 7$$

TABLA 2.16 FRECUENCIAS ESPERADAS

Items	Pregunta N°	Frecuencias esperadas (fe)		TOTAL
		Si (fe)	NO (fe)	
1	1	41	7	48
2	2	41	7	48
3	3	41	7	48
4	4	41	7	48
5	5	41	7	48
6	6	41	7	48
7	7	41	7	48
8	8	41	7	48

FUENTE: Encuestas a los alumnos 7mo y 8vo Ing. Eléctrica UTC.

ELABORADO POR: Los postulantes.

2.2.8 Cálculo del Chi - cuadrado (fe)

El valor de Chi - cuadrado se calcula de la siguiente forma:

$$X^2c = (fo-fe)^2 / fe$$

Ecuación (18)

Donde: X^2c = valor a calcularse de Chi-cuadrado

fo = frecuencia observada

fe = frecuencia esperada



TABLA 2.17 VALORES DE CHI-CUADRADO

Items	fo	fe	fo-fe	(fo - fe) ²	X ² c = (fo-fe) ² / fe
1	48	41	7	49	1,20
2	2	41	-39	1521	37,10
3	47	41	6	36	0,88
4	48	41	7	49	1,20
5	48	41	7	49	1,20
6	44	41	3	9	0,22
7	46	41	5	25	0,61
8	45	41	4	16	0,39
9	0	7	-7	49	7,00
10	46	7	39	1521	217,29
11	1	7	-6	36	5,14
12	0	7	-7	49	7,00
13	0	7	-7	49	7,00
14	4	7	-3	9	1,29
15	2	7	-5	25	3,57
16	3	7	-4	16	2,29
TOTAL					293,35

2.2.9 Cálculo del grado de libertad

Para calcular el grado de libertad se calcula de la siguiente forma:

$$gl = (nf - 1) (nc - 1)$$

Ecuación (19)

Donde:

gl = grado de libertad

nf = número de filas

nc = número de columnas

Aplicando la ecuación 19, se obtiene:

$$gl = (8 - 1)(2 - 1)$$

$$gl = (7)(1)$$

$$gl = 7$$

Con este grado de libertad de $gl = 7$, en la tabla de distribución Chi – cuadrado, se determina el valor de X^2_t :

TABLA 2. 18 VALORES PERCENTILES (X^2_T) PARA LA DISTRIBUCIÓN CHI-CUADRADO

gl	$X^2_{,995}$	$X^2_{,99}$	$X^2_{,975}$	$X^2_{,95}$	$X^2_{,90}$	$X^2_{,75}$	$X^2_{,50}$	$X^2_{,25}$	$X^2_{,10}$	$X^2_{,05}$	$X^2_{,025}$	$X^2_{,01}$	$X^2_{,005}$
1	7,88	6,63	5,02	3,84	2,71	1,32	0,455	0,102	0,0158	0,0039	0,0010	0,0002	0,0000
2	10,6	9,21	7,38	5,99	4,61	2,77	1,39	0,575	0,211	0,010	0,0506	0,0201	0,0100
3	12,8	11,3	9,35	7,81	6,25	4,11	2,37	1,21	0,58	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,9	13,3	11,1	9,5	7,8	5,4	3,36	1,92	1,06	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,7	15,1	12,8	11,1	9,2	6,6	4,35	2,67	1,61	1,15	0,831	0,554	0,412
6	18,5	16,8	14,4	12,6	10,6	7,8	5,35	3,46	2,20	1,64	1,24	0,872	0,676
7	20,3	18,5	16,0	14,1	12,0	9,0	6,35	4,25	2,83	2,17	1,69	1,24	0,989
8	22,0	20,1	17,5	15,5	13,4	10,2	7,34	5,07	4,17	2,73	2,18	1,65	1,34
9	23,6	21,7	19,0	16,9	14,7	11,4	8,34	5,90	4,87	3,33	2,70	2,09	1,73
10	25,2	23,2	20,5	18,3	16,0	12,5	9,34	6,74	5,58	3,94	3,25	2,56	2,16
11	26,8	24,7	21,9	19,7	17,3	13,7	10,3	7,58	6,30	4,57	3,82	3,05	2,60
12	28,3	26,2	23,3	21,0	18,5	14,8	11,3	8,44	7,04	5,23	4,40	3,57	3,07
13	29,8	27,7	24,7	22,4	19,8	16,0	12,3	9,30	7,79	5,89	5,01	4,11	3,57
14	31,3	29,1	26,1	23,7	21,1	17,1	13,3	10,2	8,55	6,57	5,63	4,66	4,07
15	32,8	30,6	27,5	25,0	22,3	18,2	14,3	11,0	9,31	7,26	6,26	5,23	4,60
16	34,3	32,0	28,8	26,3	23,5	19,4	15,3	11,9	10,1	7,96	6,91	5,81	5,14
17	35,7	33,4	30,2	27,6	24,8	20,5	16,3	12,8	10,9	8,67	7,56	6,41	5,70
18	37,2	34,8	31,5	28,9	26,0	21,6	17,3	13,7	11,7	9,39	8,23	7,01	6,26
19	38,6	36,2	32,9	30,1	27,2	22,7	18,3	14,6	12,4	10,1	8,91	7,63	6,84
20	40,0	37,6	34,2	31,4	28,4	23,8	19,3	15,5	13,2	10,9	9,59	8,26	7,43
21	41,4	38,9	35,5	32,7	29,6	24,9	20,3	16,3	14	11,6	10,3	8,90	8,03
22	42,8	40,3	36,8	33,9	30,8	26,0	21,3	17,2	14,8	12,3	11,0	9,54	8,64
23	44,2	41,6	38,1	35,2	32,0	27,1	22,3	18,1	15,7	13,1	11,7	10,2	9,26
24	45,6	43,0	39,4	36,4	33,2	28,2	23,3	19,0	16,5	13,8	12,4	10,9	9,89
25	46,9	44,3	40,6	37,7	34,4	29,3	24,3	19,9	17,3	14,6	13,1	11,5	10,5
26	48,3	45,6	41,9	38,9	35,6	30,4	25,3	20,8	18,1	15,4	13,8	12,2	11,2
27	49,6	47,0	43,2	40,1	36,7	31,5	26,3	21,1	18	16,2	14,6	12,9	11,8
28	51,0	48,3	44,5	41,3	37,9	32,6	27,3	22,7	18,9	16,9	15,3	13,6	12,5
29	52,3	49,6	45,7	42,6	39,1	33,7	28,3	23,6	19,8	17,7	16,0	14,3	13,1
30	53,7	50,9	47,0	43,8	40,3	34,8	29,3	24,5	20,6	18,5	16,8	15,0	13,8
40	66,8	63,7	59,3	55,8	51,8	45,6	39,3	33,7	29,1	26,5	24,4	22,2	20,7
50	79,5	76,2	71,4	67,5	63,2	56,3	49,3	42,9	37,7	34,8	32,4	29,7	28,0
60	92,0	88,4	83,3	79,1	74,4	67,0	59,3	52,3	46,5	43,2	40,5	37,5	35,5
70	104,2	100,4	95,0	90,5	85,5	77,6	69,3	61,07	55,3	51,7	48,8	45,4	43,3
80	116,3	112,3	106,6	101,9	96,6	88,1	79,3	71,1	64,3	60,4	57,2	53,5	51,2
90	128,3	124,1	118,1	113,1	107,6	98,6	89,3	80,6	73,3	69,1	65,6	61,8	59,2
100	140,2	135,8	129,6	124,3	118,5	109,1	99,3	90,1	82,4	77,9	74,2	70,1	67,3

Fuente: Spiegel Murray R., 1991, adaptada de Catherine M. Thompson.

De acuerdo a la tabla 2.18, considerando el nivel de significación de 95% y el grado de libertad calculado $gl = 7$, se obtiene un valor de $X^2_t = 14,1$.

Es decir tenemos dos valores:

$$X^2_c = 293,35 \text{ (valor calculado en la tabla 2.17)}$$

$$X^2_t = 14,1 \text{ (valor obtenido de la tabla 2.18)}$$

2.2.10 Decisión en la selección de hipótesis.

Una vez determinado los valores de X^2_t y X^2_c , se establece que:

$$X^2_t < X^2_c$$

$$14,1 < 293,35$$

Por lo tanto se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta la Hipótesis Alternativa (H_1) que dice:

“La implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, si permitirá a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica disponer de una herramienta que permita mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje con los alumnos”.

Analizando los resultados de las encuestas, entrevistas y del análisis matemático, se justifica la implementación de una unidad motor generador AC-AC, con este análisis se demuestra la comprobación verdadera de la hipótesis inicial planteada y la viabilidad de la implementación del proyecto.

2.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

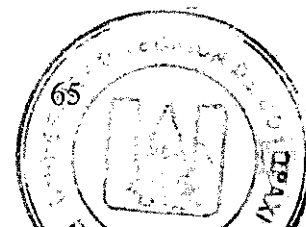
2.3.1 Conclusiones:

- La implementación de una unidad de generación, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas facilita a los alumnos de Ingeniería Eléctrica y carreras afines, experimentar los conocimientos teóricos obtenidos en el aula. Debido a la utilización de equipos de última tecnología, permiten visualizar en unidades de vatio y en tiempo real el comportamiento de sistemas eléctricos de potencia, preparándose de esta manera hacia la operación de los nuevos equipos que poseen actualmente las centrales de generación eléctrica en nuestro país y así contribuir al fortalecimiento de la excelencia académica.
- El acoplamiento en paralelo de los generadores es un método por el cual el sistema de generación se hace más eficiente y confiable, pero tenemos que ser muy cautelosos en el procedimiento de la puesta en paralelo de generadores síncronos ya que un error podría causar daños tanto en el generador como en el sistema de generación, por lo cual debemos tener especial cuidado en la sincronización de sistemas eléctricos puesto que de esto depende el acoplamiento correcto.
- La implementación de este grupo motor generador es práctica y de aplicación inmediata, su requisito está condicionado a usuarios con conocimientos básicos de sistemas eléctricos de potencia.
- La configuración didáctica de esta implementación, permite a los usuarios de este banco de pruebas realizar prácticas de laboratorio en forma independiente o acoplado a otros sistemas eléctricos de similares características.

