

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, CONTROL, MANIOBRA Y SEÑALIZACIÓN PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA AULA 23B

TABLERO DE CONTROL

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECAÁNICA**

BYRON GEOVANNY ASHQUI PAGUAY

DIRECTOR: PABLO ANDRÉS PROAÑO CHAMORRO

Quito, enero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, BYRON GEOVANNY ASHQUI PAGUAY declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



BYRON GEOVANNY ASHQUI PAGUAY

byron.ashqui@epn.edu.ec

bgap2006@hotmail.es

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BYRON GEOVANNY ASHQUI PAGUAY, bajo mi supervisión.



Pablo Andrés Proaño Chamorro

DIRECTOR

pablo.proano@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

BYRON GEOVANNY ASHQUI PAGUAY

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a mis padres quienes con su paciencia y comprensión me han otorgado a cumplir una meta más en mi vida. Gracias por sembrar en mí un modelo de valentía y superación, por entregar su confianza y a pesar de las adversidades no les defraudé.

Mis hermanas Alexandra y Leslie por su compañía y apoyo en todo momento de mi trayecto.

A mis abuelitos que, gracias a sus oraciones y consejos forjaron en mí una mejor persona. Anhele siempre su compañía.

A mis familiares más cercanos quienes también, han sido parte de mi vida. Por su apoyo moral para ser un buen profesional, por depositar su confianza y enseñarme que para alcanzar el éxito se debe luchar constantemente.

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a Dios por ofrecerme salud, sabiduría y fuerzas para finalizar mi carrera profesional, su gracia y fe me fortaleció día a día para continuar con mis estudios.

De igual manera, mis agradecimientos a todas las autoridades y personal que hacen la Escuela Politécnica Nacional – Escuela de Formación de Tecnólogos por acogerme entres sus aulas y brindarme la enseñanza moral y ética para crecer profesionalmente. Por depositar su confianza, por permitirme realizar todo el trabajo de implementación dentro de su establecimiento.

Así mismo, quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Pablo Proaño quien ha dedicado tiempo y paciencia para poder culminar el proyecto de integración curricular.

Al Ing. Carlos Romo por permitirme culminar con aceptación el proyecto que se exhibirá a continuación.

Agradezco a mis amigos por su compañía en los buenos y malos momentos de la vida, por haber compartido no solo experiencias, sino por sus enseñanzas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
Normas NEC de Instalaciones Eléctricas (NEC).....	3
Normas NEC de Instalaciones Electromecánicas:.....	4
Revisión Bibliográfica de Trabajos Similares	4
2 METODOLOGÍA.....	5
2.1 Determinación de los requerimientos técnicos del laboratorio.....	5
Análisis del estado actual del laboratorio	5
Identificación de los elementos necesarios	6
Selección del gabinete	7
Elementos de protección y control.....	9
Selección del contactor para los módulos de trabajo.....	9
Protección termomagnética para el tablero de control.....	13
Selección del contactor principal	16
2.2 Construcción de un tablero de control para los módulos de trabajo	17
Instalación mecánica del gabinete.....	17
Puerta del gabinete	18

Montaje del tablero de control.....	20
Plano de conexión.....	21
Diagrama unifilar	21
Diagrama de control y fuerza para el tablero	22
2.3 Implementación del sistema de control, seguridad, señalización y distribución de energía eléctrica a las mesas de trabajo	23
Cableado de los elementos de mando y visualización en la puerta del gabinete.	25
Conexión de los elementos de control y fuerza	26
Etiquetado de las conexiones	27
3 RESULTADOS	30
3.1 Pruebas y Análisis de Resultados	33
Prueba del circuito de control	33
Medición de voltaje en el tablero de control	34
Voltaje a la salida en vacío	35
Prueba de caída de tensión	36
Fugas de corriente	38
Revisión de los elementos de protección	39
4 CONCLUSIONES.....	40
5 RECOMENDACIONES	42
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
7 ANEXOS.....	44
ANEXO I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin	45
ANEXO II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración curricular.....	46
ANEXO III. Diagrama Unifilar del Sistema.....	48
ANEXO VI. Diagrama Eléctrico Arquitectónico.....	47
ANEXO IV. Diagrama de Montaje Potencia	49
ANEXO V. Diagrama de Montaje Módulos de Trabajo	50

RESUMEN

El presente proyecto de titulación, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, CONTROL, MANIOBRA Y SEÑALIZACIÓN PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA AULA 23B (TABLERO DE CONTROL)", brindará seguridad a los estudiantes que realicen las prácticas en el laboratorio de Tecnología Eléctrica y Electrónica (LTEE) aula 23B. El tablero de control posibilita la distribución, control y maniobra de la energía eléctrica que se suministrará de forma segura a las mesas de trabajo.

En la primera sección se describe el componente desarrollado, el alcance del proyecto, y los objetivos a cumplirse. Además, se detallan las fuentes consultadas para la implementación del tablero de control.

En la segunda sección se detalla la metodología en la cual se expone todo lo referente a la implementación del tablero de control: dimensiones, cálculos para la selección de los elementos para el tablero de control y los diagramas de control y fuerza realizados en programas de simulación.

La tercera sección se presentan los resultados, donde además se presentan las pruebas de funcionamiento con sus respectivos análisis.

En la cuarta y quinta sección se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones respectivamente, las cuales son necesarias para la implementación de proyectos semejantes a futuro.

En la sección final, se presentan las referencias bibliográficas, además, se anexan el reporte de similitud, certificado de funcionamiento, presentación de diagramas y videos referente al uso y mantenimiento del tablero de control.

PALABRAS CLAVE: Tablero, Maniobra, Control, Protecciones, Distribución, Gabinete.

ABSTRACT

This degree project, "IMPLEMENTATION OF A DISTRIBUTION, CONTROL, MANEUVER AND SIGNALING SYSTEM FOR THE ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY LABORATORY ROOM 23B (CONTROL BOARD)", will provide security to students who carry out practices in the Technology laboratory Electrical and Electronic (LTEE) room 23B. The control panel enables the distribution, control and operation of electrical energy that will be safely supplied to the work tables.

The first section describes the component developed, the scope of the project, and the objectives to be met. In addition, the sources consulted for the implementation of the control panel are detailed.

The second section details the methodology in which everything related to the implementation of the control panel is exposed: dimensions, calculations for the selection of the elements for the control panel and the control and force diagrams made in simulation programs.

The third section presents the results, where the performance tests with their respective analyzes are also presented.

In the fourth and fifth section, the conclusions and recommendations are disclosed, respectively, which are necessary for the implementation of similar projects in the future.

In the final section, the bibliographical references are presented, in addition, the similarity report, certificate of operation, presentation of diagrams and videos referring to the use and maintenance of the control panel are attached.

KEY WORDS: Panel, Maneuver, Control, Protections, Distribution, Cabinet.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El laboratorio LTEE aula 23B no contaba con un sistema de control, distribución y señalización de la energía eléctrica de forma segura, lo que ponía en riesgo a los estudiantes que realizaban las prácticas dentro del laboratorio.

Bajo los criterios mencionados, en el laboratorio LTEE aula 23B se ha implementado un tablero de control el cual permite distribuir y suministrar de forma segura la energía eléctrica a las seis mesas de trabajo. Por lo tanto, es una configuración confiable de utilizar los elementos de protección, maniobra y señalización para desempeñar actividades dentro del laboratorio.

El tablero de control fue implementado con elementos de maniobra, visualización, interruptor termomagnético automático y contactores. Adicionalmente, se instaló elementos de visualización como instrumentos de monitoreo para el control de los niveles de tensión e intensidad de las fases R y S.

Además, se implementó un paro de emergencia general como medida de seguridad frente a los riesgos eléctricos, [1], el cual permite desconectar la alimentación eléctrica a todas las mesas de trabajo, dicho mando está implementado en el tablero de control y en los seis módulos de trabajo. En general, los elementos de señalización permiten identificar las señales de voltaje y corriente que llegan a las fases R y S los cuales alimentan el tablero de control y los respectivos módulos de trabajo.

De igual forma, se emplearon luces piloto de diferente color para mostrar que el tablero o las mesas de trabajo se encuentran energizados. Por lo tanto, la luz roja indica que el tablero de control recibe energía eléctrica, la luz naranja señala que la protección termomagnética está activada y la luz verde significa que, tanto el tablero como los módulos se encuentran energizados.

En el Anexo 1 del presente documento se presenta un informe de similitud del informe escrito y en el Anexo 2 el certificado de funcionamiento abalado por el director del presente trabajo de integración curricular.

1.1 Objetivo General

Implementar un tablero de control para el abastecimiento de energía eléctrica en el laboratorio LTEE-ESFOT Aula 23B

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los requerimientos técnicos del laboratorio
2. Construir un tablero de control para los seis módulos de trabajo
3. Implementar el sistema de control, seguridad, señalización y distribución de energía eléctrica a las mesas de trabajo
4. Elaborar un manual de uso y mantenimiento

1.3 Alcance

Este proyecto abarca la implementación de un tablero de control para el laboratorio LTEE-ESFOT aula 23B, empleando un sistema de control, señalización y distribución de la energía eléctrica para las fases R y S provenientes del tablero de derivación, el cual está siendo implementado en paralelo a este proyecto. Adicionalmente, se implementará un paro de emergencia general que se instalará en el tablero, sin embargo, se excluye el paro de emergencia individual, ya que corresponde al proyecto de titulación “Implementación de un sistema de distribución, control, maniobra y señalización para el LTEE aula 23B – módulos de las mesas de trabajo”.

El tablero de control está diseñado de acuerdo con la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC), tomando en cuenta los códigos de colores para conductores de fase, neutro y tierra. De igual forma, estará diseñado para distribuir energía eléctrica a seis módulos de trabajo, con lo cual, las fases R y S se balancearán para alimentar tres mesas cada uno. Para el control de la energía se propone emplear mandos memorizados utilizando contactores y pulsadores que permitan la conexión y desconexión de los módulos.

La implementación de un tablero de control brindará seguridad a los estudiantes, ya que mantiene el cableado y los elementos de potencia dentro del tablero. Con lo cual, permite que los estudiantes sostengan un fácil manejo de los elementos de maniobra para suministrar energía eléctrica a los diferentes módulos y a la vez interrumpir el suministro en caso de emergencia.

1.4 Marco teórico

Mediante la implementación de un tablero de control para el laboratorio LTEE, se pretende distribuir y suministrar la energía eléctrica de forma segura a seis mesas de trabajo y así, contribuir al desarrollo de los conocimientos prácticos para el control y manejo de la energía eléctrica de forma segura.

Para la implementación del tablero de control, se tomó como referencia:

- Normas NEC – SB - IE de Instalaciones Eléctricas
- Normas NEC de Instalaciones Electromecánicas
- Revisión Bibliográfica de Trabajos Similares de Estudiantes de la ESFOT

De acuerdo al Decreto Ejecutivo No.705 del 24 de marzo del 2011, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) coordinó el trabajo para la elaboración de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC), [2]. La normativa presenta un capítulo donde se da a conocer los requerimientos mínimos para las instalaciones eléctricas residenciales, y otro capítulo, en la cual se menciona las instalaciones electromecánicas la cual está vigente desde enero del 2013.

Normas NEC de Instalaciones Eléctricas (NEC)

Esta normativa fue desarrollada bajo los estatutos del MIDUVI y posteriormente fue habilitado el 16 de marzo del 2018, [2]. En este capítulo se hace referencia los requerimientos técnicos mínimos con el propósito de estimular a que los diseños e implementaciones eléctricas de baja tensión sean confiables para los usuarios.

Los temas usados de la norma fueron.

- Definiciones
- Factores de demanda
- Calibre de conductores
- Protecciones contra sobre corrientes
- Instalación de puesta a tierra
- Instalación de conductores
- Apéndices

Normas NEC de Instalaciones Electromecánicas:

En el capítulo 15 de Instalaciones Electromecánicas la cual fue publicada en enero del 2013 también es adaptada a los requerimientos del MIDUVI. En este capítulo se establecen las condiciones mínimas de seguridad para instalaciones inferiores a 600 (V), con el objetivo de proteger la integridad de los equipos, de los usuarios y cuidar el ambiente de instalación, [3]. Sin embargo, no garantiza la eficiencia, ya que su interpretación es únicamente para profesionales.

