



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

Autor:

Segovia Segovia Carlos Washington.

Tutor:

Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez.

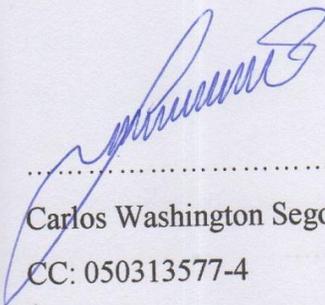
Latacunga – Ecuador

Marzo - 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

YO CARLOS WASHINGTON SEGOVIA SEGOVIA, DECLARO SER AUTOR DE LA PRESENTE PROPUESTA TECNOLÓGICA: "REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI", siendo el Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



.....
Carlos Washington Segovia Segovia.

CC: 050313577-4



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título: “REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de Carlos Washington Segovia Segovia, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos técnicos suficientes para ser sometidos a evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto de investigación que el Concejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo de 2018

.....
Ing. M. Sc. Luigi Orlando Freire Martínez.



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta Tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto el postulante: Carlos Washington Segovia Segovia con el título de Proyecto de Titulación: “REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA 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 Sustentación del Proyecto.

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

Latacunga, Marzo 2018

Para constancia firman:

.....
Lector 1

Ing. M. Sc. Mauro Darío Albarracín Álvarez.

CC: 0503113730

.....
Lector 2

Ing. M. Sc. Byron Paúl Corrales Bastidas.

CC: 0502347768

.....
Lector 3

Ing. M. Sc. Fabián Alejandro Cargua Colcha.

CC: 0603797671



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Con el presente documento, hago constar que el estudiante: Carlos Washington Segovia Segovia, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, implementó en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi un proyecto cuyo título versa: “REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, Ubicada en la Avenida Simón Rodríguez, en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Latacunga, 19 de marzo de 2018

Ing. M. Sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera.

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	1
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	1
2.2. TIPO DE ALCANCE	2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:.....	2
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.5.1. Objeto de estudio	3
2.5.2. Campo de acción	3
2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA.....	3
2.6.1. Situación problemática:.....	3
2.6.2. Problema.....	3
2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA.....	3
2.8. OBJETIVO(S)	4
2.8.1. Objetivo general	4
2.8.2. Objetivos específicos.....	4
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.....	4
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 Antecedentes.....	7
3.2 Equipos	7
3.2.1 Máquinas Eléctricas.....	7
3.2.2 Generador Eléctrico.....	8
3.2.2 Motores de Inducción	11
3.2.3 Variador de Frecuencia	11
3.3 Conexión en paralelo de generadores.....	13
3.3.1 El método de las tres lámparas	14
3.3.2 El Sincronoscopio.....	15
3.4 Elementos del módulo de sincronismo.....	16

3.4.1 PLC S7 1200.....	16
3.4.2 Multimedidor SENTRON PAC 3200	18
3.4.3 Micromaster 440.....	23
3.4.4 Switch Scalance	24
3.4.5 Fuente de Alimentación SITOP	25
3.4.6 Sinamics G110.....	26
3.4.7 Panel Simatic HMI	28
4. METODOLOGÍA.....	31
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISI DE IMPACTOS	37
6. 1 Presupuesto.....	37
6.1. 1 Costos Directos.....	37
6.2 Análisis de Impactos.....	38
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
7.1 Conclusiones.....	39
7.2 Recomendaciones.....	39
8. REFERENCIAS	40
9. ANEXOS	43

ÍNDICE DE FIGURA

Conexión 3P3W sin transformador de tensión	23
Figura 3.1 Circuito de excitador sin escobillas	10
Figura 3.10 Conexión 3P4W	20
Figura 3.11 Conexión 3P4WB.....	21
Figura 3.12 Conexión 3P4WB	21
Figura 3.13 Conexión 3P3W	22
Figura 3.14 Conexión 3P3W con transformador de tensión	22
Figura 3.16 Conexión 3P4W sin transformador de tensión.....	23
Figura 3.17 Fuentes de alimentación SITOP.....	26
Figura 3.18 Sinamics G110	26
Figura 3.19 Panel Simatic HMI.....	29
Figura 3.2 Estator de un motor de inducción	11
Figura 3.3 Diagrama de variador de frecuencia con PWM	12
Figura 3.4 Sincronización por el método de las lámparas	14
Figura 3.5 Circuito usado para conectar en paralelo un generador	15
Figura 3.6 Sincronoscopio.....	16
Figura 3.7 PLC Simatic S7-1200.....	17
Figura 3.8 Sentron PAC3200.....	19
Figura 3.9 Conexión 3P4W	20
Figura 4.1 Módulo antes de ser reconstruido	31
Figura 4.2 Generadores, Motores y VFDs.....	31
Figura 4.3 Multimeditores Sentron Pac 3200.....	32
Figura 4.4 Motor Carga	32
Figura 4.5 Panel de Conexiones	32
Figura 4.6 Módulo de Sincronización	33
Figura 4.7 Comunicación de PLC	34
Figura 5.1 Interconexión de Multimeditores y DKG -117	34
Figura 5.2 Interconexión PLC	35
Figura 5.3 Puntos de conexión	36

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

Autor: Segovia Segovia Carlos Washington.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue el de repotenciar el módulo de control y monitoreo de la operación de sincronismo de los generadores de baja potencia del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ya que actualmente los estudiantes de la Carrera de Electromecánica no pueden realizar prácticas relacionadas al tema. Para la reconstrucción se usó un sincronoscopio que ayuda a monitorear los parámetros eléctricos de los 2 generadores, y bajo condiciones similares serán conectados los generadores; el resultado final fue un módulo pedagógico que necesita ser conectado eléctricamente antes de ser conectado, aportando a los estudiantes la posibilidad de conocer la estructura física de los equipos industriales y concluyendo en un modo de aprendizaje práctico.

Palabras clave: Puesta en línea, generadores eléctricos, sincronía, sincronoscopio.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF SCIENCES AND APPLIED ENGINEERING

THEME: “MODULE REBUILDING OF THE CONTROL AND MONITORING MODULE FOR THE SYNCHRONOUS OPERATION WITH LOW POWER GENERATORS AS A DIDACTIC MODULE FOR THE ELECTRICAL MACHINES LABORATORY AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”.

Author: Segovia Segovia Carlos Washington

ABSTRACT

The main purpose of this research was to rebuild the synch module with two low power generators; the module is located in the electrical machines laboratory at the Technical University of Cotopaxi, because students aren't working in a functional module. In the process will be used a synchroscope, that always is checking the electric parameters between the two generators, and only in the same conditions will be connected, the final outcome is a pedagogic module that needs the wiring process, allowing to the students the possibility of knowing the industrial equipment, and the process of installation and commissioning.

Keywords: On line, Electric generators, synch, and synchroscope.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentada por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: Segovia Segovia Carlos Washington, cuyo título versa: “REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estime conveniente.

Latacunga, 27 de marzo de 2018

Atentamente,

Lic. Wilmer Patricio Collaguazo Vega Mg.

DOCENTRO DE IDIOMAS

CC: 1722417571

INTRODUCCIÓN

La Industria Ecuatoriana utiliza ampliamente la generación eléctrica, y dependiendo de su ubicación puede estar o no beneficiada del sistema eléctrico interconectado, sin embargo casi siempre dispondrá de un sistema principal o emergente de generación, que en algún momento funcionará y se conectarán uno o varios generadores en línea a la vez.

Existen equipos que facilitan la puesta en línea de varios generadores y son conocidos como sincronoscopios, su función básica es la de comparar las variables eléctricas entre las líneas de los generadores que se van a conectar y permitir la conexión únicamente si los parámetros entre las líneas son similares.

El equipo debe permitir también desconexiones en casos extremos en los que uno de los dos generadores deje de funcionar apropiadamente.

En el módulo objeto del trabajo los parámetros de generación pueden ser alterados en cualquier momento puesto que los generadores están acoplados a motores cuya velocidad es totalmente controlable, por la mencionada razón variedad de situaciones pueden ser simuladas.

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR: Carlos Washington Segovia Segovia

TEMA APROBADO: “Repotenciación Del Módulo De Control Y Monitoreo Para La Operación De Sincronismo De Los Generadores De Baja Potencia Como Módulo Didáctico Para El Laboratorio De Máquinas Eléctricas De La Universidad Técnica De Cotopaxi”.

CARRERA: Ingeniería Electromecánica.

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA: Ing. Luigi Freire

EQUIPO DE TRABAJO:

- Carlos Segovia
- Ing. Luigi Freire.

LUGAR DE EJECUCIÓN: Región Sierra, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Eloy Alfaro

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 4 Semanas

FECHA DE ENTREGA: 9 de marzo del 2018

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Procesos Industriales.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Automatización de Procesos.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: Repotenciación.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

“REPOTENCIACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

2.2. TIPO DE ALCANCE

Integrador: El presente proyecto exigió la aplicación combinada de una variedad de materias estudiadas durante la carrera para reconstruir un módulo de sincronismo, el módulo proporciona al estudiante un ambiente similar al encontrado en la industria ecuatoriana pues basa su funcionamiento en un relé de sincronización (Sincronoscopio), PLC, VFDs y demás equipos usados en el medio laboral.

La información indicada durante el desarrollo del documento permitió comprender el modo de funcionamiento de cada equipo en el sistema ya ensamblado.

Variadores de frecuencia fueron conectados a motores de corriente alterna, que se acoplaron a dos generadores para entregar un voltaje de línea de 120 V, la conexión en paralelo de los 2 generadores dependió de un relé de sincronización que vigila constantemente la frecuencia entre las fases, el voltaje y el desfase entre líneas.

2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:

Área: Ingeniería, Industria y Construcción (07)

Subárea de Conocimiento: Ingeniería y Profesiones Afines (071)

Subárea Específica Conocimiento: Electricidad y Energía (0713)

2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Este trabajo dotó al laboratorio de máquinas eléctricas de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la “Universidad Técnica de Cotopaxi” un módulo que permite la puesta en línea de dos generadores.

Mediante este módulo los estudiantes fueron los beneficiarios directos puesto que podrán maniobrar e influir en los parámetros de generación sin que esto represente un riesgo mayor para ellos ya que el sistema estará continuamente monitoreado por un relé de sincronización que evitará fallos del sistema.

2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

Generación Eléctrica

2.5.2. Campo de acción

Sincronización.

2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación problemática:

La Carrera de Electromecánica de la “Universidad Técnica de Cotopaxi” cuenta con un módulo de sincronismo que está fuera de servicio, el tema del módulo es: “Control y Monitoreo de la Operación de Sincronismo de los Generadores de Baja Potencia Mediante Software WINCC Advanced Como Módulo Didáctico Para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Período 2013 – 2014”, además de estar fuera de servicio el diseño del mismo no es pedagógico.

Tal situación no permite que los estudiantes realicen prácticas relacionadas al tema.

2.6.2. Problema

La Universidad Técnica de Cotopaxi actualmente no cuenta con un módulo de sincronización funcional que permita a los estudiantes monitorear y controlar el proceso de puesta en paralelo de dos generadores, por tal razón se pretende repotenciar el equipo disponible con el sincronoscopio DKG – 117.

2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

El módulo de sincronismo permitirá a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de La Universidad Técnica de Cotopaxi monitorear el proceso de sincronismo de generadores en tiempo real.

2.8. OBJETIVO(S)

2.8.1. Objetivo general

Repotenciar el Módulo de “Control y Monitoreo de la Operación de Sincronismo de los Generadores de Baja Potencia Mediante Software WINCC Advanced Como Módulo Didáctico Para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Período 2013 – 2014”, para la realización de prácticas.

