UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI

Pregrado

Carrera: Tecnología Superior en Electricidad

Asignatura (UIC):

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título en: Tecnólogo Superior en Electricidad

Tema: Diseño e implementación de un módulo didáctico para sincronización entre un generador y la red eléctrica de un sistema monofásico en el laboratorio del ITSR.

Autor/s: David Aaron Junco Villafuerte

Tutor Técnico: Ing. Alvaro Mullo Q.Mg.

Sangolquí, septiembre de 2024

Autor: **(Junco Villafuerte David Aaron)**

Título a obtener: **Tecnólogo en electricidad**

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: david.junco@ister.edi.ec

Dirigido por: **(Mullo Quevedo Álvaro Santiago)**

Título: Ingeniero

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: alvaro.mullo@ister.edi.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

©2024 Tecnológico Universitario

Rumiñahui SANGOLQUÍ –

ECUADOR

(Junco Villafuerte David Aaron)

(TEMA DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR)

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-6-6.2

Sangolquí, 17 de Octubre del 2024

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO
Presente

Por medio de la presente, yo, David Aaron Junco Villafuerte declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado: Diseño e implementación de un módulo didáctico para sincronización entre un generador y la red eléctrica de un sistema monofásico en el laboratorio del ITSR., de la Tecnología Superior en Electricidad; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

David Aaron Junco Villafuerte
C.I.: 0926857988

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2024-ISTER-1

CARRERA:
(TECNOLOGÍA UNIVERSITARIA EN ELECTRICIDAD)
AUTOR /ES:
(DAVID AARON JUNCO VILLAFUERTE)
TUTOR:
(ALVARO SANTIAGO MULLO QUEVEDO)
CONTACTO ESTUDIANTE:
(0998431431)
CORREO ELECTRÓNICO:
(juncodavid947@gmail.com)
TEMA:
(DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA SINCRONIZACIÓN ENTRE UN GENERADOR Y LA RED ELÉCTRICA DE UN SISTEMA MONOFÁSICO EN EL LABORATORIO DEL ITSR)
OPCIÓN DE TITULACIÓN:
(UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR)
RESUMEN EN ESPAÑOL:
(Para el presente proyecto en cuestión, se realizó la construcción de un módulo didáctico con la finalidad del aprendizaje enfocado a un sistema de sincronismo de un generador a la red pública, para los laboratorios del ITSR, constituido por un sistema de fuerza mecánica con un motor eléctrico para impulsar un generador por medio de poleas y una banda. Además, se preparó la mayor parte del módulo de manera que el estudiante pueda realizar sus prácticas de manera sencilla armando toda la parte eléctrica de control y carga con los diferentes sockets de conexión provistos para cada elemento eléctrico siguiendo las enseñanzas del personal docente de modo que el estudiante lograra realizar simulaciones no solo virtuales, sino que lograra realizar prácticas que serán lo más cercano a la realidad obteniendo no solo información teórica, también se obtendrá experiencia práctica entendiendo los diferentes factores influyentes como el nivel voltaje, frecuencia y secuencia de fase, para garantizar una correcta practica en función de lo aprendido.)
PALABRAS CLAVE:
(Sincronismo, generación, paralelismo praticas)
ABSTRACT:
(For the present project in question, the construction of a didactic module was carried out with the purpose of learning focused on a system of synchronism of a generator to the public

grid, for the ITSR laboratories, consisting of a mechanical force system with an electric motor to drive a generator by means of pulleys and a belt. In addition, most of the module was prepared so that the student can carry out their practices in a simple way by assembling all the electrical control and charging part with the different connection sockets provided for each electrical element following the teachings of the teaching staff so that the student could carry out simulations not only virtual, but also virtual. but they will also be able to carry out practices that will be as close to reality as possible, obtaining not only theoretical information, but also practical experience by understanding the different influencing factors such as voltage level, frequency and phase sequence, to guarantee correct practice based on what has been learned.)

PALABRAS CLAVE:
(Synchronism, generation, parallelism practices)

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

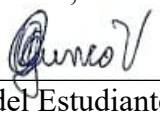
CT-ANX-2024-ISTER-2
Sangolquí, 17 de octubre del 2024

Sres.-
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital "DsPace" del estudiante: David Aaron Junco Villafuerte, con C.I.: 0926857988 alumno de la Carrera TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD.

Atentamente,



Firma del Estudiante
C.I.: 0926857988

SÓLO PARA USO DEL ISTER

Han sido revisadas las similitudes del trabajo en el software "TURNITING" y cuenta con un porcentaje de ……..; motivo por el cual, el Proyecto Técnico de Titulación es publicable. (EL PORCENTAJE DE SIMILITUD DEBE SER MÁXIMO DE 15%)

MSc. Elizabeth Ordoñez	**MSc. Mónica Loachamín**
DIRECTORA DE DOCENCIA	**COORDINADORA DE TITULACIÓN**

Fecha del Informe _____/ _____/ ____

DEDICATORIA

La terminación del proyecto se la dedico a mi amada madre, quien ha estado siempre a mi lado en todo momento de mi vida tanto en los buenos y malos momentos. Agradezco mucho su paciencia cuando me crio y me enseño lo que es un trabajo y sacrificio y haber hecho de mi una persona de bien.

A mi padre quien, a pesar de las diferencias, estuvo presente en mi vida y aporto parte de su experiencia en mi para ser una persona de bien.

A la memoria de mis abuelos quienes me cuidaron gran parte de mi vida y me enseñaron varias cosas de la misma. Fueron de igual manera un gran apoyo.

Y finalmente, a quienes me apoyaron de manera desinteresada a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por otorgarme un nuevo paso en la vida y darme valor y sabiduría para culminar este proyecto.

A mis seres queridos que me brindaron su apoyo en todo momento para lograr superar este reto y lograr nuevos objetivos de vida. Alentándome a no rendirme y seguir adelante tanto en la vida profesional como en la vida personal.

A mis jefe inmediato y compañeros de trabajo por su apoyo y comprensión en momentos de necesitar tiempo para poder cumplir con los objetivos de los estudios.

A los maestros del instituto, por bridarnos parte de su experiencia y sabiduría en la materia para poder convertirnos en mejores profesionales y personas. Por su apoyo hacia nuestro futuro y progreso.

Al Instituto por brindarnos profesores especializados en la materia y instalaciones adecuadas para las practicas que se requieren para poder comprender mejor las diversas materias aprendidas.

RESUMEN

Diseño e implementación de un módulo didáctico para sincronización entre un generador y la red eléctrica de un sistema monofásico en el laboratorio del ITSR.

Para el presente proyecto en cuestión, se realizó la construcción de un módulo didáctico con la finalidad del aprendizaje enfocado a un sistema de sincronismo de un generador a la red pública, para los laboratorios del ITSR, constituido por un sistema de fuerza mecánica con un motor eléctrico para impulsar un generador por medio de poleas y una banda. Además, se preparó la mayor parte del modulo de manera que el estudiante pueda realizar sus practicas de manera sencilla armando toda la parte eléctrica de control y carga con los diferentes sockets de conexión provistos para cada elemento eléctrico siguiendo las enseñanzas del personal docente de modo que el estudiante lograra realizar simulaciones no solo virtuales, sino que lograra realizar prácticas que serán lo mas cercano a la realidad obteniendo no solo información teórica, también se obtendrá experiencia practica entendiendo los diferentes factores influyentes como el nivel voltaje, frecuencia y secuencia de fase, para garantizar una correcta practica en función de lo aprendido.

Palabras claves:

Sincronismo

Secuencia

Voltaje

Frecuencia

Didáctico

ABSTRACT

For the present project in question, the construction of a didactic module was carried out with the purpose of learning focused on a system of synchronism of a generator to the public grid, for the ITSR laboratories, consisting of a mechanical force system with an electric motor to drive a generator by means of pulleys and a belt. In addition, most of the module was prepared so that the student can carry out their practices in a simple way by assembling all the electrical control and charging part with the different connection sockets provided for each electrical element following the teachings of the teaching staff so that the student could carry out simulations not only virtual, but also virtual. but they will also be able to carry out practices that will be as close to reality as possible, obtaining not only theoretical information, but also practical experience by understanding the different influencing factors such as voltage level, frequency and phase sequence, to guarantee correct practice based on what has been learned.