Los temas usados de la norma fueron:

- Sistemas de emergencia
- Tableros
- Especificación de construcción de tableros
- Identificación del tablero
- Materiales y sistemas de canalización
- Sistemas de puestas a tierra

Revisión Bibliográfica de Trabajos Similares

Los trabajos revisados fueron los siguientes:

- “Construcción de acometida y tablero de control de suministro de energía para el laboratorio de análisis instrumental” elaborado por Andrés Arregui e Israel Bastidas. De este tema se examinó la construcción del tablero de control y la selección de los elementos de protección y control.
- “Implementación de un tablero general para el laboratorio de tecnología industrial” elaborado por Luis Escobar y Ángel Vaca. De este tema se revisó pruebas de funcionamiento del tablero.

2 METODOLOGÍA

El enfoque que se está utilizando es de tipo cuantitativo porque la implementación del tablero de control se basa en dimensionar los elementos de maniobra, señalización y control en función de las cargas instaladas en cada mesa de trabajo. Para ello, se utiliza criterios técnicos en el cálculo de los niveles de tensión e intensidad que deben soportar los elementos utilizados.

También, se enfoca en determinar la carga máxima que puede llegar a instalarse en cada mesa de trabajo, esto permite tener un conocimiento sobre la demanda máxima a la que se debe proteger, y evitar sobrecargar los elementos de control.

El tipo de trabajo presente es experimental debido a que se estudia y se da solución a un problema usando conocimientos y habilidades adquiridos en la práctica. Además, para el correcto desarrollo se deben seguir las normativas que permiten solventar los problemas que se han estudiado. Así, proceder a realizar las mediciones y pruebas estandarizadas que permitan tomar decisiones para efectuar cambios o modificaciones en caso de ser necesario.

2.1 Determinación de los requerimientos técnicos del laboratorio.

Análisis del estado actual del laboratorio

Como se explicó en el capítulo anterior, el tablero de control es esencial para el desarrollo de las prácticas dentro del laboratorio LTEE aula 23B. Ciertamente, es necesario conocer las dimensiones generales del laboratorio, tales como; la ubicación de las mesas de trabajo para establecer el lugar donde se implementará el tablero de control. En la Figura 2.1 se muestra el plano en 2D elaborado en el programa *AutoCAD*, donde se visualiza las dimensiones generales del laboratorio con las seis mesas de trabajo.

A partir de las dimensiones del laboratorio, la ubicación del tablero de control se estableció a una altura de 1,2 (m) con respecto al piso para que los docentes y estudiantes puedan acceder de forma fácil a los circuitos de control y maniobra para el manejo del encendido y apagado de los módulos de trabajo, por consiguiente, realizar los mantenimientos respectivos, [3]. También, se ha considerado instalar cerca del escritorio del docente para agilizar la rapidez y el tiempo de maniobra en caso de emergencia de riesgo eléctrico.

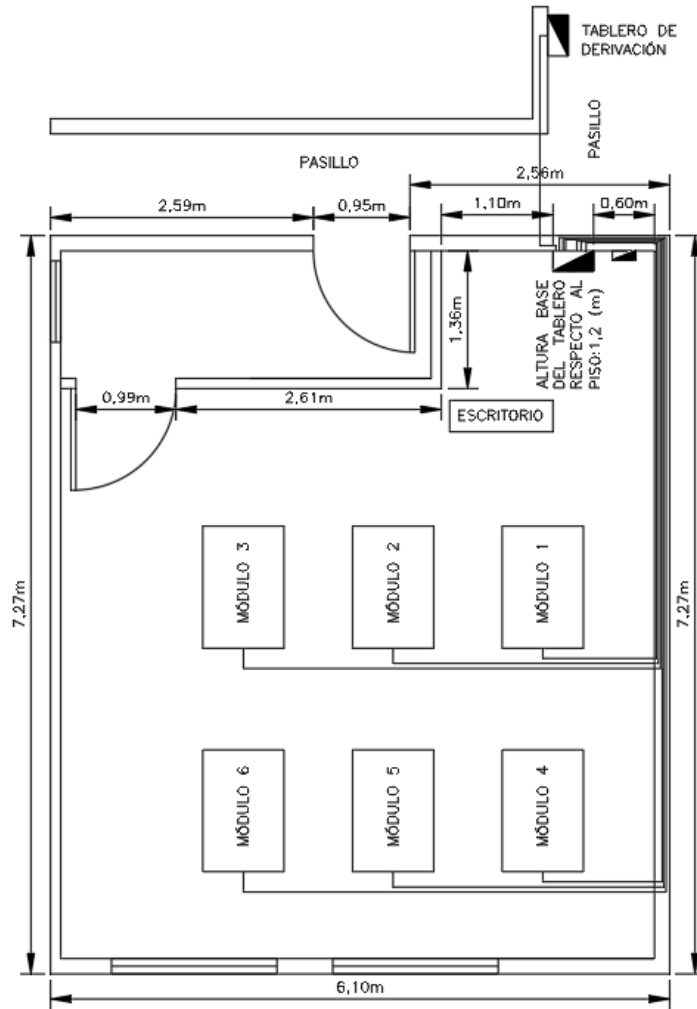


Figura 2.1 Plano del laboratorio de Tecnología Eléctrica y Electrónica Aula 23B

En el Anexo 3 se presenta el diagrama eléctrico arquitectónico del sistema en el formato establecido por la comisión de titulación de la carrera de Electromecánica.

Identificación de los elementos necesarios

El laboratorio LTEE aula 23B cuenta con seis mesas de trabajo en donde se implementarán módulos didácticos para energizar de forma segura las cargas que los estudiantes requerirán durante el desarrollo de las prácticas. Estos módulos están siendo diseñados y elaborados en el proyecto de titulación “Implementación de un sistema de distribución, control, maniobra y señalización para el LTEE - módulos de las mesas de trabajo”, el cual se está desarrollando en paralelo a este proyecto.

Por lo tanto, los componentes necesarios del tablero deben permitir la maniobra, control, visualización y medición de la distribución de energía eléctrica a los seis módulos de trabajo. Así, en la etapa de maniobra y visualización se necesitan seis pulsadores de apagado y encendido, seis luces pilotos verdes, una luz piloto verde, rojo y amarillo, un

pulsador de encendido, un pulsador tipo hongo. Mientras que, para la medición se requiere de cuatro pantallas para medir voltajes y corrientes en las fases R y S.

Para la etapa de control de la distribución de energía se requiere un interruptor termomagnético, seis contactores de mayor amperaje para energizar cada módulo de trabajo, un contactor de 40 (A) para alimentar las dos fases R y S del tablero de control, también se emplearán canaletas para el cableado, rieles y barras de potencia para la conexión de las fases, el punto común y la tierra.

Selección del gabinete

El gabinete fue seleccionado considerando que la instalación del tablero de control será dentro del laboratorio LTEE aula 23B a condiciones ambientales favorables, es decir, no estará sometido a temperaturas altas ya sea del sol o la lluvia. Sin embargo, no está completamente aislada ya que podría estar expuesta a situaciones de vulnerabilidad. Por lo tanto, para determinar las dimensiones del gabinete se requiere adquirir los elementos de control, maniobra, visualización y medición para distribuirlos de forma adecuada en la parte externa e interna.

Por lo consiguiente, se seleccionó un gabinete comercial de 60 x 40 x 20 (cm) que representa el largo, ancho y profundidad respectivamente, el mismo que se muestra en la Figura 2.2 elaborado en el programa AutoCAD con las dimensiones antes nombradas.

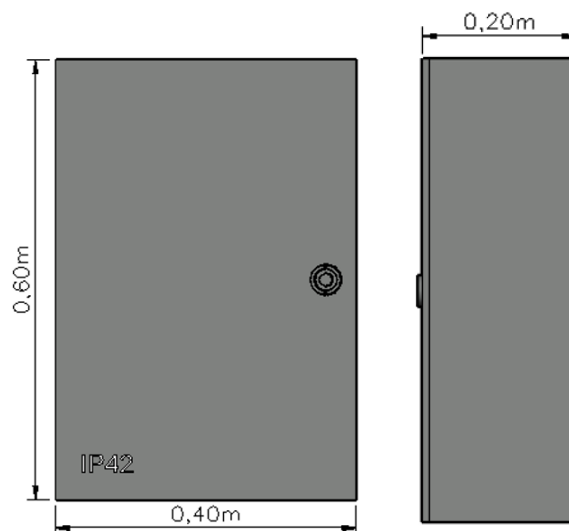


Figura 2.2 Dimensiones del tablero

En concordancia a la norma IEC 60529 que aplica a productos eléctricos, es necesario considerar el grado de protección IP (*International Protection*) para el gabinete, [4].

El grado de IP viene acompañado de dos números, el primer dígito indica la protección contra sólidos y el segundo contra líquidos, [5].

Para la protección contra sólidos, el tablero debe evitar el ingreso de objetos pequeños como clavos, tornillos, partículas de metal o cualquier objeto sólido de hasta 1 (mm). De esta manera brindar la seguridad necesaria a los usuarios para prevenir las fallas o el deterioro de los elementos. Mientras que, se ha considerado una protección contra el rocío de agua a una inclinación de 15° de la vertical. A continuación, se muestra la Tabla 2.1 de los grados de protección IP para elementos eléctricos.

Tabla 2.1 Grados de protección IP, [5].

IP	Prueba IP	IP	Prueba IP
0	Sin protección	0	Sin protección
1	Protegido contra objetos sólidos de hasta 50 (mm).	1	Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente.
2	Protegido contra objetos sólidos de hasta 12,5 (mm).	2	Protegido contra rocío directo de agua hasta 15° de la vertical.
3	Protegido contra objetos sólidos de hasta 2,5 (mm)	3	Protegido contra rocío a 60° de la vertical
4	Protegido contra objetos sólidos de hasta 1 (mm)	4	Protegido contra rocío de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado).
5	Protegido contra el polvo (ingreso limitado, sin acumulación dañina).	5	Protegido contra chorros a baja presión de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado).
6	Totalmente protegido contra la penetración del polvo excesivo.	6	Protección contra chorros fuertes de agua.
		7	Protección contra los efectos de inmersión de agua.

En relación a la tabla anterior, el gabinete presenta un grado de protección IP 42. Sin embargo, al realizar las perforaciones para instalar los elementos de maniobra en la puerta, el gabinete ya no cuenta con la misma protección inicial. Por lo tanto, se considera un grado de IP 41; es decir, el tablero está protegido contra objetos de hasta 1 (mm) de espesor y gotas de agua que caen verticalmente.

Elementos de protección y control

El grupo encargado de la implementación de los módulos de trabajo realizaron el estudio y balanceo de cargas para las dos fases R y S con el objetivo de establecer los parámetros nominales, dando así un valor de 686 (W). Se entiende que la alimentación que proviene del tablero de derivación, elaborado en el proyecto de titulación “Implementación de un sistema de distribución, control, maniobra y señalización para el laboratorio LTEE – tablero de derivación” el cual se está desarrollando en paralelo a este proyecto, es de 220 (V) bifásico.

Sin embargo, en el tablero de control las fases R y S se separan para alimentar 3 módulos cada uno; es decir, el voltaje de alimentación medido en las mesas de trabajo es de 124 (V_{AC}) debido que se diseña para cargas monofásicas. Para la selección de los elementos de protección y control es necesario conocer la potencia máxima que soporta cada módulo y el tipo de carga que se podrían conectar, ya que esto define la categoría del contactor de uso comercial.