- Para un adecuado funcionamiento del reparto de carga entre sistemas de generación, es necesario calibrar dos equipos simultáneamente, de forma que se permita la adecuada regulación de voltaje desde el controlador, es decir se deben incrementar simultáneamente los puntos de ajuste del mecanismo regulador en un generador al mismo tiempo que se disminuyen los puntos de ajuste en el mecanismo regulador del otro generador.
- No es posible realizar la transferencia de energía mientras los dos generadores no estén conectados a la barra común, puesto que por la característica de la carga no se puede trabajar sin la capacidad total del sistema, aunque sea por corto tiempo.
- Al tener varios generadores en paralelo, pueden generarse corrientes reactivas que se encuentran circulando entre ellos, la manera de evitar que éstas aparezcan, es una adecuada sincronización de los generadores; y para ello, es necesario calibrar correctamente los medidores de voltaje, puesto que no importa cuán sofisticado sea un equipo de control si las medidas de voltaje son incorrectas.
- La conexión en paralelo de los dos grupos motor generador, aportan al reforzamiento de los conocimientos en lo que respecta al manejo de máquinas eléctricas que se imparten en la Carrera de Ingeniería Eléctrica y materias afines.

2.3.2 Recomendaciones:

- Para operar el grupo motor-generador implementado en el laboratorio de máquinas eléctricas, se recomienda leer minuciosamente el Manual de Operación del banco de trabajo, que se adjunta en el Capítulo III de este trabajo, en el cual se establecen los peligros y precauciones básicas a considerar durante su manejo, con el fin de evitar daños al personal que opere y a los equipos adjuntos. Adicional se sugiere comparar los valores



obtenidos en el desarrollo de las prácticas de laboratorio, con los datos de placa, mismos que se encuentran en el banco de trabajo de este proyecto.

- El área donde se ubican los generadores debe tener una adecuada circulación de aire, especialmente cuando se utilice el banco de cargas no lineales, el mismo que tiene descubierto su lado derecho, recomendándose no tapar el mismo, para evitar accidentes.
- Debe existir una adecuada señalización para cualquier maniobra que pueda realizarse manualmente en el sistema, a fin de que el personal de mantenimiento sepa cómo actuar sin afectar a la instalación.
- Antes de realizar alguna práctica de laboratorio, se debe revisar que los cableados estén correctamente fijos y no exista obstrucción que impida el giro de los motores y generadores, caso contrario se debe suspender cualquier práctica e informar del particular al encargado del laboratorio.
- Es importante que el asistente de laboratorio esté debidamente instruido en cuanto al manejo de los equipos, esto garantizará que el estudiante pueda realizar sus prácticas, entendiendo los fenómenos que podrá experimentar en el equipo.
- No se recomienda conectar al generador una carga puramente capacitiva, para evitar mala operación al AVR y consecuentemente un daño al equipo, adicional se recomienda que el factor de potencia debe ser inductivo.
- Antes de operar el tablero los alumnos deben desarrollar el trabajo preparatorio, sugerido en las guías propuestas, con el fin de evitar dañar el o los tableros utilizados.

- Cuando se operen los dos tableros de transferencia, se deben hacer por lo menos entre dos personas, con el fin de evitar la motorización de los generadores eléctricos.

- Para poner en paralelo los dos grupos motor generador, se debe conectar primero a cualquiera de los dos sistemas de generación, una carga para evitar motorización de cualquiera de los dos grupos de generación.

CAPITULO III

3.1 PROPUESTA

3.2 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.2.1 Tema:

“Implementación de una unidad motor generador AC-AC, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación AC, en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi”.

3.2.2 Presentación de la Propuesta

Con la implementación de una unidad motor generador, se tiene previsto el desarrollo de las siguientes prácticas: Parámetros eléctricos de la máquina sincrónica, la maquina sincrónica como generador eléctrico y su respuesta ante los diferentes tipos de carga eléctrica y operación en paralelo de dos máquinas sincrónicas, toma y reparto de carga entre ambas máquinas.

Con el presente trabajo de investigación, se ha conseguido obtener un banco de pruebas totalmente funcional, que reproduce a pequeña escala todos los parámetros, medidas y propiedades de un generador sincrónico impulsado por una máquina motriz libre de emisiones y ruido, el mismo que es capaz de mantener su frecuencia y voltaje de manera automática ante la conexión y desconexión de los diversos tipos de cargas lineales que pueden conectarse por pasos a este equipo.

Este comportamiento ante la variación de carga, obedece a lazos de control cerrado que imitan los controles automáticos de voltaje y frecuencia de los generadores sincrónicos modernos. Así mismo el banco de pruebas posee un módulo de sincronismo, que le permite conectarse con la red pública u otro generador sincrónico, mientras se cumplan los parámetros de sincronismo como son voltaje, frecuencia, secuencia y ángulo de fase.

En condiciones de sincronismo con otro generador pequeño, mediante la manipulación de los parámetros de frecuencia y voltaje, se posibilita la transferencia de carga activa y reactiva entre los dos generadores sincronizados, característica cúspide del presente proyecto.

3.2.3 Justificación de la Propuesta

La realización de prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas es importante para el proceso enseñanza aprendizaje, razón por la cual es indispensable la implementación de equipos, elaboración de los documentos de ingeniería, trabajos preparatorios y guías de laboratorio, con el fin de ofrecer a los futuros profesionales, un instrumento de apoyo para que en la vida práctica contribuyan al desarrollo de nuestro país.

La implementación de este proyecto proporciona a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica y afines de la Universidad Técnica de Cotopaxi, una herramienta para fortalecer los conocimientos relacionados a sistemas eléctricos de potencia, adquiridos en el aula y de esta forma contribuir con la formación profesional de los futuros profesionales de esta especialidad.

La justificación de este proyecto se demuestra cuando se logra conectar en paralelo dos sistemas eléctricos de potencia y observar la variación de sus parámetros. El análisis del comportamiento de carga entre dos sistemas eléctricos de potencia, se logra con la implementación de este grupo motor generador que puede funcionar en forma independiente tipo isla y además permite conectar en

paralelo dos grupos de generación AC-AC, para observar sus cambios de voltaje y velocidad ante variaciones de carga eléctrica aplicada a su salida.

Por lo antes mencionado, por estos objetivos a ser conseguidos durante la ejecución de prácticas de laboratorio, este trabajo adquiere su realce e importancia y se justifica la implementación de este proyecto.

3.2.4 Objetivos

3.2.4.1 Objetivo General

Fortalecer el proceso enseñanza aprendizaje, implementando un grupo motor generador AC-AC con equipos de alta tecnología, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades motor generador AC en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.2.4.2 Objetivos Específicos

- Implementar un banco de pruebas de laboratorio cumpliendo con los requerimientos de la Cátedra de Máquinas Eléctricas y Sistemas Eléctricos de Potencia, para operar sistemas eléctricos de potencia a pequeña escala.
- Realizar el montaje de una unidad motor -generador con equipos de control de velocidad del rotor y suministro de voltaje de campo que se recuperan automáticamente, para trabajar en forma independiente o complementaria con el grupo motor generador de 5 kw existente en el laboratorio de máquinas eléctricas.
- Elaborar guías de laboratorio, para realizar prácticas demostrativas con unidades de generación eléctrica indicando la correcta y segura utilización de los equipos.



3.2.5 Análisis de Factibilidad

3.2.5.1 Factibilidad Técnica

Antes de construir un proceso eléctrico a gran escala, se debe construir otro a menor escala, con el fin de analizar su comportamiento ante variaciones de carga eléctrica.

Con este propósito, para reproducir el funcionamiento en isla y en paralelo de generadores sincrónicos, se utilizará un generador cuya potencia es 10.000 watts, para generar voltaje alterno trifásico de 220 Vac usando un generador sincrónico de 4 polos y 1800 rpm. Para girar el rotor del generador se acoplará un motor de inducción, acoplado directamente al eje del generador a través de una junta flexible (matrimonio mecánico), este grupo estará montado en una estructura metálica, su aislamiento de vibraciones, se consigue con bases de caucho.

Debido a que este grupo motor generador de 10 kw puede trabajar en forma individual y complementaria con otra existente de 5kw, el montaje tanto del motor, del generador y de los instrumentos de medición son similares.

La sincronización se debe maniobrar en forma manual, al igual que la toma de carga eléctrica, la diferencia fundamental con el equipo existente es la capacidad del grupo motor generador de recuperarse automáticamente en voltaje y en frecuencia.

3.2.6 Alcance del proyecto.

Con la realización de prácticas de laboratorio utilizando las dos unidades motor generador de 5 y de 10 Kw, sea en forma individual o complementaria, siempre y cuando se haya desarrollado previamente el trabajo preparatorio sugerido y se apliquen los principios básicos de seguridad, los alumnos conseguirán los siguientes objetivos.

- Appreciar el sistema: energía primaria (motor) - generador sincrónico.
- Identificar los instrumentos básicos de medición que se utilizan en los sistemas de generación eléctrica.
- Entender el proceso de la generación de energía eléctrica, control de velocidad y control de voltaje.
- Appreciar el proceso de sincronización manual y los condicionamientos para su ejecución, por medio del sincronoscopio digital y sus focos instalados para este caso.
- Sincronizar el generador con la barra infinita o con otro generador de similares características.
- Compartir carga entre generadores eléctricos en paralelo.