Keywords:

Synchronism

Sequence

Voltage

Frequency

Didactic

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN ..... **¡Error! Marcador no definido.**

CAPITULO I 10

1 INTRODUCCIÓN 10

1.1 Planteamiento del Problema 10

1.2 Justificación 11

1.3 Alcance 11

1.4 Objetivos General y Específicos 11

1.4.1 Objetivo General: 11

1.4.2 Objetivos Específicos: 12

CAPITULO II 13

2 MARCO TEÓRICO 13

2.1 Antecedentes 13

2.2 Generador síncrono 13

2.3 Ventajas de un generador 15

2.4 Desventajas de un generador: 15

2.5 Aplicación de un sistema de sincronismo. 16

2.6 Elementos del módulo de sincronismo 16

2.7 Consideraciones para sincronismo. 20

CAPITULO III 21

3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN 21

3.1 Diseño y Construcción del Módulo Didáctico 21

3.2 Diseño de la estructura del módulo 21

3.3 Materiales utilizados para la construcción del módulo 22

3.4 Construcción del módulo 22

3.5 Elementos eléctricos 23

3.6 Variador de frecuencia 24

3.7 Motor eléctrico de 1 HP 220 VAC trifásico 24
3.8 Alternador AC 3000w 25
3.9 Sockets de conexión para cables de fuerza 26
3.10 Simulación de carga del módulo. 26
3.11 Conexiones de prueba 27
3.12 Conexiones del Variador de frecuencia 27
3.13 Pulsadores de paro, marcha y sincronismo 28
3.14 Frecuencímetros analógicos 28
3.15 Voltímetros digitales 29
3.16 Amperímetros digitales 29
3.17 Montaje de los elementos eléctricos en el módulo didáctico 30
3.18 Armado de panel de instrumentos de medición 30
3.19 Armado de contactor de sincronismo y lámparas de sincronismo 31
3.20 Colocación de tomas de conexión de alimentación de cada fuente 31
3.21 Instalación de tarjeta reguladora de alternador AC 32
3.22 Interruptores termomagnéticos 32
CAPITULO IV 35
PRUEBAS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN 35
CAPITULO V 41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 41
BIBLIOGRAFIA 42

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

Como bien se sabe, la electricidad es un elemento crucial para el funcionamiento de equipos en instalaciones industriales, las mismas que se enfrentan a desafíos tales como los cortes imprevistos del suministro eléctrico o como situaciones en la demanda de energía, lo que acarrea en pérdidas que se llegan a considerar significativas.

Por este motivo, la tecnología hace avances en los sistemas eléctricos, permitiendo que el uso de la energía sea más confiable y tenga mejor eficiencia. De modo que se llega a contar con generadores para momentos de alta demanda, los cuales desempeñan un papel importante para suministrar energía.

El proyecto que se presenta a continuación tiene como finalidad el enseñar como es un proceso de sincronismo de manera manual en base a la medición de voltajes, frecuencia y ángulos de fase de generador y red pública, enfocándose en las principales fases del sincronismo.

1.1 Planteamiento del Problema

Como bien se conoce, las fuentes de suministro eléctrico tienden a tener desafíos con respecto a la demanda de energía debido al aumento ya sea de industrias o de la población anualmente. Por ello tanto las empresas como las centrales, utilizan generadores para abastecerse de energía eléctrica para realizar sus funciones en caso de cortes, y de la misma manera hay empresas que debido al aumento de la carga instalada, optan por utilizar generadores en paralelo a la red en modo de sincronismo de manera que la potencia disponible para la producción, aumente. Y en el caso de las centrales de transmisión, es el mismo método y la misma función.

Para explicar el sincronismo se planteó un módulo de sincronismo didáctico con un generador, con la finalidad de simular el proceso se sincronización

para abastecer una demanda que supere la capacidad del suministro eléctrico del trasformador instalado en la red pública, esto con el fin de lograr encontrar soluciones factibles para la demanda que no se pueda cubrir solamente con la Red. Y lograr solventar los problemas de bajo rendimiento por falta de potencia en las empresas.

1.2 Justificación

La implementación de un módulo didáctico de sincronismo para el Instituto Universitario Rumiñahui ayudará a estudiantes y docentes, ya que la carrera de electricidad no cuenta con suficientes módulos didácticos para las prácticas de las diferentes asignaturas. El diseño tendrá elementos como: variador, botoneras, motor eléctrico, elementos eléctricos y electrónicos de control, así se busca mejorar la enseñanza teórica impartida por los docentes, aumentar el nivel académico de los estudiantes y generar conocimientos para el futuro de los estudiantes.

1.3 Alcance

En proyecto tendrá 16 semanas para diseñar e implementar el módulo con sus respectivos elementos eléctricos de fuerza y control, compuestos por: grupo generador, breackers, elementos para simular carga, medidores de corriente, frecuencia, voltaje, pulsadores, etc. El presente proyecto ayudara a poner en práctica lo aprendido durante el ciclo académico con las enseñanzas impartidas por cada docente, de manera que se refuerce el conocimiento de los estudiantes del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui.

Para las prácticas se propone realizar guías de laboratorios para que los estudiantes puedan visualizar los elementos que conforman el tablero didáctico de sincronismo, las guías también ayudaran en las prácticas de control y monitoreo, mediante los indicadores se utilizara el software en línea LVSIM para desarrollar las simulaciones, esto impulsara a los futuros tecnólogos a conocer los diferentes parámetros que influyen en el proceso de sincronismo de manera que puedan dar soluciones de una manera eficiente y eficaz en la industria.

1.4 Objetivos General y Específicos

1.4.1 Objetivo General:

- Construcción e implementación de un modelo didáctico de sincronización de un generador a la red eléctrica de una empresa o industria mediante el uso de un equipo de generación, elementos de control y monitoreo, para el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de electricidad del Instituto Universitario Rumiñahui.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Diseñar la estructura, disposición de elementos de fuerza y control del módulo didáctico**.**
- Implementar el módulo didáctico de sincronismo que permita obtener los diferentes datos de los parámetros eléctricos de generación en vacío y en sincronización.
- Realizar pruebas del correcto funcionamiento del equipo en cuestión y entender los parámetros que intervienen en el proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el Instituto Universitario Rumiñahui, se proporcionó un tema de proyecto de titulación ´´ Diseño e implementación de un módulo didáctico para sincronización entre un generador y la red eléctrica de un sistema monofásico en el laboratorio del ISTR.´´ el presente proyecto, implico la aplicación de materias recibidas, así como también los elementos adecuados para el armado del proyecto. Este módulo didáctico conformado formado por diferentes equipos de control y fuerza, dará a los estudiantes la opción que pueden armar y desarmar el cableado de control del sincronismo y variar la frecuencia a criterio para crear varias escenas de simulaciones de sincronismo y que los estudiantes logren comprender lo que conlleva el proyecto. Con el principal objetivo de mejorar la comprensión del aprendizaje practico y teórico para los estudiantes y docentes de la carrera de electricidad.

2.2 Generador síncrono

Los generadores síncronos son maquinas rotativas que tienen la capacidad de transformar o convertir la energía mecánica de movimiento en energía eléctrica, en donde la velocidad de giro (rpm), están ligadas permanentemente a la frecuencia de generación de la corriente alterna. Siendo como cualquier maquina sometida a los principios de la reciprocidad electromagnética tanto en generación como en motor.

Su constitución física está conformada por una parte móvil y otra fija, denominándose rotor y estator respectivamente, ambos compuestos por devanados diferentes el uno del otro.

- El devanado inductor: es aquel alimentado por corriente continua y su bobinado está en forma de arrollamiento introducidos en las diferentes ranuras del campo rotórico.
- El devanado inducido: es aquel por donde circula corriente alterna trifásica o monofásica, dependiendo del tipo de conexión.

Los principios de funcionamiento del generador dependerán de los siguientes puntos :

- El rotor será alimentado con voltaje de corriente continua, utilizando un sistema de retroalimentación en donde se podrá ajustar el nivel de excitación magnética que se formará en el rotor.
- El campo que se produce del rotor en movimiento, induce tensiones en el estator a una frecuencia f, la cual dependerá directamente de la velocidad a la que está girando el rotor.
- Como resultado, se obtendrá un campo producto de la suma del campo rotórico y estatórico.

Quien controla la corriente de excitación para obtener niveles de voltaje deseados a la salida del alternador, es una tarjeta de voltaje electrónica, la cual se encarga de medir la corriente de salida y ajustar el valor de corriente de excitación.