Selección del contactor para los módulos de trabajo

Con el dato de potencia obtenida en el estudio de carga, es preciso determinar la potencia máxima, empleando Ecuación 2.1, la cual permite garantizar su correcto funcionamiento en caso de futuras conexiones adicionales. Es así como se ha tomado un factor de reserva del 10%.

$$P_{\max} = P_n \cdot f_r \text{ (W)}$$

Ecuación 2.1 Potencia máxima, [2]

Donde:

- P_{\max} : (W) potencia máxima de cada módulo
- P_n : 686 (W) potencia nominal de cada módulo
- f_r : 1,1 factor de reserva

Usando la Ecuación 2.1 se obtiene:

$$P_{\max} = 754,6 \text{ (W)}$$

Una vez determinado el valor anterior, de acuerdo a la normativa NEC los conductores deben soportar una corriente no menor al 125% de la corriente nominal, [2]. Por lo tanto, es necesario determinar la potencia aplicando el porcentaje de sobredimensionamiento. Para ello, se utiliza la Ecuación 2.2.

$$P_{\text{sobre}} = P_{\text{max}} \cdot f_s \text{ (W)}$$

Ecuación 2.2 Potencia nominal sobredimensionada, [2]

Donde:

- P_{sobre} : (W) potencia sobredimensionada de cada módulo
- P_{max} : 754,6 (W) potencia máxima de cada módulo
- f_s : 1,25 factor de sobre dimensionamiento

Usando la Ecuación 2.2 se obtiene:

$$P_{\text{sobre}} = 943,25 \text{ (W)}$$

Posteriormente, para mejorar la eficiencia del circuito de control es necesario considerar una caída de tensión. De acuerdo a la normativa NEC, para circuitos alimentadores generada por la propia resistencia del conductor, no debe superar el 3% en caída de tensión, [2]. Con ello, empleando la Ecuación 2.3 se determina el voltaje reducido con el que se alimentarán los módulos de trabajo.

$$V_{\text{CT}(3\%)} = V_n(1 - \text{CT}) \text{ (V)}$$

Ecuación 2.3 Voltaje con caída de tensión, [2].

Donde:

- $V_{\text{CT}(3\%)}$: (V) voltaje de alimentación con caída de tensión
- V_n : 124 (V) voltaje nominal de alimentación
- CT : 3% caída de tensión

Usando la Ecuación 2.3 se obtiene:

$$V_{\text{CT}(3\%)} = 120,28 \text{ (V)}$$

Con el resultado obtenido, es necesario identificar la intensidad que demanda cada módulo. Para ello, se conoce que se alimentarán cargas en corriente continua y cargas inductivas, tales como; motores y focos incandescentes, por lo cual se considera un factor de potencia de 0,85. Así, mediante la Ecuación 2.4 se determina la corriente en la carga.

$$I_{\text{carga}} = \frac{P_s}{V_{\text{CT}(3\%)} \cdot \text{fp}} \text{ (V)}$$

Ecuación 2.4 Corriente de carga, [6]

Donde:

- I_{carga} : (A) corriente generado en la carga
- P_{sobre} : 943, 25 (W) potencia sobredimensionada de cada módulo
- $V_{\text{CT}(3\%)}$: 120, 28 (V) voltaje aplicado la caída de tensión
- fp : 0,85 factor de potencia

Usando la Ecuación 2.4 se obtiene:

$$I_{\text{carga}} = 9,23 \text{ (A)}$$

Una vez obtenido los datos anteriores y empleando la Ecuación 2.5 se calcula la resistencia mínima que el conductor debe tener para evitar caídas de tensión superiores al 3%.

$$R_C = \frac{V_n - V_{\text{CT}(3\%)}}{2 \cdot I_{\text{carga}}} \text{ (\Omega)}$$

Ecuación 2.5 Resistencia del conductor, [7]

Donde:

- R_C : (Ω) resistencia del conductor
- V_n : 124 (V) voltaje nominal de alimentación
- $V_{\text{CT}(3\%)}$: 120, 28 (V) voltaje aplicado la caída de tensión
- I_{carga} : 9,23 (A) corriente generado en la carga

Usando la Ecuación 2.5 se obtiene:

$$R_C = 0,2016 \text{ (\Omega)}$$

Con el valor obtenido, se determina el área o sección transversal mínima que debe tener el calibre de alimentación al módulo de trabajo, para ello se utiliza la Ecuación 2.6.

$$A_c = \frac{L \cdot \rho}{R} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Ecuación 2.6 Sección transversal mínima del conductor, [6]

Donde:

- A_c : (mm^2) sección transversal mínima del conductor
- R : 0,2016 (Ω) resistencia del conductor
- L : 14 (m) longitud máxima de instalación del módulo

ρ : 0,0172 (mm² · Ω)/m) resistividad del conductor

Usando la Ecuación 2.6 se obtiene:

$$A_c = 1.1944 \text{ mm}^2$$

Con el dato anterior, se establece que el conductor debe ser de calibre mínimo 16 AWG, sin embargo, por normativa de instalaciones eléctricas se ha seleccionado un conductor de calibre 14 AWG, el cual tiene una corriente máxima de 15 (A). Adicionalmente, el grupo encargado de la implementación de los módulos de trabajo determinaron una protección termomagnética de 10 (A).

Entonces, el contactor que se debe seleccionar debe tener una corriente mayor a la del interruptor termomagnético y menor a la corriente máxima del conductor, teniendo así, un contactor comercial de capacidad de 12 (A).

A continuación, es necesario realizar una evaluación del tipo de cargas que se conectarán en los módulos de trabajo. Considerando que el laboratorio es de Tecnología Eléctrica y Electrónica se debe tomar en cuenta que se utilizarán motores de baja potencia, focos incandescentes, fuentes DC, osciloscopio, generador de señal, etc. Con ello, establecer la categoría del contactor a utilizar, mediante la Tabla 2.2 se observa las diferentes categorías comerciales.

Tabla 2.2 Categoría de contactores en AC, [8]

Categoría	descripción
AC-1	Cargas puramente resistivas para calefacción eléctrica.
AC-2	Motores asíncronos para mezcladoras centrifugas.
AC-3	Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.
AC-4	Motores asíncronos para grúas, ascensores.

Entonces, analizando las cargas antes mencionadas se establece la utilización de contactores de categoría AC-3 con una capacidad de 12 (A), la cual se puede visualizar en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Contactor AC-3 12 (A) para el control de los módulos

En la Tabla 2.3 se especifica las características técnicas del contactor utilizado para el control del encendido y apagado de los módulos de trabajo, los cuales se obtuvieron del manual de la marca del contactor.

Tabla 2.3 Características técnicas del contactor seleccionado

Contactor serie 3RT2024-1AG20	
Marca	SIEMENS
Categoría	AC-3
Voltaje de alimentación	AC 110 (V) – 50/60 (Hz)
Corriente máxima que soporta	12 (A)
Contactos principales	3 contactos NA, 0 contactor NC
Contactos auxiliares	1 contacto NA, 1 contacto NC

Protección termomagnética para el tablero de control

Para seleccionar la protección termomagnética principal es necesario determinar la corriente en función de la potencia total máxima que soportará el tablero de control. Se conoce que la alimentación es bifásica y las fases R y S alimentan 3 módulos cada uno. En base a los datos obtenidos anteriormente y utilizando la Ecuación 2.7 se obtiene la potencia total máxima.

Adicionalmente, es preciso aplicar el factor de sobredimensionamiento del 25% de acuerdo a la normativa NEC.

$$P_{Tmax} = P_{sobre} \cdot \#m \cdot fs$$

Ecuación 2.7 Potencia total del tablero de control, [6]

Donde:

- P_{Tmax} : (W) potencia total máxima
- P_{sobre} : 943,25 (W) potencia sobredimensionada de cada módulo
- $\#m$: 3 módulos por cada fase
- fs : 1,25 factor de sobre dimensionamiento

Usando la Ecuación 2.7 se obtiene:

$$P_{Tmax} = 3537,19 \text{ (W)}$$

Seguidamente, se determina el voltaje de alimentación en la carga considerando una caída de tensión del 2%. Además, se tomará un factor de potencia de 0,85 considerando que se alimentarán cargas inductivas. Entonces, aplicando la Ecuación 2.8 se calcula el voltaje en la carga.

$$V_{CT(2\%)} = V_n(1 - CT) \text{ (V)}$$

Ecuación 2.8 Voltaje en la carga con caída de tensión, [3]

Donde:

- $V_{CT(2\%)}$: (V) voltaje en la carga con caída de tensión
- V_n : 124 (V) voltaje nominal
- CT : 2% caída de tensión

Usando la Ecuación 2.8 se obtiene:

$$V_{CT(2\%)} = 121,52 \text{ (V)}$$

Con los datos de potencia total máxima y voltaje en la carga se procede a determinar la corriente que demanda cada fase, para ello, se utiliza la Ecuación 2.9

$$I_{fase} = \frac{P_T}{V_{CT(2\%)} \cdot fp}$$

Ecuación 2.9 Corriente de línea, [6]

Donde:

- I_{fase} : (A) corriente de fase
- P_T : 3537,19 (W) potencia total máxima
- $V_{\text{CT}(2\%)}$: 121,52 (V) voltaje en la carga con caída de tensión
- fp : 0.85 factor de potencia

Usando la Ecuación 2.9 se obtiene:

$$I_{\text{fase}} = 34,24 \text{ (A)}$$

El dato anterior, permite identificar la corriente mínima la protección termomagnética, sin embargo, el grupo encargado de la implementación del tablero de derivación, el cual alimentará el tablero de control, determinó, en función de la distancia y la caída de tensión del 2%, que el conductor para la alimentación es un calibre número 8 AWG con una corriente máxima de 40 (A).

Por lo tanto, se debe seleccionar un interruptor termomagnético automático que soporte una corriente comprendida entre la corriente de fase y la corriente máxima que soporta el conductor de alimentación, teniendo así, un termomagnético bipolar comercial de capacidad de 40 (A) la cual se puede visualizar en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Protección termomagnética bipolar de 40 (A)

Selección del contactor principal

Para determinar el contactor principal, este elemento de control debe tener una capacidad de corriente mayor o igual a la capacidad del interruptor termomagnético y menor o igual a la del conductor de alimentación. Es así, que se ha seleccionado un contactor comercial de 40 (A).

La categoría del contactor principal debe ser siempre la misma que los contactores que controlan los módulos de trabajo, ya que, las cargas que alimentará el tablero de control son las mismas. Entonces, el contactor seleccionado es un AC-3 de capacidad de 40 (A) la cual se puede visualizar en la Figura 2.5.



Figura 2.5 Contactor AC-3 40 (A) para la energización del tablero

En la Tabla 2.4 se especifica las características técnicas del contactor utilizado para el control del encendido y apagado del tablero, los cuales se obtuvieron del manual de la marca del contactor.

Tabla 2.4 Características técnicas del contactor de 12 (A)

MC-40A 220VAC 1A1B	
Marca	LS
Categoría	AC-3
Voltaje de alimentación	AC 220 (V) – 50/60 (Hz)
Corriente máxima que soporta	40 (A)
Contactos principales	3 contactos NA, 0 contactor NC
Contactos auxiliares	1 contacto NA, 1 contacto NC

2.2 Construcción de un tablero de control para los módulos de trabajo

Un tablero de control está constituido por un gabinete en el cual se instalan los elementos de mando, visualización, medición, control, protecciones y actuadores que pueden ser implantados dentro y en la puerta del mismo, [7]. Inicialmente, el gabinete no posee los elementos mencionados anteriormente, ya que depende de las necesidades de cada institución o empresa, por tal motivo, se realiza un análisis previo para definir el espacio necesario para la instalación de los elementos dentro y fuera del gabinete. Así, el trabajo realizado se divide en dos partes que son: la parte mecánica, en la cual se realiza las adecuaciones para colocar los elementos tanto en el interior como en la puerta, y la parte eléctrica; es decir, el cableado interno para energizar todos los elementos que permiten operar el tablero de control, [4].

Instalación mecánica del gabinete

Para el montaje de los elementos, el gabinete cuenta con una placa metálica en su interior, la cual permite trabajar de forma separada, evitando realizar perforaciones directamente en el gabinete. Esta placa metálica se puede desmontar permitiendo que el trabajo sea más fácil a la hora de colocar las canaletas, rieles y barras de potencial, [4].

En la Figura 2.6 se muestra la distribución de todos los elementos que irán instalados dentro del gabinete. Por lo general, la ubicación de los rieles y canaletas deben tener una separación mínima de 10 (cm) con el propósito de realizar la conexión de los elementos o en el mantenimiento respectivo, [4].

Para asegurar las canaletas y rieles se realizó perforaciones con broca de acero de diámetro de 1/8 de pulgada, y fueron asegurados con tornillos de acero de cabeza avellanada de 1 pulgada de largo.

