

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

REPOTENCIACIÓN DE LOS MÓDULOS DEL LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS INSTRUMENTAL CON ACCIONADORES DE POTENCIA Y MOTORES

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

KEVIN MAURICIO DE LA CRUZ CHANCUSIG

kevin.delacruz@epn.edu.ec

VERONICA LIZETH GUANOQUIZA CACHUPUD

veronica.guanoquiza@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PABLO ANDRÉS PROAÑO CHAMORRO

pablo.proano@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Agosto, 2019

DECLARACIÓN

“Nosotros, Kevin Mauricio De la Cruz Chancusig y Veronica Lizeth Guanoquiza Cachupud, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación –COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda la información técnica pertinente. En el caso que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente”.

Con sentimiento de distinguida consideración.

Atentamente,

Kevin Mauricio De la Cruz Chancusig

Veronica Lizeth Guanoquiza Cachupud

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Kevin Mauricio De la Cruz Chancusig y Veronica Lizeth Guanoquiza Cachupud, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Andrés Proaño Chamorro

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Carlos Orlando Romo Herrera

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia en especial a mi madre, Mercedes y mi hermano, Jordan, por ser un apoyo incondicional durante toda mi formación profesional.

A mis compañeros, que me enseñaron a valorar una amistad grata y sincera durante esta etapa de mi vida como estudiante.

A los Ingenieros, que gracias a su dedicación por la enseñanza impartieron buenos cimientos para emprender una vida profesional llena de responsabilidad y valores.

Kevin De la Cruz

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi madre, Mercedes, quien supo guiarme en todo mi camino como estudiante inculcándome buenos valores y ética profesional.

Kevin De la Cruz

AGRADECIMIENTO

A Dios por mi familia y amigos, apoyándome a lo largo de la carrera. A mi madre, su amor y fortaleza han logrado que hoy sea una persona llena de valores y principios, capaz de tomar sus propias decisiones y ser responsable de las consecuencias, su esfuerzo y apoyo día a día por mi educación, se reflejan al obtener mi título universitario, no lo logre sola, todo ha sido por y para ella. A mi hermana, por escucharme siempre, por sus consejos y palabras que aclaran mi mente, por tantas risas y experiencias compartidas. A mis mejores amigas Enma y Alexandra, por tantos años contando con su amistad única y sincera, mi refugio y fuerza en los problemas más difíciles.

Verónica Guanoquiza

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación, dedicado a quienes contribuyeron con mi formación académica, instituciones educativas de las que con orgullo forme parte, profesores e ingenieros que impartieron sus conocimientos con esmero y dedicación, finalmente culmino con un ciclo más de estudio después de compartir tantas horas en un salón de clases. Gracias por su ayuda incondicional.

Verónica Guanoquiza

ÍNDICE DEL CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Antecedentes	3
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1 Descripción de la metodología	7
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	9
3.1 Estudio de los requerimientos del laboratorio.....	10
3.2 Construcción de los módulos de señalización, accionamiento y maniobra	11
3.3 Pruebas y análisis de resultados	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
4.1 CONCLUSIONES.....	34
4.2 RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA.....	36
ANEXOS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Motor Siemens Jaula de Ardilla	3
Figura 1.2 Relé de Protección Térmico.....	4
Figura 1.3 Variador de Frecuencia.....	4
Figura 1.4 Guarda-motor Sirius Innovatios	5
Figura 1.5 Relé encapsulado y base.....	6
Figura 1.6 Pulsador Camsco.....	6
Figura 1.7 Selector de 3 posiciones Camsco.....	6
Figura 1.8 Luz piloto Camsco	6
Figura 3.1 Módulos contruidos	9
Figura 3.2 Módulo de señalización	11
Figura 3.3 Módulo de accionamiento	13
Figura 3.4 Módulo de maniobra: a) Selector de tres posiciones y b) Pulsadores	16
Figura 3.5 Módulo del motor	19
Figura 3.6 Curva de funcionamiento corriente-tiempo	22
Figura 3.7 Conexión eléctrica del módulo del motor	24
Figura 3.8 Módulo del variador de frecuencia	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Elementos del Laboratorio de Tecnología Industrial.	10
Tabla 3.2.	Rango de operación luz piloto Camsco.....	12
Tabla 3.3.	Especificaciones de relé electromagnético.	15
Tabla 3.4.	Parametros de opeación del relé electromagnético.	18
Tabla 3.5.	Criterios para seleccionar el motor.....	20
Tabla 3.6.	Rango de trabajo del motor.....	21
Tabla 3.7.	Datos de placa del motor.	21
Tabla 3.8.	Dimensiones módulo del motor.....	23
Tabla 3.9.	Parámetros para selección del variador.	25
Tabla 3.10.	Placa de datos variador de velocidad.	26
Tabla 3.11.	Descripción de los bornes del variador.	26
Tabla 3.12.	Dimensiones módulo del variador.	27
Tabla 3.13.	Verificación de módulos de señalización, maniobra y accionamiento...	29
Tabla 3.14.	Verificación de módulos de motores.	30
Tabla 3.15.	Verificación de resistencias y corrientes del motor.	30
Tabla 3.16.	Verificación módulo variador de frecuencia.....	31
Tabla 3.17.	Prácticas utilizando LOGO.	32
Tabla 3.18.	Funcionamiento por señal análoga y digital del variador de frecuencia.	32

RESUMEN

El presente proyecto de titulación “REPOTENCIACIÓN DE LOS MÓDULOS DEL LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS INSTRUMENTAL CON ACCIONADORES DE POTENCIA Y MOTORES”, se proyecta a una mejora de las prestaciones del Laboratorio de control y análisis instrumental de la ESFOT-EPN nombrado actualmente LTI “Laboratorio de Tecnología Industrial”, fomentando una formación académica acorde al desarrollo tecnológico familiarizando a los estudiantes con técnicas de control en procesos industriales. El proyecto se conforma de 4 capítulos.

En el primer capítulo, se da a conocer una breve introducción, la identificación del problema y los objetivos planteados para cumplir con el proyecto además, se explica el por qué y los aspectos logrados durante el tiempo que duró su ejecución.

En el segundo capítulo, se describe el método que se empleó para cumplir con los objetivos planteados a partir del estudio realizado en el LTI. También, se describe las operaciones realizadas para evidenciar los resultados esperados del proyecto.

En el tercer capítulo, se da a conocer el estudio realizado previo a la ejecución del proyecto y la construcción de los módulos de señalización, accionamiento y maniobra. También, se describe las características de los elementos utilizados en cada módulo, la selección del material para su fabricación y las pruebas realizadas que permitieron evidenciar el correcto funcionamiento de cada módulo.

En el cuarto capítulo, se redacta las conclusiones y las recomendaciones adquiridas en la realización y verificación de funcionamiento de los módulos.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación se refiere a la “REPOTENCIACIÓN DE LOS MÓDULOS DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL”, mismo que está compuesto por 24 módulos de señalización, accionamiento y maniobra además, de 2 motores y un variador de velocidad siemens ubicados en el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT-EPN y funcionando aproximadamente hace 1 año. El proyecto está valorado alrededor de 900 dólares y pretende contribuir a la formación práctica de los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica, permitiéndoles manipular, controlar y programar dispositivos propios de un ambiente industrial.

1.1 Definición del problema

El tecnólogo debe poseer una sólida formación académica, humanística, conceptual y práctica, en el manejo y supervisión de equipos industriales procurando aportar en el desarrollo del país (Edgar A.Salazar Marín, 2010).

Pese a que la ESFOT contaba con un laboratorio de control, actualmente denominado “Laboratorio de Tecnología Industrial” el trabajo de los estudiantes resulta ostentoso por la existencia de un solo motor, limitando el aprendizaje práctico de los estudiantes y la posibilidad de trabajar con sistemas que usen varios motores a la vez, como: Plantas multiprocesos y Control secuencia de motores (Higuera, 2005).

Además, las prácticas realizadas por los estudiantes son condicionadas por el número de elementos de maniobra y visualización que dispone el laboratorio, debido a que en la creación del laboratorio se dimensionaron las mesas de trabajo para cumplir con las necesidades básicas de los estudiantes, sin embargo, para realizar prácticas de mayor dificultad que se adaptan de mejor manera a aplicaciones industriales reales es necesario contar con un mayor número de módulos que emulen procesos industriales.

Esta situación afecta directamente a la formación de los estudiantes de las carreras de tecnología en Electromecánica y Electrónica y Telecomunicaciones, específicamente en las prácticas de las materias de Control 1 y Control 2.