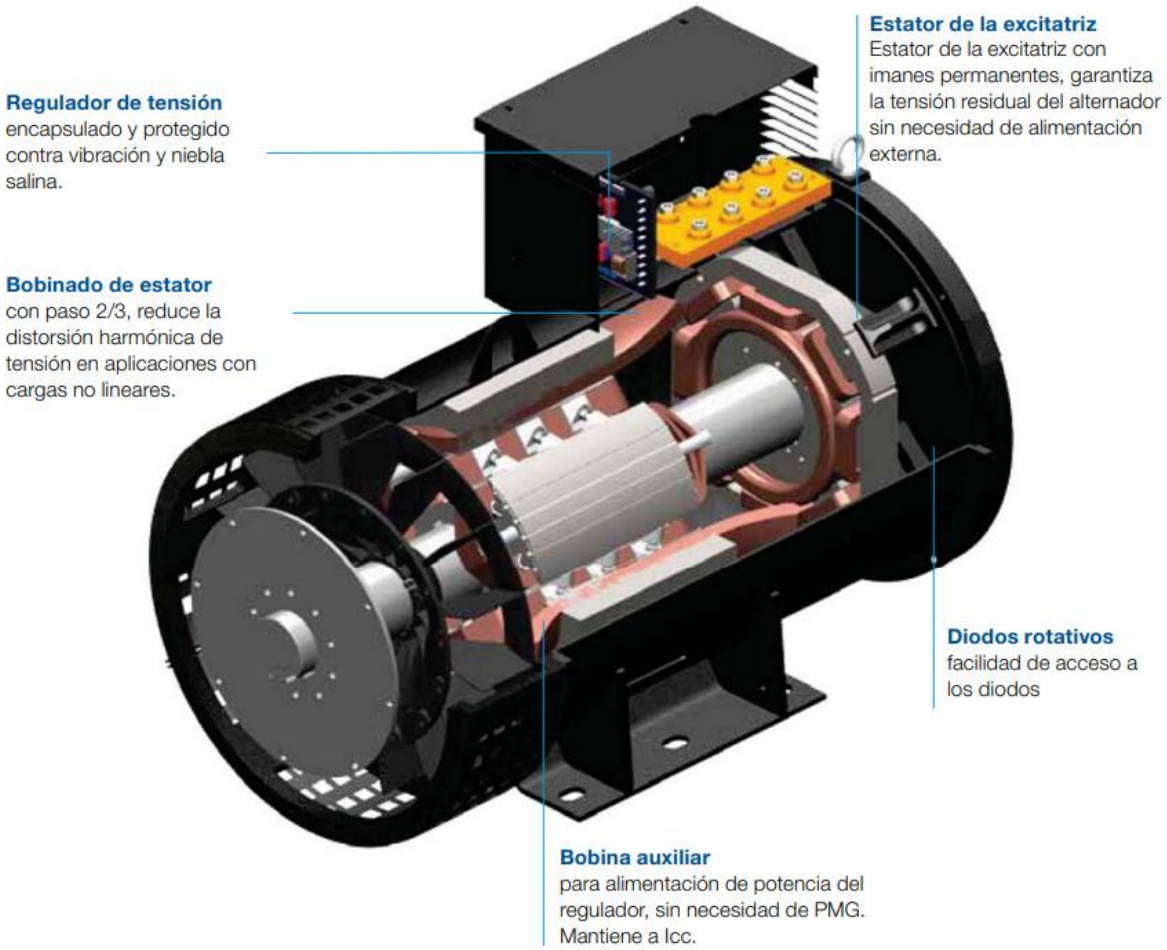


Figura 1 Alternador síncrono

Fuente: weg.net

2.2.1 Ventajas de un generador

En cuanto a prestaciones y ventajas de un equipo de generación en la industria, se puede definir las siguientes:

- La principal ventaja y la más obvia, es el suministro ininterrumpido de energía eléctrica a la industria, ya que la perdida de energía eléctrica por parte de la red podría suponer en pérdidas significativas.
- En situaciones de emergencia, contar con un equipo de generación es esencial, ya que ante sucesos tales como desastres naturales o apagones muy prolongados, los equipos de generación entran a funcionar de manera inmediata, garantizando que los equipos críticos se mantengan en funcionamiento.

En temas de sincronismo:

- En temas de sincronismo de un generador a la red, se obtiene un incremento en la confiabilidad de un sistema de producción.
- Se puede conectar más de un equipo al bus de carga para aumentar la potencia de entrega a la producción.
- Al tener más de un equipo conectado, se tiene la ventaja de poder desconectar uno de ellos para realizar el mantenimiento y luego poder volver a integrarlo al bus.
- Comparado con otras tecnologías como la eléctrica o hidráulica tiene un costo mínimo en su mantenimiento e instalación.

2.2.2 Desventajas de un generador:

- Como principales inconvenientes de un generador, es el tema de ruido y vibraciones, ya que, dependiendo de la capacidad, es más probable que emita mayor cantidad de vibraciones como de ruido.
- Otro inconveniente que se encuentra comúnmente es las emisiones del motor, al usar diésel como combustible, es mas alto el nivel de contaminación, en comparación con los generadores de gasolina comunes.
- Dependen del tipo de clima donde trabajen, debido a que un generador al estar en climas fríos, es probable que sufran dificultades para encender.

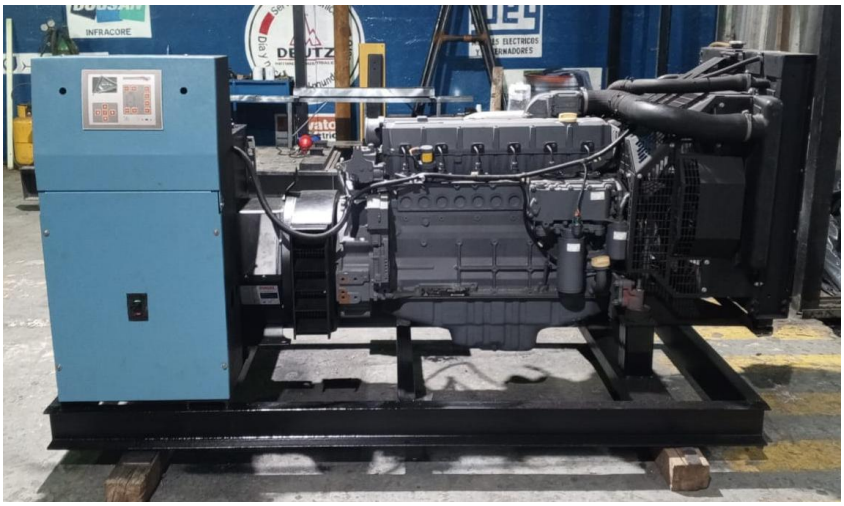


Figura 2 Grupo electrógeno 100Kw

Fuente: Autor

2.2.3 Aplicación de un sistema de sincronismo.

La aplicación de estos sistemas es bien usada en grandes empresas con la finalidad de suministrar una mayor cantidad de energía, garantizado la disponibilidad de dicha energía en situaciones donde la demanda de carga aumente de manera considerable.

Por ende, las diversas industrias donde se utilizan estos sistemas, serian en la industria alimenticia, industria papelera, industria petrolera y otras industrias que demanden mayor entrega de energía para los diferentes procesos.

2.2.4 Elementos del módulo de sincronismo

El circuito de sincronismo está conformado por varios elementos de fuerza y control que trabajan en conjunto con la finalidad de aumentar la energía disponible para la carga.

Dentro de los elementos a utilizar se tienen los siguientes:

- **Disyuntores:**

  O también conocidos como breackers, son componentes de protección para los circuitos eléctricos cuya finalidad es proteger tanto de sobrecargas y cortocircuitos de manera que los demás elementos no se dañen o se quemen.

- **Pulsadores:**

  Son un elemento de pequeño tamaño el cual tiene un sinfín de aplicaciones en la electricidad, pudiendo ser usado para simplemente encender una luz como accionar un circuito eléctrico complejo en una industria.

- **Voltímetros:**

Elementos de visualización que muestran valores de diferencia de potencial ofreciendo una precisión casi exacta expresado con un valor numérico.

- **Amperímetros:**

  Elemento de visualización encargado de proporcionar de manera numérica, la intensidad de la corriente eléctrica que se consume en una instalación

- **Frecuencímetros análogos:**

  Este instrumento está diseñado para medir el número de oscilaciones que forma una onda eléctrica dentro de un segundo produciendo una campana de Gauss con la máxima señal de frecuencia medida.

- **Variador de velocidad:**

  Este dispositivo, también conocido como inversor de frecuencia, permite controlar la velocidad de giro del motor eléctrico de manera eficaz y precisa mediante variaciones en la frecuencia y el voltaje de alimentación del motor mediante la transformación de la corriente alterna en corriente continua y nuevamente transformándola en corriente alterna para controlar con precisión la velocidad del motor y la dirección de giro

- **Motor trifásico 1 HP**

  Este elemento electromecánico, se encarga de transformar la energía eléctrica con la que se alimenta en energía mecánica mediante el campo magnético que se forma internamente, provocando la rotación de un eje metálico que dará fuerza mecánica a un sinfín de actividades industriales donde se necesite dicha fuerza mecánica.

- **Alternador AC de generador portátil**

  Este es un elemento que transforma la energía mecánica en eléctrica por medio del campo electromagnético a través del campo rotórico en el cual se encuentra el devanado con los anillos deslizantes el cual se mantiene en contacto con las líneas de alimentación que provienen de la tarjeta reguladora de voltaje, encargada de regular la corriente de excitación al campo rotórico.

- **Bus de carga:**

  No es más que la barra común de alimentación del sistema eléctrico de una instalación en donde se encuentran los diferentes consumidores o equipos eléctricos, los cuales están siendo alimentados tanto por la Red eléctrica como de un generador de sincronismo.

- **Contactor**

Este dispositivo es aquel que permite el paso o interrumpe el mismo de una corriente eléctrica a cualquier equipo o maquina a distancia con accionamiento por medio de elementos de control y mando que alimentaran la bobina del contactor para que este genere un campo magnético en su bobina obligando a unir dos núcleos de hierro que se encuentran en su interior, el cual uno de ellos posee los contactos para cerrar o abrir el paso de corriente o energía eléctrica.

- **Sincronoscopio**

  Este particular instrumento es aquel que permite visualizar el desfase de los sistemas eléctricos de dos fuentes diferentes de potencia. Este particular objeto fue diseñado de tal manera que posee una aguja la cual se encuentra dando vueltas, con la función de indicar si la fuente generadora que requiera conectarse en paralelo a la red principal esta o bien muy acelerada o muy lenta con respecto a la fuente principal que es la red.