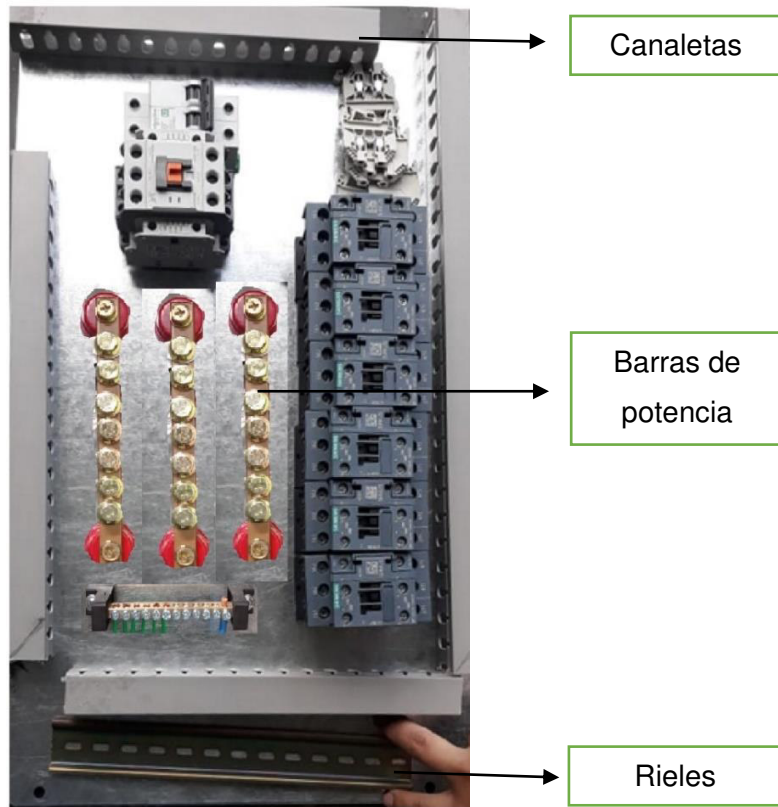


Figura 2.6 Distribución de las canaletas, rieles y barra de potencia

Las barras de potencia para las fases y la tierra se colocan en la parte inferior de la placa metálica, la barra de tierra es importante debido a que su instalación brinda protección y seguridad a los equipos y personas en general que hacen uso del tablero.

Puerta del gabinete

Los elementos de visualización, medición y mando son instalados en la puerta del gabinete, para ello, será necesario realizar varias perforaciones con el objetivo de fija y asegurar su ubicación. Inicialmente, se realizó la respectiva señalización con un trazado horizontal y vertical para distribuir de forma lineal los elementos.

En la Figura 2.7 se puede visualizar la distribución de los elementos, en esta parte se utilizó una broca de $\frac{1}{4}$ de pulgada para realizar las guías y posteriormente, empleando una broca de 1 pulgada se procedió a realizar las perforaciones indicadas.

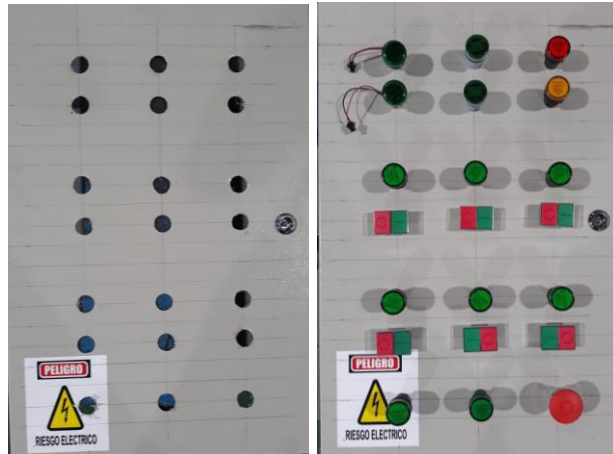


Figura 2.7 Distribución de las canaletas, rieles y barra de potencia

Los elementos empleados en la puerta del gabinete presentan una base circular, todos del mismo diámetro, por tal motivo, se realizó las perforaciones circulares de un solo diámetro.

Además, el gabinete ya cuenta con 3 aberturas circulares para que puedan ingresar los cables al interior del gabinete. Sin embargo, por seguridad y protección para los cables, se han colocado aisladores tipo prensa estopa en las aberturas del gabinete para evitar que los cables, al realizar la acción de jalar se peleen con los filos de la lata metálica, [7]. En la Figura 2.8 se puede observar las protecciones mencionadas para evitar que el aislante del cable se desprenda del conductor.

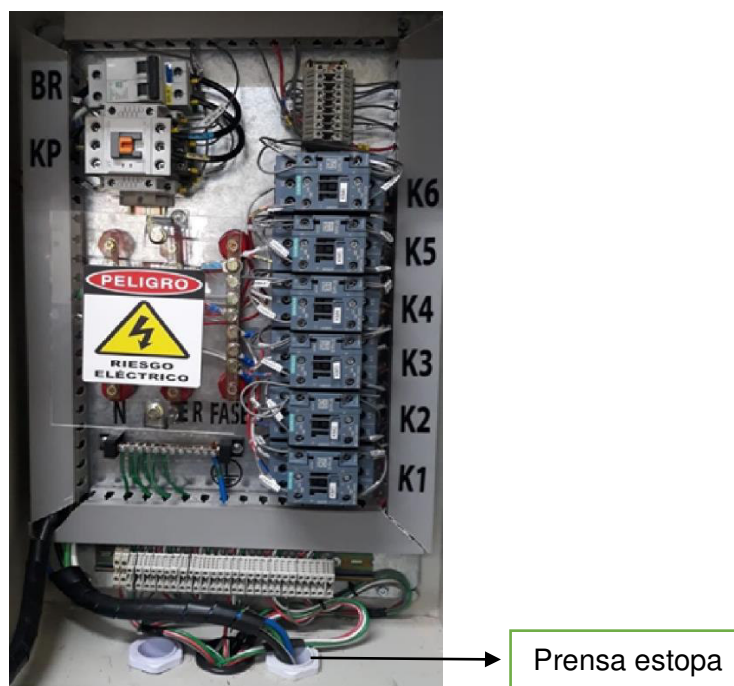


Figura 2.8 Colocación de las prensas estopas

Montaje del tablero de control

Previo al montaje del tablero de control, se realizó el trazado y nivelado del lugar verificando que se halle en una posición segura y de fácil acceso.

Después, se utilizó una broca de concreto de $\frac{1}{4}$ de pulgada para los orificios en la pared. Cabe mencionar que, para asegurar el tablero de control en la pared se empleó pernos tirafondos M10 con sus respectivos tacos *Fischer*. El tablero de control se instaló verificando su posición lineal tanto vertical como horizontal.

Así, el tablero de control fue sujeto a una altura de 1,20 (m) sobre el nivel del piso como se indica en la Figura 2.9.

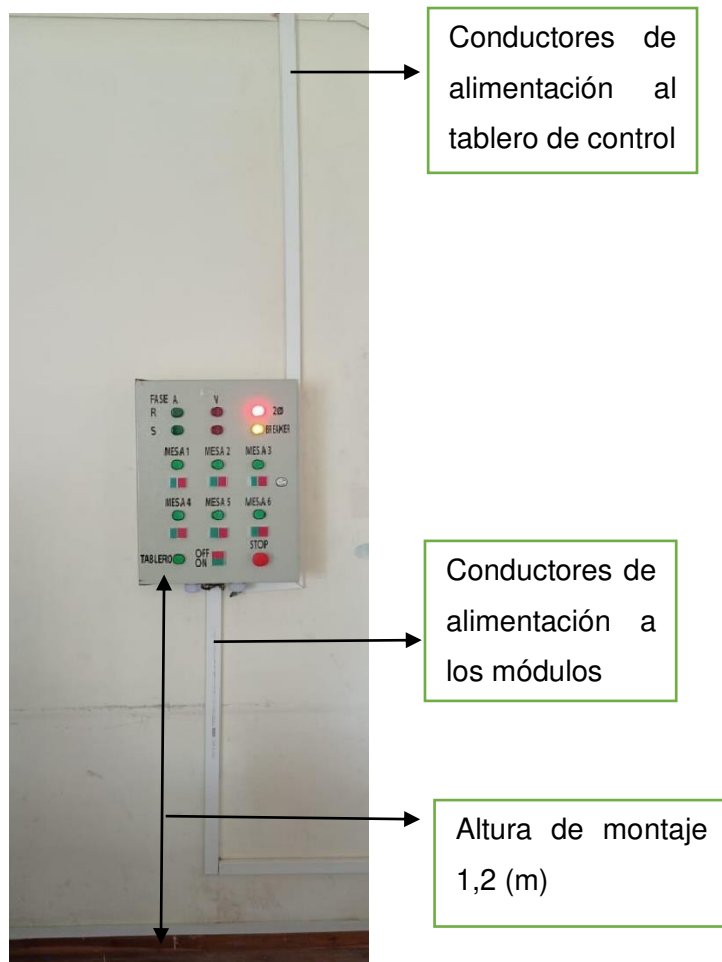


Figura 2.9 Altura de montaje del tablero de control

Plano de conexión

Para el diseño del diagrama de control y fuerza se empleó el programa *CADe_SIMU*, el cual permite trabajar con elementos de control y mando, además, posee herramientas necesarias para realizar ramas de control acorde a las necesidades, [9]. Mientras que, el diagrama eléctrico unifilar se desarrolló en el programa *AutoCAD*.

Diagrama unifilar

Para el desarrollo del diagrama unifilar se utilizó la simbología de acuerdo a la Norma NEC de instalaciones eléctricas.

En la Figura 2.10 se puede visualizar el diagrama unifilar que comprende el tablero de control, para ello, se ha tomado el inicio desde el tablero de derivación hasta los módulos de trabajo. En sí, se puede observar cómo se alimenta el tablero, los calibres empleados tanto para la alimentación como la distribución, la longitud, los elementos de protección termomagnética, contactores y los módulos de trabajo.

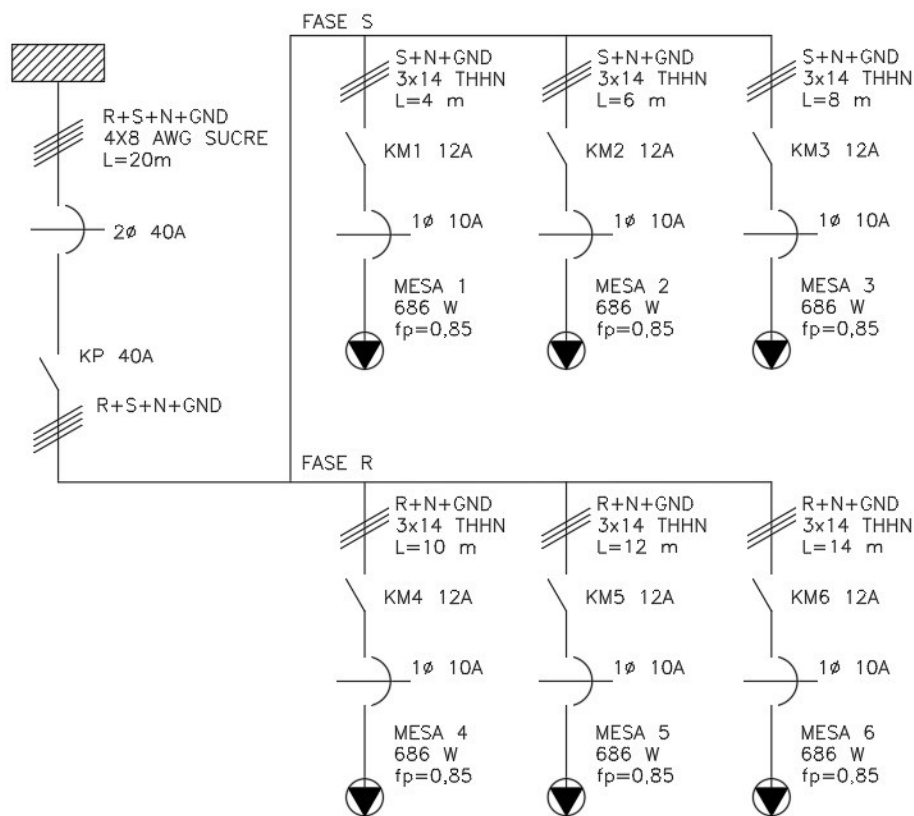


Figura 2.10 Diagrama unifilar del tablero de control

En el Anexo 4 se presenta el diagrama unifilar en la resolución y formato establecidos por la coordinación de titulación de la carrera de Electromecánica.