Ante esta realidad el presente proyecto propuso expandir los accionadores de potencia como: mandos de control, módulos de maniobras, módulos de visualización, protecciones y motores del laboratorio de acuerdo al desarrollo tecnológico en un ambiente industrial y elaborar las prácticas respectivas.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Repotenciar los módulos del Laboratorio de Tecnología Industrial con accionadores de potencia y motores.

Objetivos específicos

- Estudiar los requerimientos del Laboratorio de Tecnología Industrial.
- Construir los módulos de maniobra, señalización y accionamientos.
- Acondicionar los motores de inducción trifásicos.
- Realizar pruebas y Análisis de resultados.
- Implementar las prácticas propuestas.

1.3 Justificación

Este proyecto beneficia a los estudiantes de la ESFOT y a sus futuras generaciones, principalmente de la carrera de Tecnología en Electromecánica porque cuentan con módulos prácticos de maniobra, señalización y control que ayudan a desarrollar los conocimientos teóricos adquiridos por medio de la repotenciación propuesta para el Laboratorio de Tecnología Industrial realizando prácticas de mayor complejidad, implementando diversas configuraciones de control para motores con nuevas prácticas dirigidas como:

- Control de velocidad de un motor de inducción en lazo abierto con un variador de frecuencia.
- Control Programable y Electromecánico para Motores.
- Monitoreo de un Generador Eléctrico.

Con lo cual, la ESFOT contará con el equipamiento permitiendo simular el trabajo en el laboratorio con las actividades de la industria, además los indicadores de acreditación de carreras podrán mejorarse en el ámbito de infraestructura.

1.4 Antecedentes

Dentro del estudio técnico realizado se contemplaron las siguientes definiciones:

- **Motor eléctrico**

Máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas al circular corriente alterna en sus bobinados provocando la fuerza de atracción y repulsión entre los campos magnéticos asociados produciendo el movimiento (Harper, 2004). Se observa en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Motor Siemens Jaula de Ardilla
(Industry, 2018)

- **Relés de protección**

Los relés son dispositivos eléctricos que monitorean permanentemente el comportamiento de una magnitud eléctrica como: voltaje, corriente, frecuencia o magnitud física como: temperatura, presión velocidad, etc. (Torres, 2013). Su accionamiento se efectúa en el instante que la variable controlada supera el rango previamente fijado de operación normal. Se observa en la Figura 1.2.



Figura 1.2 Relé de Protección Térmico
(DRA., 2018)

- **Variador de frecuencia**

Permite variar la frecuencia de la onda de alimentación con un bajo consumo de energía y mejorar el control de procesos de producción, reduciendo el mantenimiento de motores bajo óptimos parámetros de funcionamiento.

La frecuencia se logra variar con ayuda de dos etapas en serie. La primera etapa llamada rectificadora que consigue transformar la corriente alterna en continua y la segunda etapa llamada inversora que transforma la corriente continua en alterna con ayuda de un circuito intermedio para lograr una frecuencia y tensión regulable. (Variadores de frecuencia, 2015). Se observa en la Figura 1.3.



Figura 1.3 Variador de Frecuencia SINAMICS V20
(SIEMENS, 2013)

- **Guarda-motor**

Es un elemento de protección eléctrica que se encarga de proteger al motor de sobrecargas o cortocircuitos. El guarda-motor sensa la corriente la corriente de consumo del motor y si ésta sobrepasa la corriente nominal se activará el dispositivo de protección abriendo los circuitos o los contactos de fuerza protegiendo así al motor. Se observa en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Guarda-motor Sirius Innovatios (S.A., 2018)

Sistema de control

Sistema que controla un proceso de forma manual con intervención del operador humano o de forma automática reemplazando al operador humano (S., 2017).

Elementos comunes que constituyen los módulos de control:

- Accionadores: Relés encapsulados. Se observa en la Figura 1.5.
- De maniobra: Selectores de 3 posiciones y pulsadores. Se observa en la Figura 1.6 y 1.7 respectivamente.
- De señalización: Luces piloto. Se observa en la Figura 1.8.



Figura 1.5 Relé encapsulado y base
(Mejía, 2018)



Figura 1.6 Pulsador Camsco
(Mejía, 2018)



Figura 1.7 Selector de 3 posiciones Camsco
(Mejía, 2018)



Figura 1.8 Luz piloto Camsco
(Mejía, 2018)

2. METODOLOGÍA

La ampliación de los módulos y motores del Laboratorio de Tecnología Industrial, se realizó mediante una investigación aplicada tomando en cuenta los protocolos y estándares existentes a nivel internacional de acuerdo a la IEC “Comisión Electrotécnica Internacional”.

2.1 Descripción de la metodología

Se realizó el estudio técnico de los elementos existentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial, con el fin de determinar los elementos que eran necesarios para complementar el aprendizaje de los estudiantes.

Además, se estimó el presupuesto de los elementos que se adquirieron, tratando de mantener la igualdad o semejanza con los elementos que cuenta el laboratorio basándose en el catálogo Siemens. (Catálogo SIEMENS, 2018).

Se cortó, perforó y pintó las placas de acuerdo al diseño adoptado en el laboratorio de tecnología industrial para los diferentes módulos existentes. Posteriormente se ensambló los módulos de señalización, accionamiento y maniobra mediante la colocación de los elementos respectivamente, además se realizó la conexión eléctrica de cada módulo.

La ampliación de los mandos de control se realizó acorde a la norma IEC “Comisión Electrotécnica Internacional” (Instrumentación y Control) (Schneider).

Se modificó la conexión de fábrica de los motores, por una conexión externa para realizar el cambio de la configuración estrella a delta de los mismos. A cada motor se le añadió el guarda-motor correspondiente que lo protege contra cortocircuitos o sobrecargas. Para lo cual se tomó como guía el módulo existente en el laboratorio y la norma IEC 60947 – 5 – 1: Unidades de mando y señalización (Schneider) (Molina, 2009).

Se realizó también la conexión de un variador de frecuencia y su respectiva configuración para controlar el motor.

Se realizaron las pruebas correspondientes para comprobar el funcionamiento de los motores y de sus elementos de protección. De la misma forma, se comprobó el funcionamiento del variador de frecuencia y se tomaron los datos correspondientes que caracterizan el comportamiento y operación del variador.

Además, se verificó el comportamiento de cada módulo. Los módulos de señalización mediante el encendido y apagado de las luces indicadoras, los módulos de accionamiento mediante la conmutación del relé y los módulos de maniobra se comprobaron mediante el accionamiento manual de pulsadores y selectores.

Las prácticas se realizaron simulando un problema de automatización con un grado de complejidad en lógica cableada y lógica programada, utilizando diferentes elementos de control como: temporizadores, relés térmicos y la programación en logo con formato LADDER y FBD "Function Block Diagram"; acorde a la materia y al formato aplicado a las prácticas existentes. Las prácticas se observan en el Anexo B.

Adicionalmente las prácticas se realizaron mediante criterios de programación básica (Bahón, 2004) para que el estudiante sea capaz de diseñar una solución contemplando todos los temas posibles de un sistema de control.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Figura 3.1 se muestran e identifican los módulos construidos, que se encuentran en el LTI “Laboratorio de Tecnología Industrial” y complementan la formación de los estudiantes.