  Cuando la aguja esta girando, esta indica que hay una diferencia entre las dos fuentes, en caso de estar girando en sentido de las manecillas del reloj, este indica que la fuente numero dos esta muy acelerado y necesita desacelerarse, en caso de que la aguja gire en sentido contrario a las manecillas del reloj, este indica que la fuente numero 2 esta desacelerado con respecto a la fuente 1. Cuando el sincronoscopio este alineado de manera vertical en la parte superior a 0 grados, nos indica que ambas fuentes están en sincronía siendo homónimas entre si de modo que puede llevarse a cabo el sincronismo sin problema alguno

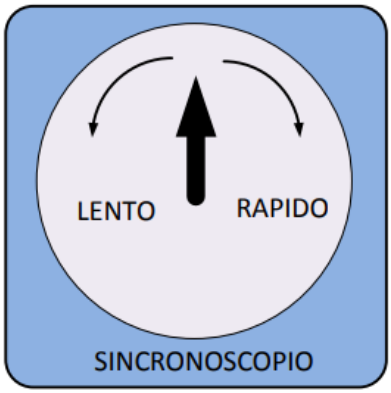


Figura 3 Sincronoscopio

Fuente: bibdigital.epn.edu.ec

- **Lámparas de sincronismo**

  con este método de sincronismo que resulta mas sencillo de aplicar ya que solo consta de lámparas de filamento en su interior las cuales están conectadas entre las fases de

las fuentes a sincronizar de modo que estas se encuentran encendiéndose y apagándose de manera continua. Cuando las lámparas se apagan, significa que los voltajes de ambas fuentes se encuentran en sincronismo. Siendo este la señal para realizar el sincronismo con el interruptor para la conexión de las fuentes entre sí.

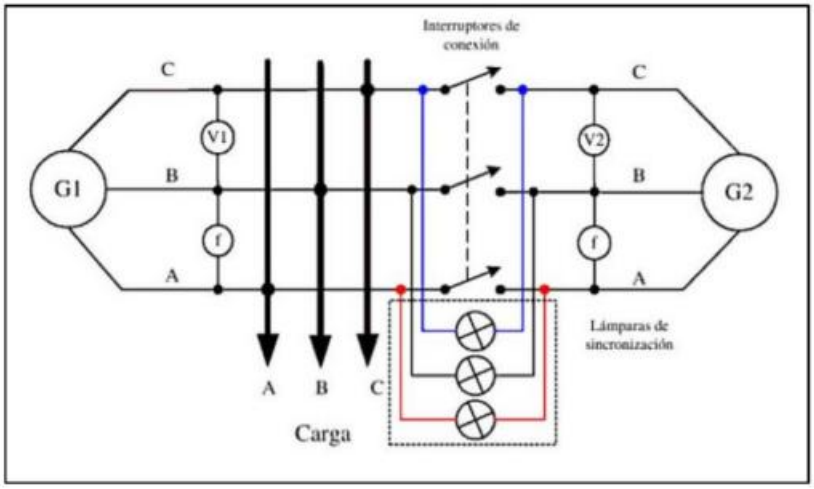


Figura 4 Diagrama de sincronismo por lámparas

Fuente: bibdigital.epn.edu.ec

- **Modulo digital de sincronismo**

Con el avance tecnológico de la era, cada vez es posible simplificar grandes procesos y manejo, en simples módulos de control. En este caso para realizar sincronismos de manera segura y efectiva, se tomo como ejemplo el modulo de la marca DEEP SEA modelo 8610. Este modulo en especifico esta diseñado para realizar sincronismos de varios generadores, siendo más específicos, hasta 32 equipos de generación. Este modulo es capaz de leer los diferentes parámetros que se deben cumplir para realizar el sincronismo de forma automática o de manera manual mediante los botones ubicados en la pantalla.

Figura 5 Modulo de control para sincronización

Fuente: deepseaelectronics.com

2.2.5 Consideraciones para sincronismo.

Con la finalidad de aumentar la eficiencia energética en la industria, el o los generadores son conectados de manera paralela a la red mediante las líneas de distribución.

Para esto se requiere de una serie de operaciones para poder realizar la sincronización sin complicaciones:

- Igual número de fases de generador y de red pública.
- Misma secuencia de giro en generador y red.
- Misma frecuencia.
- Mismo nivel de voltaje en líneas.

CAPITULO III

3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Diseño y Construcción del Módulo Didáctico

Para el presente modulo didáctico se aplicó que las conexiones eléctricas de lo que es control de sincronismo y carga sean de conexiones montables y desmontables mediante plugs bananas, para implementar las practicas que simulan las diferentes condiciones para sincronismo, con la finalidad de proporcionar un aprendizaje correcto y eficaz para los estudiantes del “Instituto Universitario Rumiñahui”.

3.3.1 Diseño de la estructura del módulo

Para realizar el diseño de la mesa o estructura del módulo en base a las necesidades proporcionadas por el personal docente ,tal como se muestra en la figura 1, de manera que sea lo más adecuado para su uso. El diseño se lo realizó en el software AutoCAD, cuyas dimensiones fueron diseñadas para proporcionar una comodidad tanto visible como manipulable y facilitar el uso del módulo didáctico por parte de los docentes y estudiantes.

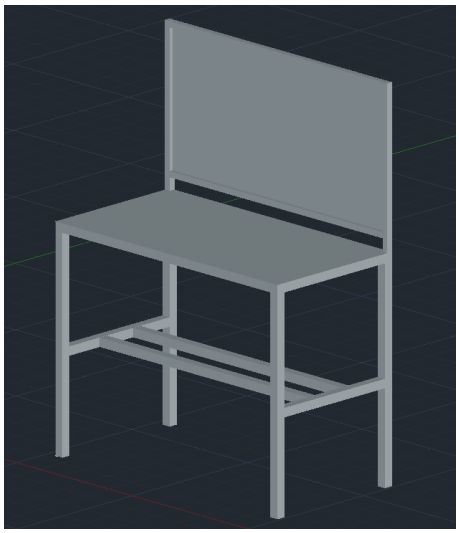


Figura 6. Diseño en AutoCAD de estructura de módulo didáctico.

Fuente: Autor.

Las dimensiones de la estructura del módulo se las describen en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del módulo didáctico.

Altura	1.70 metros
Largo	1.20 metros
Ancho	0.60 metros

Fuente: Autor.

3.3.2 Materiales utilizados para la construcción del módulo

La estructura fue elaborada por material de ángulo de hierro negro con medias de 1 ½´´ x 1 ½´´ pulgadas, con un espesor de 1/8 ´´ de pulgada, lo cual luego del armado se procedió a pintar la estructura con pintura sintética brillante azul marino. Además, se agregaron 4 garruchas o ruedas para poder moverlo con mayor facilidad, de las cuales 2 tienen freno.

Para poder montar los elementos eléctricos, se utilizó de base un tablero de madera con un espesor de 10 mm.

Se optó por usar este material de fondo primeramente por ser un material no conductor y para que, al momento de realizar conexiones en caso de estar energizada, estas no provoquen corto circuito que pueden resultar de cuando se utiliza plafón de metal o aluminio.

También ofrece un montaje seguro en los elementos eléctricos tanto de control y fuerza.

3.3.3 Construcción del módulo

La estructura del módulo donde se instaló el tablero de madera donde se instaló los elementos de control y fuerza eléctricos, está elaborada por el material anguilo de hierro negro de medias 1 x 1 pulgadas con un espesor de 1/8 de pulgada, para las uniones se utilizó soldadura de palillo o electrodo 6011 de 1/8 de pulgada, para la pintura se utilizó la misma pintura sintética brillante azul marino. Este tablero se elaboro de manera que sea desmontable de la mesa principal para que fuera mas optimo al momento de transportar o mover de lugar para que sea de manera más fácil y cómoda posible. Para esto, se elaboro con dos tramos de ángulo más largos.

Figura 7 Construcción de la mesa del módulo.
Fuente: Autor.

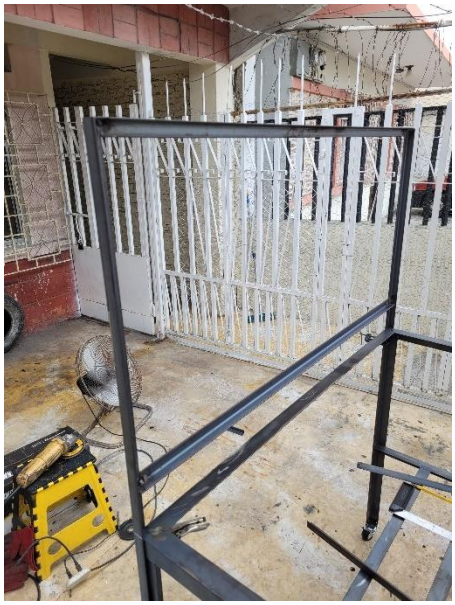


Figura 8. Construcción de la estructura del módulo.
Fuente: Autor.

Para acoplar el tablero con los elementos a la mesa de trabajo, se usaron pernos de ¼ por 1 pulgada, garantizando que el módulo tenga firmeza y estabilidad al momento de hacer prácticas.