3.2.7 Desarrollo de la Propuesta

3.2.7.1 Implementación del módulo didáctico de la Unidad Motor – Generador

Para implementar este módulo se realizaron las siguientes consideraciones:

- Seguridad para el operador
- Protecciones de los equipos.

Estas consideraciones se tomaron en cuenta analizando que va a ser maniobrado por personal no especializado y con poca o ninguna experiencia.

La máquina que accionará el generador, será un motor de inducción tipo jaula de ardilla de 10 Hp, sus valores nominales son: voltaje 220 Vac trifásico, 1740 RPM a 60 Hz.

Como se puede apreciar se dispone solo de 1740 RPM, para girar un rotor del generador a 1800 RPM, esto se consigue utilizando un Variador de Frecuencia, el cual puede calibrarse para conseguir velocidades desde 1785 RPM hasta 1815 RPM.

El Variador de Frecuencia posee una entrada analógica que puede recibir como frecuencia de referencia el valor del voltaje variable producido por un potenciómetro conectado entre tres de sus bornes de control. El arranque y parada del variador igualmente se comanda usando un contacto normalmente abierto de un relé auxiliar que funciona mediante un control memorizado básico con pulsadores de arranque y parada.

El generador sincrónico es una máquina con rotor de cuatro polos autoexcitado, pero en este caso se ha dotado de un voltaje externo de alimentación, con el objetivo de variar a voluntad la funcionalidad del voltaje de campo, es decir se implementó un regulador automático de voltaje, conocido como AVR.

El banco contiene medidores analógicos para las magnitudes del voltaje y corriente de campo del generador y un medidor digital para las magnitudes de salida del generador.

Las lecturas se tomarán a la salida del generador sincrónico, ubicando los transformadores de corriente para que la convención de signos sea la siguiente:

➤ ***Medidor Generador Sincrónico:***

Potencia Activa Positiva (w) = Potencia entregada por el Generador

Potencia Activa Negativa (w) = Potencia Consumida por el Generador

Potencia Reactiva Positiva (var) = El Generador entrega reactivos (Como Capacitor)

Potencia Reactiva Negativa (-var) = El Generador consume reactivos (Como Inductor)

Por medio del AVR construido, se alimenta con DC al rotor del generador, con salida controlada de 45 voltios máximo y 1,5 Amperios nominales, que además cuenta en modo manual con un potenciómetro para fijar el valor del voltaje de referencia o set point.

El proceso de sincronización se realiza con un sincronoscopio en base a focos conectado adecuadamente entre sus fases y un relé de sincronismo. El relé de sincronismo utilizado dispone de leds para visualizar el acercamiento o alejamiento del proceso de sincronización, es decir se aprecia si el generador está girando rápido o lento con respecto al otro generador, esta parte es importante para variar manualmente los parámetros necesarios para su sincronización.

El banco de pruebas se energiza a través de un enchufe industrial tipo IEC trifásico conectado a un cable tetra polar tipo sucre calibre 4 x 10 AWG el cual llega hasta el interruptor principal del sistema. Se utilizan 3 fases y el neutro, la conexión del neutro es importante para la referencia de voltaje de los equipos de control.

3.2.7.2 Descripción del funcionamiento de la unidad Motor-Generador para realizar prácticas demostrativas

Esta unidad motor – generador es accionado por medio de un variador de frecuencia, el cual permite alcanzar una velocidad de 1800 RPM con un retardo 10 segundos luego de energizar el variador y accionar el pulsante de marcha. La velocidad de 1800 RPM a una frecuencia generada de 60 Hz.

El variador de frecuencia puede operar al motor entre 1785 y 1815 rpm, que equivale a: 59.5 Hz y 60.5 Hz, dependiendo de la regulación del potenciómetro dispuesto para ello.

Para obtener voltaje de salida del generador, se debe aplicar el voltaje DC al bobinado de campo del rotor, esto se realiza variando el voltaje de la tarjeta AVR,

utilizando el potenciómetro propio de esta tarjeta, con esto dejamos establecido el setpoint de voltaje del generador que se mantendrá con el AVR independientemente de la carga aplicada.

Los datos del voltaje y corriente de campo que consume su bobinado se pueden leer ambos datos en los medidores analógicos de 48 x 48 milímetros.

El nivel de voltaje generado depende del voltaje de campo aplicado.

Luego de accionar el grupo motor- generador y establecido sus valores de setpoint, podemos conectar la carga eléctrica resistiva, inductiva o capacitiva según el caso.

Para sincronizar el generador 1 con el generador 2, debemos en primer lugar llegar a generar a velocidad sincrónica y regulando el voltaje tal que sea muy semejante al voltaje del otro generador, procedemos a revisar que el sincronoscopio de focos; un foco por cada línea debe parpadear al mismo tiempo, es decir, los tres focos se enciendan y apaguen a la vez. Si todos los focos de sincronismo parpadean iguales indican que la secuencia de fases de los dos generadores es la misma y se encuentran listos para conectar en paralelo, pero si uno de los focos parpadea de forma diferente a los dos, la secuencia de fases está invertida, por lo tanto se deben intercambiar dos de sus fases.

Si se cumplen las cuatro condiciones establecidas para sincronismo como son, voltaje o magnitud, fase o ángulo de fase, frecuencia y secuencia de los dos grupos de generación, se puede pulsar el botón CONECTAR, mismo que está conectado en serie con el relé del Sincronoscopio Digital y así cerrar el contactor de acoplamiento entre sistemas eléctricos diferentes.

Los medidores digitales de parámetros AC dispuestos en el banco, indican todas las variables eléctricas de salida en sus unidades respectivas



Adicional se dispone de un indicador digital del variador de frecuencia en el que se aprecia indirectamente el valor de la velocidad del rotor del generador sincrónico.

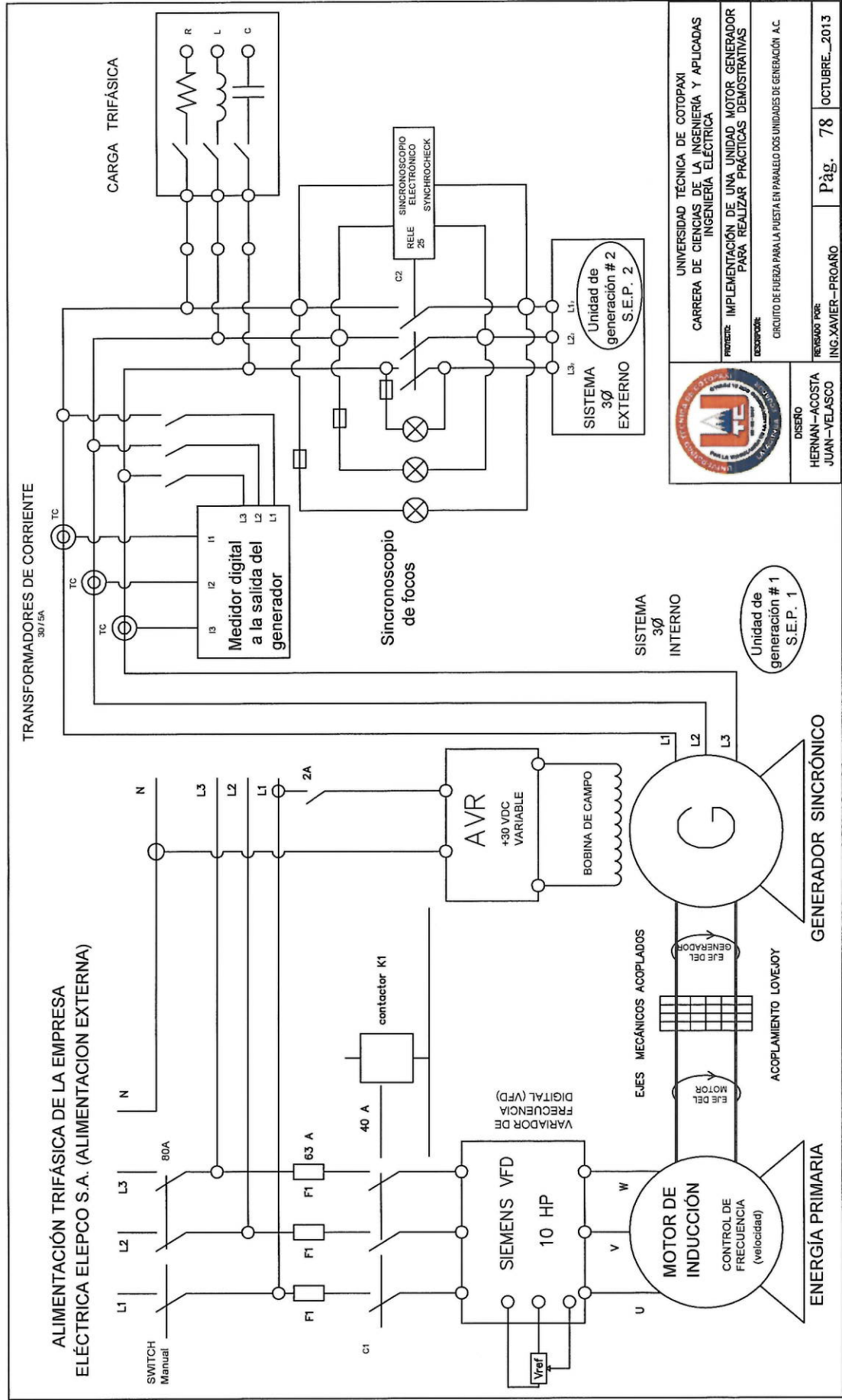
3.2.8 Materiales utilizados para el Montaje de la Unidad Motor- Generador