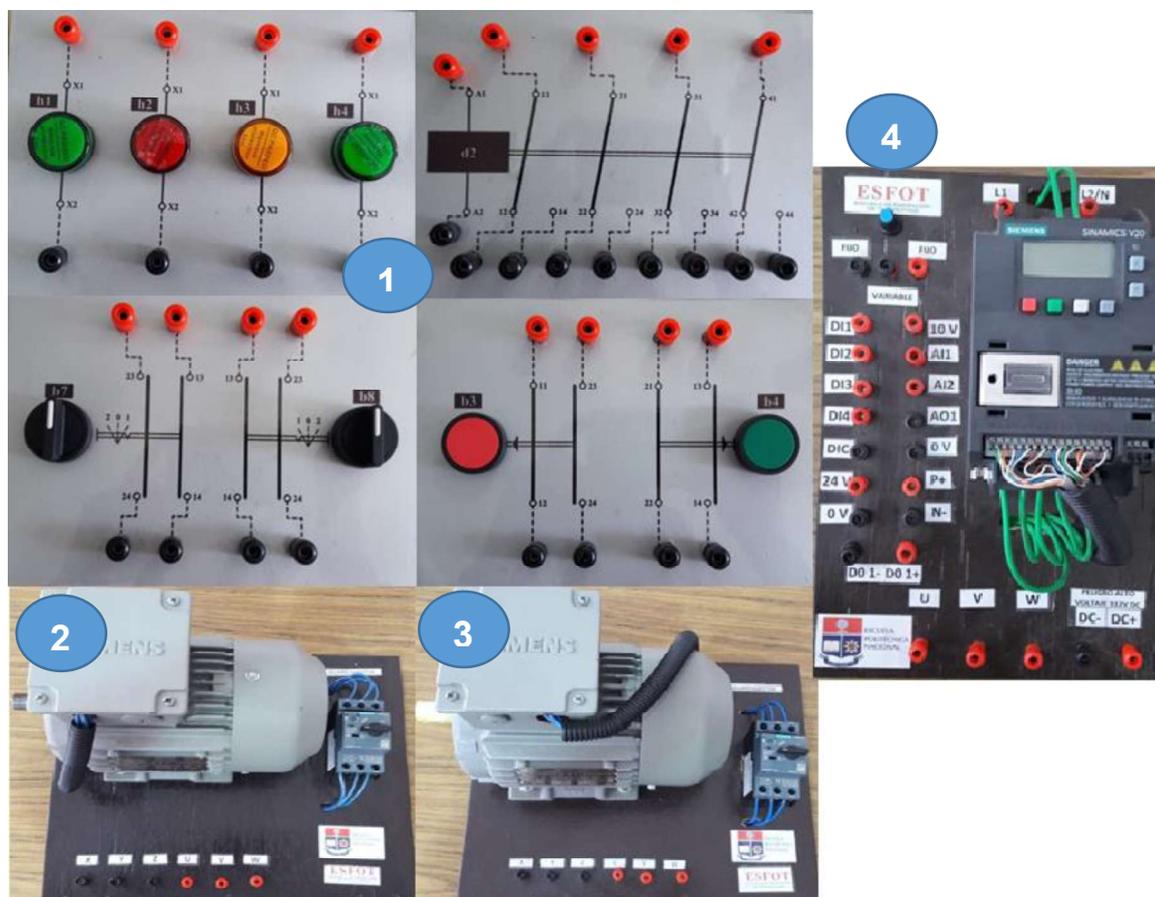


Figura 3.1 Módulos construidos
(Autoría propia)

1. Módulos de elementos de señalización, accionamiento y maniobra.
2. Módulo de motor SIEMENS con guardamotor.
3. Módulo de motor SIEMENS con guardamotor.
4. Módulo de Variador de frecuencia SINAMICS V20 SIEMENS.

3.1 Estudio de los requerimientos del laboratorio

Se realizó el estudio de las instalaciones y elementos disponibles del Laboratorio de Tecnología Industrial, mediante entrevistas realizadas al personal a cargo de las instalaciones elaborando un listado de los elementos principales que constituyen el laboratorio como se obtuvo la Tabla 3.1.

Tabla 3.1
Elementos del Laboratorio de Tecnología Industrial.

Elementos existentes	Elementos faltantes
4 Motores para 6 mesas de trabajo	2 Motores
6 PLC's SIEMENS S71200	Ninguno
1 LOGO por mesa	Ninguno
4 Contactores 220 (V _{AC}) por mesa	Ninguno
2 Relés 220/240 (V _{AC}) por mesa	8 Relés 220/240 (V _{AC})
2 Selectores de 3 posiciones por mesa	8 Selectores de 3 posiciones
2 Pulsadores con 2 contactos por mesa	16 Pulsadores
4 Luces piloto por mesa	16 Luces piloto a 110 (V _{AC}) y 220 (V _{AC})
1 Breaker tripolar 6 (A _{AC}) por mesa	Ninguno
1 Breaker tripolar 16 (A _{AC}) por mesa	Ninguno
1 Pulsador de emergencia por mesa	Ninguno

Elaboración: Propia

Dentro del estudio de requerimientos, se identificó la falta de elementos de accionamiento, maniobra, señalización y motores por lo que se adquirió los elementos faltantes de características similares a los existentes con el propósito de repotenciar los módulos del LTI con accionadores de potencia y motores elaborando:

- 4 módulos de señalización.
- 8 módulos de accionamiento.
- 12 módulos de maniobra.
- 2 módulos de motores con su respectiva protección.
- 1 módulo de variador de frecuencia.

3.2 Construcción de los módulos de señalización, accionamiento y maniobra

Módulos de señalización

En la Figura 3.2 se muestra un ejemplo de los módulos de señalización construidos.

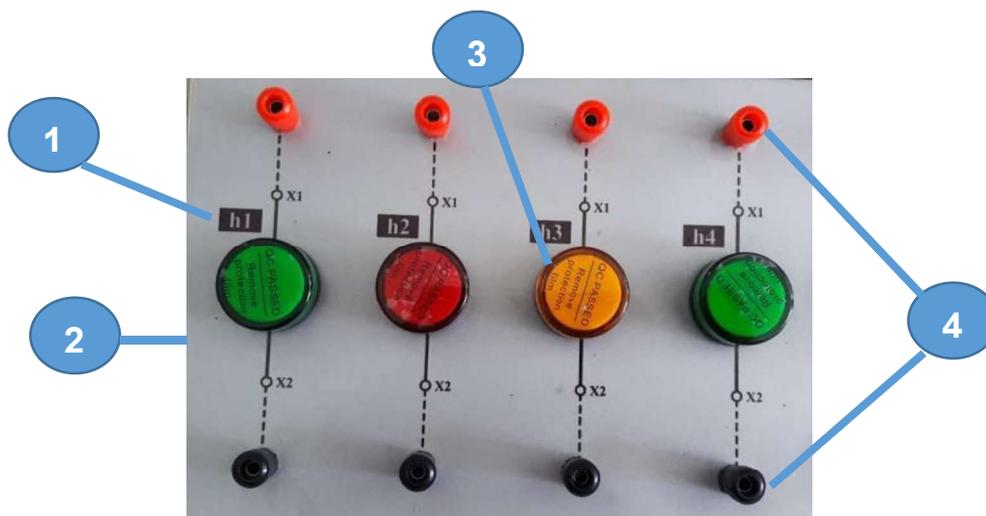


Figura 3.2 Módulo de señalización
(Autoría propia)

1. Adhesivo de simbología eléctrica.
2. Placa de acero galvanizado.
3. Luces piloto.
4. Borneras para terminales banana.

Implementación de simbología eléctrica.

- Se realizó un diseño corregido y mejorado en el ancho y el espesor de los módulos de señalización existentes en el LTI para facilitar su montaje y desmontaje en cualquier mesa de trabajo. Adicional, se aplicó la simbología de los elementos a incorporar de acuerdo a las normas eléctricas IEC con la finalidad de normalizar la simbología de los todos los módulos.
- Una vez tomadas las dimensiones de varios módulos de señalización del LTI, se realizaron los diseños a escala 1:1 en el software Auto CAD como se observa en el Anexo A con la simbología eléctrica correspondiente.

Selección de material base para módulos de señalización.

Los módulos fueron fabricados en material “acero galvanizado” por su durabilidad y resistencia a la corrosión (oxidación) brindando una integra protección a las piezas como:

- Una barrera física resistente a cualquier otro recubrimiento gracias al proceso de fundición en zinc mediante una reacción metalúrgica.
- Protección electroquímica que funciona como aislante del galvanizado.
- Auto curación ante daños superficiales (Tepatitlan, 2018).

Por ende, se escogió un acero galvanizado de 2 (mm) de espesor para garantizar la durabilidad, resistencia y fácil montaje de los módulos en las mesas de trabajo.

Las luces piloto que se emplearon en la elaboración de los módulos de señalización son luces LED CAMSCO de diámetro 16 (mm) acorde a las dimensiones tomadas de los módulos de luces piloto existentes en el LTI. Por otra parte, se consideró el voltaje disponible en el laboratorio 227 (V_{AC}) para la elección de los elementos según su amplio rango de operación que se especifica en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2.

Rango de operación luz piloto Camasco.

Voltajes de operación								
(V_{AC})	6	12	24	36	48	110	220	380
(V_{DC})	6	12	24	36	48	110	220	

Elaboración: (Camsco Electric CO., 2015)

Por lo tanto, las luces que se emplearon en los módulos de señalización pueden funcionar a 110 (V_{AC}) y 220 (V_{AC}).