3.2 Elementos eléctricos

Se detalla a continuación los elementos utilizados junto con sus características y funcionamientos, en el montaje del tablero eléctrico didáctico realizar las diferentes prácticas en el módulo didáctico de sincronismo.

3.4.1 Variador de frecuencia

Se baso en los detalles proporcionados por el personal docente para la selección del variador, el cual se encarga de hacer funcionar el motor eléctrico que está acoplado al alternador AC. Se seleccionó el variador SINAMIC V20 de SIEMENS para motor de 1 HP, que brindará una garantía de vida y fiabilidad, al ser de una marca reconocida y de calidad.

Junto a este variador se usó un potenciómetro de 5 KΩ para regular la velocidad del motor y por lo consiguiente la frecuencia del alternador AC.

Figura 9 Variador de frecuencia.
Fuente: SIEMENS.

3.4.2 Motor eléctrico de 1 HP 220 VAC trifásico

De la misma manera, siguiendo las recomendaciones del docente, se optó por elegir un motor eléctrico, el cual simulara la función de un motor de combustión interna que comúnmente se usan en generadores de respaldo o de autogeneración, de no más de 1 HP lo suficiente para proporcionar fuerza mecánica y poder mover el alternador AC que se usara en las practicas estudiantiles, el cual es de la marca SIEMENS para garantizar que pueda ser usado con el variador de la misma marca y evitar problemas de incompatibilidad y que el motor sea confiable y duradero, ofreciendo una garantía para que los estudiantes puedan practicar de manera segura.

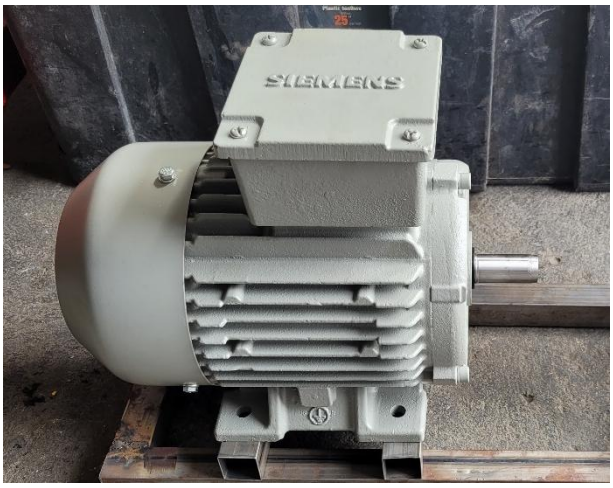


Figura 10. Motor eléctrico 220 VAC
Fuente: Autor.

3.4.3 Alternador AC 3000w

Se utilizo un alternador de un generador de gasolina portátil de 3000 Watts de potencia con salida configurable de 110 o 220 Vac, para realizar las diferentes prácticas, en este caso, las practicas se realizarán serán con voltaje de 110 vac. Para ello se desmonto el alternador del generador y se lo acoplo mediante polea y banda al motor eléctrico el cual dará la fuerza mecánica para hacer funcionar el alternador.

Se desmonto la Reguladora de voltaje que originalmente viene en el interior del alternador y se lo instalo en el tablero para poder regular el voltaje de salida del alterador y poder cumplir con una de las condiciones necesarias para el sincronismo.

Figura 11 Alternador AC 110 VAC
Fuente: Autor.

3.4.4 Sockets de conexión para cables de fuerza

Para conectar los cables tanto de alimentación del motor como de salida de voltaje del alternador AC; se usaron conectores macho y hembra e 16 amperios de tres t cuatro pines los cuales están diferenciados de manera obvia por colores. El azul es para conectar los cables de voltaje de alternador AC y el rojo para alimentar con voltaje al motor eléctrico.

Se ha seleccionado la unidad de mantenimiento de la marca Porten que cuenta con un filtro lubricador evitando el ingreso de agua e impurezas que puedan ingresar y ocasionar daños como la oxidación en los diferentes actuadores, también cuenta con manómetro que permitirá verificar la presión que se distribuirá, puede recibir una presión de hasta 220 psi.

Figura 12 Sockets

Fuente: Autor.

3.4.5 Simulación de carga del módulo.

Para la simulación de carga del módulo de sincronismo, se utilizaron 4 lámparas o focos de 110 VAC cada uno, pero dos son de diferente potencia, comprendiendo en 2 de filamento de 100 watts y 2 leds de 15 watts. Cada foco se accionará con un interruptor simple sobrepuesto para encenderlos. Cada foco e interruptor se conectaron a plugs tipo banana para realizar las diferentes pruebas.

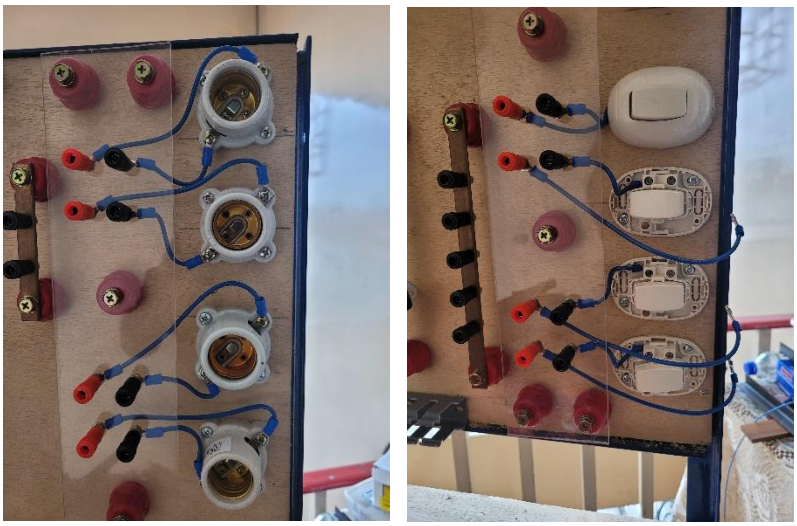


Figura 13 Cargas Resistivas (Lámparas)
Fuente: Autor.

3.2.6 Conexiones de prueba

Para realizar los diferentes tipos de conexiones para simular el sincronismo, se instalaron conectores tipo banana en cada elemento de control y fuerza del módulo, así mismo se instaló dos tomas de fuerza tanto de Red como de Generación para alimentar los elementos de control y operación de la parte de sincronismo, exceptuando la alimentación del variador, el control del variador, los sockets de alimentación del motor y de entrada de voltaje desde el alternador y los breacker de protección. Esto con la finalidad de una conexión segura y de manera rápida los diferentes elementos de control y fuerza eléctricos, con el objetivo de que los estudiantes logren realizar las conexiones en el menor tiempo y así lograr una conexión segura.

3.4.6 Conexiones del Variador de frecuencia

Para el control del variador del motor eléctrico, se optó por una configuración rápida programada en el mismo, teniendo como nombre especifico Macro de conexión Cn007, el cual consiste en conectar en la bornera de conexión del variador los pulsadores de marcha y paro, junto al potenciómetro que ayudara a variar la velocidad del motor para conseguir la frecuencia necesaria para el sincronismo. Se conecto tal y como se muestra en la figura siguiente, con la única excepción que no se conecto la señal de arranque en sentido inverso del motor, la señal de confirmación de fallo, señal de velocidad, testigo de funcionamiento y testigo de fallo, ya que lo único necesario para la operación es que el motor arranque y se

detenga con solo presionar los pulsadores y además del potenciómetro para regular la velocidad, siendo así la configuración mas optima para el trabajo requerido.

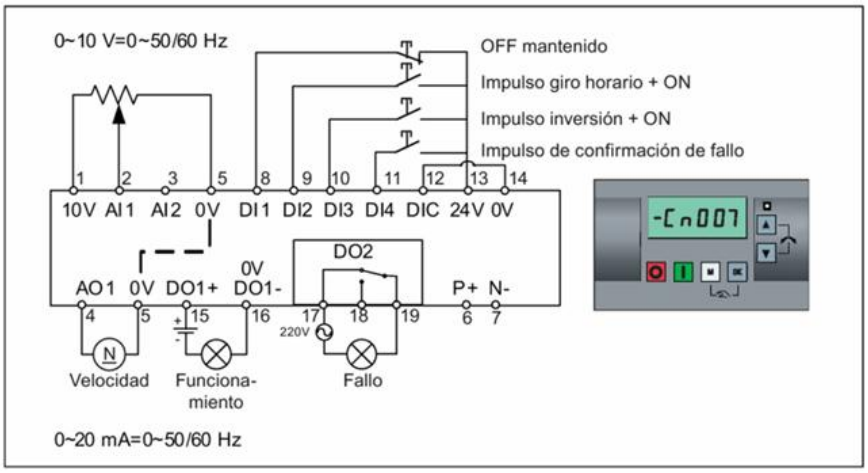


Figura 14 Conexión de variador.
Fuente: Manual SIEMENS.

3.4.7 Pulsadores de paro, marcha y sincronismo

Para operar tanto el variador como el control para apertura y cierre del contactor de sincronismo, se instaló pulsadores. Para marcha del motor y para cierre de contactor y para paro de motor y apertura de contactor de color rojo. Se optó por colocar pulsadores de la marca Sassin.