2.8.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre las condiciones y características de los equipos usados en un proceso de sincronización.
- Diseñar el circuito eléctrico de control y potencia con las condiciones necesarias y suficientes de la sincronización.
- Ensamblar equipos y componentes que permita la sincronización de los generadores.
- Diseñar prácticas de laboratorio con procedimientos que desvelen el funcionamiento del módulo de sincronización.

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2.1 Descripción de las actividades y tareas propuestas.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	TAREAS
Investigar las condiciones y características de los equipos usados en un proceso de sincronización.	Conocer la operación de puesta en paralelo de dos generadores	Identificar las condiciones necesarias y suficientes para sincronizar 2 generadores. Conocer sobre los modos de control de frecuencia y voltaje de los generadores.

	<p>Conocer los equipos usados en el módulo.</p>	<p>Desensamblar módulo.</p> <p>Revisar datos de placa de cada equipo.</p> <p>Revisar manual de instalación y control de cada equipo.</p> <p>Realizar un diagrama de conexión de cada equipo.</p> <p>Revisar programación de PLC.</p>
<p>Diseñar el circuito eléctrico de control y potencia con las condiciones necesarias y suficientes de la sincronización.</p>	<p>Diseñar circuito de control que incluya el sincronoscopio.</p> <p>Diseñar circuito de potencia.</p>	<p>Ubicar sincronoscopio de tal manera que monitoree constantemente el BUS y generador.</p> <p>(El circuito de control original no será modificado).</p> <p>Diseño de consola de interconexión para circuito de control.</p> <p>Realizar el diagrama del circuito de potencia.</p> <p>Realizar una simulación.</p> <p>Diseño de consola de interconexión para circuito de control.</p>

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes.

En la Universidad Técnica de Cotopaxi, se desarrolló un trabajo de graduación cuyo tema se denominó: “CONTROL Y MONITOREO DE LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA MEDIANTE SOFTWARE WINCC ADVANCED COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, PERÍODO 2013 – 2014”, el módulo fue construido sin equipos que permitan el monitoreo de la puesta en línea (sincronización) de generadores segura, el diseño no fue pedagógico, y tenía fines únicamente demostrativos.

Trabajos similares se han desarrollado de acuerdo al mencionado trabajo de titulación, los mismos se indican a continuación:

[3] “Diseño e implementación de un tablero para la transferencia automática de energía y sincronización de generadores de emergencia para el Centro Comercial el Condado”. El desarrollo de este proyecto sería mediante un Controlador EGCP-2 e incluiría una breve descripción de los elementos que han sido utilizados. Así como también el proceso de montaje.

[19] “Diseño y construcción de un Tablero Didáctico para el Laboratorio de Maquinarias enfocado a la enseñanza de Prácticas con motores, específicamente para el control del proceso de Sincronización de Generadores y utilizando la Herramienta LabVIEW”.

Los proyectos antes indicados explican procesos comunes en la industria, y actualmente se diseñan elementos y sistemas que simplifican ampliamente el sincronismo entre generadores, desde luego anteponiendo la seguridad del personal.

3.2 Equipos

3.2.1 Máquinas Eléctricas

[3] “La máquina eléctrica es un dispositivo que transforma la energía cinética en otro tipo de energía, o bien, en energía potencial pero con una presentación distinta, pasando esta energía por una etapa de almacenamiento en un campo magnético. Las máquinas eléctricas poseen circuitos eléctricos y magnéticos entrelazado.”

3.2.2 Generador Eléctrico

[8] “Los principales componentes de un generador de corriente alterna son los que se indican a continuación:

- a. Estator.
- b. Rotor.
- c. Sistema de enfriamiento.
- d. Excitatriz.
- e. Conmutador.”

[2] “En un generador síncrono se produce un campo magnético en el rotor ya sea mediante el diseño de éste como un imán permanente o mediante la aplicación de una corriente de CD a su devanado para crear un electroimán. En seguida, el rotor del generador gira mediante un motor primario, y produce un campo magnético giratorio dentro de la máquina. Este campo magnético giratorio induce un conjunto de voltajes trifásicos dentro de los devanados del estator del generador.

Dos términos que por lo general se utilizan para describir los devanados de una máquina son devanados de campo y devanados del inducido. En general, el primer término se aplica a los devanados que producen el campo magnético principal en la máquina, mientras que el segundo se aplica a los devanados donde se induce el voltaje principal. En las máquinas síncronas, los devanados de campo están en el rotor, por lo que los términos devanados del rotor y devanados de campo se utilizan indistintamente. De manera similar, los términos devanados del estator y devanados del inducido se utilizan de manera indistinta.

El rotor de un generador síncrono es en esencia un electroimán grande. Los polos magnéticos del rotor pueden ser tanto salientes como no salientes. El término saliente significa proyectado hacia “afuera” o “prominente” y un polo saliente es un polo magnético proyectado hacia afuera del eje del rotor. Por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético construido al mismo nivel de la superficie del rotor.

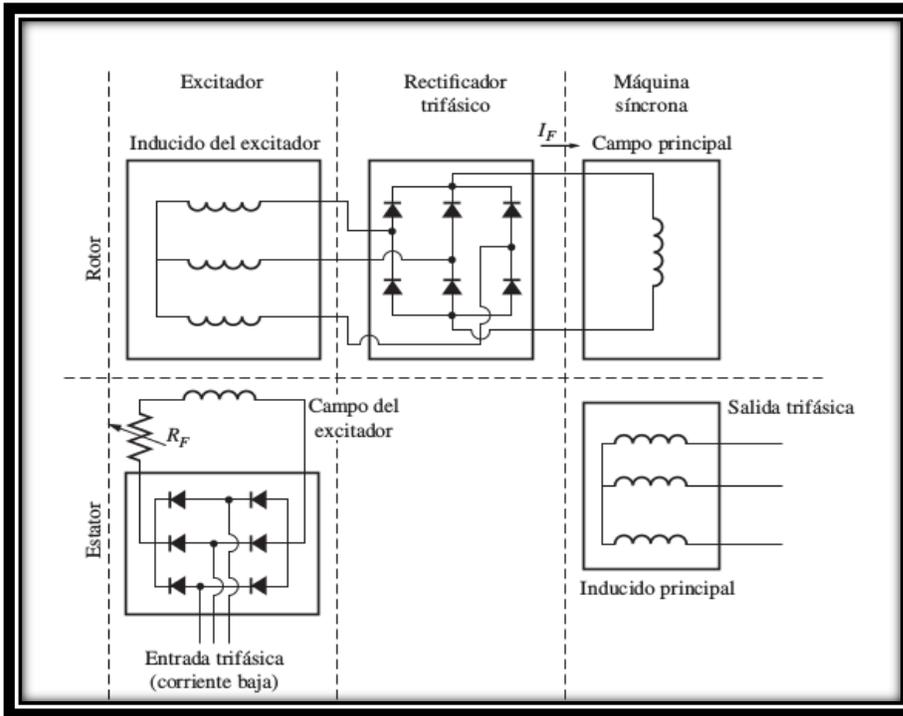
Debido a que el rotor está sujeto a campos magnéticos variables, se construye con láminas delgadas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas.

Se debe suministrar una corriente de CD al circuito de campo del rotor. Puesto que éste gira, se requiere de un arreglo especial para que la potencia de CD llegue a los devanados de campo. Existen dos formas comunes de suministrar esta potencia de CD:

- a. Suministrar al rotor la potencia de cd desde una fuente externa de cd por medio de anillos rasantes y escobillas.
- b. Suministrar la potencia de cd desde una fuente de potencia de cd especial montada directamente en el eje del generador síncrono.”

“En los generadores y motores más grandes se utilizan excitadores o excitatrices sin escobillas para suministrar a la máquina corriente de campo de cd. Un excitador sin escobilla es un generador de ca pequeño con un circuito de campo montado en el estator y un circuito de armadura acoplado en el eje del rotor. La salida trifásica del generador excitador se rectifica a corriente directa por medio de un circuito rectificador trifásico (que también está montado en el eje del generador) y luego se alimenta al circuito de campo de cd principal. Por medio del control de la pequeña corriente de campo de cd del generador excitador (localizado en el estator) es posible ajustar la corriente de campo en la máquina principal sin anillos rasantes ni escobillas. Este arreglo se muestra esquemáticamente en la figura”.

Figura 3.1 Circuito de excitador sin escobillas



Fuente: [8]

“El rotor de un generador síncrono consta de un electroimán al que se le suministra corriente directa. El campo magnético del rotor apunta en la dirección en que gira el rotor. Ahora, la tasa de rotación de los campos magnéticos en la máquina está relacionada con la frecuencia eléctrica del estator por medio de la ecuación:

$$f = \frac{nP}{120} \quad (1)$$

Dónde:

f = frecuencia eléctrica en Hz

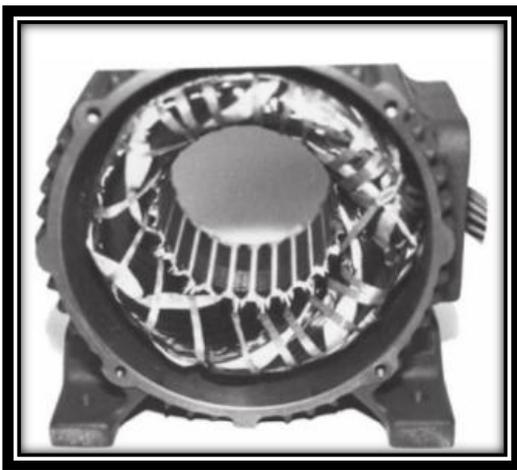
n = velocidad mecánica del campo magnético en r/min (igual a la velocidad del rotor de una máquina síncrona)

P = número de polos”

3.2.2 Motores de Inducción

[2] “Un motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una máquina síncrona, pero con un rotor de construcción diferente. En la figura se muestra un típico estator con dos polos. Se parece (y es igual) al estator de una máquina síncrona. Hay dos tipos diferentes de rotores de motores de inducción que pueden utilizarse dentro del estator. Uno se llama rotor de jaula de ardilla o rotor de jaula y el otro se conoce como rotor devanado. ”

Figura 3.2 Estator de un motor de inducción



Fuente: [2]

“Un motor de inducción funciona por medio de la inducción de voltajes y corrientes en el rotor de la máquina y por esta razón a veces se le llama transformador rotatorio. Al igual que un transformador, el primario (estator) induce un voltaje en el secundario (rotor), pero a diferencia de un transformador, la frecuencia secundaria no es necesariamente igual a la frecuencia primaria. ”

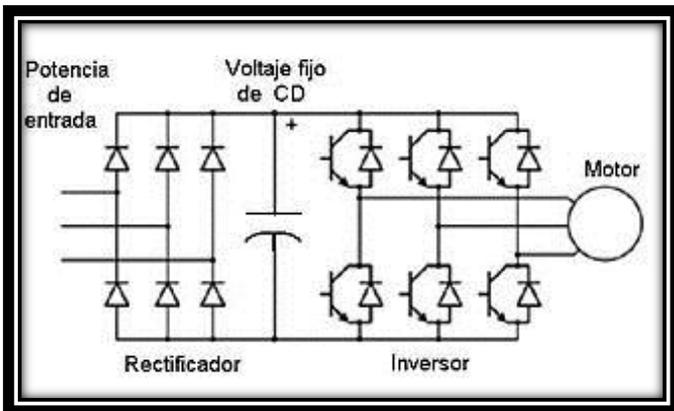
3.2.3 Variador de Frecuencia

[15] ”Del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA o micro drivers.

Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).”

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

Figura 3.3 Diagrama de variador de frecuencia con PWM



Fuente: [15]

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores, fueron introducidos en los Variadores de Frecuencia, siendo aplicados en inversores de todas las tensiones disponibles. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren una variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67$ V/Hz en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por Modulación de la Anchura de Pulso (PWM)”.