Ensamblaje de los módulos.

- Se cortaron y perforaron placas de 207 (mm) de ancho y 150 (mm) de alto de una plancha de acero galvanizado de 2 (mm) de espesor de acuerdo al diseño realizado en el software Auto CAD.

- Se limpió, lijó y pintó cada una de las placas conforme al color de las placas existentes en el LTI.
- Se colocó el adhesivo de la simbología eléctrica correspondiente.
- Se implementaron las luces piloto (verde, rojo y amarillo) en el orden establecido por las placas existentes en el LTI.
- Se colocaron las borneras (jacks) banana de color rojo y negro conforme a la conexión eléctrica (entradas y salidas) de los elementos de carga.

Conexión eléctrica del módulo.

- Se realizó la conexión eléctrica verificando los contactos de los elementos con la simbología eléctrica.
- Se cortó y peló el cable para colocar los terminales ojo que se ajustarán con los jacks bananas correspondientes a la luz piloto.

Módulos de accionamiento

En la Figura 3.3 se muestra un ejemplo de los módulos de señalización construidos.

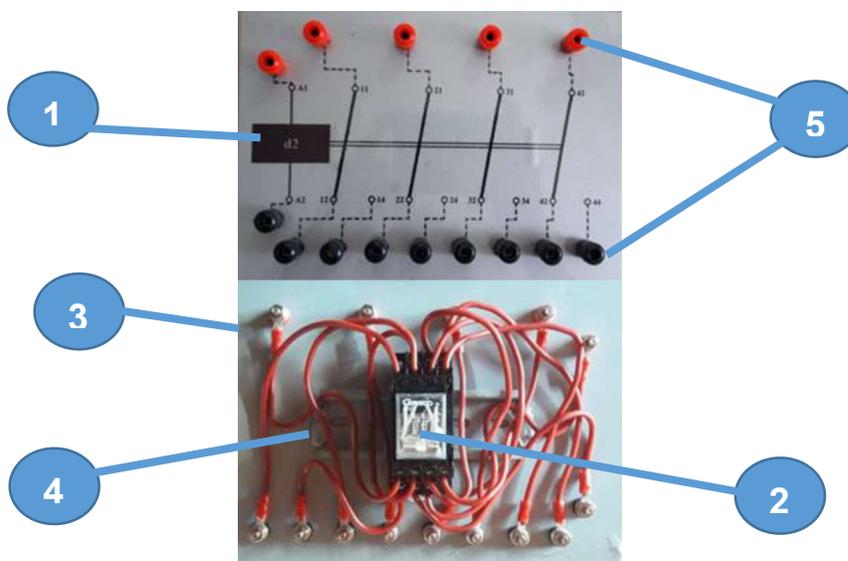


Figura 3.3 Módulo de accionamiento
(Autoría propia)

1. Adhesivo de simbología eléctrica.
2. Relé electromagnético.
3. Placa de acero galvanizado.
4. Riel DIN.
5. Borneras para terminales banana.

Determinación de simbología eléctrica.

- Se realizó un diseño corregido y mejorado en el ancho y el espesor de los módulos de señalización existentes en el LTI para facilitar su montaje y desmontaje en cualquier mesa de trabajo. Adicional, se aplicó la simbología de los elementos a incorporar de acuerdo a las normas eléctricas IEC con la finalidad de normalizar la simbología de los todos los módulos.
- Una vez tomadas las dimensiones de varios módulos de accionamiento del LTI, se realizaron los diseños a escala 1:1 en el software Auto CAD como se observa en el Anexo A con la simbología eléctrica correspondiente.

Selección de material base para módulos de accionamiento.

La selección del material para la construcción de los módulos de accionamiento se hace referencia a: Selección de material base para módulos de señalización.

El riel utilizado para facilitar el montaje del relé electromagnético tiene las siguientes dimensiones 100 (mm) de largo y ancho de 35 (mm).

Los relés que se emplearon en la elaboración de los módulos de accionamiento son relés electromagnéticos Camsco MY4 de la serie MY con las características que se especifican en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3.
Especificaciones de relé electromagnético.

Modelo		Serie
		MY4
	L	27,6
Dimensión externa (mm)	W	21,5
	H	34
Forma de contacto		4A4B
Capacidad de contacto	28 (V _{DC})	220 (V _{AC})
	5 (V _{DC})	3 (A _{AC})
Voltaje de bobina	AC	220
Resistencia de contacto		≤ 50 mΩ
Resistencia de aislamiento		≥ 100 MΩ
Resistencia dieléctrica		1000(V _{AC}) 50/60Hz
Vida de servicio	Mecánico	10.000.000
	Eléctrico	100.000

Fuente: (Camsco Electric CO., 2015)

Ensamblaje de los módulos.

- Se cortaron y perforaron placas de 207 (mm) de ancho y 150 (mm) de alto de una plancha de acero galvanizado de 2 (mm) de espesor de acuerdo al diseño realizado en el software Auto CAD.
- Se limpió, lijó y soldó rieles de apoyo de 60 (mm) de largo y 15 (mm) de ancho en la parte posterior de las placas para facilitar el montaje de los relés y se pintó cada una de las placas conforme al color de las placas existentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial.
- Se colocó el adhesivo de la simbología eléctrica correspondiente.
- Se implementaron los relés en la parte posterior de las placas con ayuda del riel DIN previamente soldado.

- Se colocaron las borneras (jacks) banana de color rojo y negro conforme a la conexión eléctrica (entradas y salidas) de los elementos de carga.
- Se realizó la conexión eléctrica verificando los contactos de los elementos con la simbología eléctrica.

Conexión eléctrica del módulo.

- La conexión se realizó de acuerdo al diagrama dibujado en el encapsulado del relé, identificando cada uno de los pines y procediendo a conectar el módulo.
- Se cortó, y peló el cable para colocar los terminales ojo que se ajustan con el jack banana correspondiente, llevando los contactos y la bobina desde el socket del relé hasta los jacks banana de cada módulo.

Módulos de maniobra

En la Figura 3.4 se muestra un ejemplo de los módulos de señalización construidos.

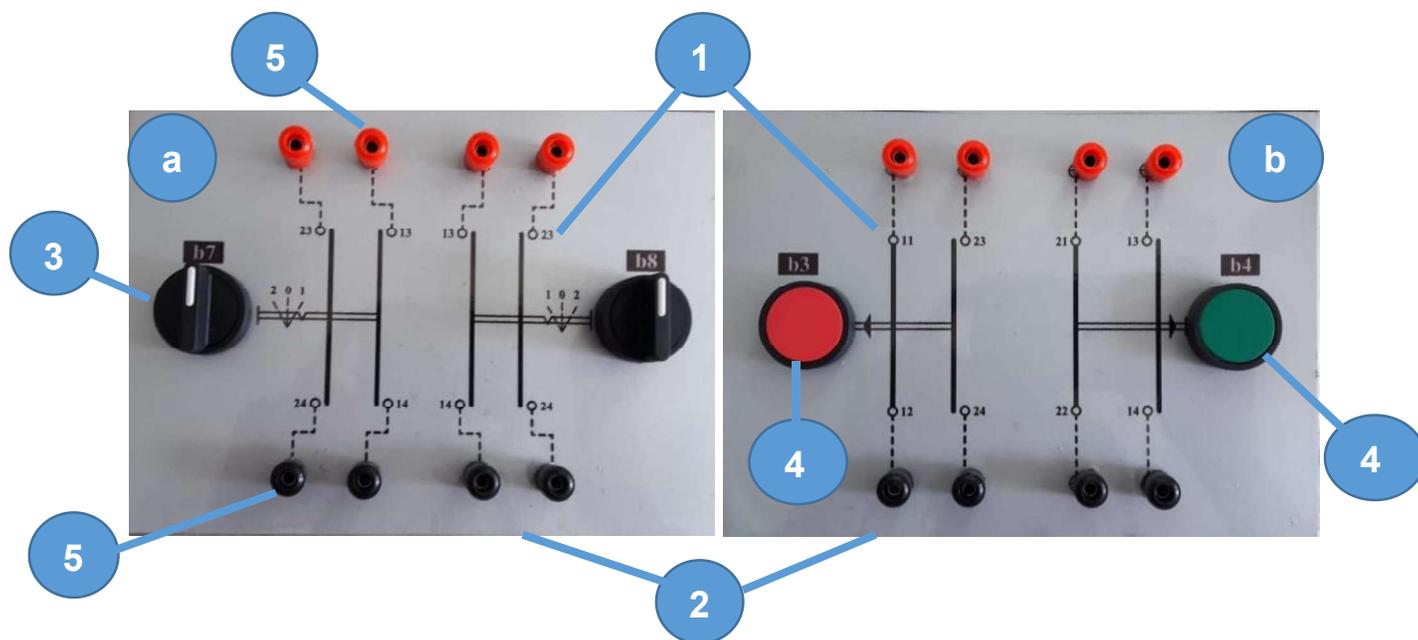


Figura 3.4 Módulo de maniobra: a) Selector de tres posiciones y b) Pulsadores (Autoría Propia)

1. Adhesivo de simbología eléctrica.
2. Placa de acero galvanizado para diferente elemento de maniobra.
3. Selector de tres posiciones.
4. Pulsadores rojo y verde con 2 contactos: 1 contacto NO (normalmente abierto) y 1 contacto NC (normalmente cerrado) respectivamente.
5. Borneras para terminales banana.