Diagrama de control y fuerza para el tablero

Para el diseño del diagrama de control y fuerza correspondiente al tablero de control se emplea el programa *CADe_SIMU*. El programa permite desarrollar un plano de conexión donde se detalla la forma de conectar los elementos de protección, control, mandos y señalización; es decir, el circuito necesario para poder conectar y energizar todos los elementos a las fases correspondientes.

Por lo general, toda instalación eléctrica requiere de un plano o diagrama de control en donde se detalle una nomenclatura para señalar las conexiones de los elementos. La numeración permite identificar y comprender las líneas de conexión y como estas se distribuyen por todo el tablero. En la Tabla 2.5 se puede analizar la nomenclatura utilizada de los elementos

Tabla 2.5 Nomenclatura de los elementos del tablero de control

Elementos	Terminales
Luces piloto	X1 – X2
Pulsador NA	13 – 14
Pulsador NC	11 – 12
Bobina	A1 – A2
Breakers	R – S

Cabe mencionar, que la nomenclatura utilizada en el programa *CADe_SIMU* no es similar a las que están implementadas en el tablero de control, ya que el programa no permite colocar nombres extensos a 5 caracteres. Sin embargo, se ha utilizado una combinación entre la nomenclatura del elemento al cual está conectado y la nomenclatura del punto de conexión. En la Figura 2.11 se puede visualizar el diagrama de control correspondiente.

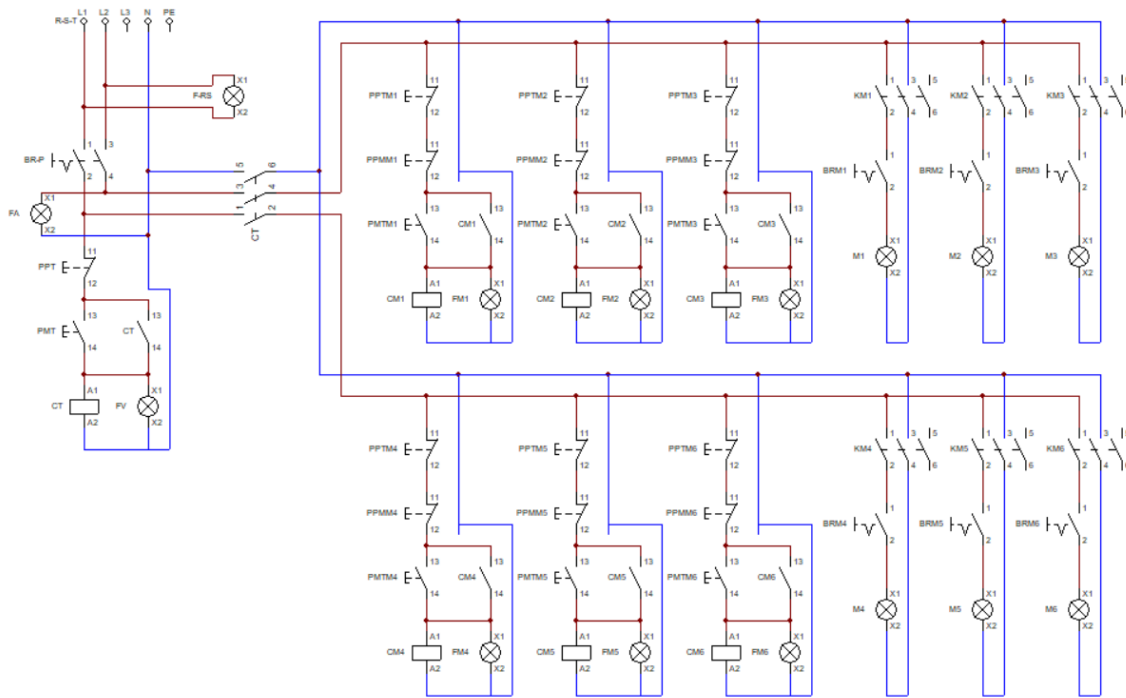


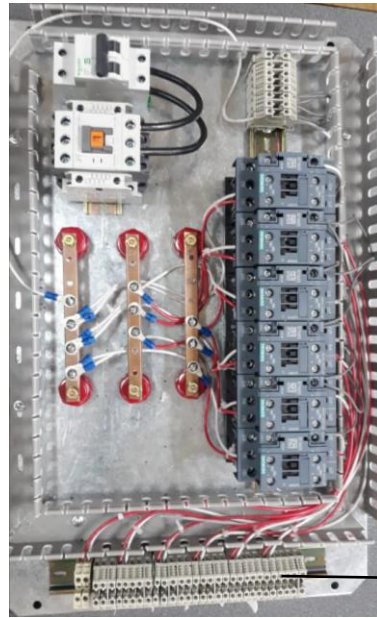
Figura 2.11 Diagrama de control para el tablero de laboratorio LTEE aula 23B

En el Anexo 5 se presenta el diagrama de Montaje del circuito de potencia hasta las barras de distribución y en el Anexo 6 el diagrama de montaje de los módulos de trabajo.

2.3 Implementación del sistema de control, seguridad, señalización y distribución de energía eléctrica a las mesas de trabajo

Antes de realizar las conexiones, es importante ubicar y fijar los elementos en donde fueron asignados en el diseño. Se considera que el elemento de protección termomagnética se instaló en la parte superior, seguido del contactor principal de mayor amperaje. Los contactores para el control de los módulos se implementaron en la parte derecha, y las barras de potencia en la parte inferior izquierda.

En la Figura 2.12 se observa la forma ordenada de los elementos de control. Cabe mencionar, que se ha añadido borneras para realizar las conexiones y así, evitar los empalmes.



Borneras
industriales

Figura 2.12 Distribución de los elementos en la placa metálica del gabinete

Para la instalación de las barras de potencia en los aisladores tipo barril de 2,5 (mm) de diámetro se realizó perforaciones con la broca de acero de 1/4 de pulgada, de igual forma para realizar las perforaciones en la barra de potencia se utilizó la misma broca, ya que el perno utilizado para asegurar los terminales es el M6. En la Figura 2.13 se observa las perforaciones realizadas en la barra de potencial.

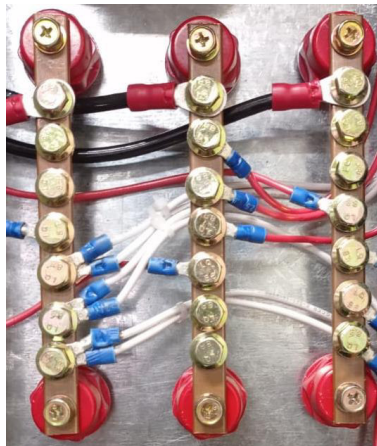


Figura 2.13 Barras de potencia perforadas

Los elementos que se colocarán en la puerta del gabinete deben ir asegurados, para ello, estos elementos de mando, visualización y medición poseen un mecanismo mecánico que permite realizar el ajuste necesario para su fijación. Los pulsadores, luces piloto, amperímetros y voltímetros contienen un mecanismo tipo tuerca que permite asegurarlos desde la parte posterior.

En la Figura 2.14 se observa la ubicación de los elementos de mando, visualización y señalización.

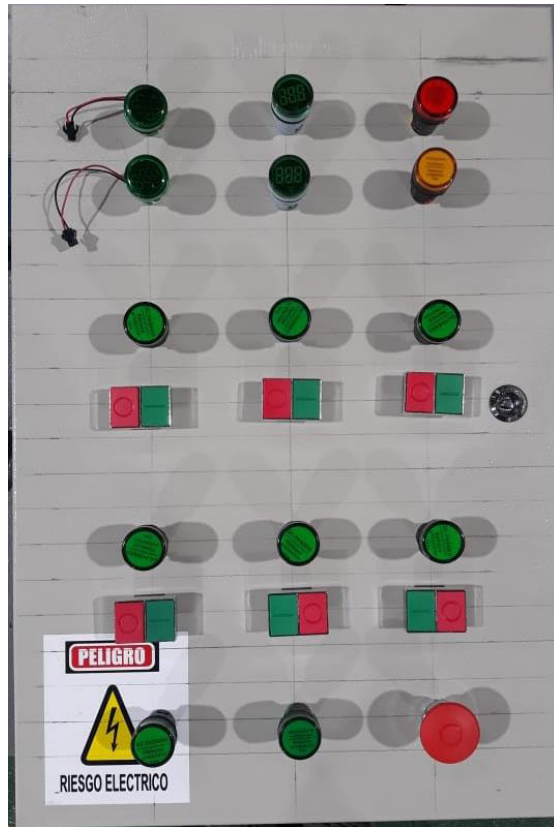


Figura 2.14 Distribución de los elementos en la placa metálica del gabinete

Cableado de los elementos de mando y visualización en la puerta del gabinete.

La conexión adecuada de los elementos de maniobra en la puerta del gabinete es muy importante debido a que permite energizar y desenergizar el tablero de control y, los módulos de trabajo. Con ello, no es necesario realizar un contacto directo con los elementos de control.

El calibre empleado para realizar las conexiones de los elementos es el número 20 AWG, ya que solo es utilizado para la maniobra y visualización. Sin embargo, el color del conductor es único, ya que se está aprovechando los materiales disponibles de la ESFOT.

En la Figura 2.15 se muestra la conexión con los respectivos elementos de maniobra y visualización.



Figura 2.15 Cableado de los elementos de maniobra y visualización

Para el acabado de la instalación se utilizó amarras plásticas de 25 (cm) para asegurar los cables, cinta espiral blanca para canalización del cableado y terminales tipo pin para el calibre número 20, con ello asegurar una conexión segura y firme.

Conexión de los elementos de control y fuerza

Para energizar el tablero de control, se utilizó el calibre número 8 AWG para el neutro, la línea R, la línea S y la tierra. Únicamente las líneas R y S son conectados al interruptor termomagnético, seguidamente se conecta al contactor de 40 (A) en sus terminales de fuerza. Posteriormente, las líneas son llevadas hasta las barras de potencial donde se conecta el neutro, la línea R, S y la tierra.

Por el contrario, se utilizó el conductor de calibre 14 AWG para la conexión en los terminales de fuerza de los contactores de menor amperaje, los que se encargan de energizar los módulos de trabajo.

En la Figura 2.16 se puede observar las diferentes conexiones para energizar el tablero y los contactores que controlan los módulos de trabajo.

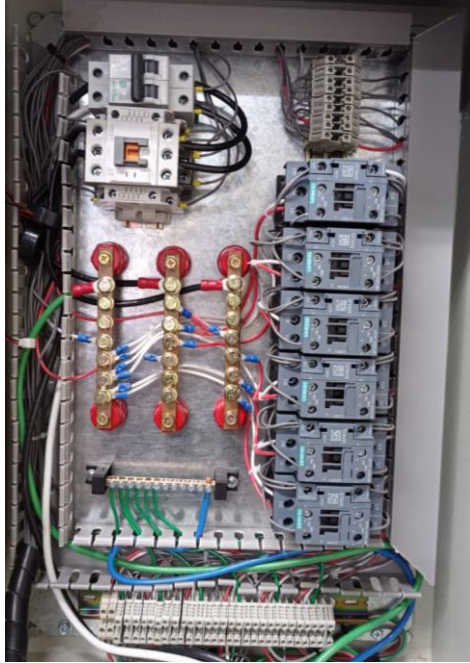


Figura 2.16 conexión de la alimentación con los elementos de maniobra y control

En sí, se utiliza el cable de color negro y rojo para las fases R y S, el color verde y blanco es utilizado para el neutro, mientras que, los conductores de color azul y verde se empleó para las conexiones a la barra de tierra. Del mismo modo, se puede visualizar que, para las conexiones se está utilizando borneras industriales y evitar realizar empalmes. La utilización de estos elementos permite dar un fácil manejo al momento realizar conexiones y desconexiones por motivos de mantenimiento o modificaciones.

Etiquetado de las conexiones

Es importante señalar las conexiones de los elementos que están instalados en la parte interna y externa del tablero de control con el objetivo de comprender la interacción de los elementos de maniobra con los elementos de control. Con ello, facilita el entendimiento y comprensión de la funcionalidad del sistema.

La puerta del tablero se compone de una luz roja para indicar que el tablero recibe energía correctamente, una luz naranja para denotar que el interruptor termomagnético esta activado, una luz verde que señala la activación del contactor principal y 6 luces de color verdad para señalar que los contactores de cada módulo se encuentran energizados.

En la Figura 2.17 se puede observar la tapa del tablero de control con su respectiva etiqueta para los elementos de maniobra, visualización y medición.