3.3 Conexión en paralelo de generadores

Para que dos generadores puedan conectarse en paralelo cuatro condiciones fundamentales deben cumplirse:

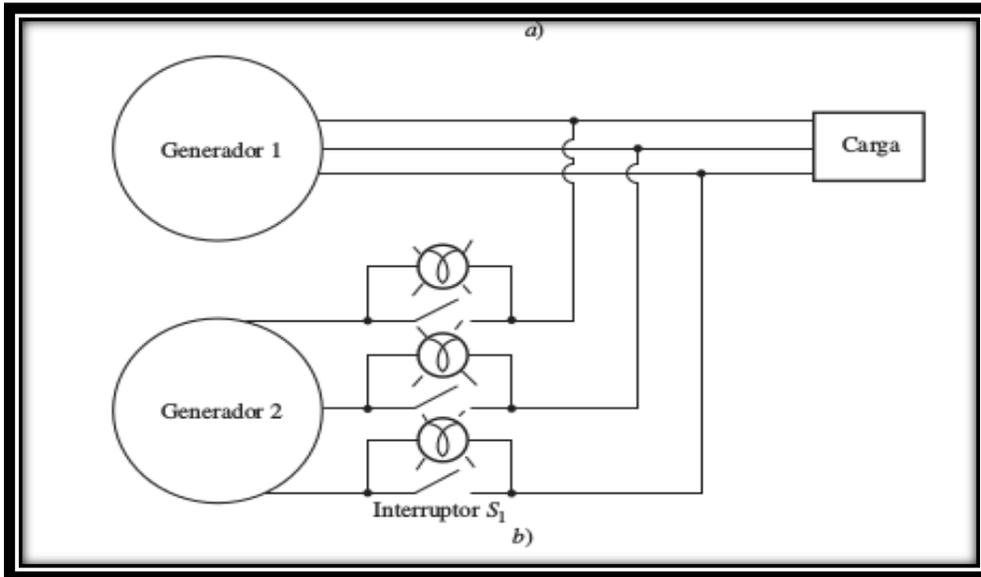
- a. Igualdad en voltaje entre las líneas de los generadores.
- b. Igualdad en frecuencia.
- c. Igualdad en secuencia de fases.
- d. Igualdad en la relación de las fases.

[2] “Estas condiciones de puesta en paralelo requieren ciertas explicaciones. La condición 1 es obvia: para que dos grupos de voltajes sean idénticos, deben tener la misma magnitud de voltaje rms.

Los voltajes en las fases a y a· serán completamente idénticos en todo momento si ambas magnitudes y sus ángulos son iguales, lo que explica la condición 3.

La condición 2 asegura que la secuencia en la que el voltaje de fase llegue a su pico en los dos generadores sea la misma. Si la secuencia de fase es diferente (como se observa en la figura), entonces aun cuando un par de voltajes (los de fase a) estén en fase, los otros dos pares de voltajes estarán desfasados por 120° . Si se conectan los generadores de esta manera, no habrá problema con la fase a, pero fluirán enormes corrientes en las fases b y c, lo que dañará ambas máquinas. Para corregir el problema de secuencia de fase, simplemente se intercambian las conexiones en dos de las tres fases en una de las máquinas.

Figura 3.4 Sincronización por el método de las lámparas



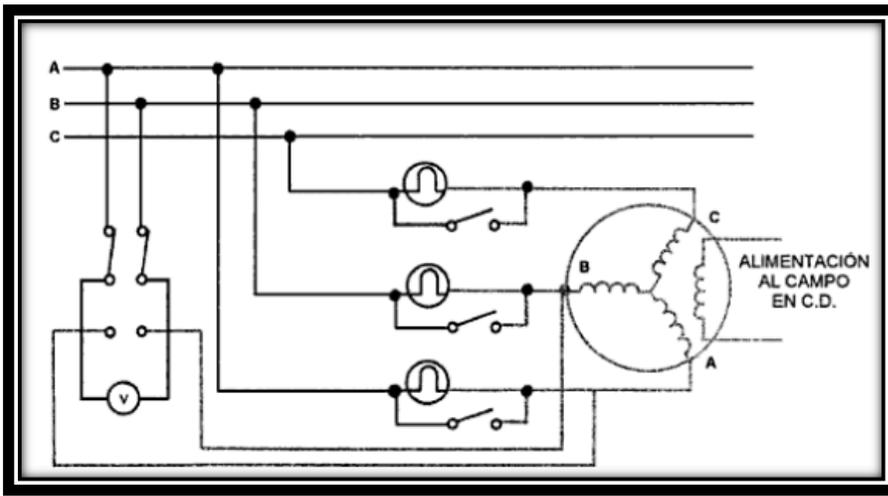
Fuente: [2]

3.3.1 El método de las tres lámparas

[8] De acuerdo a la figura “Un lado de cada lámpara está conectado a cada una de las tres líneas del bus, el otro lado al generador entrante en paralelo. En paralelo con las tres lámparas, se tiene un switch de tres polos de tiro sencillo, el switch conecta al generador entrante en el bus.

La frecuencia del voltaje generado depende de la velocidad del generador, de manera que si se depende solo de la velocidad del generador, es bastante difícil conectar en paralelo al generador, ya que se debe ajustar perfectamente la velocidad para que se aproxime a la frecuencia correcta; esto ocurre cuando las lámparas prenden y se apagan lentamente en forma alternativa, la sincronización se debe hacer cuando las lámparas están oscuras, es decir, cuando los voltajes son iguales, tienen la misma frecuencia y están en fase.”

Figura 3.5 Circuito usado para conectar en paralelo un generador



Fuente: [8]

3.3.2 El Sincronoscopio

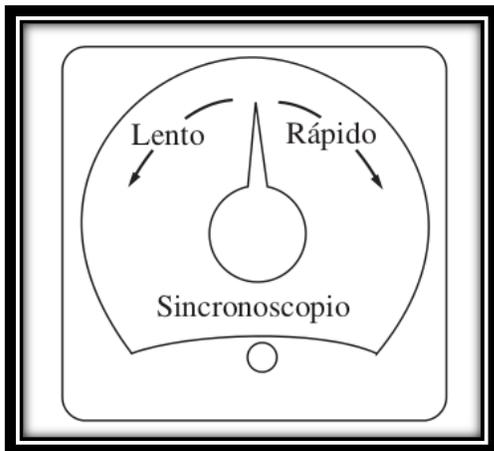
[2] “Es un medidor que mide la diferencia en los ángulos de fase entre las fases a de los dos sistemas. En la figura se puede ver el esquema de la parte frontal de un sincronoscopio. El cuadrante muestra la diferencia de fase entre las dos fases a: el 0 (que significa en fase) se ubica en la parte superior y el 180° en la parte inferior. Debido a que las frecuencias de los dos sistemas son un poco diferentes, el ángulo de fase en el medidor cambiará lentamente. Si el generador o sistema en aproximación es más rápido que el sistema en operación (situación deseada), el ángulo de fase avanza y la aguja del sincronoscopio gira en el sentido de las manecillas del reloj.

Si la máquina en aproximación es más lenta, la aguja gira en sentido contrario a las manecillas del reloj. Cuando la aguja del sincronoscopio está en una posición vertical, los voltajes están en fase y se puede cerrar el interruptor para conectar el sistema.

Sin embargo, nótese que un sincronoscopio verifica las relaciones en sólo una fase. No brinda información sobre la secuencia de fases.

En los generadores más grandes que pertenecen a sistemas de potencia, todo el proceso de conectar un generador nuevo en paralelo está automatizado y una computadora lleva a cabo esta tarea. Sin embargo, en generadores más pequeños el operador ejecuta a mano los pasos antes descritos de conexión en paralelo.

Figura 3.6 Sincronoscopio



Fuente: [2]

3.4 Elementos del módulo de sincronismo

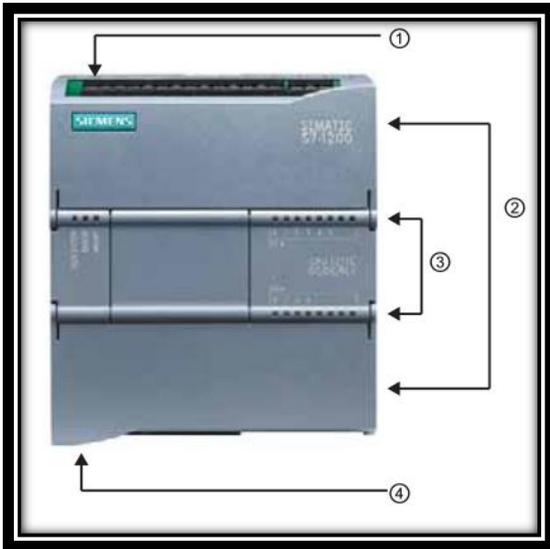
3.4.1 PLC S7 1200

[16] “El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7- 1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- a. Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.
- b. Es posible utilizar la "protección de know-how" para ocultar el código de un bloque específico.

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232.

Figura 3.7 PLC Simatic S7-1200



Fuente: [16]

1. Conector de corriente
2. Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas) , Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
3. LEDs de estado para las E/S integradas
4. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

3.4.1.1 STEP 7 Basic

[16] “El software STEP 7 Basic ofrece un entorno amigable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como PLCs y dispositivos HMI. STEP 7 Basic ofrece dos lenguajes de programación (KOP y FUP) que permiten desarrollar el programa de control de la aplicación de forma fácil y eficiente. Asimismo, incluye las herramientas para crear y configurar los dispositivos HMI en el proyecto.

Para poder encontrar la información necesaria, STEP 7 Basic ofrece un completo sistema de ayuda en pantalla. ”

3.4.2 Multimetro SENTRON PAC 3200

[12] “El multimetro SENTRON PAC3200 puede aplicarse en todos aquellos puntos donde se consume energía eléctrica. Capta diferentes valores de medición y los representa en un display LCD gráfico.

La conexión del instrumento SENTRON PAC3200 con los sistemas de automatización y gestión de energía de nivel superior es extremadamente sencilla. Estos sistemas podrán procesar los valores de medición que le suministra el instrumento según esté programado.

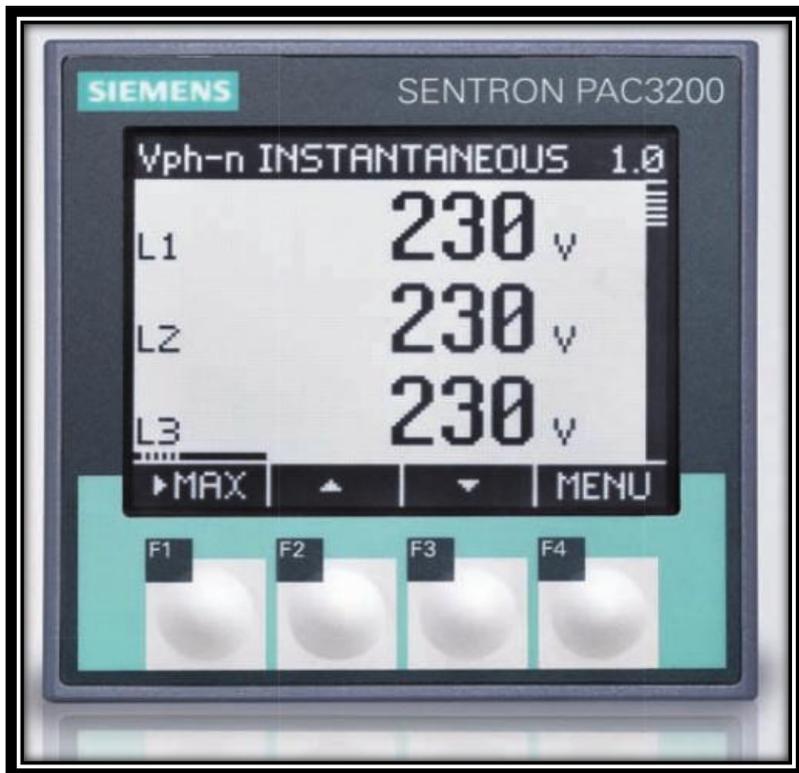
El multimetro SENTRON PAC3200 permite medir energía activa, reactiva y aparente. Los valores de energía podrán determinarse tanto para la tarifa alta como para la baja. El instrumento SENTRON PAC3200 mide los valores de la potencia y energía en los cuatro cuadrantes, es decir, capta por separado cuando el sistema toma energía y cuando la entrega. Además, este multímetro posibilita el registro de los valores medios de la potencia activa y reactiva en un periodo de medición. Luego, estos valores podrán procesarse en un sistema de gestión de la energía eléctrica para obtener la evolución de la(s) carga(s). Para esto, en condiciones típicas, se utilizan los valores de periodos de 15 minutos.”