Determinación de simbología eléctrica.

- Se realizó un diseño corregido y mejorado de los módulos de señalización existentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial aplicando la simbología de los elementos a incorporar de acuerdo a las normas IEC con la finalidad de normalizar la simbología de los todos los módulos.
- Una vez medidas las dimensiones de varios módulos los diseños se realizaron a escala 1:1 en el software Auto CAD como se observa en el Anexo A (para pulsadores) y Anexo A (para selectores de tres posiciones) con simbología eléctrica correspondiente.

Selección de material base para módulos.

La selección del material para la construcción de los módulos de maniobra se hace referencia a: Selección de material base para módulos de señalización.

Los pulsadores que se emplearon en la elaboración de los módulos de maniobra son pulsadores Camsco FPB-EA diámetro 16 (mm) acorde a las dimensiones tomadas de los módulos de maniobra-pulsadores existentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial. Las características de los pulsadores se especifican en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4.
Parámetros de operación del relé electromagnético.

Voltaje de operación	Corriente de operación	Contactos
250 (V _{AC})	3 (A _{AC})	1N/O + 1N/C

Fuente: (Camsco Electric CO., 2015)

Los selectores que se emplearon en la elaboración de los módulos de maniobra son selectores Camsco SKOS-ED de 3 posiciones fijas con una configuración de contactos: 1NO + 1NC y diámetro 16 (mm) acorde a las dimensiones tomadas de los módulos de maniobra-pulsadores existentes en el LTI.

Ensamblaje de los módulos.

- Se cortaron y perforaron placas de 207 (mm) de ancho y 150 (mm) de alto de una plancha de acero galvanizado de 2 (mm) de espesor de acuerdo al diseño realizado en el software Auto CAD.
- Se limpió, lijó y pintó cada una de las placas conforme al color de las placas existentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial.
- Se colocó el adhesivo de la simbología eléctrica correspondiente.
- Se implementaron los selectores de tres posiciones verificando la posición del elemento según la simbología eléctrica.
- De igual manera, se colocaron los pulsadores en el orden establecido por las placas existentes en el Laboratorio de Tecnología Industrial.
- Se colocaron las borneras (jacks) banana de color rojo y negro conforme a la conexión eléctrica (entradas y salidas) de los elementos de carga.
- Se realizó la conexión eléctrica verificando los contactos de los elementos con la simbología eléctrica.

Conexión eléctrica del módulo.

- La conexión se la realizó acorde a la simbología eléctrica de cada elemento de maniobra.
- Se cortó y peló el cable para colocar los terminales ojo que se ajustarán con los jacks banana correspondientes a cada pulsador de igual manera, se realiza la conexión para los selectores de 3 posiciones.

Módulo de los motores

En la Figura 3.5 se muestra un ejemplo de los módulos construidos.

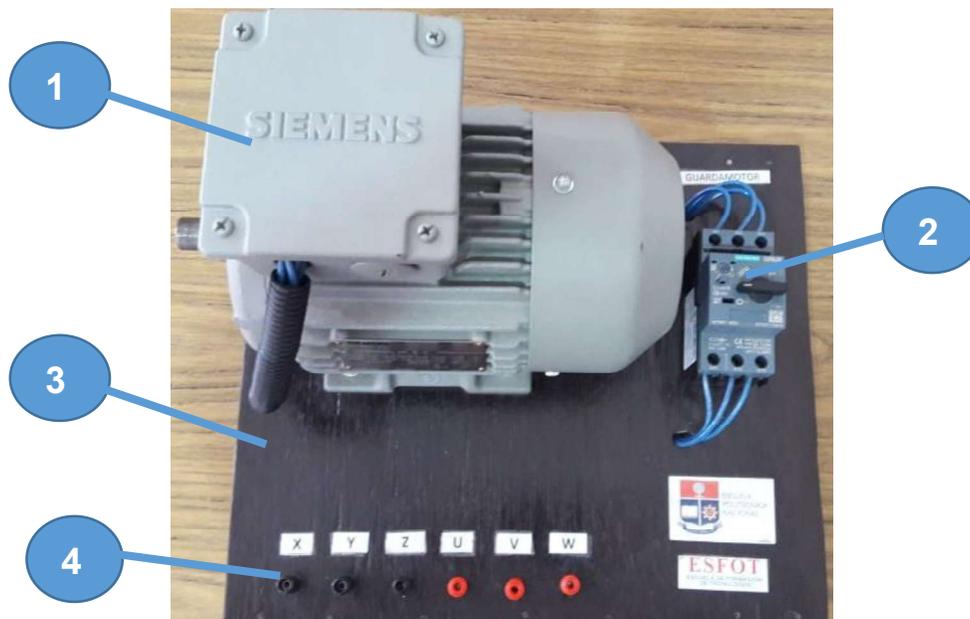


Figura 3.5 Módulo del motor
(Autoría propia)

1. Motor SIEMENS.
2. Guarda-motor SIEMENS.
3. Tablón de madera.
4. Bornes para configuración de arranque.

Selección de motor

Para seleccionar el motor se tomaron en cuenta los criterios detallados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5.
Criterios para seleccionar el motor.

Parámetro	Descripción
Tipo de sistema	El Laboratorio de Tecnología Industrial cuenta con un sistema trifásico y monofásico.
Voltaje	El voltaje que se proporciona en cada mesa de trabajo del laboratorio es de 127 (V _{AC}) y 227 (V _{AC}).
Frecuencia	La frecuencia en el Ecuador es de 60 (Hz)
Carga a mover	El motor debe tener la potencia suficiente para mover una determinada carga. Sin embargo, en el LTI los motores son arrancados sin carga por lo que, se escogen motores de potencia y tamaño adecuados para facilitar el uso y movilidad del módulo a los estudiantes que realizarán prácticas.
Tipo de arranque:	En el módulo del motor se realizan arranques estrella- triángulo, por motivos académicos.
Velocidad de trabajo:	Debido a que en el laboratorio no se conecta ninguna carga al motor, la velocidad de trabajo no requiere ser demasiado elevada, simplemente la suficiente para demostraciones académicas.
Tipo de protección IP	Haciendo referencia al grado de protección de un motor frente agentes externos como polvo o agua referidos en tablas según la IEC 60529. (C.V., 2002)

Elaboración: Propia.

En la Tabla 3.6 y 3.7 se puede observar los principales datos del motor adquirido, de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 3.6.
Rango de trabajo del motor.

Voltaje (V _{AC})	Frecuencia (Hz)	Potencia (Hp)	Corriente (A _{AC})	cos ϕ	r/min
220/380 DD/YY	60	0.75	2.60/1.49	0.77	1735
440 D	60	0.75	1.29	0.77	1735

Fuente: (S.A., 2018).

Tabla 3.7.
Datos de placa del motor.

Marca	T arr/Tn	Iarr/In	Peso neto (Kg)	IP
Siemens	2.0	6.0	14.5	55

Elaboración: (S.A., 2018).

Selección de guarda-motor

La elección del guarda-motor depende de varias variables entre ellas la corriente nominal en el caso de motores menores o iguales a 1 (Hp), factor de servicio y corriente de cortocircuito. Los dos últimos puntos se rigen a motores superiores a 1 (Hp) debido a la demanda de corriente en su arranque (Torres, 2013).

Como los motores son de 0.75 (Hp) ó 0.56 (KW) la elección del guarda-motor se rige a la corriente nominal como se observa en la Ecuación 1.