ÍTEM	Cantidad	Unidad	DESCRIPCIÓN
1	1	U	Generador sincrónico trifásico de 10.000W, 1800 rpm, 240 V, 60 Hz
2	1	U	Motor trifásico de 7.500w, 1740 rpm, 240 V, 60 Hz
3	1	U	Matrimonio flexible de 3 pulgadas
4	1	U	Skid para montaje de grupo Motor - Generador
5	1	U	Banco de pruebas metálico, con doble fondo de tool galvanizado
6	1	U	Juego de bases para motor
7	1	Glb	Kit de pernos y tuercas galvanizados para fijación
8	1	Glb	Kit de ruedas poliméricas con seguro anti deslizante
9	1	U	Variador de Frecuencia de 10.000 VA
10	1	U	Contactador de Línea para VFD de 63 Amperios
11	3	U	Porta fusibles de 10 x 32 mm
12	3	U	Fusibles rápidos de 10 x 32 mm
13	1	U	Selectores 2 posiciones para energizar el VFD
14	1	U	Pulsador Doble Start-Stop para arranque del VFD
15	1	U	Potenciómetro de 10 kohms para regular la velocidad en el VFD
16	1	U	Relé auxiliar de 14 pines para accionamiento del VFD
17	1	U	Tarjeta de Rectificación y Control de Voltaje DC
18	1	U	Transformador Multitap para alimentación de la tarjeta
19	1	U	Breaker de 2 polos 6 Amperios para protección de la tarjeta

Continúa en la siguiente página

Continuación de la página anterior.			
ÍTEM	Cantidad	Unidad	DESCRIPCIÓN
20	1	U	Voltímetro DC hasta 60 Voltios
21	1	U	Amperímetro DC hasta 500 mA
22	1	Glb	Resistencias Shunt para acondicionamiento corriente DC
23	1	U	Juego de Barras para Alimentación desde la Empresa Eléctrica
24	1	U	Juego de Barras para Alimentación desde el Generador Síncrono
25	1	U	Contactador de Acoplamiento para la sincronización
26	1	U	Transformador de Aislamiento para los circuitos de control
27	2	U	Breaker de 3 polos para señales de voltaje a medidores digitales
28	2	U	Breaker de 3 polos para protección de Empresa Eléctrica y Generador
29	1	U	Medidor Digital de parámetros eléctricos
30	1	U	Sincronoscopio digital con contacto de sincronización
31	3	U	Transformadores de Corriente de 30 a 5 Amperios
32	3	U	Luz piloto para sincronoscopio de focos
33	1	U	Switch principal para energizar el Banco de trabajo
34	1	U	Extensión con tomacorriente industrial
35	1	Glb	Juego de conectores, bananas y horquillas
36	1	Glb	Fusibles y porta fusibles con indicador para protección de señales

3.2.9. Ubicación de los elementos y accesorios en el banco de trabajo de la unidad motor-generador AC-AC



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 INGENIERÍA ELÉCTRICA
 Proyecto: IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD MOTOR GENERADOR PARA REALIZAR PRÁCTICAS DEMOSTRATIVAS
 Escopado:

DISEÑO
 HERNÁN-Acosta
 JUAN-YELASCO

CIRCUITO DE FUERZA PARA LA PUESTA EN PARALELO DOS UNIDADES DE GENERACIÓN A.C.
 Revisado por: ING. XAVIER-PROAÑO
 Pág. 78 OCTUBRE...2013

3.2.10 Manual de Operación del Banco de Trabajo del Módulo Motor – Generador Síncrono Autoexcitado de 10.000 VA

Modo de Operación MANUAL

PASOS SUGERIDOS:

1. Antes de accionar el interruptor principal del tablero se deberá confirmar lo siguiente:
 - Asegúrese que todos los contactos están adecuadamente ajustados.
 - Selector del Variador de Frecuencia en OFF
 - Potenciómetro del variador de frecuencia en Mínimo
 - Potenciómetro de la Tarjeta de DC en Mínimo

2. Si se han cumplido todos los pasos anteriores, accionar el interruptor principal a posición ON.

3. Verificar que en la pantalla del Medidor Digital Revalco se encuentre encendida e indique los datos de lectura. El medidor del lado del generador debe marcar 0 voltios, 0 amperios y 0 kw.

4. Accionar el switch del variador de frecuencia a posición ON, y comprobar que su pantalla se encienda.

5. En base al experimento de laboratorio a realizarse, continuar en orden la operación del banco de pruebas.

6. Una vez finalizada la Práctica de Laboratorio se deben seguir los siguientes pasos:
 - Desconectar las Cargas Eléctricas Aplicadas.

- Pulsar el Botón DESCONECTAR (del sincronismo), para liberar de la sincronización al generador (en caso de estar sincronizado).
- Pulsar el Botón STOP del Variador de Frecuencia y esperar que se detenga el grupo Motor – Generador.
- Cambiar a posición OFF el switch de dos posiciones del Variador de Frecuencia.
- Reducir el potenciómetro del Variador a Mínima Posición.
- Girar el potenciómetro de la tarjeta del AVR a mínima posición, y
- Operar el Interruptor Principal del Banco de Pruebas a Posición OFF.

3.2.11 Solución de Problemas

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
El Banco de Pruebas no enciende.	No existe suministro de energía eléctrica.	Revisar el suministro de voltaje en las tres fases de los bornes del banco de pruebas
El variador de frecuencia está apagado.	Falta el neutro del sistema o falta voltaje de alimentación.	Comprobar que el contactor del VFD se accione al girar el selector a posición ON, caso contrario revisar los fusibles de 10x32mm del Porta fusibles Legrand, en último caso reemplazar el contactor.
No genera voltaje al girar el Generador Sincrónico.	Falta alimentar con voltaje DC al rotor del Generador	Girar en sentido horario el potenciómetro de la tarjeta de DC. Revisar que los indicadores de Voltaje y Corriente DC marquen lecturas cuando se acciona el potenciómetro, sea en sentido horario o anti horario.
Continúa en la siguiente página.		

Viene de la página anterior.

Indicador de falla con F002 en el Variador de Frecuencia.	El variador de frecuencia está sobrecargado.	Resetear el VFD accionado el Switch ON-OFF, además se debe comprobar que la carga no supere el 100% de la nominal mostrada en la pantalla del VFD
El VFD falla continuamente y no se puede resetear.	El generador se ha motorizado.	Reducir la frecuencia del generador que le está motorizando, apagar el sistema del generador motorizado y volver a encender luego de 1 minuto o más, verificar que no persiste la falla, caso contrario el equipo motorizado está dañado.
El acoplamiento motor generador vibra y se calienta excesivamente.	Están desalineados el motor y el generador sincrónico	Alinear correctamente el Grupo Motor – Generador. Si no tiene experiencia, solicite ayuda a un especialista.

3.2.12 Planteamiento de prácticas.

PRÁCTICA No 1

1. TEMA: PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA

2. OBJETIVOS:

- Efectuar varias pruebas sobre la máquina síncrona para conocer los resultados y establecer sus parámetros eléctricos.
- Conocer la reactancia síncrona a partir de las características de vacío y cortocircuito.
- Aplicar los fundamentos teóricos de la máquina síncrona y analizar su operación en estado estacionario.

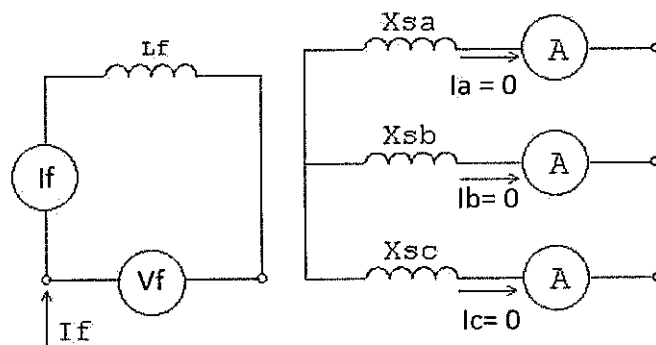
3. EQUIPO:

- Banco de Pruebas Motor- Generador Síncronico (Banco N° 2)
- Módulo de de cargas eléctricas.

4. INFORMACION TEÓRICA:

a) Prueba de circuito abierto.

Diagrama esquemático:



La característica de vacío de la máquina, es la relación del voltaje en sus bornes, con la corriente de excitación que se hace circular en la bobina del rotor, manteniendo la velocidad angular del mismo constante y sin que circule corriente por las bobinas del estator (No entrega potencia).

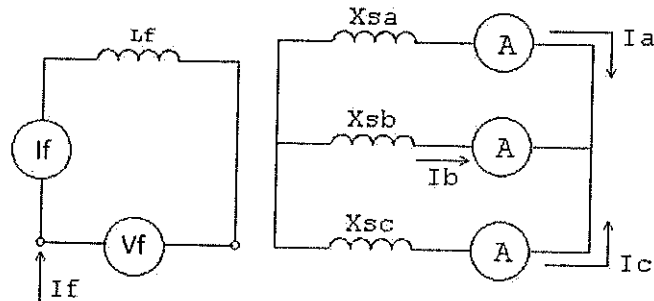
Es decir el voltaje generado, E_f es igual al voltaje en sus terminales V_1 , el mismo que está en función de la corriente de campo, esto es:

$$E_f = V_1 = f(I_f)$$

Para encontrar la característica de circuito abierto el generador se impulsa a velocidad nominal mediante la máquina motriz. Se conecta la excitación a su valor más bajo aumentando gradualmente (hasta que el voltaje de armadura se aproxime al 110% del valor nominal), se toman lecturas de voltaje de armadura, campo y corriente de excitación en cada paso.

b) Prueba de cortocircuito.

Diagrama esquemático:



La característica de cortocircuito es la relación entre la corriente de armadura I_a y la corriente de excitación I_f con los bornes de salida del generador cortocircuitados.

$$I_a = f(I_f)$$

Este ensayo se realiza cortocircuitando, antes del arranque, los bornes del generador y manteniendo la velocidad constante, se varía desde 0mA la corriente de excitación y se efectúan las lecturas de la corriente de armadura.