El formato del multimetro SENTRON PAC 3200 es de 96 x 96 mm para montaje en el frente de tableros. La profundidad de montaje de sólo 51 mm permite ahorrar un espacio considerable. La exactitud en esta clase de instrumentos: para potencias es del 0,5 %, para tensiones, 0,3 % y en el caso de las intensidades de la corriente, 0,2 %.

El SENTRON PAC3200 capta más de 50 magnitudes eléctricas, tales como tensiones, intensidades de la(s) corriente(s), potencias, valores de la energía eléctrica, frecuencia, factor de potencia, simetría y THD. Para las magnitudes de medición no sólo se capta el valor de medición actual sino también el mínimo y el máximo (función agujas de arrastre). El multimetro SENTRON PAC3200 puede conectarse en redes monofásicas o polifásicas con y sin conductor del centro estrella. Una particularidad importante es que permite medir en forma directa tensiones de fase de hasta 830 V. Por lo tanto, el instrumento SENTRON PAC3200 se puede utilizar sin problemas en redes de 690 V. Además, podrán realizarse mediciones por medio de transformadores de tensión requiriendo sólo el ajuste correspondiente a la relación de

transformación. Las entradas para corrientes fueron diseñadas para mediciones con transformadores de intensidad de /1 A ó /5A.”

Figura 3.8 Sentron PAC3200

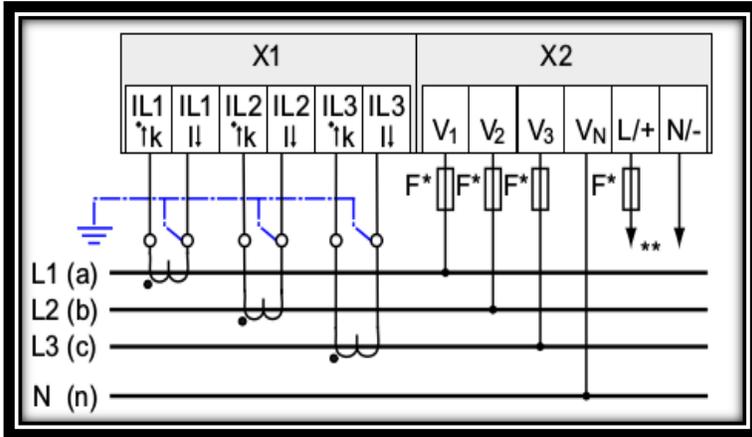


Fuente: [12]

“El dispositivo puede utilizarse hasta los valores máximos permitidos de tensión con o sin transformadores de tensión. Las corrientes sólo pueden medirse por intermedio de un transformador de corriente. Todos los bornes de entrada o salida no necesarios para la medición permanecen libres. Se debe indicar en el dispositivo el tipo de cableado a través de los parámetros de ajuste. Los tipos de conexión indicados a continuación se refieren a la parametrización del dispositivo.

- a. Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente Tipo de conexión 3P4W

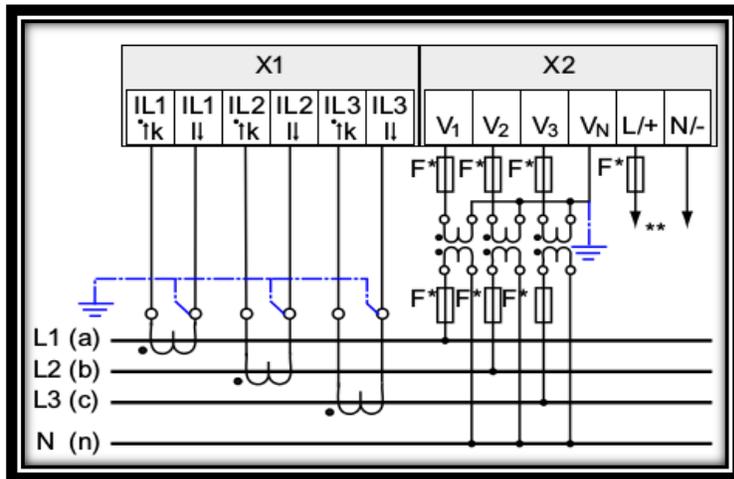
Figura 3.9 Conexión 3P4W



Fuente: [12]

- b. Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P4W.

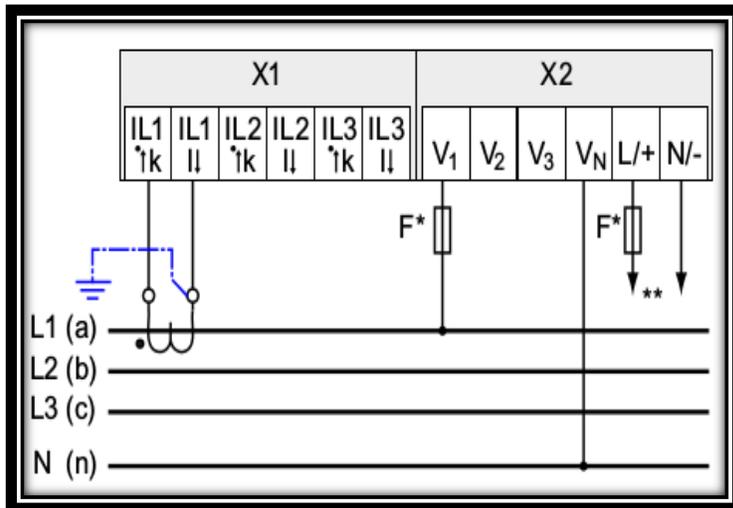
Figura 3.10 Conexión 3P4W



Fuente: [12]

- c. Medición trifásica, cuatro conductores, carga balanceada, sin transformador de tensión, con un transformador de corriente. Tipo de conexión 3P4WB.

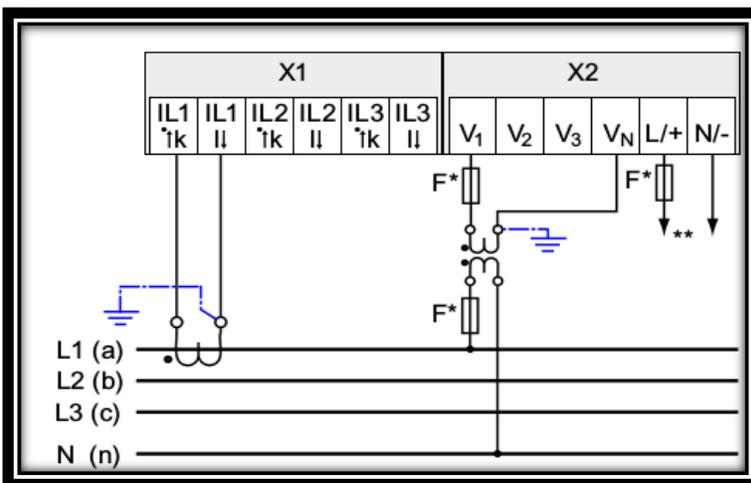
Figura 3.11 Conexión 3P4WB



Fuente: [12]

d. Medición trifásica, cuatro conductores, carga balanceada, con transformador de tensión, con un transformador de corriente. Tipo de conexión 3P4WB.

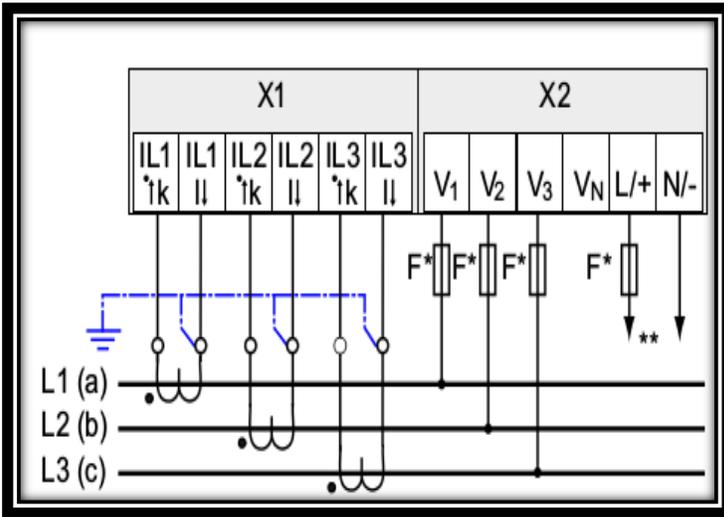
Figura 3.12 Conexión 3P4WB



Fuente: [12]

e. Medición trifásica, tres conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P3W.

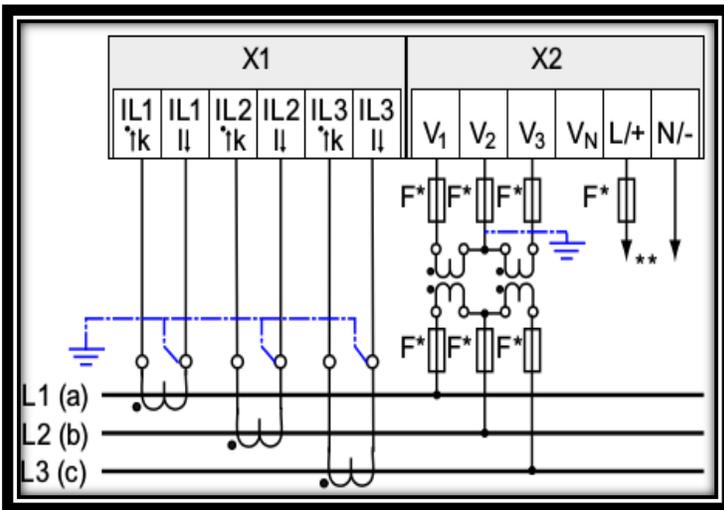
Figura 3.13 Conexión 3P3W



Fuente: [12]

- f. Medición trifásica, tres conductores, carga desbalanceada, con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P3W.

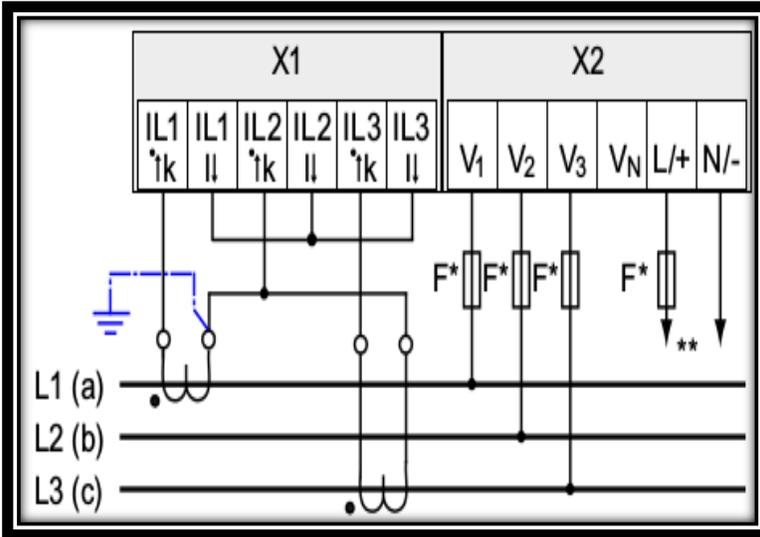
Figura 3.14 Conexión 3P3W con transformador de tensión.