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi \cdot n} \cdot K_H \cdot K_T \quad \text{Ec1.}$$

De donde:

I_n = Corriente nominal

P = Potencia del motor

V = Voltaje nominal

Cos (ϕ) = Factor de potencia

K_H y K_T = Factor de corrección altura y temperatura acorde a los datos del fabricante se considera K_H y K_T igual a 1 a nivel del mar.

n = Rendimiento

$$I_n = \frac{0.56}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.77 \cdot 0.74} \cdot 1 = 2,57 \text{ (A)}$$

No obstante, en una instalación la corriente de sobrecarga suele ser ligada a un número de veces la corriente de trabajo del equipo o aparato. Por tal motivo, la selección del guarda-motor fue analizada en función a la corriente nominal y a la corriente de sobrecarga en las curvas estándar y al tipo de trabajo del guarda-motor (tipo de disparo).

Por ende, se seleccionó un guarda-motor de las siguientes características:

- Curva de disparo: Tipo B de 3 a 5 veces la corriente nominal.
- Clase de disparo: Tipo 10 y Tipo 10 A para arranques inferiores a 10 (s).
- Rango de operación de 2.2 a 3.2 (A_{AC}).

La curva de operación se muestra en la Figura 3.6.

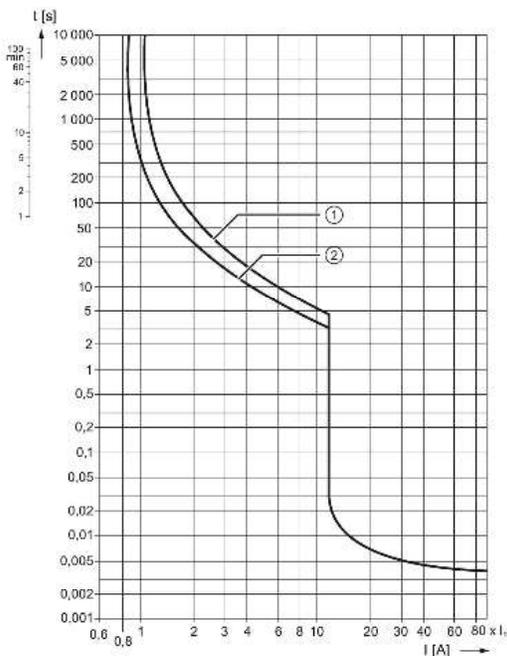


Figura 3.6 Curva de funcionamiento corriente-tiempo (S.A. S., 2018)

- t Tiempo de disparo
- l múltiplo de la corriente de ajuste
 1. Carga tripolar CLASE 10
 2. Carga tripolar CALSE 10

Acondicionamiento del módulo

- Se cortó, lijó, perforó y pintó un tablón de madera de $\frac{1}{2}$ (in) para cada motor con las dimensiones indicadas en la Tabla 3.8 considerando el espacio físico de las mesas de trabajo del LTI.

Tabla 3.8.

Dimensiones módulo del motor.

Dimensiones módulos rediseñados		
Ancho (mm)	Largo (mm)	Alto (mm)
380	330	38

Elaboración: Propia

- Se montó el motor asegurándolo con pernos M8 de $2 \frac{1}{2}$ (in).
- Se colocó un riel din de 60 (mm) de largo y 35 (mm) de ancho en el módulo para facilitar el montaje y desmontaje del guarda-motor.
- Se colocaron jacks (negros y rojos) para extraer e identificar las terminales de las bobinas y facilitar la configuración de los motores.
- Se realizó la conexión de las terminales a cada bobina y al guarda-motor con su respectiva señalética.

Conexión eléctrica del módulo

La conexión eléctrica del módulo facilita la configuración de arranque del motor para un arranque delta o estrella en sentido horario o sentido anti horario. Las terminales de la cada bobina se encuentran identificadas previamente en el módulo con una nomenclatura para los bornes de entrada y salida siendo así lo siguiente:

- Bornes de entrada: U, V, W
- Bornes de salida: X, Y, Z

Del tal forma que el guarda-motor se mantenga conectado como se indica en la Figura 3.7 para identificar los terminales de alimentación y asegurar la protección del motor en caso de una falla eléctrica. Adicional, se utilizó un cable flexible de igual calibre a los módulos de motores existentes en el LTI.

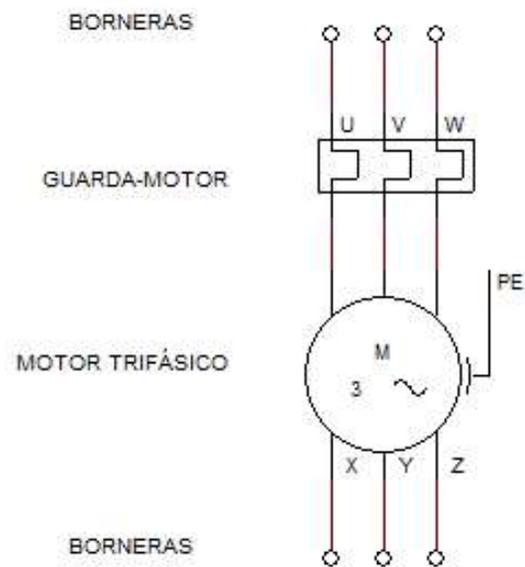


Figura 3.7 Conexión eléctrica del módulo del motor
Elaboración: Propia

Se realiza el mismo procedimiento y conexión con el segundo motor.

Módulo del variador

En la Figura 3.8 se muestra el módulo del variador de frecuencia construido.

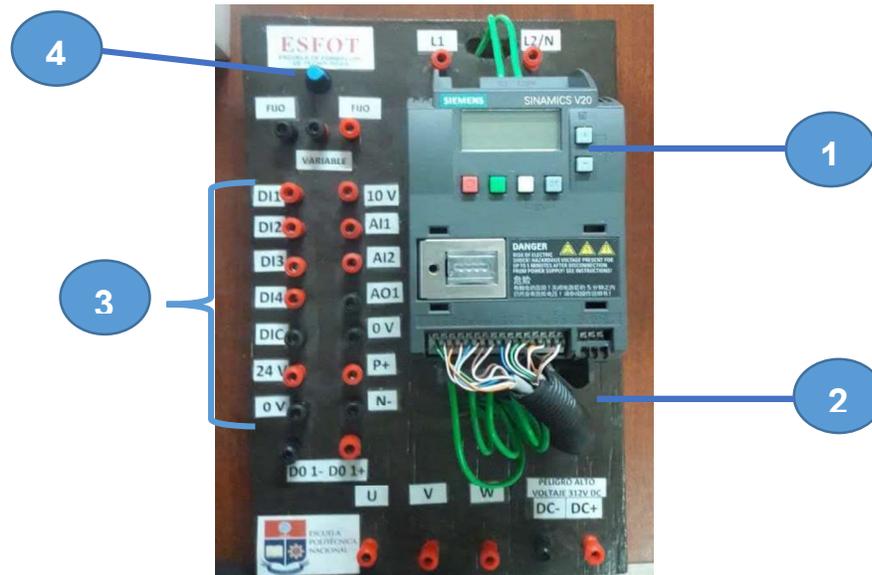


Figura 3.8 Módulo del variador de frecuencia
Elaboración: Propia

1. Variador de frecuencia SINAMICS V20.
2. Tablón de madera.
3. Bornes de acceso al variador.
4. Potenciómetro.

Selección del variador

Se tomaron en cuenta los parámetros que se detallan en la Tabla 3.9:

Tabla 3.9.

Parámetros para selección del variador.

Parámetros	Descripción
Variables eléctricas	220 (V _{AC}) y 60 (Hz)

Carga a controlar	Ninguna, el motor trabaja en vacío con disponibilidad de realizar un acople mecánico al eje para futuras cargas.
Condiciones ambientales	El módulo se ubica en una sala interna, libre de contaminantes.
Consideraciones del motor	0,75 (Hp); 60 (Hz) 220 (V _{AC}) / 380 (V _{AC}) 2,6 (A _{AC}) / 1,49 (A _{AC})

Elaboración: Propia.

Debido a los parámetros detallados anteriormente, se seleccionó un variador de velocidad con las siguientes características, planteadas en la Tabla 3.10 y 3.11.

Tabla 3.10.

Placa de datos variador de velocidad.

Variador SINAMICS V20	
Input	1 Φ , 220-210 (V _{AC}), +/- 10%, 7.7 (A _{AC}), 50/60 (Hz)
Output	3.2 (A _{AC}), 0-550 (Hz)
Motor	0.75 (Hp)

Fuente: (SIEMENS, 2013).