Figura 2.17 Etiquetado de la parte externa del tablero de control

En la parte interna se emplearon etiquetas de color amarillo y azul para señalar las fases R y S respectivamente. A continuación, en la Figura 2.18 se observa las diferentes etiquetas empleadas para identificar el cableado.

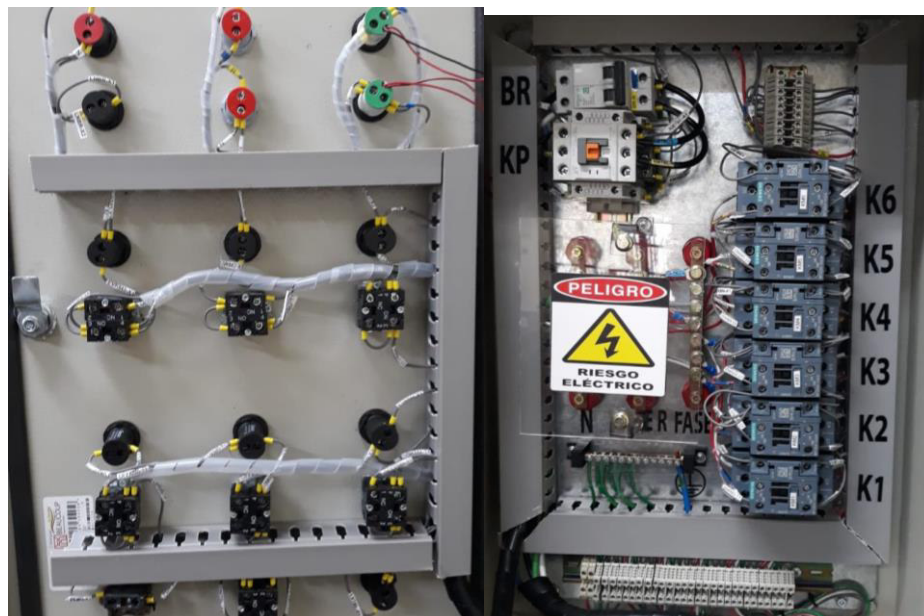


Figura 2.18 Etiquetado de las conexiones de maniobra y control

En la Tabla 2.6 se describe la nomenclatura utilizada para etiquetar las partes de maniobra, control, protecciones y luces pilotos.

Se describe la nomenclatura empleada para los elementos que componen el tablero de control. Se toma en cuenta la abreviatura del elemento, el número o letra de la rama y la nomenclatura de los puntos de conexión el cual está separado por un guion.

Tabla 2.6 Nomenclatura de los elementos del tablero de control

Elemento	Descripción	Punto de conexión	Rama	Nomenclatura
Interruptor termomagnético	Principal	Terminales	---	BRP-R, BRP-S
Contactor	Principal	Bobina	General	KMTBL-A1, KMTBL-A2
		Contacto Fuerza	General	KMTBL-R, KMTBL-S
		Contacto auxiliar	General	KMTBL-13, KMTBL-14
	Módulos	Bobina	1	KM1-A1, KM1-A2
		Contacto Fuerza	1 y 4	KM1-S, KM4-R
		Contacto auxiliar	1	KM1-13, KM1-14
Luz piloto rojo	Energía	Terminales	General	LREN-X1, LREN-X2
Luz piloto naranja	Interruptor principal	Terminales	General	LNBR-X1, LNBR-X2
Luz piloto verde	Contacto principal	Terminales	General	LVTBL-X1, LVTBL-X1
	Contacto módulos	Terminales	2	LVKM2-X1, LVKM2-X2,
Pulsador	Paro de emergencia	Terminales	General	PEMG-X1, PEMG-X2
Pulsador apagado	Tablero de control	Terminales	General	OFFTBL-X1, OFFTBL-X2
	Módulos de trabajo	Terminales	3	OFFKM3-X1, OFFKM3-X2
Pulsador encendido	Tablero de control	Terminales	General	ONTBL-X1, ONTBL-X2
	Módulos de trabajo	Terminales	4	ONKM4-X1, ONKM4-X2

3 RESULTADOS

A continuación, en la Figura 3.1 se presenta el proyecto finalizado y en la Figura 3.2 se muestran los principales elementos que constituyen el tablero.

El Tablero de control se encuentra ubicado en el aula 23B que forma parte del Laboratorio LTEE-ESFOT, dicho tablero distribuye de forma segura la energía eléctrica a 6 módulos de trabajo. Permite controlar y monitorear señales eléctricas como voltaje y corriente para las fases R y S.

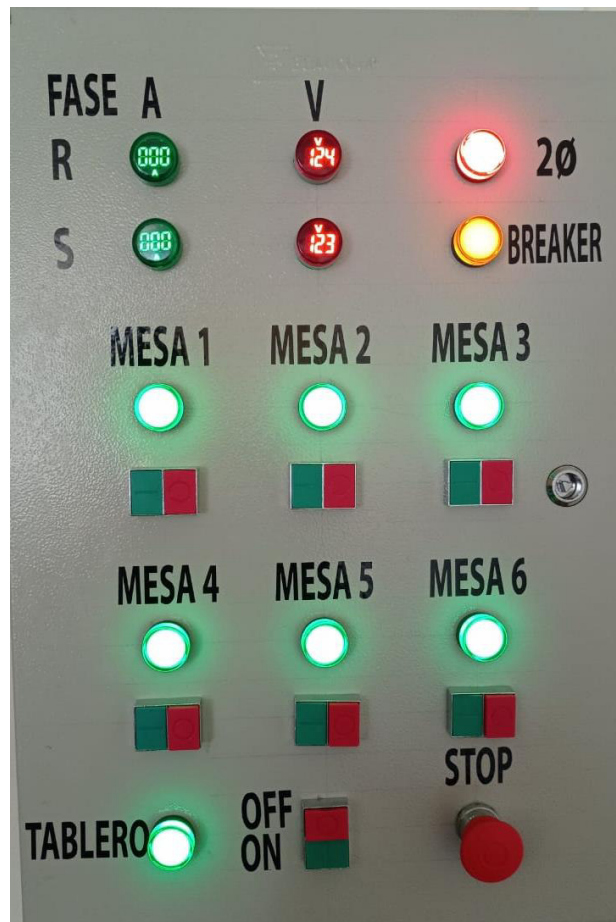


Figura 3.1 Componente entregable de UIC

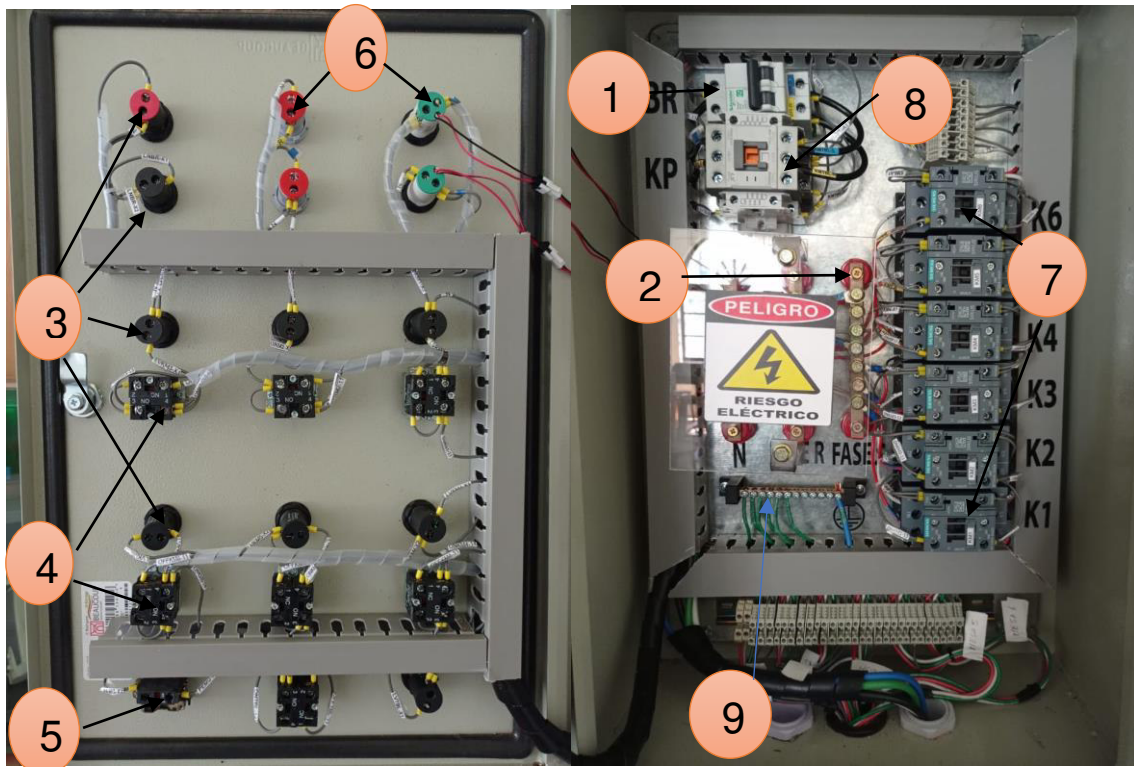


Figura 3.2 Elementos que componen el módulo de control

1. Breaker Schneider EZ9F56106 (Térmico-Magnético)
2. Barras de potencia (Neutro, Fase R, FASE S)
3. Luces Piloto indicadoras
4. Pulsadores NO – NC
5. Pulsador tipo hongo
6. Medidores de tensión e intensidad
7. Contactores Siemens serie 3RT2024-1AG20
8. Contactor LS MC-40A 220VAC 1A1B
9. Barra de tierra.

Se han preparado dos videos para la presentación de este trabajo de integración curricular.

En la Figura 3.3 se encuentra un video demostrativo del funcionamiento del sistema implementado y en la Figura 3.4 se encuentran las recomendaciones de mantenimiento para prolongar la vida útil del proyecto implementado.



Figura 3.3 Código QR del enlace al video demostrativo de funcionamiento

Enlace: <https://youtu.be/eBmu9G2t7SY>



Figura 3.4 Código QR del enlace al video con las recomendaciones de mantenimiento

Enlace: <https://youtu.be/XsbTJHThvNY>

3.1 Pruebas y Análisis de Resultados

Posterior a la implementación del tablero de control se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento en conjunto con los demás proyectos realizados en el Laboratorio LTEE-ESFOT aula 23B. Las pruebas que certifican la validación del funcionamiento del tablero de control fueron las siguientes:

Prueba del circuito de control

La prueba mencionada tiene la finalidad de verificar el funcionamiento del sistema de encendido, apagado y paro de emergencia, con ello analizar si cumple con lo requerido al accionar los elementos de maniobra. Adicionalmente, comprobar el funcionamiento de los pulsadores y luces piloto. Por último, medir el valor de la resistencia de continuidad para analizar el ajuste de las conexiones realizadas.

Para evaluar dicha prueba, es correcto trabajar con el tablero desenergizado. Por una parte, el accionamiento de los contactores se lo realiza mediante una leve presión en la parte media. Posteriormente, con un multímetro digital en escala de continuidad se verifican las conexiones de los elementos de maniobra, tales como; pulsadores de encendido y apagado, luces pilotos, paro de emergencia general y, medidores de tensión e intensidad.

Finalmente, se mide la resistencia de continuidad desde la protección termomagnética hasta las barras de potencia. También desde las barras de potencia hasta los conectores de salida a los módulos de trabajo. En la Figura 3.5 se puede visualizar el proceso descrito anteriormente.