Fuente: [12]

- g. Medición trifásica, tres conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con dos transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P3W.”

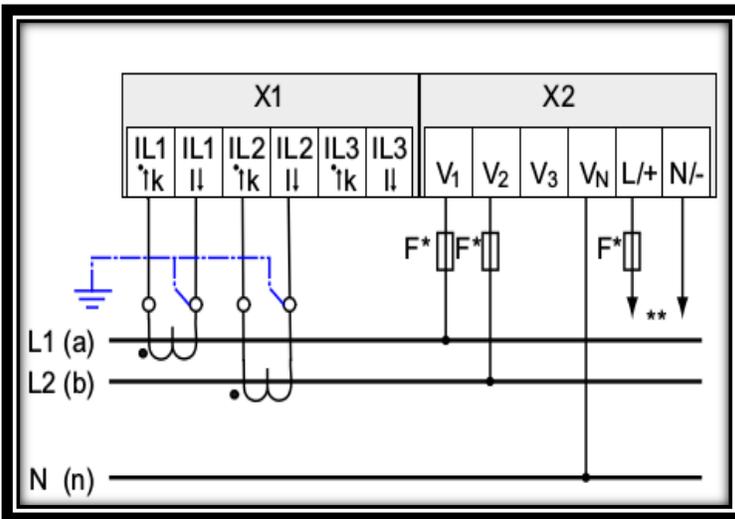
Figura 3.15 Conexión 3P3W sin transformador de tensión.



Fuente: [12]

h. “Medición bifásica, tres conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con dos transformadores de corriente Tipo de conexión 3P4W”.

Figura 3.16 Conexión 3P4W sin transformador de tensión.



Fuente: [12]

3.4.3 Micromaster 440

[10] “Los diferentes modelos, que se suministran, cubren un margen de potencia desde 0,12 kW hasta 200 kW (con par constante (CT)) o hasta 250 kW (con par variable (VT)). Los convertidores están controlados por un microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última

generación. Esto los hace fiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor. El MICROMASTER 440, con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, es ideal para una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores. El MICROMASTER 440 también puede utilizarse para aplicaciones más avanzadas de control de motores haciendo uso de su funcionalidad al completo. El MICROMASTER 440 puede utilizarse tanto en aplicaciones donde se encuentre aislado como integrado en sistemas de automatización.

3.4.3.1 Características principales

- Fácil de instalar.
- Puesta en marcha sencilla.
- Diseño robusto en cuanto a CEM.
- Puede funcionar en alimentación de línea IT.
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.
- Conexión sencilla de cables.
- 3 relés de salida.
- 2 salidas analógicas (0 – 20 mA).
- 2 entradas analógicas.
- Opciones externas para comunicación por PC, panel BOP (Basic Operator Panel).

3.4.3.2 Características de protección

- Protección de sobretensión/mínima tensión.
- Protección de sobre temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.

3.4.4 Switch Scalance

Garantiza la simple integración en procesos de automatización, diseñado para soportar los ambientes más duros.

[11] Posee las siguientes utilidades “Conexión en red de máquinas a pesar de la constante presión ejercida por los costes, montaje con ahorro de espacio gracias al diseño pequeño y compacto, rápida puesta en marcha, sin necesidad de configuración, diagnóstico sencillo y directo por medio de LEDs”

“Los switches Industrial Ethernet no gestionados (unmanaged) de la serie SCALANCE XB-000/XB-000G permiten implementar soluciones económicas para crear topologías pequeñas en línea o estrella con funcionalidad de switch en máquinas o unidades de proceso. La caja está concebida para montaje con ahorro de espacio en armarios eléctricos sobre perfil DIN. También es posible el montaje en pared.”

Nos permite la “Construcción de redes Industrial Ethernet eléctricas con topología en línea o estrella , la aplicación de cables de conexión no cruzados gracias a función Autocrossing de los puertos integrada , configuración y ampliación sencilla de redes; sin limitación de la extensión de la red en caso conectar los switches en cascada.”

3.4.5 Fuente de Alimentación SITOP

[17] “Las fuentes de alimentación SITOP son las fuentes tecnológicas para soluciones exigentes, que ofrecen la máxima funcionalidad en máquinas e instalaciones complejas. La entrada de rango amplio permite usarlas en cualquier red del mundo y garantiza la máxima seguridad incluso cuando hay grandes fluctuaciones de tensión. Estas potentes fuentes ofrecen un excelente comportamiento en caso de sobrecarga: La función Power Boost permite entregar brevemente una corriente de tres veces la intensidad nominal para disparar dispositivos de protección; la potencia adicional de 50 % permite conectar sin problemas cargas con una corriente de arranque elevada. En caso de sobrecarga se puede elegir entre intensidad constante o desconexión que exige rearme expreso. Su muy alto rendimiento permite mantener el consumo de energía y la generación de calor en el interior del armario a un nivel muy bajo. Además, gracias al diseño compacto de la caja metálica se ahorra espacio en el perfil sin necesidad de guardar distancias por los laterales. Para incrementar aún más la disponibilidad, las fuentes SITOP modular se pueden combinar con módulos de respaldo, UPS DC, de redundancia y de corte selectivo”.

Figura 3.17 Fuentes de alimentación SITOP.



Fuente: [17]

3.4.6 Sinamics G110

[9] “Los convertidores SINAMICS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad en motores trifásicos. Los diferentes modelos que se suministran cubren un margen de potencia de 120 W a 3,0 kW en redes monofásicas. Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de seguridad ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor. Con sus ajustes por defecto realizados en fabrica, SINAMICS G110 es ideal para una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores V/f. Haciendo uso del gran número de parámetros de ajuste de que dispone, también puede utilizarse SINAMICS G110 en aplicaciones más avanzadas para control de accionamientos. Los valores de parámetros para el SINAMICS G110 se pueden modificar con el panel BOP (Basic Operator Panel) o bien mediante la interface USS.

El SINAMICS G110 puede utilizarse tanto en aplicaciones donde se encuentre aislado como integrado en sistemas de automatización.”

Figura 3.18 Sinamics G110.



Fuente: [9]

“Características principales:

- Puesta en marcha sencilla.
- Puesta en servicio rápida.
- 1 entrada digital con separación galvánica.
- 3 entradas digitales sin separación galvánica.
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor
- Kit de conexión para el enlace PC-convertidor (RS232)

Funciones

- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido.
- Función de potenciómetro motorizado.
- Tiempos de aceleración y deceleración ajustables con redondeo parametrizable.
- Característica V/f multipunto.

- 150% de sobrecarga en 60 segundos
- Control con 2-hilos/3-hilos control.

Características de protección

- Protección sobretensión.
- Protección de sobre temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.
- Protección de cortocircuito.
- Protección térmica del motor por I^2t .
- Protección contra la pérdida de estabilidad (vuelco) del motor”

3.4.7 Panel Simatic HMI

[18] “No solo destaca por su innovador diseño y su elevado rendimiento. Una de sus características únicas es la configuración con SIMATIC WinCC desde el TIA Portal, que brinda a los usuarios una eficiencia energética desconocida hasta el momento. Funcionalidad homogénea en todos los tamaños de pantalla. La funcionalidad del hardware es idéntica en una misma familia de aparatos. El usuario puede escoger el tamaño de pantalla idóneo para su aplicación y optar por la modalidad de manejo mediante pantalla táctil y/o teclado. Como el software es escalable, puede comenzar con una solución pequeña e ir ampliando paulatinamente sin problemas”.

“En caso de un corte de corriente, los Comfort Panels almacenan de manera intermedia suficiente energía para poder finalizar correctamente todos los ficheros activos y hacer una copia de seguridad de los datos archivados en formato RDB. De este modo, se garantiza el mantenimiento de todos los datos en el fichero de modo económico y sin necesidad de una batería de mantenimiento intensivo.

Los robustos Comfort Panels de SIMATIC HMI poseen homologaciones para el uso en diferentes países y en sectores con exigencias aumentadas. Los equipos a partir de 7” están equipados con frentes de aluminio inyectado de larga vida útil. Todos los Comfort Panels están homologados para el uso en atmósferas potencialmente explosivas según UL CL.I, Div.2. Los equipos con menos de 12” están certificados según ATEX para las zonas 2 y 22 y ofrecen distintas homologaciones navales, p. ej., GL o ABS”.

Figura 3.19 Panel Simatic HMI.



Fuente: [18]

Diseño del Circuito Eléctrico.

El módulo fue armado en una estructura de acero, y pintado con pintura electroestática, las dimensiones del módulo son: 1,65 m de altura y 1,06 m de ancho.

La generación eléctrica es realizada por 2 generadores de las siguientes características:

RPM: 3600.

P: 2400 W.

V: 220V.

Torque: 115 a 135 Kg-cm.

$C = 20\mu f$

$R = 2,7 \Omega$ (Bobina de campo del rotor)

Los generadores fueron acoplados cada uno a un motor para ser accionados. Las características de los motores son: asincrónicos, trifásicos, tipo jaula de ardilla de 2237W, y funcionan con una velocidad de 3460 RPM.

Los motores son operados por Variadores de Frecuencia Micromaster 440 de 3HP, cuyo objetivo es el de poder controlar la velocidad de los Generadores y de esta manera influir en la frecuencia del voltaje generado.

El PLC activa o desactiva los VFD, al presionar el botón “Generador 1” ó “Generador 2” el respectivo VFD se accionará puesto que el PLC acciona un relé que conecta una entrada digital de cada variador.

Los parámetros de los variadores pueden ser modificados a través del BOP, de acuerdo al requerimiento del operador (estudiante).

El mismo HMI indica la posibilidad de conectar una carga mediante el botón indicado como “carga” a través de un relé de control, la carga puede elegirse o combinarse entre un motor asincrónico jaula de ardilla, resistencias eléctricas y capacitores.

El circuito de control

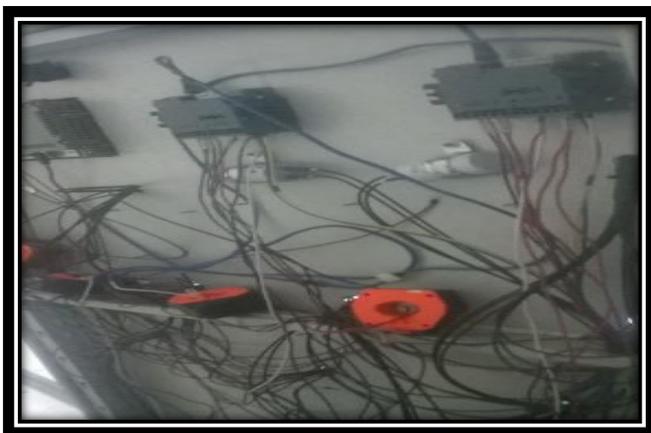
EL control del módulo se realizó a través de las opciones fijadas en el HMI. El HMI está conectado al PLC Siemens S7-1200, y se monitorea la generación eléctrica con multimedidores SENTRON PAC 3200, todos estos equipos intercomunicados mediante un Switch SCALANCE.

El PLC activa y desactiva los Variadores de frecuencia usando relés que conectan las entradas digitales de los VFD.