Tabla 3.11.

Descripción de los bornes del variador.

Bornes de usuario	Descripción
10 V	Borne de voltaje
AI1	Entrada analógica
AI2	Entrada analógica
AO1	Salida analógica
0V	Potencial de referencia para E/S analógicas y RS485
P +	RS485
N -	RS485
DI1	Entrada digital
DI2	Entrada digital

DI3	Entrada digital
DI4	Entrada digital
DI C	Entrada digital
24 V	Borne de voltaje
0 V	Potencial de referencia para entradas digitales
DO 1+	Salida digital / Salida de transmisor
DO 1-	Salida digital / Salida de transmisor
DO 2 NC	Salida digital / Salida de relé
DO 2 NO	Salida digital / Salida de relé
DO 2 C	Salida digital / Salida de relé

Fuente: (SIEMENS, 2013).

Acondicionamiento del módulo

- Se cortó, perforó y pintó un tablón de madera de $\frac{1}{2}$ (in) con las dimensiones indicadas en la Tabla 3.12 para que todos sus pines sean fácilmente accesibles y el módulo pueda conectarse a cualquier motor del laboratorio.

Tabla 3.12.

Dimensiones módulo del variador.

Dimensiones módulo rediseñado		
Ancho (mm)	Largo (mm)	Alto (mm)
221	380	38

Elaboración: Propia.

- Se ensambló los jacks banana en los orificios antes realizados y se colocó la respectiva señalética que indicará los terminales de acceso al variador descritos en la tabla 6, además de los terminales para energizar el dispositivo.

Conexión eléctrica del módulo

- Se inició realizando la conexión de los bornes de red (L1, L2/N) hacia los jacks banana, para que los estudiantes puedan acceder fácilmente y energizar el variador de manera segura.

- Se agregó además un potenciómetro que utilizarán los estudiantes dependiendo de la configuración que se le asigne al variador.
- Todos los bornes de usuario del variador están conectados a los respectivos jacks banana utilizando cable de par trenzado sin blindaje que permitirá el acceso a las salidas o entradas analógicas, digitales y sus otros pines.

3.3 Pruebas y análisis de resultados

En toda instalación es importante disponer de equipos cuya funcionalidad esté garantizada para lo cual es indispensable realizar pruebas de funcionamiento que permitan evidenciar posibles fallas en sus componentes mecánicos y eléctricos.

Para ello, se realizó la verificación de funcionamiento de cada módulo acorde a la norma IEC “International Electrotechnical Commission” según la necesidad de cada módulo.

Módulos de señalización, accionamiento y maniobra

La verificación de funcionamiento de cada módulo fue realizada en base al inciso 60364 de la norma IEC considerando los siguientes puntos:

- Inspección visual.
- Continuidad de conductores.
- Prueba funcional (rendimiento funcional)

En la prueba funcional se comprobó, el correcto funcionamiento de cada módulo por ejemplo, en los módulos de señalización el encendido de todas las luces piloto, en los módulos de accionamiento el correcto funcionamiento eléctrico y mecánico al igual que en los módulos de maniobra.

Es decir, con las pruebas realizadas anteriormente se evidenció el rendimiento funcional de cada módulo.

Con dichos puntos se obtuvieron los resultados que se detallan la Tabla 3.13.

Tabla 3.13.
Verificación de módulos de señalización, maniobra y accionamiento.

Módulos	Inspección visual (correcta conexión, cables en buen estado, terminales en buen estado, etc.)	Continuidad de conductores	Prueba funcional
Módulo de señalización 1	A	A	A
Módulo de señalización 2	A	A	A
Módulo de señalización 3	A	A	A
Módulo de señalización 4	A	A	A
Módulo de accionamiento 1	A	A	A
Módulo de accionamiento 2	A	A	A
Módulo de accionamiento 3	A	A	A
Módulo de accionamiento 4	A	A	A
Módulo de accionamiento 5	A	A	A
Módulo de accionamiento 6	A	A	A
Módulo de accionamiento 7	A	A	A
Módulo de accionamiento 8	A	A	A
Módulo de maniobra 1	A	A	A
Módulo de maniobra 2	A	A	A
Módulo de maniobra 3	A	A	A
Módulo de maniobra 4	A	A	A
Módulo de maniobra 5	A	A	A
Módulo de maniobra 6	A	A	A
Módulo de maniobra 7	A	A	A
Módulo de maniobra 8	A	A	A
Módulo de maniobra 9	A	A	A
Módulo de maniobra 10	A	A	A
Módulo de maniobra 11	A	A	A
Módulo de maniobra 12	A	A	A

Elaboración: Propia.

A: Aprueba, F: Falla

Módulo del motor

La verificación de sus componentes hace referencia a los Módulos de señalización, accionamiento y maniobra

Además, se verificó la velocidad del motor, la resistencia de las bobinas de cada motor, la corriente de arranque, la corriente de vacío en conexión estrella y delta por otra parte, se verificó el funcionamiento eléctrico y mecánico del guarda-motor.

Con dichos puntos se obtuvo los siguientes resultados que se detallan en la Tabla 3.14 y en la Tabla 3.15 se tabulan los valores de las resistencias de cada bobina y las corrientes de cada motor.

Tabla 3.14.
Verificación de módulos de motores.

Módulos	Inspección visual (correcta conexión, cables en buen estado, terminales en buen estado, etc.)	Continuidad de conductores	Prueba funcional
Módulo de motor 1	A	A	A
Módulo de motor 2	A	A	A

Elaboración: Propia.

A: Aprueba, F: Falla

Tabla 3.15.
Verificación de resistencias y corrientes del motor.

Módulos	Resistencia de bobinas (ohmios)			Conexión estrella		Conexión delta	
	U-X	V-Y	W-Z	Corriente de arranque (A _{AC})	Corriente de vacío (A _{AC})	Corriente de arranque (A _{AC})	Corriente de vacío (A _{AC})
Módulo de motor 1	15	15.2	15	3.29	0.53	5.74	1.67
Módulo de motor 2	14.4	14.3	14.6	3.40	0.51	6.05	1.70

Elaboración: Propia.

Para la demostrar la relación de corrientes entre la conexión estrella y delta se utilizó la ecuación 2:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi \quad \text{Ec2.}$$

Demostrando lo siguiente:

$$I_{L \text{ Delta}} = 3 \cdot I_{L \text{ Estrella}}$$

Por lo tanto, se testifica que la corriente de vacío en configuración delta en el motor 1 manifiesta un incremento de 3.1 veces la corriente en vacío en configuración estrella y

en el motor 2 la corriente de vacío en configuración delta manifiesta un incremento de 3.5 veces la corriente de vacío en configuración estrella.

También, se verificó la relación de la corriente de arranque con respecto a la nominal en configuración delta manifestado un incremento de 2 veces la corriente nominal en el motor 1 al igual que en el motor 2. Por otra parte, realizando la misma relación en configuración estrella se obtuvo un incremento de 1.3 veces la corriente de arranque con respecto a la corriente nominal en el motor 1 y en el motor 2.

Módulo del variador de frecuencia

La verificación de sus componentes hace referencia a los Módulos de señalización, accionamiento y maniobra

Por otra parte, en la prueba funcional se verificó la tensión en los bornes de salida alterna como en continua, las entradas digitales, las entradas analógicas y el potencial de referencia para entradas digitales sobre todo la eficiencia del variador frente a fallos de configuración puesto que, el variador al ser energizado con una tensión de 110 (V_{AC}) no permite arrancar el motor en cualquiera de sus configuraciones dado que, para un correcto funcionamiento necesita una tensión de entrada de 210 ó 220 (V_{AC}).

Con dichos puntos se tabuló los resultados en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16.

Verificación módulo variador de frecuencia.

Módulo	Inspección visual (correcta conexión, cables en buen estado, terminales en buen estado, etc.)	Continuidad de conductores	Prueba funcional
Módulo variador de frecuencia	A	A	A

Elaboración: Propia.

A: Aprueba, F: Falla

También, se realizaron pruebas de funcionamiento mutuo implementando una conexión eléctrica física de los módulos elaborados estableciendo sistemas de control

en lazo abierto que cumplan con las condiciones de las prácticas planteadas. Dichas prácticas se adjuntan con su respectiva solución en el Anexo B.