Deben realizarse mediciones de la corriente de armadura, corriente de campo y voltaje de excitación en cada paso. No sobrepasar la I_a de 25A, caso contrario actuará el breaker de protección.

La reactancia sincrónica se obtiene de las dos pruebas anteriores, en las que los voltajes y las corrientes de armadura son tomados para un mismo valor de la corriente de excitación.

$$X_s = \frac{V_t}{I_a (cc)}$$

5. TRABAJO PREPARATORIO:

- a) Considerando el literal a) de la información teórica literal 1, suministrado en esta guía, elaborar un gráfico en el que se muestren las conexiones básicas y los instrumentos mínimos necesarios que componen la prueba de circuito abierto.
- b) Considerando el literal b) de la información teórica literal 1, suministrado en esta guía, elaborar un gráfico en el que se muestren las conexiones básicas y los instrumentos mínimos necesario que componen la prueba de cortocircuito.
- c) Consultar cómo se puede invertir la secuencia de fases a la salida del generador sincrónico.

6. PROCEDIMIENTO

- a) En base al gráfico elaborado en el literal a) del trabajo preparatorio literal 5, realizar la prueba de circuito abierto en el generador sincrónico.
- b) Arrancar con los valores nominales: $V_1=208$ v, $f=60$ Hz. Variar la velocidad y analizar su influencia en el voltaje de salida, registrar los datos obtenidos.

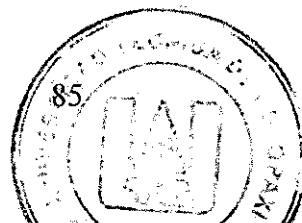
- c) Fijar los valores nominales (208 v y 60 Hz). Luego fijar el potenciómetro de campo en la posición mínima. Incrementar en pasos el voltaje de campo y registrar su influencia en el voltaje y la frecuencia de salida. El voltaje de salida debe aproximarse máximo al 110 % del valor nominal.
- d) En base al gráfico elaborado en el literal b) del trabajo preparatorio literal 5, realizar la prueba de cortocircuito. Asegúrese que el cortocircuito esté implementado, antes del arranque, además $I_f = 0 \text{ mA}$ y $V_f = 0 \text{ v}$.

7. INFORME

1. Adjuntar los resultados obtenidos de las pruebas de vacío y cortocircuito realizados en la máquina sincrónica.
2. Analizar los datos obtenidos e interpretar los resultados.
3. Utilizando la ecuación facilitada en la información teórica, calcular la reactancia sincrónica.

8. CONCLUSIONES

9. BIBLIOGRAFIA



PRÁCTICA No. 2

1. TEMA: LA MÁQUINA SINCRÓNICA COMO GENERADOR ELÉCTRICO Y SU RESPUESTA ANTE LOS DIFERENTES TIPOS DE CARGA ELÉCTRICA

2. OBJETIVOS:

- Observar físicamente la máquina sincrónica identificando sus partes constitutivas y comprendiendo sus funciones.
- Observar los dispositivos externos a la máquina sincrónica: grupo motriz y tarjeta de alimentación DC del campo (rotor).
- Observar la influencia de la velocidad de giro del grupo y del voltaje de excitación sobre el voltaje generado.
- Observar y documentar la respuesta de frecuencia y voltaje del generador sincrónico ante carga: activa, reactiva capacitiva y reactiva inductiva.

3. EQUIPO:

- Grupo motor – generador (Banco N°2)
- Equipos de medición incorporados en el Banco de Pruebas
- Módulos de carga resistiva
- Módulos de carga reactiva
- Módulos de carga capacitiva

4. INFORMACION TEÓRICA:

La máquina sincrónica está constituida por el devanado de excitación (inductor), que se alimenta con voltaje continuo, y el devanado de armadura (inducido), productor del voltaje alterno. Estas máquinas pueden ser de inductor móvil o de inductor fijo.

La fuerza electromotriz inducida en un alternador es proporcional al flujo por polo (ϕ) y a la velocidad de la máquina motriz (w).

$$E_g = K \cdot \phi \cdot W$$

La frecuencia del voltaje generado depende de la velocidad y del número de polos (p).

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

Debido a la necesidad de mantener la frecuencia constante, el voltaje generado depende únicamente del flujo por polo que a su vez es función de la corriente de excitación.

Al entregar potencia activa a la carga eléctrica, el generador sincrónico genera un contratorque al eje de la máquina motriz, debiendo regular la energía primaria para mantener la frecuencia de generación.

La potencia reactiva que entrega el generador sincrónico está limitada únicamente por su corriente de armadura, y en teoría no genera contratorque al eje de la máquina motriz, aunque por las pérdidas adicionales que genera el efecto joule en el rotor y estator si existe un leve incremento de la potencia activa entregada.

5. TRABAJO PREPARATORIO:

- Consultar acerca de los principios de funcionamiento de la máquina sincrónica
- Consultar dos tipos de energía primaria que usualmente impulsa la máquina sincrónica y de qué manera se puede controlar automáticamente la frecuencia en estos equipos.
- Consultar de qué manera se controla automáticamente el voltaje a terminales de un generador sincrónico y cuál es el principio de operación.
- Dibujar el circuito para operar la máquina sincrónica como generador.

6. PROCEDIMIENTO

1. Armar el circuito para conectar carga al generador sincrónico.
2. Reconocer con la ayuda del Auxiliar de laboratorio los componentes del Banco de Pruebas y sus funciones.
3. Asegurarse que los interruptores de la carga se encuentren abiertos, en la posición OFF.
4. Con la ayuda del Auxiliar de laboratorio energizar el Banco de Pruebas, conectando el interruptor a la posición ON. El potenciómetro del voltaje de campo debe estar en la mínima posición.
5. Encender y arrancar el Variador de Frecuencia para hacer girar el generador sincrónico.
6. Regular el voltaje DC de la tarjeta con el potenciómetro hasta que el generador entregue un mínimo de voltaje AC a leerse en el Medidor Digital del Generador.
7. Regular la velocidad en el Variador de Frecuencia para generar voltaje con una frecuencia lo más cerca a 60 Hz.
8. Una vez alcanzada esta frecuencia regular el voltaje de campo de la tarjeta reguladora hasta obtener un voltaje generado lo más cercano a 208 Vac.
9. Aplicar el primer paso de Carga Resistiva y observar el efecto transitorio sobre la velocidad, la frecuencia y el voltaje generado. Estos valores se observan en los indicadores.
10. Aplicar el segundo paso de Carga Resistiva y observar el efecto transitorio sobre la velocidad, la frecuencia y el voltaje generado.
11. Tomar datos de lo observado.
12. Aplicar el primer paso de Carga Inductiva y observar el efecto sobre la velocidad, la frecuencia, el voltaje generado y el factor de potencia de la carga.
13. Tomar datos de lo observado.
14. Aplicar el primer paso de Carga Capacitiva y observar el efecto sobre la velocidad, la frecuencia, el voltaje generado y el factor de potencia de la carga.

15. Tomar datos de lo observado.
16. Con la ayuda del Auxiliar de laboratorio apagar el Banco de Pruebas y desarmar los circuitos incorporados.

7. INFORME

1. Presentar los datos de la placa de las máquinas utilizadas para la práctica, dando una interpretación física de cada uno de ellos.
2. Presentar todos los diagramas de conexiones utilizados en la realización de la práctica. Comentar y explicar su funcionamiento.
3. Presentar tabulados todos los datos obtenidos.
4. ¿Cómo se controla la frecuencia y el voltaje en el generador sincrónico? Presente los datos obtenidos experimentalmente. Comente y analice los resultados.
5. ¿Cómo responde ante cada tipo de carga la frecuencia y el voltaje generado en el alternador? Presente los datos obtenidos experimentalmente. Comente y analice los resultados.

8. CONCLUSIONES

9. BIBLIOGRAFIA

PRACTICA No 3

1. **TEMA:** OPERACIÓN EN PARALELO DE DOS MÁQUINAS SINCRÓNICAS, TOMA Y REPARTO DE CARGA ENTRE AMBAS MÁQUINAS

2. **OBJETIVOS:**

- Definir las condiciones que debe cumplir la máquina síncrona para acoplarse con otro generador síncrono.
- Analizar el comportamiento del generador en paralelo con otro generador similar y los parámetros que deben variarse para compartir carga activa y reactiva.

3. **EQUIPO:**

- Banco de Pruebas Motor- Generador Síncrono (Banco N° 1)
- Banco de Pruebas Motor- Generador Síncrono (Banco N° 2)
- Módulos de carga: Resistiva, Inductiva y Capacitiva.

4. **INFORMACION TEÓRICA:**

Para conectar en paralelo dos alternadores entre sí, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Igual voltaje a terminales (Magnitud)
- Voltajes en fase entre ambas fuentes (Fase)
- Igual frecuencia de generación (Frecuencia)
- Igual secuencia de giro en las fases a conectarse (Secuencia)

Una vez que ambos generadores se acoplan entre sí en vacío, las condiciones de frecuencia (velocidad de giro de las máquinas) son iguales y se mantienen



en ese punto mientras ambas máquinas impulsoras no varíen su velocidad individualmente.

El voltaje de las dos máquinas sincronizadas, depende de la máquina cuyo voltaje previo a la sincronización haya sido mayor, estableciendo una circulación de reactivos correspondiente a la diferencia entre los voltajes de ambos generadores.

Por esta razón, aunque los generadores sincronizados todavía no alimentan carga alguna, muchas veces la corriente llega inclusive a valores cercanos a la nominal. Esto se debe a una diferencia de voltaje considerable entre las dos máquinas.