4. METODOLOGÍA

De acuerdo a los equipos usados por el módulo se ubicaron los catálogos y verificaron las conexiones como se indica en la figura:

Figura 4.1 Módulo antes de ser reconstruido



Fuente: [14]

El módulo originalmente poseía dos variadores de frecuencia que activaban dos motores acoplados a generadores, las características se indican a continuación:

Motores: Jaula de ardilla de 2237 W, 3460 rpm, 60 Hz, 220 V.

Generadores: 3600 rpm, 2400 W, 60 Hz, 220 V, resistencia de la bobina de campo 2.7 Ω .

Variadores de Frecuencia: Micromaster 440 de 3 HP, de 6 entradas digitales y 2 analógicas.

Figura 4.2 Generadores, Motores y VFDs



Fuente: [14]

La velocidad de los motores y por ende la frecuencia del voltaje generado puede ser controlada en todo momento.

Dos medidores Sentron PAC 3200 monitorean constantemente el voltaje generado.

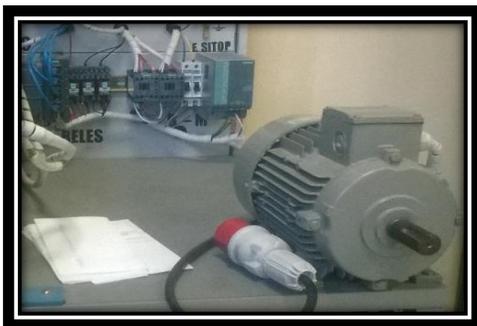
Figura 4.3 Multimeditores Sentron Pac 3200



Fuente: [14]

El voltaje generado puede aplicarse a un motor de 1491 W, 220 V y 1645 rpm. Un variador de frecuencia Sinamic G110 controla este motor, el variador de frecuencia puede manejar cargas de las siguientes características: 3 HP, rango de tensión: 200 – 240V.

Figura 4.4 Motor Carga

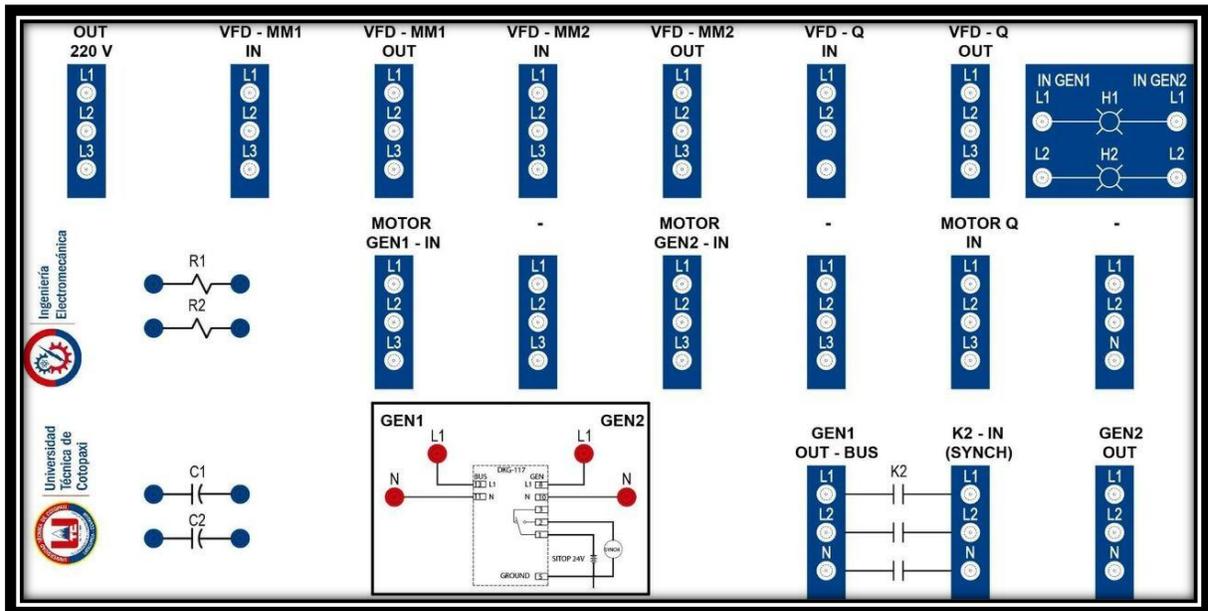


Fuente: [14]

El Panel HMI conjuntamente con el PLC nos ayuda a controlar la activación y desactivación de los variadores de frecuencia a través de las entradas digitales de los variadores (5).

El diseño del circuito fue realizado para que cada elemento pueda ser habilitado individualmente no solo a través del PLC sino directamente, como se indica en la figura:

Figura 4.5 Panel de Conexiones



Fuente: [14]

Adicionalmente se han colocado dos capacitores de 20 μf cada uno y dos resistencias de 200Ω , con el objetivo de poder corregir el factor de potencia y variar la carga respectivamente.

Se puede observar también en la imagen anterior cuatro entradas que sirven como puntos de monitoreo del sincronoscopio DKG – 117.

El contactor K2 es el que realiza la puesta en línea del segundo generador, y se han proporcionado dos lámparas también para guiar al estudiante mediante el “método de las lámparas”.

La siguiente figura indica la disposición final de los equipos.

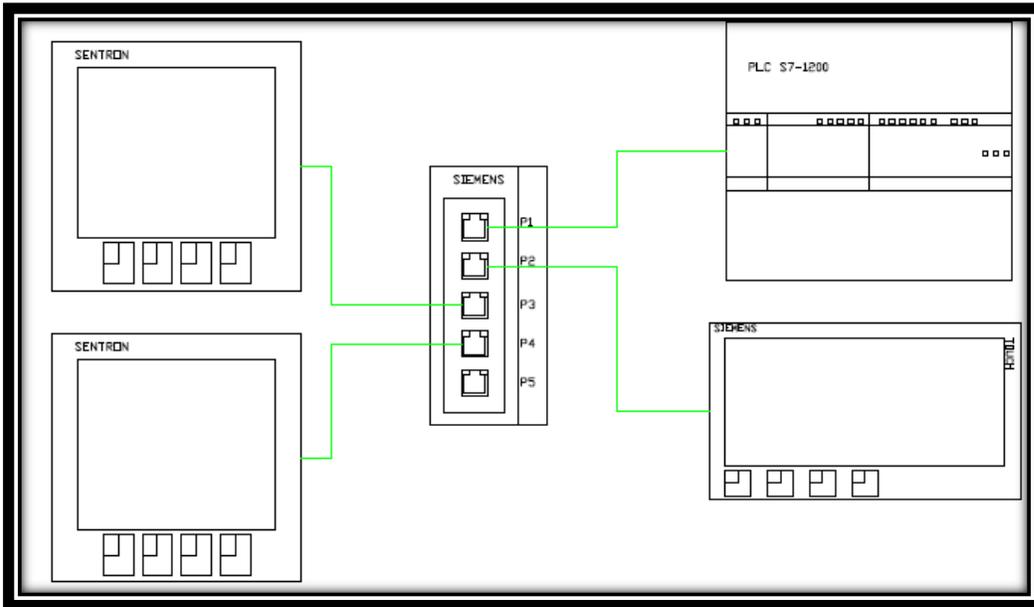
Figura 4.6 Módulo de Sincronización



Fuente: [14]

La comunicación y programación del PLC para lograr el funcionamiento es la original y se indica en la siguiente figura:

Figura 4.7 Comunicación de PLC

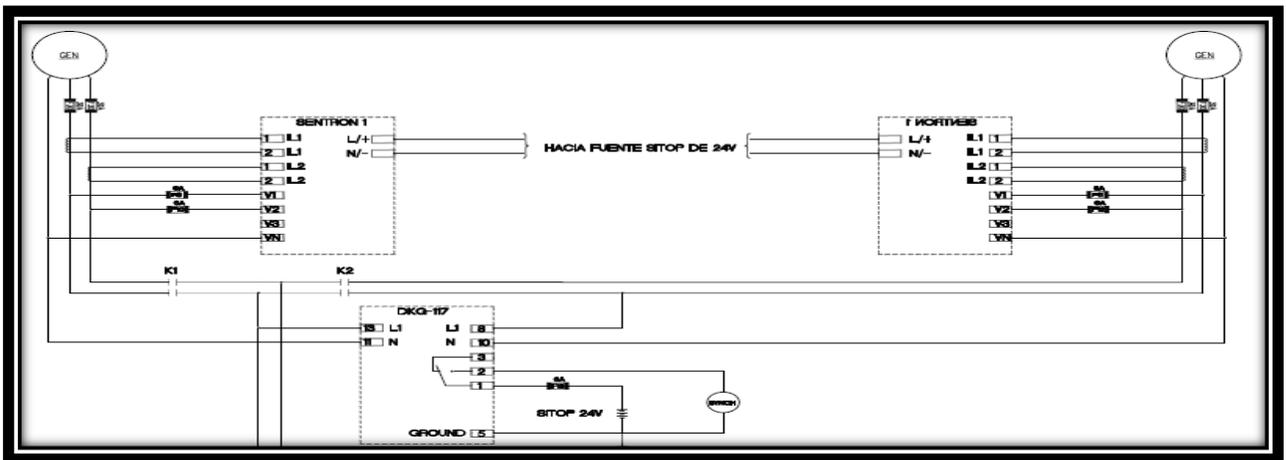


Fuente: [14]

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con la información particular de cada elemento del módulo, se realiza el diseño de los circuitos, la parte medular es la conexión de los generadores y sincronoscopio como se indica en la siguiente figura:

Figura 5.1 Interconexión de Multimeditores y DKG -117

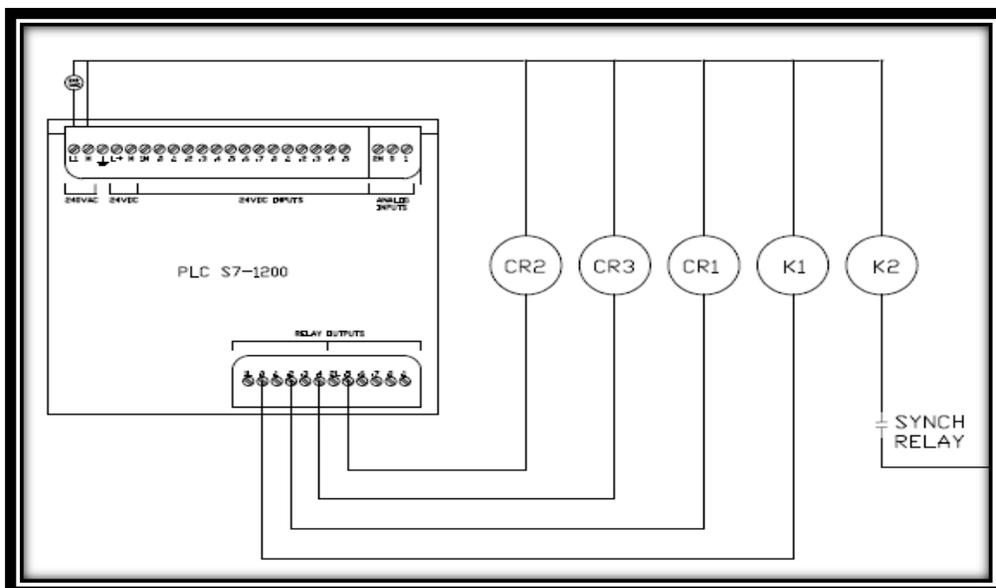


Fuente: [14]

Bajo el anterior esquema el voltaje generado es constantemente monitoreado por los multimedidores Sentron PAC 3200, se obtienen valores de corriente y voltaje de cada línea. El DKG monitorea los valores de voltaje, frecuencia y desfase entre líneas antes y después de los contactos de “K2”.