Además, se estableció una comunicación vía Ethernet entre el computador y el LOGO que dispone el LTI para controlar el variador de frecuencia con la configuración previa del mismo empleando un sistema de control en lazo abierto en lenguaje FBD “Functional Block Diagram”.

Las pruebas elaboradas se detallan en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17.

Prácticas utilizando LOGO.

Pruebas de funcionamiento	Correcto	Incorrecto
Programación del variador acorde al macro de conexión	X	
Verificación y asignación de dirección IP en el dispositivo de control (LOGO) y el computador	X	
Transferencia de comunicación del computador al LOGO	X	
Funcionamiento online por vía Ethernet LOGO y computador.	X	
Activación de los módulos (variador y motor)	X	

Elaboración: Propia.

Adicional, se comprobó el funcionamiento utilizando una señal análoga y señales externas de pulsos acorde al macro de conexión del variador con ayuda de un potenciómetro y los módulos de maniobra para controlar su frecuencia e invertir el giro del motor.

Las pruebas realizadas se detallan en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18.

Funcionamiento por señal análoga y digital del variador de frecuencia.

Pruebas de funcionamiento	Correcto	Incorrecto
Programación del variador acorde al macro de conexión	X	
Accionamiento por mandos externos (pulsos)	X	
Voltaje de salida trifásico (V_{AC})	X	

Bloqueo de funcionamiento por para de mantenimiento o emergencia	X
Tiempos de transición en el cambio de giro en el motor acorde a la programación	X

Elaboración: Propia

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La repotenciación de los módulos del Laboratorio de Tecnología Industrial mejoró el equipamiento del Laboratorio implementando módulos de señalización, accionamiento, maniobra, módulos de motores y un módulo variador de frecuencia logrando optimizar la infraestructura para simular actividades de la industria con un grado de complejidad académico.
- La fabricación de los módulos y las modificaciones realizadas en los elementos permiten al estudiante ejecutar diferentes sistemas de control de una manera fácil, rápida y segura.
- Los módulos de señalización, accionamiento y maniobra son adaptables a cualquier infraestructura de las mesas de trabajo del Laboratorio.
- El material empleado en los módulos de señalización, accionamiento y maniobra garantiza un correcto aislamiento eléctrico, resistencia y durabilidad a la corrosión.
- Los elementos adquiridos para conformar los módulos de señalización, accionamiento y maniobra se caracterizan por su simplicidad y fácil manejo para los estudiantes en la simulación de aplicaciones que demanda la industria.
- Las características eléctricas del motor, la alimentación eléctrica y el equipamiento disponible (plantas) del Laboratorio de Tecnología industrial influenciaron en la selección del variador de frecuencia optando por un variador con un amplio menú de configuración o programación para su conexión eléctrica como para sus aplicaciones.
- Dependiendo la configuración o programación eléctrica del variador se puede poner en marcha al equipo y regular la velocidad del motor desde el panel del operador mediante selectores y botones.
- La implementación del módulo del variador de frecuencia familiarizará a los estudiantes en la programación y manejo de equipos similares existentes en la industria.

- Con el grado de complejidad de las prácticas dirigidas, los estudiantes pueden desarrollar las destrezas y los conocimientos adquiridos durante toda la formación Tecnológica.

4.2 RECOMENDACIONES

- Evitar la modificación eléctrica en las borneras de los módulos, cada módulo fue realizado acorde a las conexiones del fabricante y a los parámetros de conexión en el caso del módulo del variador de frecuencia.
- Energizar los módulos de accionamiento y el módulo del variador de frecuencia con un voltaje de 210 ó 220 V_{AC}.
- Cumplir con los periodos de mantenimiento establecidos en el manual para garantizar y prolongar el tiempo de vida de los equipos.
- Leer el manual proporcionado del variador siguiendo paso a paso las instrucciones de configuración de modo que se adquiera práctica para configurar el equipo de manera independiente al manual.
- Evitar la manipulación de cables que se encuentren sueltos en los módulos de señalización, accionamiento y maniobra especialmente cuando se encuentre energizada la mesa de trabajo.
- Almacenar los equipos en lugares libres de humedad para prolongar su vida útil de trabajo.
- Evitar golpes en los módulos sobre todo en el módulo del variador de frecuencia dado que, al ser el variador de frecuencia un equipo delicado podría provocar daños internos en el equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bahón, C. A. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 20 de junio de 2018, de https://books.google.com.ec/books?id=Vbd11zVvk_QC&printsec=frontcover&dq=sistemas+de+control&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwir94HK94njAhXCpFkKHSM7B6kQ6AEIKDAA#v=onepage&q=sistemas%20de%20control&f=false
- C.V., T. E. (2002). *Tec electrónica*. Recuperado el 29 de enero de 2019, de https://www.tec-mex.com.mx/material/IP_Y_NEMA.pdf
- Camsco Electric CO., L. (2015). *Camsco Electric CO., LTD*. Recuperado el 25 de enero de 2019, de https://www.camsco.com.tw/upload_files/e-download/Camsco-E-Catalog.pdf
- Catálogo SIEMENS. (2018). Recuperado el 19 de abril de 2018
- DRA. (2018). *SoloStocks*. Recuperado el 2018 de septiembre de 20, de <https://www.solostocks.com/venta-productos/energia-solar/sistemas-energia-solar/rele-de-proteccion-termica-schneider-4-6a-25871545>
- Edgar A.Salazar Marín, C. A. (2010). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Recuperado el 18 de mayo de 2017, de Universidad Tecnológica de Pereira: <http://media.utp.edu.co/vicerrectoria-academica/archivos/cobertura-con-calidad-de-la-oferta-educativa/vu-referente-teorico-y-diagnostico-de-tecnologia.pdf>
- Harper, G. E. (2004). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. Mexico: LIMUSA. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=P62ebMavSIIC&oi=fnd&pg=PA2&dq=motor+trifasico&ots=HxWPKwbbad&sig=RbTvrJ1bk4LuwpRdy6BQ1Aj9FBE
- Higuera, A. G. (2005). *El control automático en la industria*. Cuenca: Ediciones de la universidad de castilla - La mancha. Recuperado el 20 de julio de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=MzLgX4uM->

00C&oi=fnd&pg=PA15&dq=sistemas+automaticos+de+control+&ots=gNCroSdU
hu&sig=9tEHJ6VNXU2cm76O2ypWEYAMWsk#v=onepage&q&f=false

Industry, S. S. (01 de enero de 2018). *Lista de precios productos Industriales Eléctricos*. Recuperado el 01 de febrero de 2019, de <https://www.google.com/search?q=lista+de+precios+siemens&oq=lista+de+precios+sie&aqs=chrome.1.69i57j0l5.8465j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Instrumentación y Control. (s.f.). Recuperado el 08 de junio de 2017, de http://www.instrumentacionycontrol.net/Descargas/IyCnet_Simbologia_y_Esquemmas_Motores.pdf

Mejía, G. E. (2018). *Grupo Electro Comercial Mejía - Productos Camsco*. Recuperado el 10 de diciembre de 2018, de <http://www.grupoecmejia.com/camsco>

Molina, J. (2009). *Control Industrial*. Quito: EPN. Recuperado el 09 de junio de 2017

S., A. D. (2017). *Control Automático Industrial*. Quito: EPN-ESFOT. Recuperado el 27 de septiembre de 2018

S.A., N. (2018). *Nivihe distribuidor oficial SIEMENS*. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <https://motores-electricos.com.ar/que-es-un-guardamotor/>

Schneider, E. (s.f.). Recuperado el 08 de junio de 2017, de <http://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>

SIEMENS. (febrero de 2013). Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf

Tepatitlan, A. y. (30 de junio de 2018). *Aceros y mallas de Tepatitlan*. Recuperado el 06 de enero de 2019, de <https://acerosymallas.com.mx/acero-galvanizado-caracteristicas-y-usos/>

Torres, I. H. (2013). *Apuntes de protecciones eléctricas*. Quito: EPN. Recuperado el 18 de septiembre de 2018

Variadores de frecuencia. (2015). *Variadores de frecuencia*. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=25&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjk0tyYkMbdAhUFvFMKHQbsAI0QFjAYegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.fra.utn.edu.ar%2Fdownload%2Fcarreras%2Fingenierias%2Felectrica%2Fmaterias%2Fplanestudio%2Fquintonivel>

ANEXOS

Anexo A: Diseño y medidas de los módulos de señalización, accionamiento y maniobra.

Anexo B: Prácticas.

Anexo C: Manual de uso del variador de frecuencia.

Anexo D: Manual de mantenimiento.