Si se logra regular el voltaje manualmente hasta casi eliminar esta corriente circulante reactiva, es entonces tiempo de aplicar carga eléctrica al conjunto sincronizado.

Una vez aplicada la carga activa al sistema, es posible trasladarla de un generador al otro, o dividirla en partes iguales, únicamente manipulando la velocidad (frecuencia) de cada máquina impulsora. Aquella máquina que tiene mayor velocidad toma la carga de la máquina de menor velocidad, inclusive hasta invertir su flujo activo, motorizando al otro generador (condición insegura e inestable).

5. TRABAJO PREPARATORIO:

- a) Consultar acerca de la sincronización de dos generadores sincrónicos y las protecciones básicas que requiere un generador eléctrico para entregar energía en estas condiciones.
- b) Consultar sobre la teoría de compartir carga entre generadores eléctricos y sus aplicaciones en el campo industrial.

6. PROCEDIMIENTO

- a) Interconectamos con cables la salida del generador del Banco N°1 (lado del generador) con el extremo de salida del Banco N° 2 (luego del contactor de línea o de sincronismo).
- b) De esta manera, ubicamos a ambos lados del contactor de sincronismo del Banco N°2, dos máquinas sincrónicas capaces de generar voltaje y corriente de manera independiente.
- c) Conectamos la carga eléctrica seccionada por pasos con interruptores abiertos en el lado de la carga del generador 2 (Banco N° 2)
- d) Luego, procedemos independientemente en cada banco de pruebas de la siguiente forma:

EN EL BANCO N° 2:

1. Energizar con voltaje trifásico el banco de pruebas.
2. Accionar el interruptor principal del tablero.
3. Comprobar el funcionamiento de la tarjeta de AVR, girar su potenciómetro y verificar que el miliamperímetro funciona
4. Regresar el potenciómetro del Variador de Frecuencia (Potenciómetro control de velocidad motor) a mínima posición.
5. Colocar en posición ON el selector del variador de frecuencia.
6. Arrancar el variador presionando el pulsador ON color verde (Arranque).
7. Verificamos el giro del motor, con una demora de 10 segundos hasta estabilizar su velocidad.
8. Comprobamos en el Medidor Digital la existencia de voltaje y frecuencia generada por la máquina sincrónica.
9. Establecemos valores estándar de 208 Voltios y 60 Hz.

EN EL BANCO N° 1:

10. Energizar con voltaje trifásico el banco de pruebas.
11. Accionar el interruptor principal del tablero.
12. Verificar en los medidores digitales la existencia de las tres fases en la entrada de la Empresa Eléctrica.
13. Comprobar el funcionamiento de la tarjeta de DC, girar su potenciómetro y verificar que el miliamperímetro funciona.
14. Regresar el potenciómetro de la tarjeta de DC a cero.
15. Regresar el potenciómetro del Variador de Frecuencia a mínima posición.
16. Colocar en posición ON el selector del variador de frecuencia
17. Comprobar que en la pantalla del variador se encuentre la expresión RDY que significa Listo.
18. Arrancar el variador presionando el pulsador ON color verde.
19. Verificamos el giro del motor, con un tiempo de 10 segundos hasta estabilizar su velocidad.
20. Verificamos en la pantalla del variador el valor de la Potencia Nominal del equipo en porcentaje (debe estar entre el 7% y 9% que representan las pérdidas mecánicas y eléctricas del sistema actuando como generador).
21. Manipulamos suavemente el potenciómetro de la tarjeta de DC, subimos el voltaje lentamente y verificamos si efectivamente la máquina sincrónica está generando voltaje y de qué magnitud y frecuencia.
22. Llevamos el voltaje hasta 208 Vac (AJUSTE DE MAGNITUD)
23. Revisamos que acción nos sugiere realizar el sincronoscopio digital (AJUSTE DE FASE)
24. Aceleramos el variador de frecuencia suavemente hasta que la frecuencia generada sea 60 Hz (AJUSTE DE FRECUENCIA)

EN EL BANCO N° 2:

25. Revisamos que el sincronoscopio de focos presente un parpadeo al unísono en las tres fases (AJUSTE DE SECUENCIA), en caso de observar

que únicamente parpadea un foco de los tres, y el parpadeo pasa de uno a otro foco de manera secuencial, este fenómeno indica que ESTAMOS CON SECUENCIA INVERTIDA EN EL OTRO GRUPO DE GENERACIÓN Y DEBEMOS INTERCAMBIAR DOS FASES.

1. Una vez comprobados: MAGNITUD, FASE, FRECUENCIA y SECUENCIA, esperamos el momento justo y presionamos CONECTAR botón verde del sincronismo.
2. Ambos generadores se sincronizan automáticamente y el foco rojo se enciende indicando el cierre del contactor de acoplamiento.
3. Revisamos inmediatamente la corriente de ambos generadores.
4. Ajustamos el voltaje de salida del Banco N° 1 hasta que la corriente circulante sea lo más cercana a cero.
5. Pulsamos seis veces la flecha hacia arriba de cada medidor digital hasta llegar a la pantalla TOTAL POWERS.
6. En esta pantalla podemos identificar en cuál de los 4 cuadrantes estamos trabajando con nuestras máquinas sincrónicas.
7. Aplicamos la carga eléctrica RESISTIVA por pasos a los generadores sincronizados.
8. Manipulando suavemente los potenciómetros de ambos Variadores de Frecuencia y podemos pasar la carga eléctrica entre ambos generadores o dividirla en partes iguales.

7. INFORME

1. Presentar y explicar los datos obtenidos al manipular los parámetros de velocidad en cada máquina impulsora.

8. CONCLUSIONES

9. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ARGUELLO Ríos Gabriel “Análisis y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia”, Ecuador, Abril 1999.
- HAY Williams, Engineering Electromagnetism 5a Edición McGraw Hill, Nueva York.
- MORA Fraile Jesús; Máquinas Eléctricas; 5a Edición, McGraw Hill ,México
- STEPHEN Chapman, Máquinas Eléctricas, 4 edición, McGraw Hill, México.
- Spiegel Murray R., 1991, adaptación de Catherine M. Thompson.
- TAPIA Luis , “Máquinas Eléctricas”, Ecuador, 2010, EPN.
- UTC, Cátedra de Planificación de SEP, Análisis Variacional de P y Q.
- WILDI Theodore, Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia 6 Ed.

BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL

- <http://www.endesaeduca.com/conceptos-básicos/v.-funcionamiento-de-generadores>.
- <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores>
- <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0629t.pdf>
- <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32917/1/cuevasrodriguez.pdf>



- https://www.ucursos.cl/ingenieria/2010/1/EL42C/1/material_docente/bajar?id_material=276007
- <http://es.scribd.com/doc/32986085/Maquinas-Electricas>
- <http://es.scribd.com/doc/93504625/Motor-asincrono-trifasico>
- <http://www.maquinariayocio.com/GENERADORES-Y-MAQUINARIA/funcionamiento-generadores-y-motores-trifasicos>
- <http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/34/Regulaci%C3%B3nVelocidad%203.pdf>
- <http://jfbingenieria.blogspot.com/2010/02/reparto-de-carga-entre-generadores-en.html>

ANEXOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Latacunga – Cotopaxi - Ecuador

ANEXO N° 1. ENCUESTA

ESPECIALIZACIÓN: INGENIERÍA ELÉCTRICA

ENCUESTA DIRIGIDA A LOS ALUMNOS DE SÉPTIMO Y OCTAVO

CICLOS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.

Objetivo.

Recopilar información del ambiente académica, concerniente a la elaboración de prácticas de laboratorio en sistemas eléctricos de potencia.

Indicaciones.-

- 1.- La información suministrada es confidencial.
- 2.- No escriba su nombre.
- 3.- Marque con una (X) según corresponda, en todas las preguntas.

PREGUNTAS:

1.- ¿Considera necesario realizar prácticas demostrativas de sistemas de generación eléctrica?

SI ()

NO ()

2.- ¿Sabe usted si el laboratorio de máquinas eléctricas cuenta con sistemas de generación eléctrica didácticos?

SI ()

NO ()

3.- ¿Considera usted que los alumnos de ingeniería eléctrica, deberían realizar prácticas de laboratorio para operar en paralelo dos unidades de generación?

SI ()

NO ()

4.- ¿Se debe implementar instrumentos de medición, que permitan obtener datos de experimentos realizados, con generadores sincrónicos en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?.

SI ()

NO ()

5.- ¿Considera usted que los alumnos de los últimos niveles de ingeniería eléctrica, deben realizar aplicaciones de sistemas eléctricos de potencia?.

SI ()

NO ()

6.- ¿El uso de instrumentos de medición y control apropiados permitirá maniobrar generadores en paralelo?.

SI ()

NO ()

7.- ¿Considera usted que las prácticas de laboratorio en sistemas eléctricos de potencia, contribuirán a un mejor desempeño profesional en la vida práctica?.

SI ()

NO ()

8.- ¿Cree usted que con la implementación de dos grupos motor generador se realizarán prácticas de laboratorio enfocados a la realidad?.

SI ()

NO ()



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Latacunga – Cotopaxi - Ecuador

ANEXO N° 2.- ENTREVISTAS

ENTREVISTA A: INGENIEROS ELÉCTRICOS - DOCENTES

ANTECEDENTE.

Esta entrevista está dirigida a los Ingenieros Eléctricos, docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, encaminado a recabar información que aporte al desarrollo del trabajo investigativo. Cabe mencionar que se considera que ya existe un único grupo motor generador implementado y con el otro grupo motor generador podrán trabajar en forma independiente o en forma complementaria.