Cada salida del PLC activa un relé de control o un contactor:

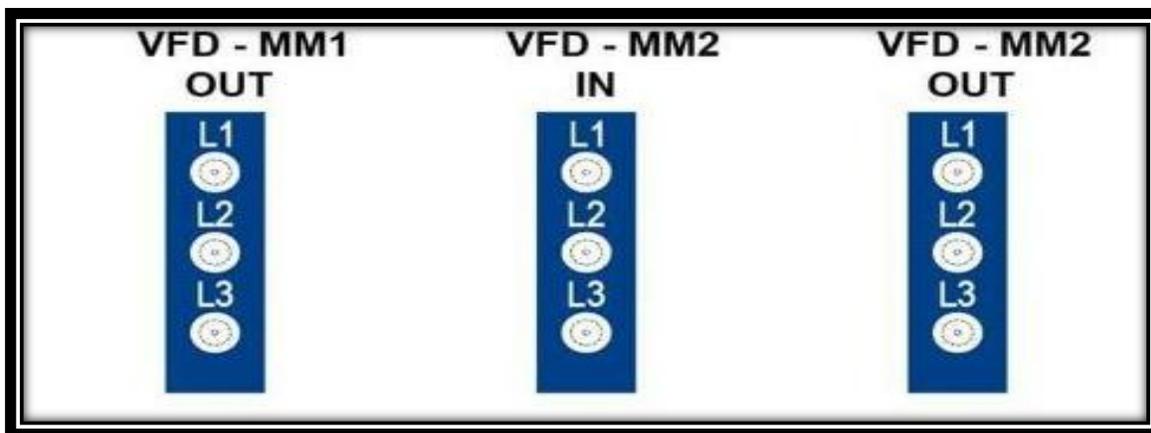
Figura 5.2 Interconexión PLC



Fuente: [14]

El módulo se reconstruyó, y ahora se puede realizar la conexión individual de cada equipo instalado como se indica en la figura:

Figura 5.3 Puntos de conexión



Fuente: [14]

Puede usarse también para practicar la conexión de motores, variadores de frecuencia y generadores; las conexiones de las líneas que van a ser sincronizadas también deben ser realizada.

Al realizar la primera prueba verificamos que sincronismo está a cargo del equipo DKG – 117, este equipo necesita dos señales de referencia desde el bus de corriente alterna y dos señales del generador que queremos conectar en línea (ver anexo D).

Cuando las señales del bus y generador alcanzan valores aproximados en frecuencia, voltaje y desfase entre líneas el DKG – 117 habilita el relé “Synch” y el contactor que permite el sincronismo “K2”, queda habilitado y activado (Ver anexo E).

Cabe indicar las opciones del panel HMI:

“Generador 1” activa el variador de frecuencia que controla el generador 1, mediante “CR1”.

“Generador 2” Activa el variador de frecuencia que controla el generador 2, mediante “CR2”.

“Carga 1” Permite que el contactor “K1” sea activado y el voltaje generado por el generador 1 se hace accesible.

“Carga 2” Activa el variador de frecuencia Sinamic G110, mediante CR3.

“Sincronismo” permite el sincronismo de los 2 generadores a través de “K2”.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISI DE IMPACTOS

6. 1 Presupuesto

6.1. 1 Costos Directos

Tabla 6.1 Costos Directos

Rubro	Valor
Sincronoscopio	250
Cable	60
Conectores	50
Capacitores	20

Resistencias	12
Relé	5
Herramientas	30
Inversion Total	427

Fuente: [14]

6. 1.2 Costos Indirectos

Tabla 6.1 Costos Indirectos

Rubro	Valor
Transporte al interior de la provincia	50
Asesoría externa	70
Alquiler de equipos de medición	50
Imprevistos	50
Servicios solicitados a terceros	100
Inversion Total	270

Fuente: [14]

6.2 Análisis de Impactos

El módulo sirve para realizar prácticas de monitoreo y control de sincronismo entre dos generadores de baja potencia, sin riesgo alguno para el operador, facilitando la comprensión de la operación a los estudiante de la Universidad.

La operación es realizada por el sincronoscopio DKG – 117, equipo que monitorea los parámetros eléctricos entre dos fuentes de energía, volviendo obsoleto el método de las lámparas, eliminando la probabilidad de fallos durante la operación.

Elimina la necesidad de usar equipos de medida portables en operaciones de sincronismo, el uso de esta tecnología no produce emanaciones o residuos, e impactos mínimos sobre la vida animal y vegetal.

Actualmente existen equipos de sincronismo digitales que permiten una interface moderna y fácil de manejar.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Con ayuda de los catálogos de los equipos del módulo se logró verificar la configuración y modo de conexión para realizar la operación de sincronización.
- El circuito de control original no fue afectado, mientras que el circuito de potencia concluyó con un diseño que le permite al usuario cablear los equipo y elementos del módulo.
- Basados en el diseño de los circuitos de potencia se consumó la repotenciación del módulo con las nuevas prestaciones y ventajas.
- Se finalizó diseñando tres prácticas de laboratorio que permiten comprender la operación de sincronización y modo de funcionamiento de los variadores de frecuencia a los estudiantes.

7.2 Recomendaciones.

- Es recomendable que trabajos de control analógico y digital se realicen en los variadores de frecuencia, trabajos que no fueron abordados por el corto tiempo disponible.
- Se alienta a la ampliación del módulo aplicando tecnologías de control de voltaje generado y balanceo de potencias reactivas luego de la operación de sincronismo.

8. REFERENCIAS

- [1] Guishcaso, Cristian; Toapanta, José, Control y monitoreo de la operación de sincronismo de generadores de baja potencia mediante software WINCC Advanced como módulo didáctico para el laboratorio de máquinas eléctricas, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, período 2013-2014, Latacunga: Tesis, 2015.
- [2] S. Chapman, Máquinas Eléctricas, México: McGraw Hill, 2007.
- [3] Abad, Jackeline; Grefa, Verónica, Diseño e implementación de un tablero para la transferencia automática de energía y sincronización de generadores de emergencia para el Centro Comercial El Condado, Quito: Tesis, 2008.
- [4] M. Fraile, Máquinas Eléctricas, Madrid: McGraw Hill, 2003.
- [5] SIEMENS, Manual de Usuario WinCC Flexible 2008 Compact/ Standard/ Advanced, SIEMENS, 2008.
- [6] Pansini, Anthony; Smalling, Kenneth, Guide to Electric Power Generation, United States of America: The Fairmont Press, 2002.
- [7] J. Edminister, Circuitos Eléctricos, España: McGraw Hill, 1997.
- [8] G. Enriquez, El libro práctico de los generadores, México: Limusa, 2004.
- [9] SIEMENS, «Instrucciones de uso SINAMICS G110,» 2008. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi5rO7ovu7ZAhVGx2MKHc3UBssQFggwMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.tecnical.cat%2FPDF%2FSiemens%2FMECATRONICA%2Fmanual_sinamics_G110.pdf&usg=AOvVaw2XYCyChDX6y3BAFAdqD7HP. [Último acceso: 10 03 2018].
- [10] SIEMENS, «MICROMASTER 440,» 2001. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjwq9-Nv-7ZAhUX5WMKHSFjD5YQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fhispanofil.es%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F10%2F2016%2F05%2FSiemens-Micromaster-440.pdf&usg=AOvVaw2eUM8Z1S0iwF>. [Último acceso: 10 03 2018].
- [11] SIEMENS, «SCALANCE X - Industrial Ethernet Switches,» 2013. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj_paGfwO7ZAhUMw2MKHejqAzIQFgg0MAE&url=https%3A%2F%2Fw3.siemens.com%2Fmcms%2FIndustrial-communication%2Fen%2Fie%2FIE_switches_media-converters%2Fscalance-x-200-manage. [Último acceso: 10 03 2018].
- [12] SIEMENS, «Gestión de la Energía Eléctrica,» 2009. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQ2_Gewe7ZAhVC92MKHdxYCKwQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fw3.siemens.com%2Fmcms%2Fprocess-control-systems%2FSiteCollectionDocuments%2Ffiles%2Fpcs7%2Fpdf%2F78%2Fe20001-a112. [Último acceso: 10 03 2018].
- [13] DATAKOM, «DKG-117 User Manual,» 2007. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj2kajXwe7ZAhVG4WMKHxqpBeEQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.datakom.com.tr%2Fupload%2FFiles%2F117_USER.pdf&usg=AOvVaw3_NH0Fa

R6glq24-e1KTiB1. [Último acceso: 10 03 2018].

- [14] C. Segovia, Repotenciación Del Módulo De Control Y Monitoreo Para La Operación De Sincronismo De Los Generadores De Baja Potencia Como Módulo Didáctico Para El Laboratorio De Máquinas Eléctricas De La Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga: Propuesta Tecnológica, 2018.
- [15] Wikipedia, «Wikipedia,» 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia. [Último acceso: 10 03 2018].
- [16] SIEMENS, «Manual del sistema SINAMIC S7,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiK4NTfv-7ZAhUS9mMKHadVBa8QFggmMAA&url=https%3A%2F%2Fw5.siemens.com%2Fspain%2Fweb%2Fes%2Findustry%2Fautomatizacion%2Fsimatic%2FDocuments%2FS71200-MANUAL%2520DEL%2520S>. [Último acceso: 10 03 2018].
- [17] SIEMENS, «Power Supply Sitop,» 2009. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiGqOa2y4HaAhUFKawKHfusCtMQFggwMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.siemens.fi%2Fpool%2Flithuania%2Fpramone%2Fdocuments%2Fpdf%2Fmaitinimo-saltiniai-sitop_kt10-1.pdf&usg=AOvVaw0iX. [Último acceso: 10 03 2018].
- [18] SIEMENS, «Simatic HMI Panels,» 2008. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjez6njzYHaAhUFZKwKHb1DDRYQFgg3MAE&url=https%3A%2F%2Fwww.automation.siemens.com%2Fsalesmaterial-as%2Fbrochure%2Fes%2Fbrochure_panels_es.pdf&usg=AOvVaw2eMqe2UZGERu-8gy. [Último acceso: 10 03 2018].
- [19] Flores, Hector, Diseño y construcción de un tablero didáctico para el laboratorio de maquinarias enfocado a la enseñanza de prácticas con motores, específicamente para el control del proceso de sincronización de generadores y utilizando la herramienta de LabView, Guayaquil, 2009.

Firma

Carlos Washington Segovia Segovia

Proponente 1

Email: carlos.w.segovia@gmail.com

Telf.: 0984157581

Firma

Luigi Orlando Freire Martínez

PROFESOR TUTOR

Email: luigi.freire@utc.edu.ec

Telf: 0960243027

9. ANEXOS

9.1. Anexo A Práctica VFD

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
PRÁCTICA DE LABORATORIO	

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA		

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Máquinas Eléctricas	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	VFD Micromaster 440 y VFD WEG	3

1	OBJETIVO
Analizar el funcionamiento del variador de velocidad Micromaster 440 y WEG.	

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
----------	-------------------------------

2.1. INTRODUCCIÓN

Este ejercicio práctico busca iniciar al lector en la instalación y uso de variadores de frecuencia de manera similar a la realidad profesional.

Partiendo de la documentación técnica de los VFDs, se pretende culminar en la aplicación práctica.

Se analizará la información técnica del Micromaster 440 y WEG, para llegar a la comprensión de la estructura y funcionamiento.

Se realiza el montaje práctico.

Se debe tener cuidado con los terminales de conexión, identificando antes entradas y salidas de los equipos.

2.2.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

- Variador Micromaster 440 – 3hp.
- Variador WEG.
- Motor de Inducción, 3hp.
- Osciloscopio.