Figura 14 Botoneras paro y marcha
Fuente: Autores.

3.4.8 Frecuencímetros analógicos

Se instalaron frecuencímetros de aguja o análogos para el proyecto. El total 2 frecuencímetros, uno para red y otro para generador. Los cuales fueron calibrados de manera

previa conectándolos a la fuente de red para que ambos midieran lo más exactamente posible para evitar problemas de sincronismo.

Figura 15 Frecuencímetro analógico

Fuente: Autores.

3.4.9 Voltímetros digitales

Se instalaron dos voltímetros digitales de 80 a 300 VAC, uno para medición de red y otro para medición de generador. Estos servirán para que los estudiantes al momento de encender el módulo tengan la medición real del voltaje que está conectado en ambas fuentes y de esa manera evitara alguna mala maniobra.

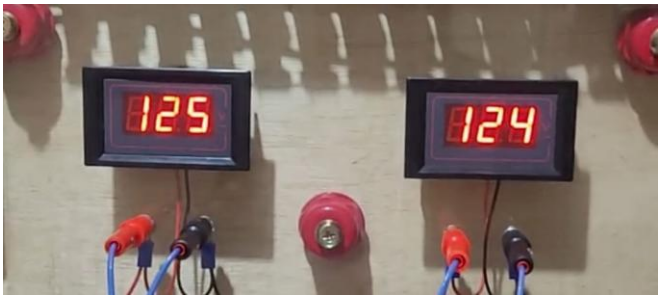


Figura 16 Voltímetros digitales

Fuente: Autor.

3.2 Amperímetros digitales

Para la medición de carga tanto de red como de generador, se instalaron 2 medidores de corriente o amperímetros digitales con sus respectivos transformadores de corriente ubicados en la barra de línea de cada bus de carga.

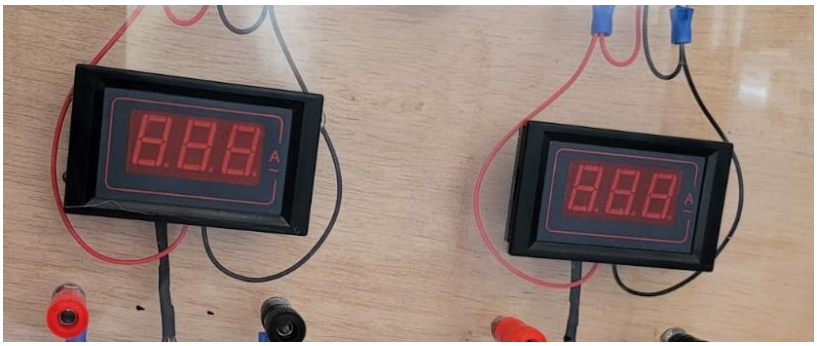


Figura 17 Amperímetros digitales

Fuente: Autor.

3.2 Montaje de los elementos eléctricos en el módulo didáctico

Como se utilizó un panel de madera como plafón para el módulo, los elementos se atornillaron directamente al panel de madera.

Estos elementos se montaron después de elegir la mejor ubicación para cada uno, de manera que sea más fácil y practico de maniobrar para cada estudiante del ISTER, realicen sus prácticas en el módulo didáctico.

3.8.1 Armado de panel de instrumentos de medición

Los instrumentos de medición que se utilizaron para el módulo, se los adoso primeramente en una plancha de acrílico transparente de 5 milímetros de espesor de manera que esta pueda ser desmontada en caso de avería o fallo, esta plancha con los instrumentos fue montado sobre aisladores tipo barril de 30 mm para así asegurar la aislación de las conexiones a los plugs tipo banana donde el estudiante conectara los cables para realizar sus prácticas.

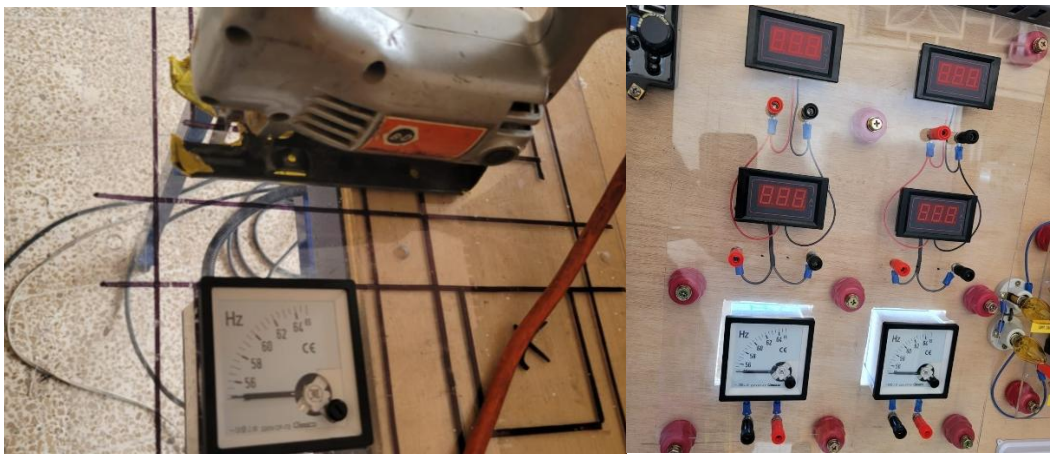


Figura 18 Panel de instrumentos

Fuente: Autor.

3.8.2 Armado de contactor de sincronismo y lámparas de sincronismo

Se coloco el contactor atornillado al tablero junto a las lámparas de sincronismo que fueron conectadas en serie, las mismas que trabajan con un voltaje de 220 cada una. De la misma manera en que se instalo el panel de instrumentos, se fabrico una plancha de acrílico con un rectángulo en medio donde pasara el contactor. Se colocaron plugs banana para conectar la alimentación de la bobina del contactor, un contacto auxiliar y 2 contactos de fuerza del mismo. Y a un costado del contactor, en la placa de acrílico, se colocaron los plugs que alimentan las lámparas que están en serie que indican el momento para sincronizar.

Aprovechando su cercanía a las barras de carga de generador y de red, se instaló también los plugs que conectan los transformadores de corriente ubicadas en cada barra (una por barra de cada fuente) para poder conectar las mediciones de cada transformador a su amperímetro digital.

Esta placa fue montada sobre asoladores tipo barril de 30 mm.

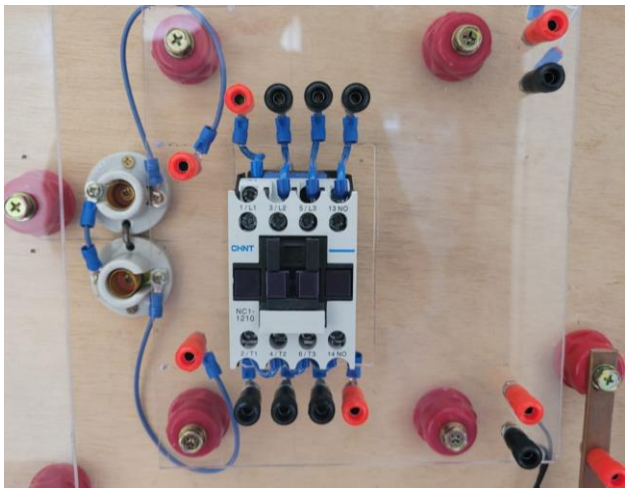


Figura 19 Contactor y lampara de sincronismo

Fuente: Autor.

3.8.3 Colocación de tomas de conexión de alimentación de cada fuente

Para esta parte, se instalo en las tapas de 2 cajas de paso eléctricas, tres pares de plugs bananas, las cuales cada par son roja y negra, siendo las rojas la fase y las negras el neutro.

Internamente las rojas fueron conectadas en serie al igual que las negras, se instalaron cerca de las barras de carga de cada fuente para poder maniobrar sin mayor recorrido entre puntos de conexión.

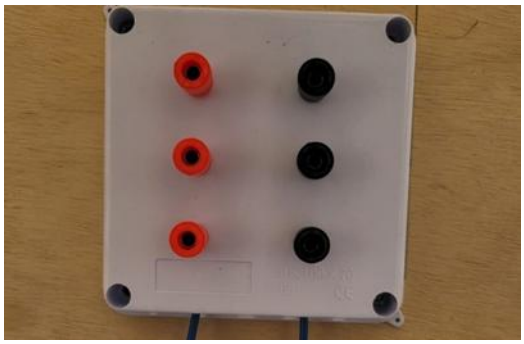


Figura 20 Tomas de conexión.

Fuente: Autor.

3.2 Instalación de tarjeta reguladora de alternador AC

Para tener mayor control sobre el voltaje de salida del alternador, se opto por instalar la tarjeta electrónica de regulación en el tablero de madera con tornillos. A si mismo se extendieron los cables de control de la reguladora hasta los sockets ubicados en el alternador. Para ello se realizo empalmes con soldadura con estaño para garantizar el correcto funcionamiento del mismo. De esta manera el estudiante podrá regular el voltaje de salida del alternador para lograr realizar el sincronismo sin mayor complicación, ya que es necesario que los voltajes de ambas fuentes estén similares en todo tiempo.