OBJETIVO:

Establecer la necesidad de implementar un grupo motor generador ac-ac, para realizar prácticas demostrativas de la puesta en paralelo entre dos unidades de generación ac, en el laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

PREGUNTAS:

- 1.- ¿Considera necesario la implementación de dos unidades de motores-generadores AC-AC, en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas?
- 2.- ¿Con el montaje de dos unidades motor-generador AC-AC, permitirá realizar pruebas demostrativas de la puesta en paralelo entre las mismas?
- 3.- ¿Se fortalecerán los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica y afines?

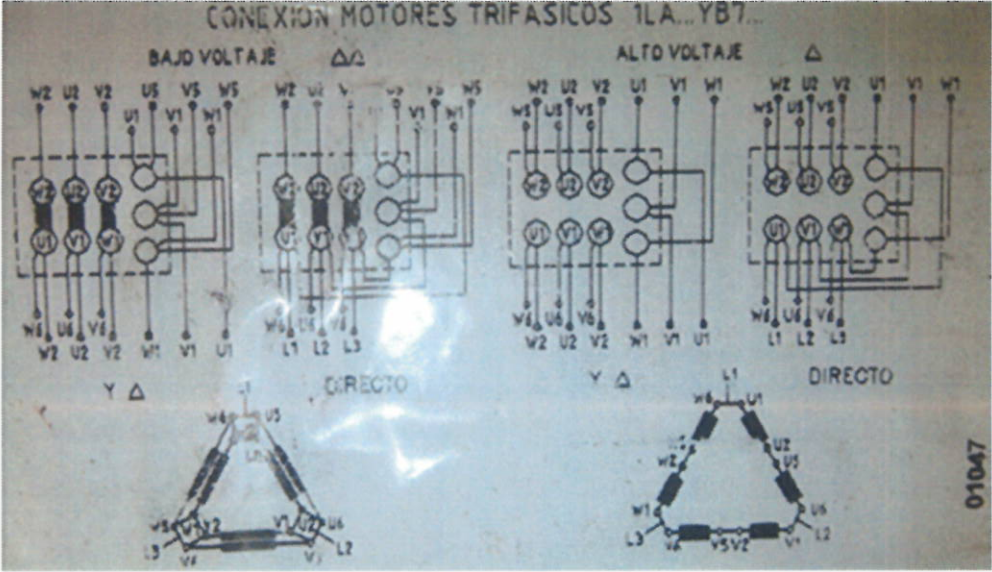
Los postulantes agradecen su colaboración

ANEXO N° 3. FOTOGRAFÍAS DE LOS ACCESORIOS UTILIZADOS

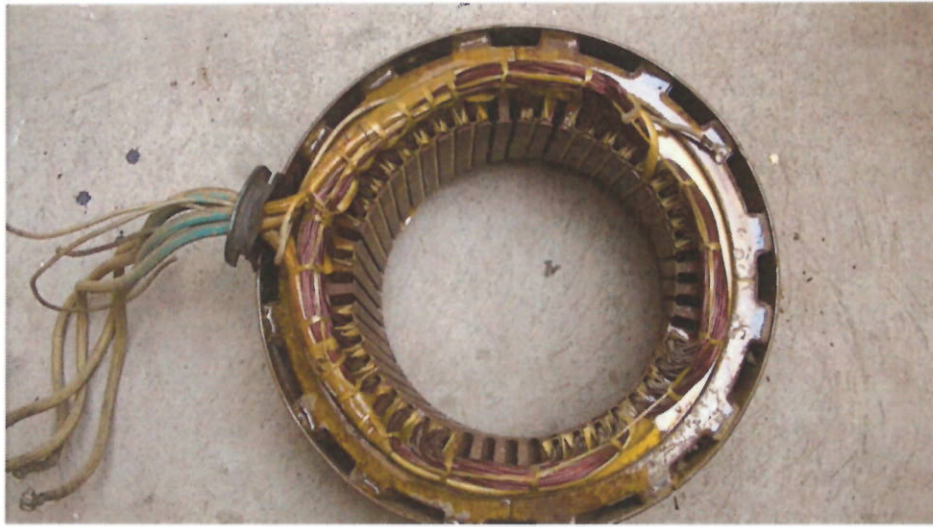
1. Motor asincrónico de inducción, 220 voltios, 10 hp trifásico, utilizado.



2. Diagrama de placa para conexiones del motor de inducción trifásico.



3. Estator con 48 ranuras del generador sincrónico utilizado.



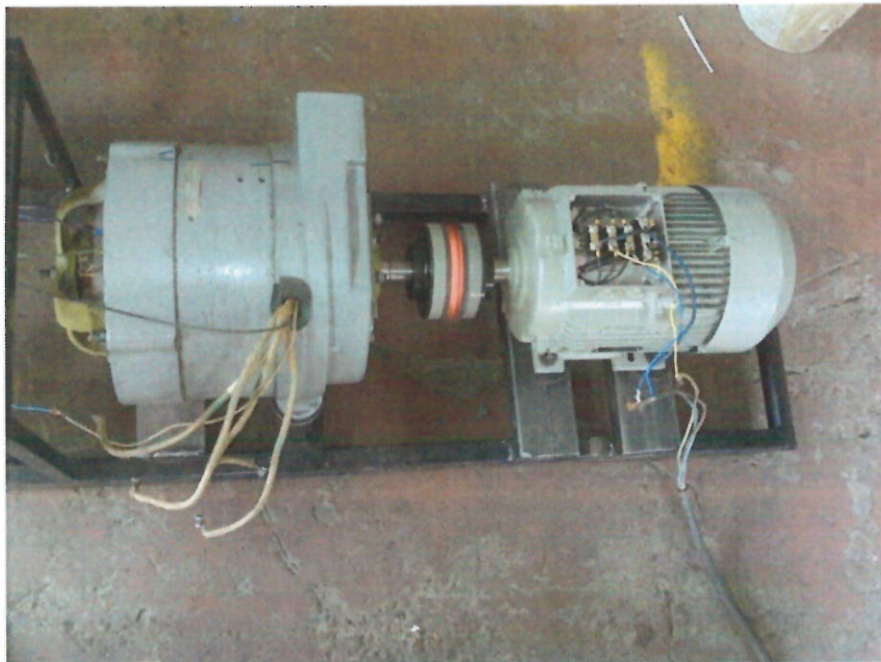
4. Rotor de cuatro polos del generador sincrónico utilizado



5. Tapa del estator, en la cual se encuentran: inductor e inducido para generar el campo del rotor.



6. Motor asincrónico ac y generador sincrónico ac anclados en la estructura metálica y sujetos con cauchos que absorben la vibración, además están acoplados con acoplamiento lovejoy



7. Sincronoscopio de focos y electrónico, se aprecia en medidor digital.



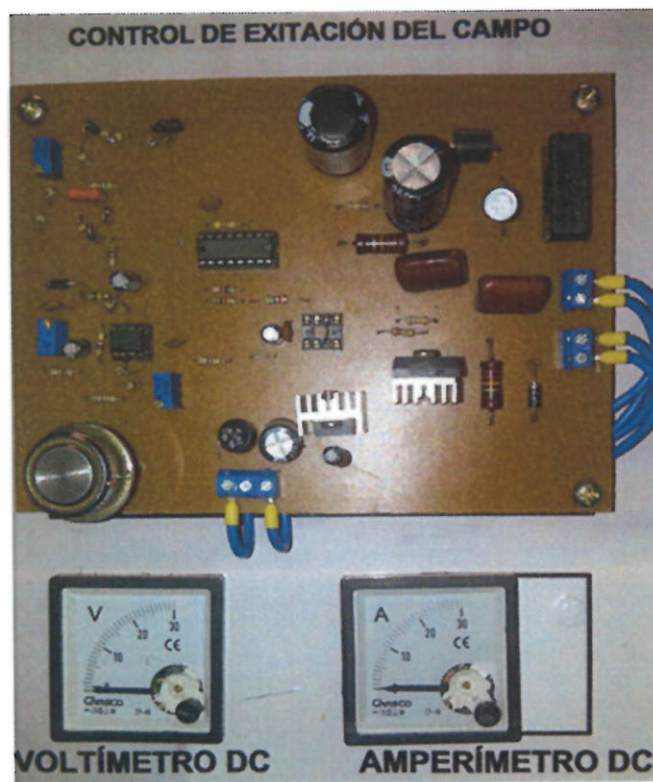
8. Distribución de los elementos en el banco de trabajo a implementarse



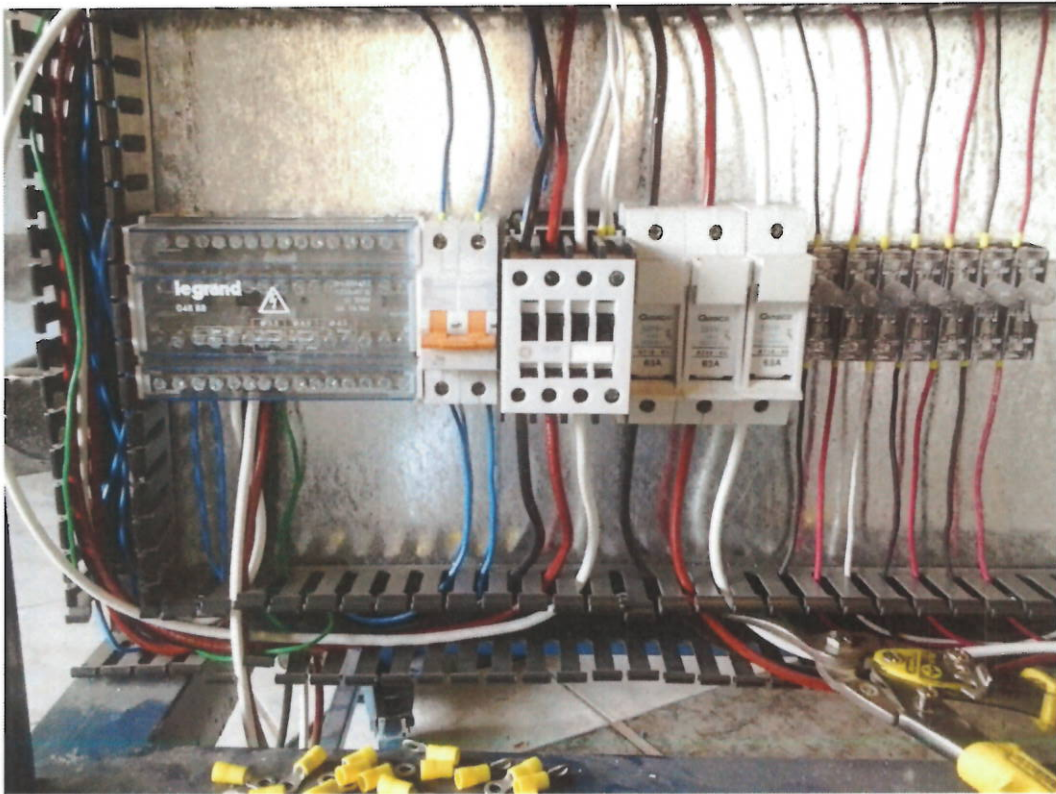
9. Módulo de Control de velocidad, accionamiento y potenciómetro.