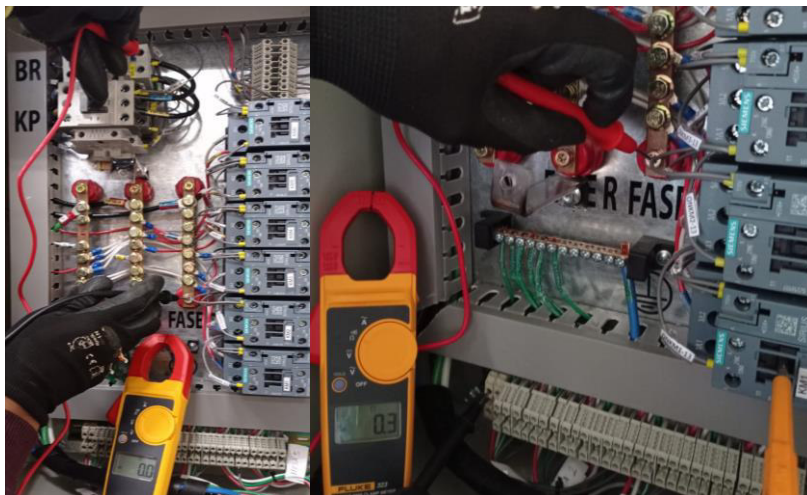


Figura 3.5 Medición de la resistencia de continuidad para las barras de potencia y módulos de trabajo respectivamente

Los resultados de la prueba realizada se pueden visualizar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Prueba de continuidad en las líneas de mesas de trabajo

Pruebas de continuidad en los sistemas				
	Sistema de encendido	Sistema de apagado	Paro de emergencia	Resistencias de continuidad
Mesa 1	✓	✓	✓	0,2
Mesa 2	✓	✓	✓	0,3
Mesa 3	✓	✓	✓	0,3
Mesa 4	✓	✓	✓	0,4
Mesa 5	✓	✓	✓	0,5
Mesa 6	✓	✓	✓	0,3
Tablero	✓	✓	✓	---
Tablero LR	✓	✓	✓	0,1
Tablero LS	✓	✓	✓	0

Con los resultados obtenidos, se puede mencionar que la instalación del sistema de encendido, apagado y paro de emergencia están correctamente implementados. Por consiguiente, los elementos de maniobra accionan a sus respectivos contactores para la alimentación general e individual. No obstante, los datos de resistencia de continuidad señalan que los ajustes en los puntos de conexión presentan una presión adecuada ya que el valor de resistencia varía entre 0 (Ω) a 0,5 (Ω).

Además, la barra de potencia S alimenta a los módulos de la mesa 1, mesa 2 y mesa 3. Mientras que, la barra R energiza a los módulos de la mesa 4, mesa 5 y mesa 6. También, se puede mencionar que las líneas se encuentran balanceados.

Medición de voltaje en el tablero de control

El objetivo de realizar dicha prueba es verificar que la alimentación en vacío para el tablero de control y módulos de trabajo sean los valores normalizados para voltaje bifásico y monofásico respectivamente.

Voltaje a la entrada

Para realizar dicha prueba se debe considerar que el tablero de control este energizado y los módulos de trabajo sin conexión a carga. Después, empleando un multímetro digital en la escala de voltaje alterno medir la tensión en los puntos de conexión a la entrada del interruptor termomagnético de 40 (A).

Los resultados de la prueba realizada se pueden visualizar en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Voltajes en la entrada del tablero de control

Voltajes en la entrada del tablero	
Líneas	Voltaje en Vacío
LR	125,5
LS	124,9
LR – LS	216,6
T – N	0,3

En síntesis, los valores obtenidos permiten establecer que los diferentes elementos de maniobra, señalización y control están siendo alimentados con tensión monofásica. Mientras que, la alimentación al tablero de control es de 216,6 (V) bifásico.

Voltaje a la salida en vacío

En primer lugar, se debe comprobar, mediante el encendido de las luces pilotos, que el tablero de control y los módulos de trabajo estén energizados. Seguidamente, utilizando un multímetro digital en escala de voltaje alterno se mide la tensión en los conectores de salida, los cuales se encuentran ubicados en la parte inferior.

Primero, se mide la tensión entre línea – neutro, posteriormente línea – tierra y finalmente el voltaje neutro – tierra.

Los resultados de la prueba realizada se pueden visualizar en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Voltaje de alimentación a las mesas de trabajo

Datos de voltaje en el tablero de control			
Mesas	Voltaje (F-N)	Voltaje (F-T)	Voltaje (N-T)
Mesa 1	124,8	125	0,3
Mesa 2	124,9	125,2	0,3
Mesa 3	124,8	125,1	0,3
Mesa 4	125,2	125,2	0,3
Mesa 5	125,4	125,4	0,3
Mesa 6	125,5	125,3	0,3

Con las mediciones obtenidas, se concluye que los módulos de trabajo son alimentados con tensión monofásica que varía de 124,8 (V) a 125,5 (V).

Prueba de caída de tensión

La siguiente prueba se lo realiza con el fin de verificar la caída de tensión instalada en cada módulo de trabajo, y con ello, corroborar que la caída máxima sea del 3%.

Para llevar a cabo la siguiente prueba, el tablero de control y los módulos de trabajo deben estar energizados. Seguidamente, en cada módulo se debe conectar una carga que genere mínimo 7 (A) ya que corresponde al valor nominal usado para el diseño e implementación del tablero. Para ello, con una pinza amperimétrica se debe medir la intensidad que circula por el interruptor termomagnético de 10 (A) que están instalados en los módulos de trabajo.

En la Figura 3.6 se muestra una corriente de 7 (A) consumida por las cargas conectadas al módulo, tales como; un foco incandescente de 100 (W) y un calefactor.



Figura 3.6 Corriente de 7 (A) para la caída de tensión

Posteriormente, con un multímetro en opción de voltaje alterno se debe medir la tensión en el contactor de 12 (A), instalado en el tablero de control correspondiente a cada módulo, y en el propio módulo de trabajo. En la Figura 3.7 se muestra el proceso de medición respectivamente.



Figura 3.7 Voltaje medido en el tablero de control y módulo respectivamente

Adicionalmente, para determinar la caída de tensión se utiliza la Ecuación 3.1

$$\Delta V_{\%} = \frac{V1 - V2}{V1} \cdot 100$$

Ecuación 3.1 Ecuación de la caída de tensión, [2]

Donde:

- $\Delta V_{\%}$: (%) caída de tensión
- V1 : (V) voltaje en el tablero de control
- V2 : (V) voltaje en los módulos de trabajo

Usando la Ecuación 3.1 se obtiene el porcentaje de caída de tensión determinado en la mesa 1:

$$\Delta V_{\%} = \frac{122,3 - 121,1}{122,3} \cdot 100\% = 0,98 \%$$

Los resultados de la prueba de caída de tensión con carga para cada módulo de trabajo se pueden visualizar en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Caída de tensión con carga de 7 (A)

Caída de tensión				
	V. Tablero (V)	V. Mesas (V)	ΔV (V)	ΔV (%)
Mesa 1	122,3	121,1	1,2	0,98
Mesa 2	122,1	120,9	1,2	0,98
Mesa 3	122,3	120,8	1,5	1,23
Mesa 4	123	121,6	1,4	1,14
Mesa 5	122,8	121,6	1,2	0,98
Mesa 6	122,8	121,1	1,7	1,38

En consecuencia, con los resultados obtenidos en la **¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.**Tabla 3.4 se puede mencionar que el calibre del conductor seleccionado e instalado para la alimentación de los módulos de trabajo es el adecuado, debido a que, se origina una caída de tensión que no supera el 3% del valor máximo establecido por la norma NEC.

Fugas de corriente

La prueba realizada tiene como objetivo analizar el estado de la instalación eléctrica, con ello, comprobar el ajuste de las conexiones y los aislamientos de los conductores que alimentan cada módulo de trabajo.

Para ello, el tablero de control y los módulos deben estar energizados. Después, se conecta una carga en cada mesa de trabajo correspondiente a una sola línea de alimentación. Finalmente, utilizando una pinza amperimétrica se debe medir la corriente que circula por los conductores de alimentación del tablero de control tanto para la línea y el neutro.

En la Figura 3.8 se puede observar las diferentes cargas conectadas en los módulos correspondiente a la línea R y las mediciones obtenidas en el tablero.



Figura 3.8 Medición de corriente en la línea R y en el neutro respectivamente.

Los resultados de la prueba de fuga de corriente se detallan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Datos de corriente en el tablero de control

Fuga de corriente			
	Corriente en la línea R (A)	Corriente en la línea S (A)	Corriente de retorno (A)
Línea R	19,5	---	19,5
Línea S	---	19,5	19,5

Con los resultados obtenidos, se puede mencionar que la corriente que circula por la línea R es igual a la corriente que circula por el conductor de neutro; es decir, la corriente

no circula por ningún otro medio externo. Por lo tanto, la corriente generada por la carga instalada circula por la línea correspondiente y retorna por el conductor de neutro.

Revisión de los elementos de protección

Esta prueba tiene la finalidad de verificar el accionamiento de los interruptores termomagnéticos en presencia de una corriente de cortocircuito. Con ello, determinar si el elemento de protección termomagnético interrumpe la energía eléctrica cuando se genera un pico de corriente.

Para ejecutar dicha prueba es necesario realizar un cortocircuito y es conveniente simular con las protecciones personales adecuados. Posteriormente, con los cables de alimentación se procede a cerrar el circuito entre dos fases provocando un cortocircuito controlado.

En caso de efectuarse un cortocircuito en los módulos de trabajo, únicamente debe accionarse la protección termomagnética de 10 (A) correspondiente al módulo, sin embargo, la protección general de 40 (A) no se debe accionar.

En la Tabla 3.6 se detalla los resultados obtenidos de la prueba.

Tabla 3.6 Revisión de elementos de protección del tablero de control

Cortocircuito	Protege	No protege
Interruptor termomagnético automático 40 (A)	✓	
Interruptor termomagnético automático 10 (A)	✓	

Con los resultados obtenidos, las protecciones termomagnéticas se activan en presencia de un pico de corriente, el cual, es generado por un cortocircuito. En síntesis, un cortocircuito originado en el módulo de trabajo activa únicamente la protección termomagnética de 10 (A); mientras que, el de 40 (A) no se activa. Por lo tanto, no se ven afectados los demás módulos de trabajo que están conectados al mismo tablero de control.

4 CONCLUSIONES

- Se implementó un tablero de control en el laboratorio LTEE-ESFOT aula 23B cumpliendo con los requerimientos técnicos del laboratorio, el mismo servirá a los estudiantes de las carreras de Electromecánica, Redes y TICS para que realicen sus prácticas y proyectos de titulación en un entorno seguro y con todos los elementos eléctricos necesarios.
- El tablero de control se instaló a la altura establecida por la norma NEC, además, cuenta con todos los elementos de control, maniobra, señalización, protecciones y medición necesarios para el correcto desenvolvimiento de las prácticas en el Laboratorio.
- Es importante mencionar que la instalación realizada cumple con la caída de tensión máxima permisible, ya que, al realizar la prueba de caída de tensión, ningún módulo supera el valor de 3 (V). Estos valores se encuentran en un rango de 1,2 a 1,7 (V) lo cual resalta que la selección del calibre del conductor es el correcto.
- Se ha comprobado que todos los elementos de maniobra tanto en la parte mecánica como en la eléctrica permiten un correcto accionamiento de los contactores asociados a cada uno de ellos, además, el circuito de paro de emergencia interrumpe totalmente todos los contactores con el fin de brindar protección al sistema de control, los equipos y los usuarios del laboratorio.
- Se ha implementado el tablero de control utilizando contactores de la misma clase, es decir, el contactor encargado de energizar todo el tablero y los contactores de cada módulo de trabajo son de tipo AC-3, ya que dentro del laboratorio se pretende utilizar cargas inductivas con corrientes de arranque en el orden de 4 a 10 veces su valor nominal.
- Se realizaron diferentes pruebas al tablero, las cuales permitieron evidenciar la correcta implementación de este, además, se sometió al sistema a condiciones extremas de trabajo para asegurarse que este está preparado para trabajar en un ambiente con sobretensiones, sobre corrientes y desbalances.