Figura 21 Regulador de voltaje de generador

Fuente: Autor.

3.9.1 Interruptores termomagnéticos

Se instalo tres interruptores termomagnéticos en el módulo. Uno de 3 polos 20 amperios que se encarga de la función de interruptor principal para todo el módulo, el segundo de 10 amperios encargado de alimentar el variador de frecuencia que a su vez alimenta el motor

eléctrico y el tercer interruptor de 10 amperios, está encargado de la función de interruptor principal de voltaje de generación.

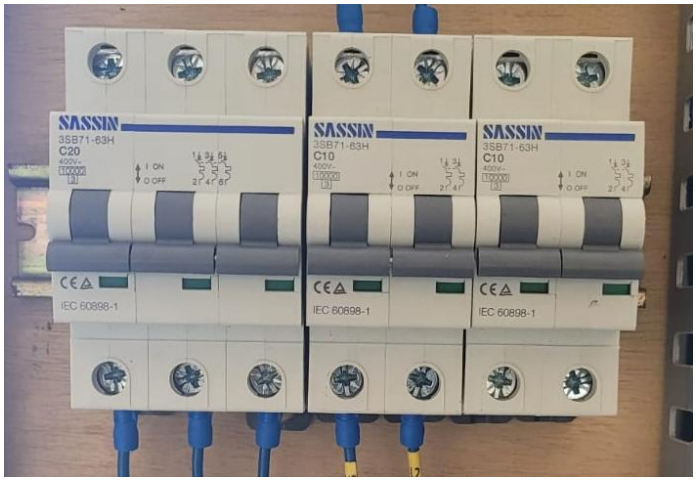


Figura 22 Interruptores termomagnéticos

Fuente: Autor.

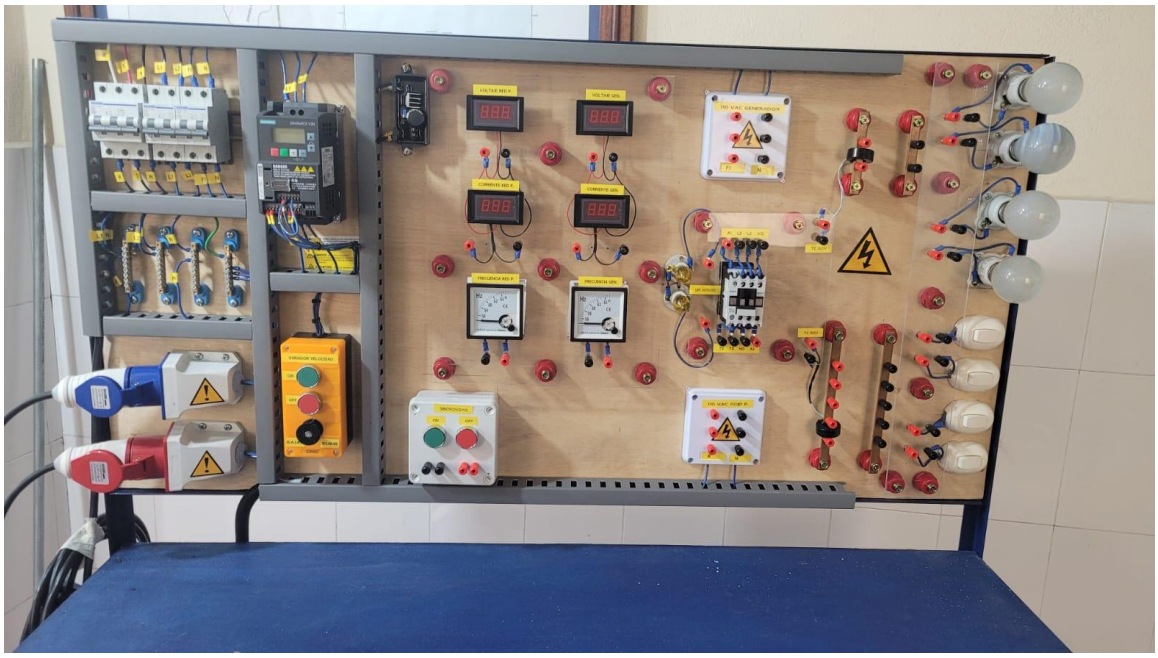


Figura 23 vista general de Modulo Didáctico

Fuente: Autor.

Figura 24 vista general de Modulo Didáctico

Fuente: Autor.

Figura 25 vista general de Modulo Didáctico

Fuente: Autor.

CAPITULO IV

PRUEBAS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de realizar las pruebas correspondientes, se colocó las líneas de conexión en cada elemento del módulo. Se utilizo las tomas de alimentación como se mostró en la figura 20. Se conecto voltímetros, amperímetros, frecuencímetros, lámparas de sincronismo, contactor de sincronismo, y las luces de carga con su respectivo interruptor.

En las pruebas que se realizaron en el módulo didáctico de sincronización, primeramente, se verifico el correcto funcionamiento del generador como tal. Para ello se empezó con la activación del variador y se inicio el funcionamiento del motor que impulsa el generador. Luego se acelero el motor hasta que los instrumentos empezaran a marcar sus valores correspondientes como frecuencia y voltaje. Una vez alcanzado el valor de frecuencia de 60 Hz, se regulo voltaje de salida a 124 vac, como se puede apreciar en la figura 26.

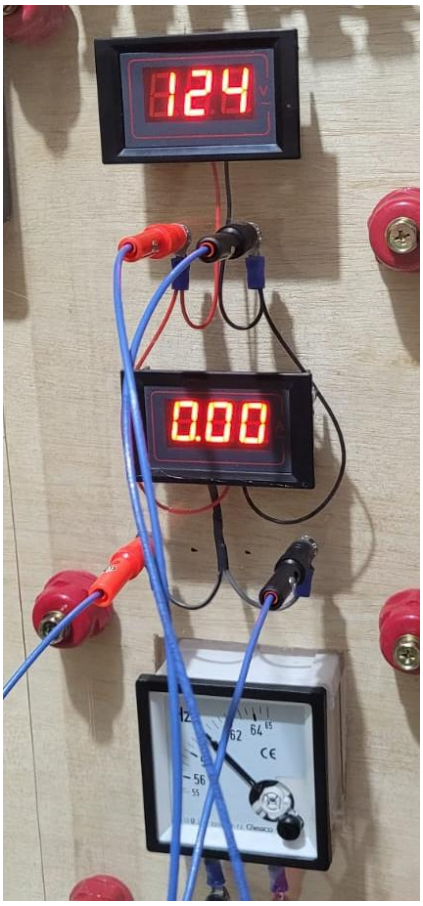


Figura 26 vista general de voltaje y frecuencia de Gen

Fuente: Autor.

Luego de realizada la verificación de operación correcta del generador, se procedió a operar primeramente con la red pública, simulando carga con los focos de 100w. durante pruebas se evidencio que el voltaje era estable junto a la frecuencia y la carga máxima de la carga era de 3.38 Amp. Datos que se puede observar en la figura 27 a continuación.

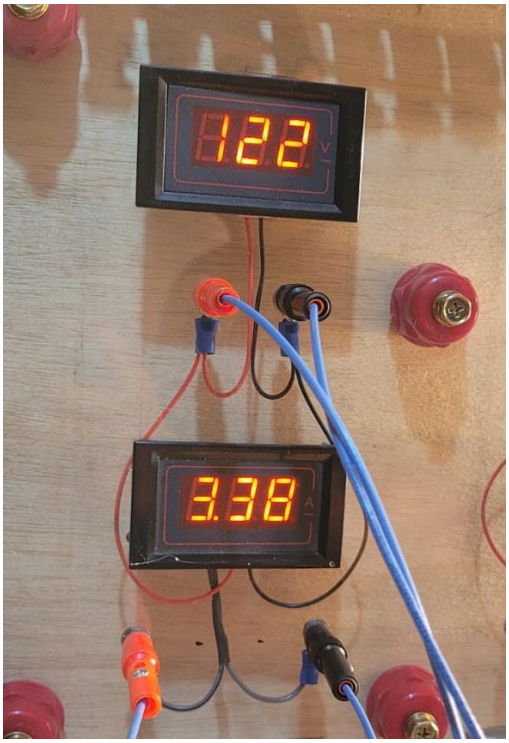


Figura 27 vista general de mediciones de voltaje y carga

Fuente: Autor.