2.3.MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Realice las conexiones eléctricas antes de energizar el módulo.
- Nunca realice conexiones eléctricas mientras el módulo está funcionando.
- Utilice herramientas dieléctricas.

2.4.TRABAJO PREPARATORIO

2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.ANALISIS DE RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

6	RECOMENDACIONES

7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.2. Anexo B Práctica de VFD Simatic G110

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</p>
<p>PRÁCTICA DE LABORATORIO</p>	

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA		

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Máquinas Eléctricas	DURACIÓN (HORAS)
2	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	VFD Simatic G110	3

1	OBJETIVO
<p>Analizar el funcionamiento del variador de velocidad Simatic G110.</p>	

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>Este ejercicio práctico busca iniciar al lector en la instalación y uso de variadores de frecuencia de manera similar a la realidad profesional. Partiendo de la documentación técnica de los VFDs, se pretende culminar en la aplicación práctica.</p> <p>Se analizará la información técnica del sincrosopio, para llegar a la comprensión de la estructura y funcionamiento.</p>	

Se realiza el montaje práctico.

Se debe tener cuidado con los terminales de conexión, identificando los pertenecientes al bus y al generador.

2.2 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

- Variador Micromaster 440 – 3hp.
- Motor de Inducción, 3hp.
- Osciloscopio.
- Multímetro.

2.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Realice las conexiones eléctricas antes de energizar el módulo.
- Nunca realice conexiones eléctricas mientras el módulo está funcionando.
- Utilice herramientas dieléctricas.

2.4 TRABAJO PREPARATORIO

2.4.1 ACTIVIDADES A DESARROLLAR

2.4.2 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
----------	-------------------------------

3.2.ANALISIS DE RESULTADOS

5	CONCLUSIONES
----------	---------------------

6	RECOMENDACIONES
----------	------------------------

7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
----------	-----------------------------------

9.3. Anexo C Práctica de Sincronismo de Generadores

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</p>
<p>PRÁCTICA DE LABORATORIO</p>	

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA		

PRÁCTIC A N°	LABORATORIO:	Máquinas Eléctricas	DURA CIÓN (HOR AS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Sincronismo de Generadores	3

1	OBJETIVO
<p>Analizar las condiciones necesarias y suficientes para que dos generadores puedan estar en línea.</p>	

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>Esta operación busca enterar al lector sobre la instalación y modo de funcionamiento del sincronoscopio. Partiendo de la documentación técnica del DKG-117, se pretende culminar en la aplicación práctica.</p> <p>Se analizará la información técnica del Micromaster 440, para llegar a la comprensión</p>	

de la estructura y funcionamiento.

Se realiza el montaje práctico y se experimenta.

Se debe tener cuidado con los terminales de conexión, identificando antes entradas y salidas de los equipos.

2.2 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

3. Módulo de sincronización de generadores.
4. Variadores de frecuencia Micromaster 440 – 3hp.
5. Motores de Inducción, 3hp.
6. Generadores eléctricos bifásicos.
7. Osciloscopio.

2.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

8. Realice las conexiones eléctricas antes de energizar el módulo.
9. Nunca realice conexiones eléctricas mientras el módulo está funcionando.
10. Utilice herramientas dieléctricas.

2.4 TRABAJO PREPARATORIO

10.2.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

10.2.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

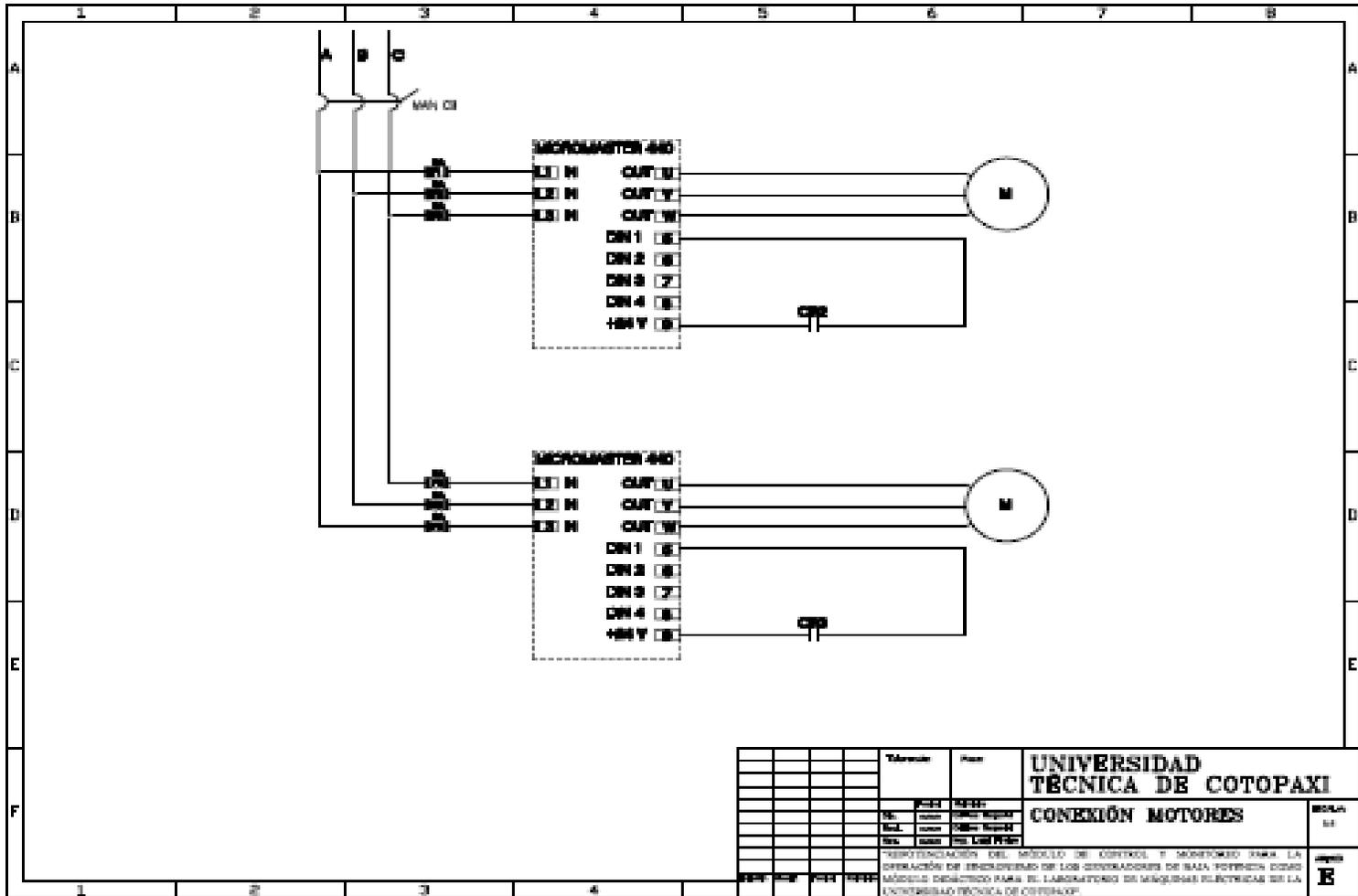
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
----------	-------------------------------

3.3.ANALISIS DE RESULTADOS

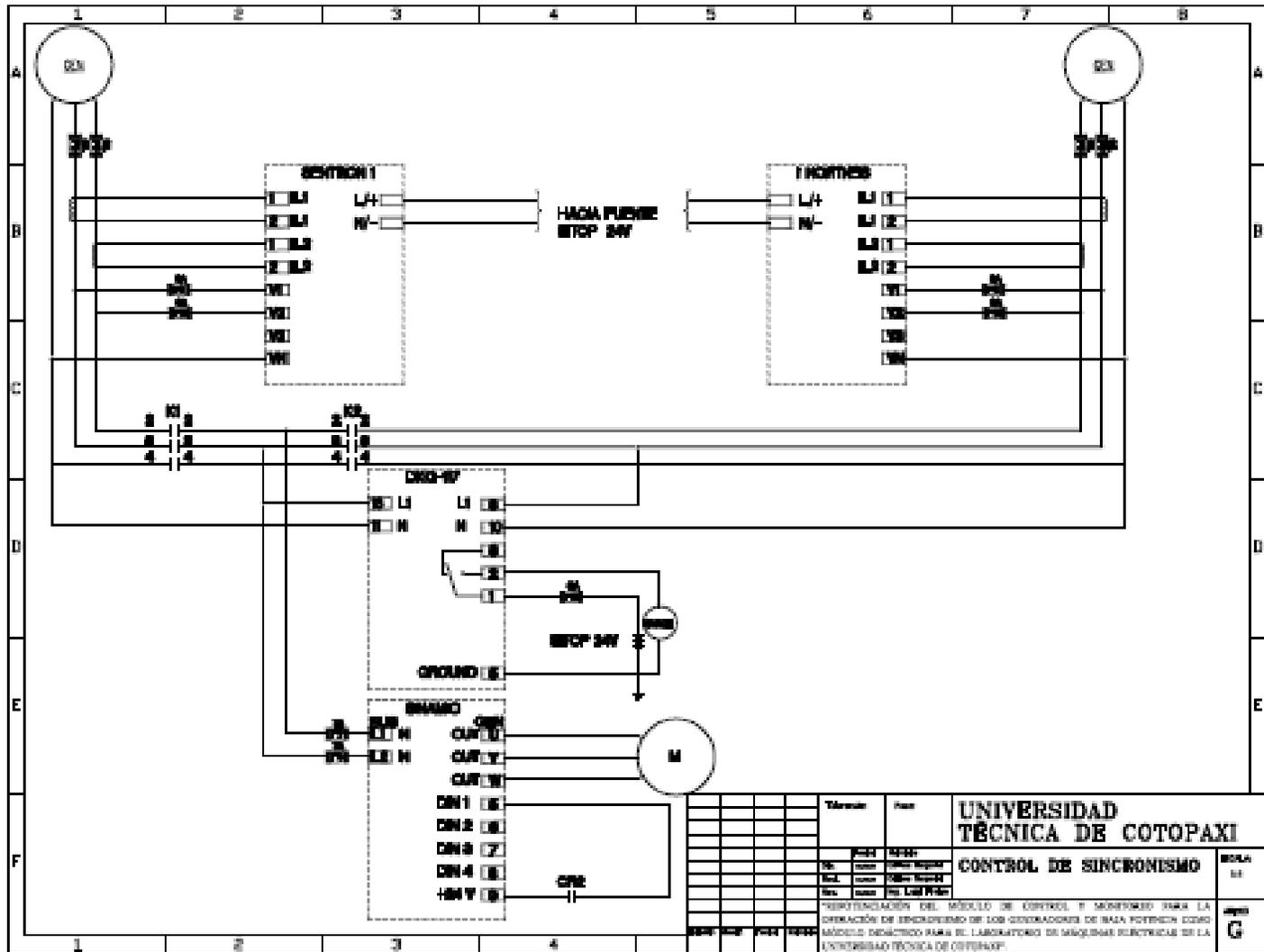
5	CONCLUSIONES

6	RECOMENDACIONES

7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI		Módulo 1-1
CONEXIÓN MOTORES		
*REPOBILACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE ENCONDORES DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.		Página E



Tercera		Fecha	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	BOLETA 01
Primer	Segundo			
Dr. Juan	Dr. Juan	Dr. Juan	CONTROL DE SINCRONISMO	BOLETA 01
Dr. Juan	Dr. Juan	Dr. Juan		
REPRESENTACIÓN DEL MÉTODO DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA OPERACIÓN DE SINCRONISMO DE LOS GENERADORES DE BAJA POTENCIA COMO MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.			BOLETA 01	G