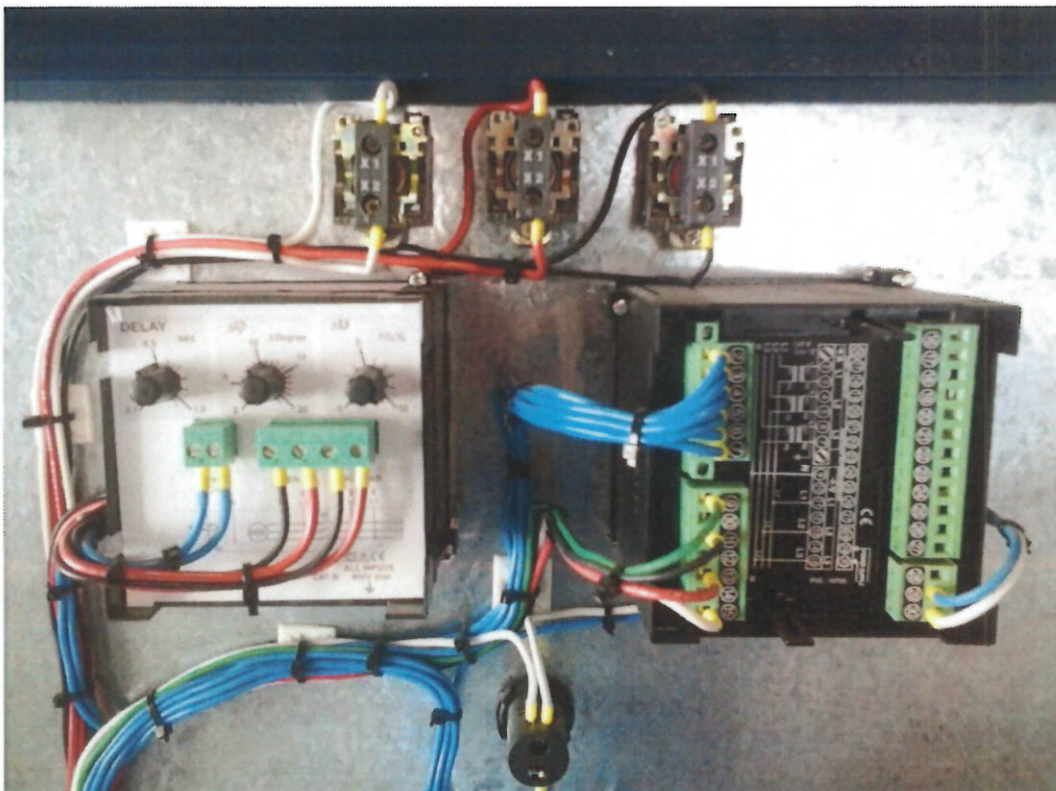
10. Tarjeta de control automático de voltaje de campo AVR, con su potenciómetro de regulación e indicadores de voltaje y corriente.



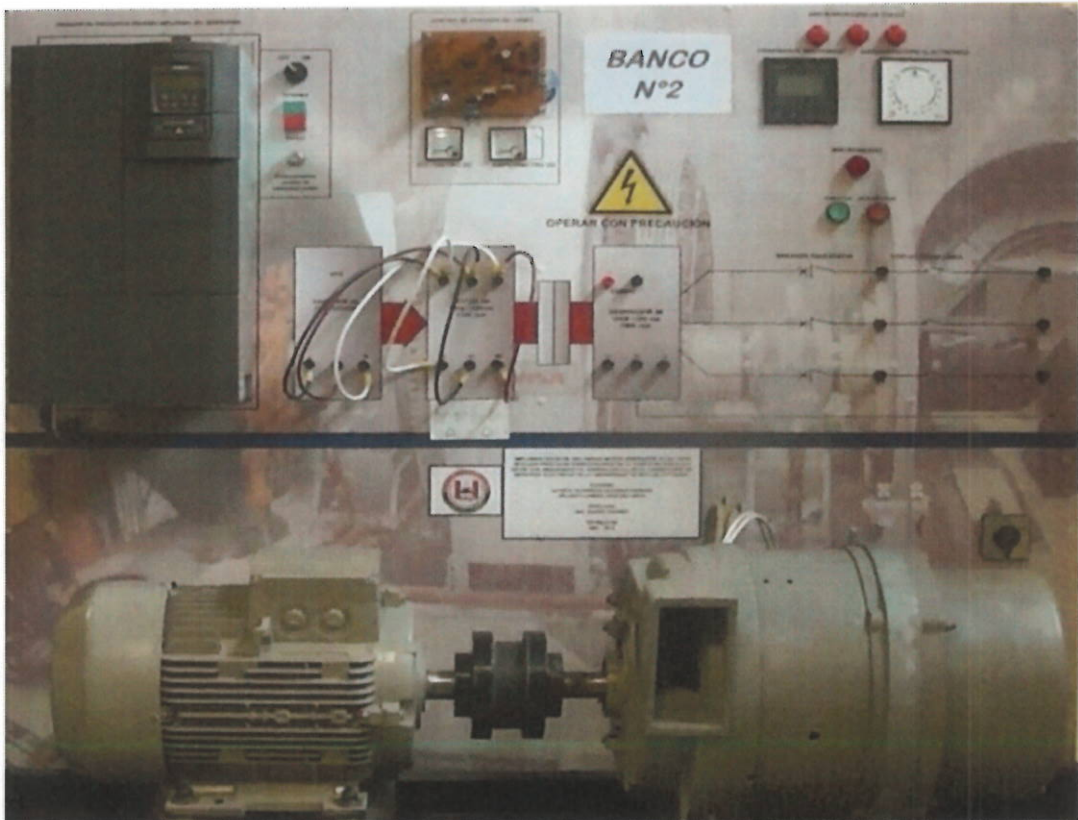
11. Cableado del ingreso principal, protecciones y contactor para sincronismo



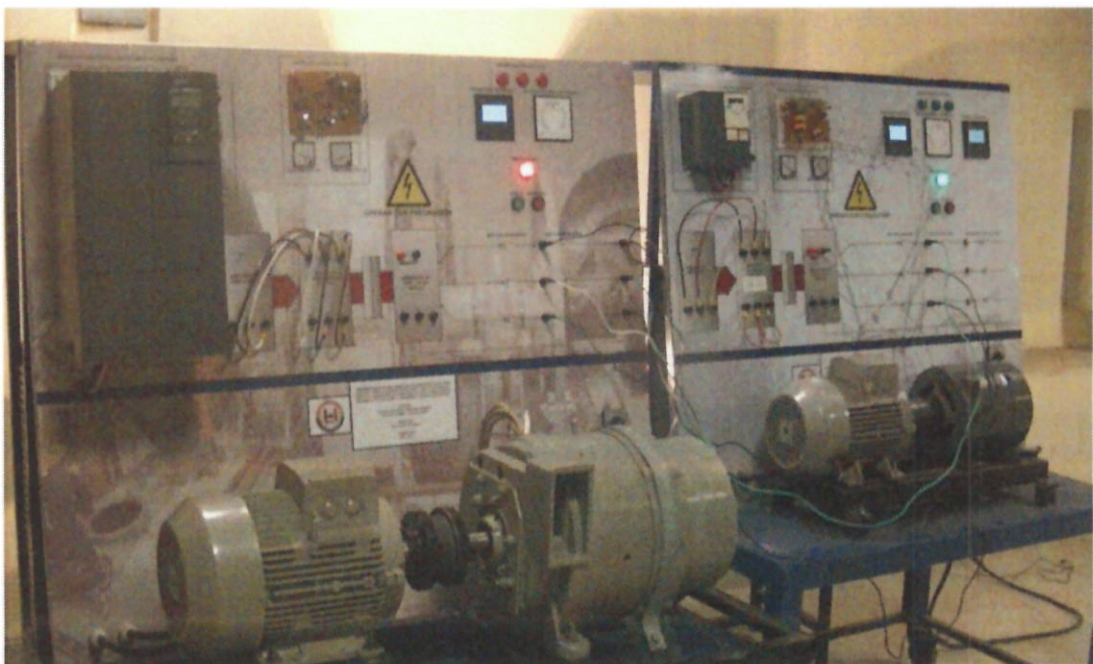
12. Cableado del sincronoscopio digital, de luces y del medidor digital



13. Banco de trabajo terminado



14. Sincronización entre dos generadores y la barra infinita (empresa eléctrica ELEPCO S.A.)



15. Banco de cargas lineales para pruebas.



16. Reparto de carga entre dos unidades de generación.