Una vez terminada la prueba de carga solamente con red pública, se procedió a realizar la prueba de carga solo con generación, de modo que cuando se encendió cada foco para simular carga, usando solamente tres focos. Luego de encender el primer foco, la frecuencia bajo a 59.5 Hz, mientras que el voltaje se mantenía y la corriente marco 0.79 amp. Al encender el segundo foco, la frecuencia descendió a58 Hz, el voltaje bajo a 121 voltios y la corriente subió a 1.6 amp. Al encender la tercera lampara el voltaje descendió a 102 voltios, la frecuencia bajo al mínimo del indicador y la corriente subió a 2.13 amp. y Luego de haber apagado los focos de carga, el generador recuperó su voltaje y su frecuencia hasta los valores nominales. Prueba que le puede apreciar en las siguientes figuras:

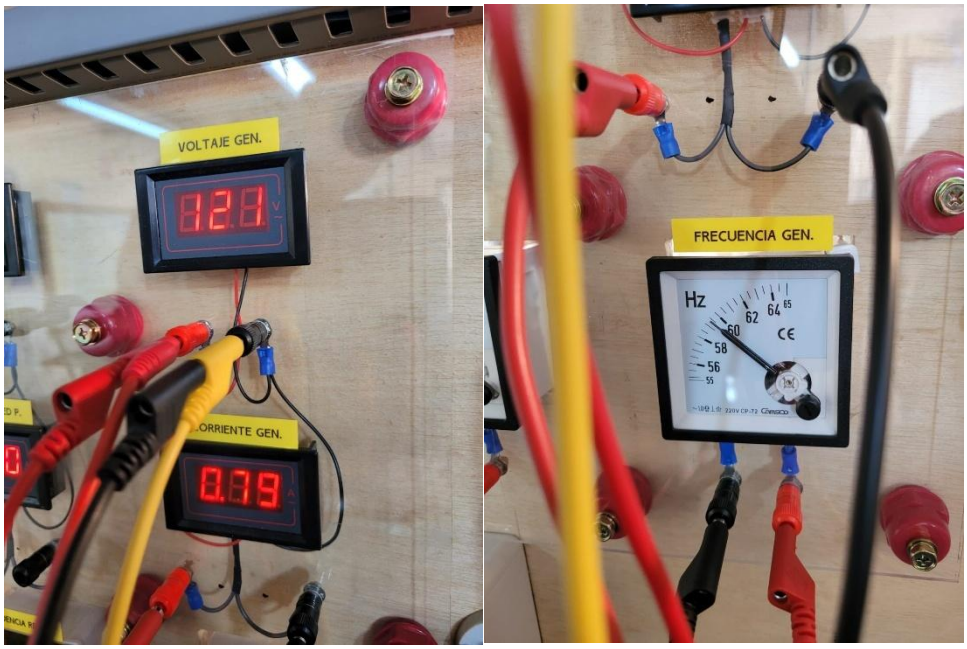


Figura 28 Pruebas con carga de generación 1 foco

Fuente: Autor.

Figura 29 Pruebas con carga de generación 2 focos

Fuente: Autor.

Figura 29 Pruebas con carga de generación 3 focos

Fuente: Autor.

Para el proceso de sincronización, luego de haber culminado las pruebas de manera individual. Se procedió a encender el generador hasta alcanzar las revoluciones necesarias para obtener los 60 Hz de frecuencia y los 124 voltios entre línea y neutro, los cuales son los valores que están presentes en la red pública en ese momento.

Luego de haber realizado la regulación necesaria, la lampara de sincronismo esta en modo parpadeante y dependiendo de la velocidad a la que este girando el generador, se comienza a calibrar la velocidad del generador para que la intermitencia de las lámparas sea lo menor posible o lo mas lento posible. Ya después de haber obtenido el resultado deseado, se espero que las lámparas se apagaran totalmente, indicando que en ese momento se puede realizar el sincronismo del generador a la red pública. En ese momento se presiono el pulsador para activar el contactor de sincronismo, comenzando a operar el modulo didáctico con red y generador acoplados en común por el sincronismo.

Figura 30 Vista general de Lámparas de sincronismo

Fuente: Autor.

Como se logra apreciar en la figura 30, se observa que las lámparas están totalmente apagadas y el contactor de sincronismo cerrado, dando a entender que el sincronismo se llevó a cabo.

Luego de esto, se encienden cada una de las lámparas una a una y se comprueba que, al estar el generador sincronizado con la red, el voltaje y la frecuencia no varían en el generador, dando a entender que el sincronismo funciona de manera correcta, como se puede observar en la figura 31.

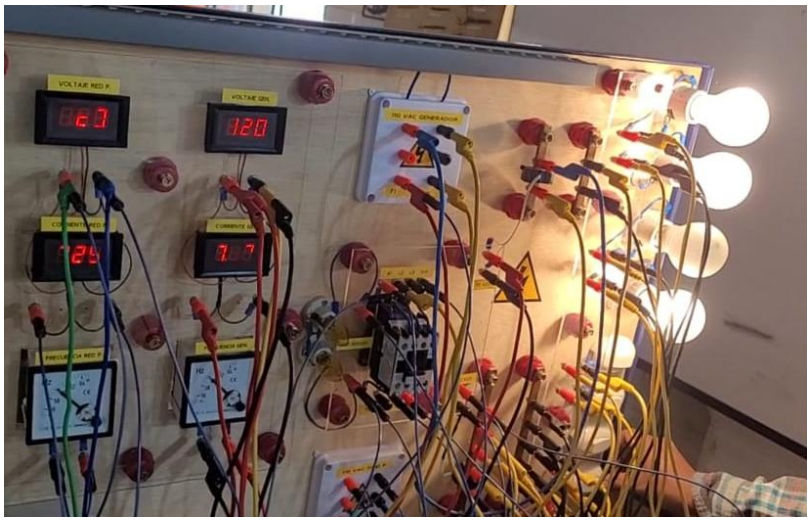


Figura 31 Vista general de sincronismo con carga encendida

Fuente: Autor.

Durante las pruebas se controló parámetros de voltaje y temperatura, dando como resultado un sincronismo sin mayor inconveniente.

Después de abrir el contactor de sincronismo, las lámparas volvieron a parpadear de la misma forma de cuando se buscaba la misma secuencia para sincronizar.

El resultado final fue un modulo de sincronismo operativo y manejable que logra cumplir su función según lo esperado y logrado durante las pruebas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir el tema del modulo didáctico de un sistema de sincronización monofásico, se tiene lo siguiente:

- El proyecto cumple la principal característica por lo que fue diseñado, el de otorgar a los estudiantes un sistema practico de un sincronismo. Permitiendo la operación netamente manual.
- Se evidencio por medio de simulaciones con el módulo didáctico que las plantas de generación pueden aportar una considerable potencia extra a las instalaciones cuando la demanda supera lo instalado en el transformador.
- En base a las practicas obtenidas en un sistema monofásico, para lograr un mayor entendimiento de un sistema de sincronización, se necesita implementar módulos con redes trifásica para obtener mayores datos y comprender más los sistemas de sincronismo que se manejan en la distribución del país.
- Es necesario implementar nuevos módulos de sincronismo en base al ya elaborado, con sistemas más avanzados y electrónicos como sincronoscopio o los módulos de sincronismo de DEEP SEA, LOVATO u otra marca que cumpla las funcionalidades para realizar sincronismo.
- Se recomienda que durante la operación con el modulo didáctico, los estudiantes tengan sus equipos de protección personal como guantes y gafas, en buen estado y usándose en todo momento de la práctica.
- Para evitar accidentes durante la modificación de cableado, es necesario apagar el mismo para no recibir ninguna descarga eléctrica y proteger de daños los equipos que lo conforma.
- Operar de manera segura evitando acercarse demasiado al acople de motor y alternador por banda, ya que puede haber atrapamiento y ocasionar lesiones considerables.

BIBLIOGRAFIA

Valenzuela Santillán, A. D. (2013). *Sincronoscopio virtual para un sistema multimáquina del laboratorio de sistemas eléctricos de potencia* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013).

Coello Coello, L. F. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA PRÁCTICAS DE SINCRONIZACIÓN MANUAL DE UN GENERADOR ELÉCTRICO PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MALPASO*.

Sosa, M. (2017). Impacto de los esquemas de sincronismo en los transformadores principales de la Central Hidroeléctrica "Ing. Carlos Ramírez Ulloa". *Ingenierías*, *20*(74), 51.

Latacunga Pilatasig, J. S., & Tonato Toainga, E. R. (2022). *Análisis y monitoreo de operación de sincronismo de los generadores de baja potencia* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Standby, P. (1999). Specification Sheet.

Cachago Yanacallo, K. E. (2017). Diseño e implementación del sistema de control para los tableros de sincronismo eléctrico y tableros de transferencia automática del sistema de distribución de baja tensión del Hospital Estándar de 200 camas Esmeraldas (Bachelor's thesis, Quito, 2017.).

Variador de velocidad: Qué es y para qué sirve. (2023, septiembre 27). SDI. https://sdindustrial.com.mx/blog/para-que-sirve-un-variador-de-velocidad/

(S/f). Researchgate.net. Recuperado el 8 de septiembre de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/28797238_Diseno_Y_Construccion_De_Un_Tablero_Didactico_Para_El_Laboratorio_De_Maquinarias_Enfocado_A_La_Ensenanza_De_Practicas_Con_Motores_Especificamente_Para_El_Control_Del_Proceso_De_Sincronizacion_De_Gene

Illesca Cangalaya, E. M. (2019). Diseño de un sistema de sincronismo automático para una central térmica de 4.5 MW con 3 grupos electrógenos en un proyecto minero del sur del Perú.

Arreaga León, E. G., & Torres Rivas, N. E. (2024). Sincronismo de un Generador Trifásico de 1MVA 480V Linea-Linea MCI con la red Pública de Distribución de Electricidad CNEL EP (Bachelor's thesis).