- El costo aproximado del proyecto fue de 600 (USD), los cuales se invirtieron en la adquisición de los elementos de visualización, maniobra, y protección del Laboratorio, además de los conductores y la canalización desde el tablero de derivación hasta el de control. Por parte de la ESFOT se utilizaron conductores para el circuito de control y borneras eléctricas

5 RECOMENDACIONES

- En general, para la selección del gabinete es importante primero adquirir los elementos de control, maniobra, señalización, además, tener los materiales de potencia, tales como: barra de potencia, de neutro y tierra, así como también los rieles y canaletas. Esto, con el objetivo de realizar el diseño de la colocación de los elementos tanto en la parte interna como en la puerta.
- Para el diseño y colocación de los elementos de maniobra en la tapa del gabinete, es preciso realizar las perforaciones de forma lineal; es decir, que todos los elementos de maniobra y señalización formen una línea vertical y horizontal. Es aconsejable realizar un trazado con lápiz y regla.
- Antes de energizar todo el tablero de control, es preciso realizar pruebas de continuidad para verificar que las conexiones sean correctas en los puntos de conexión. También, verificar que el voltaje de alimentación sea el adecuado para los contactores y elementos de visualización.
- No activar y desactivar las mesas de trabajo de forma repentina, si bien, los elementos de maniobra y control, tales como: contactores y pulsadores funcionan de forma correcta, esta acción podría reducir la vida útil de la parte mecánica.
- Es correcto revisar el manual de uso y mantenimiento antes de realizar cualquier actividad o modificación dentro del tablero de control. Es preciso seguir el video mantenimiento con los periodos establecidos de esta forma evitar algún mantenimiento correctivo.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Valencia Vanegas, *Riesgos eléctricos y mecánicos: Prevención y protección de accidentes*. Colombia: Ediciones de la U, 2016.
- [2] A. D. Sandoya Unamuno, L. Chica Martínez, G. R. Ordoñez, and enny L. Arias Zambrano, "Instalaciones Eléctricas," *Normativa Ecuatoriana de la Construcción*, vol. I, no. Capítulo 1, pp. 3–33, Mar. 2018.
- [3] A. D. Sandoya Unamuno, L. Chica Martínez, G. R. Ordoñez, and J. L. Arias Zambrano, "Instalaciones Electromecánicas," *NEC*, vol. Capítulo 15, no. Instalaciones Electromecánicas, pp. 6–173, Jan. 2013.
- [4] A. F. ArreguÍ FalconÍ and I. J. Bastidas Condoy, "CONSTRUCCIÓN DE ACOMETIDA Y TABLERO DE CONTROL DE SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA EL LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL," Quito, 2018.
- [5] matelec, "Grados de Protección IP," *Grados de protección IP*, Jul. 24, 2019.
- [6] A. Charles K and S. Matthew N, *Fundamentos de circuitos eléctricos*, Quinta. Mexico: 2013, 2006.
- [7] C. A. ARDOZO GALVIS, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TABLERO DE CONTROL APLICABLE A UNA ESTACION DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS," Bucaramanga, 2011.
- [8] F. G. Mendoza Guerra, "PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LAS GRÚAS TORRE, APLICANDO LA NORMA ISO 9001:2015 EN LA EMPRESA R&M GRÚAS TORRE S.R.L.," Lima, 2017.
- [9] J. F. ROJAS RICO and R. L. GUTIERREZ MOLINA, "USO PEDAGÓGICO DEL SIMULADOR CADE SIMU EN EL ÁREA DE ELECTRICIDAD POR LOS APRENDICES DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO INDUSTRIAL DEL SENA REGIONAL TOLIMA," IBAGUE - TOLIMA, 2020.

7 ANEXOS

ANEXO I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin

ANEXO II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración Curricular

ANEXO III. Diagrama eléctrico arquitectónico

ANEXO IV. Diagrama Unifilar del Sistema

ANEXO V. Diagrama de Montaje Potencia

ANEXO VI. Diagrama de Montaje Módulos de Trabajo

ANEXO I. REPORTE DE SIMILITUD GENERADO POR TURNITIN

DMQ, 24 de enero de 2022

Yo, Pablo Andrés Proaño Chamorro, como Director del presente Trabajo de Integración Curricular, certifico que el siguiente es el resultado de la evaluación de similitud realizado por la plataforma Turnitin, la cual ha sido realizada al documento desde el Resumen hasta el capítulo de conclusiones y recomendaciones, carátula incluida:

Submission date: 24-Jan-2022 06:40PM (UTC-0500)

Submission ID: 1747441728

File name: Trabajo_UIC_Electromec_nica_Ashqui_Byron_RevF.pdf (2.1M)

Word count: 9523

Character count: 50503

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN,
CONTROL, MANIOBRA Y SEÑALIZACIÓN PARA EL
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
AULA 23B

ORIGINALITY REPORT

11 %	11 %	0 %	4 %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

Exclude quotes On
Exclude bibliography On

Exclude matches Off



DIRECTOR

Ing. Pablo Andrés Proaño Chamorro., Msc.

ANEXO II. CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DMQ, 24 de enero de 2022

Yo, Pablo Andrés Proaño Chamorro, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de integración curricular, certifico que he constatado el correcto funcionamiento del tablero de Control y Distribución de Energía del Laboratorio LTEE Área de Electrónica de Potencia, el cual fue implementado por el estudiante Ashqui Paguay Byron Geovanny.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan el tablero con seguridad para los equipos y las personas.



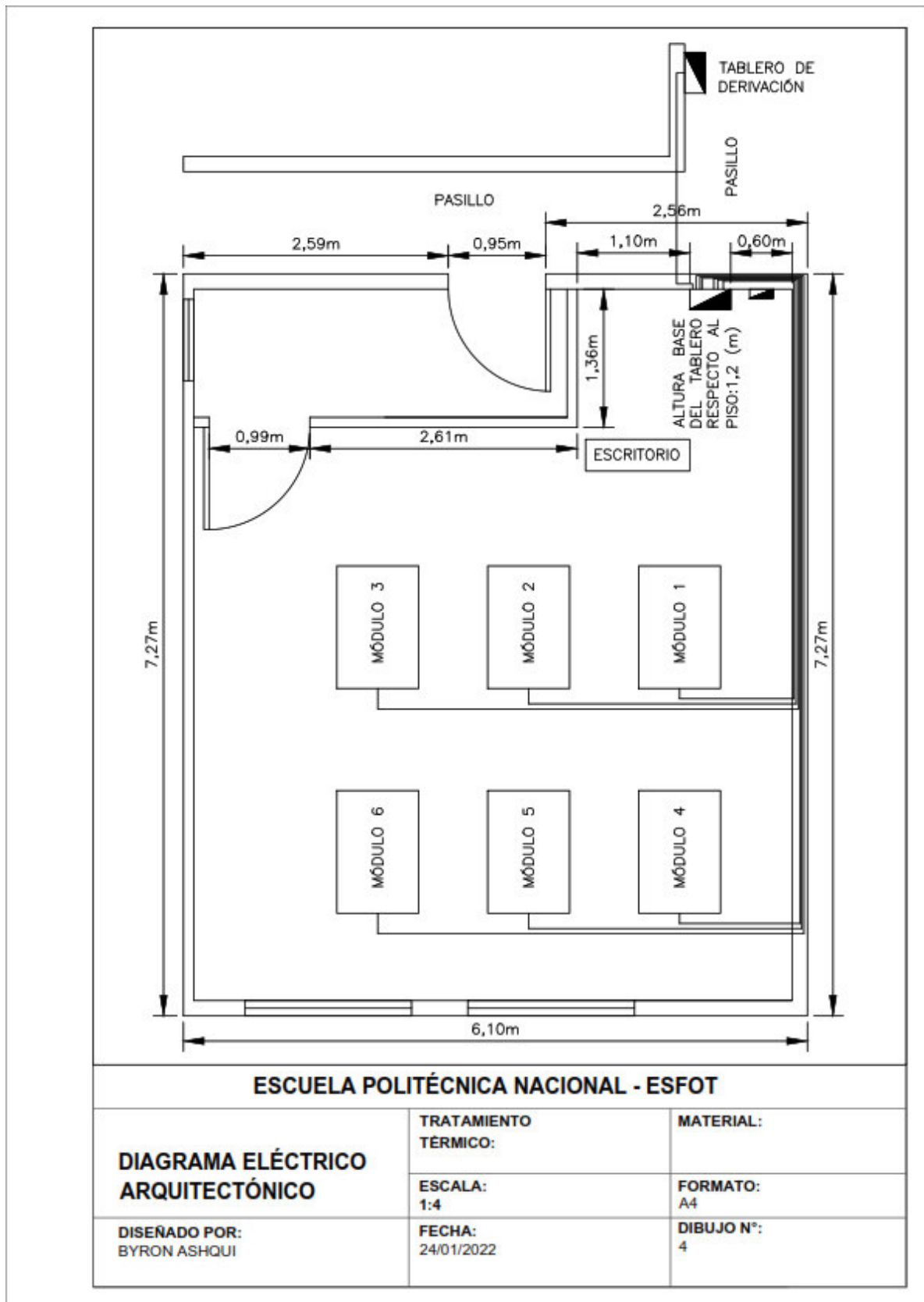
DIRECTOR

Ing. Pablo Andrés Proaño Chamorro., Msc.

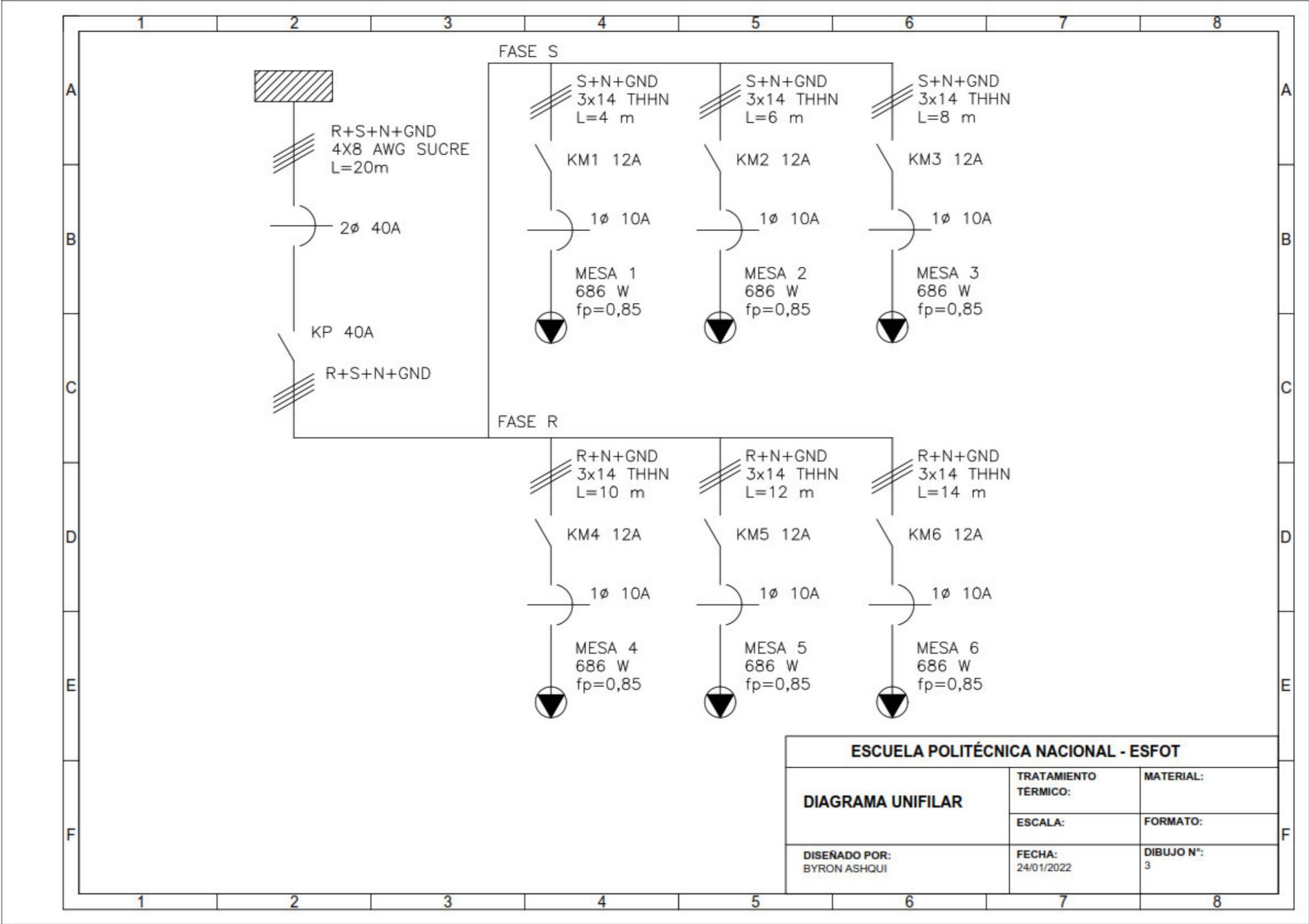
Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía | Edificio N. 21 | Área 7 | Oficina 28

Correo: pablo.proano@epn.edu.ec | **Ext:** 2729

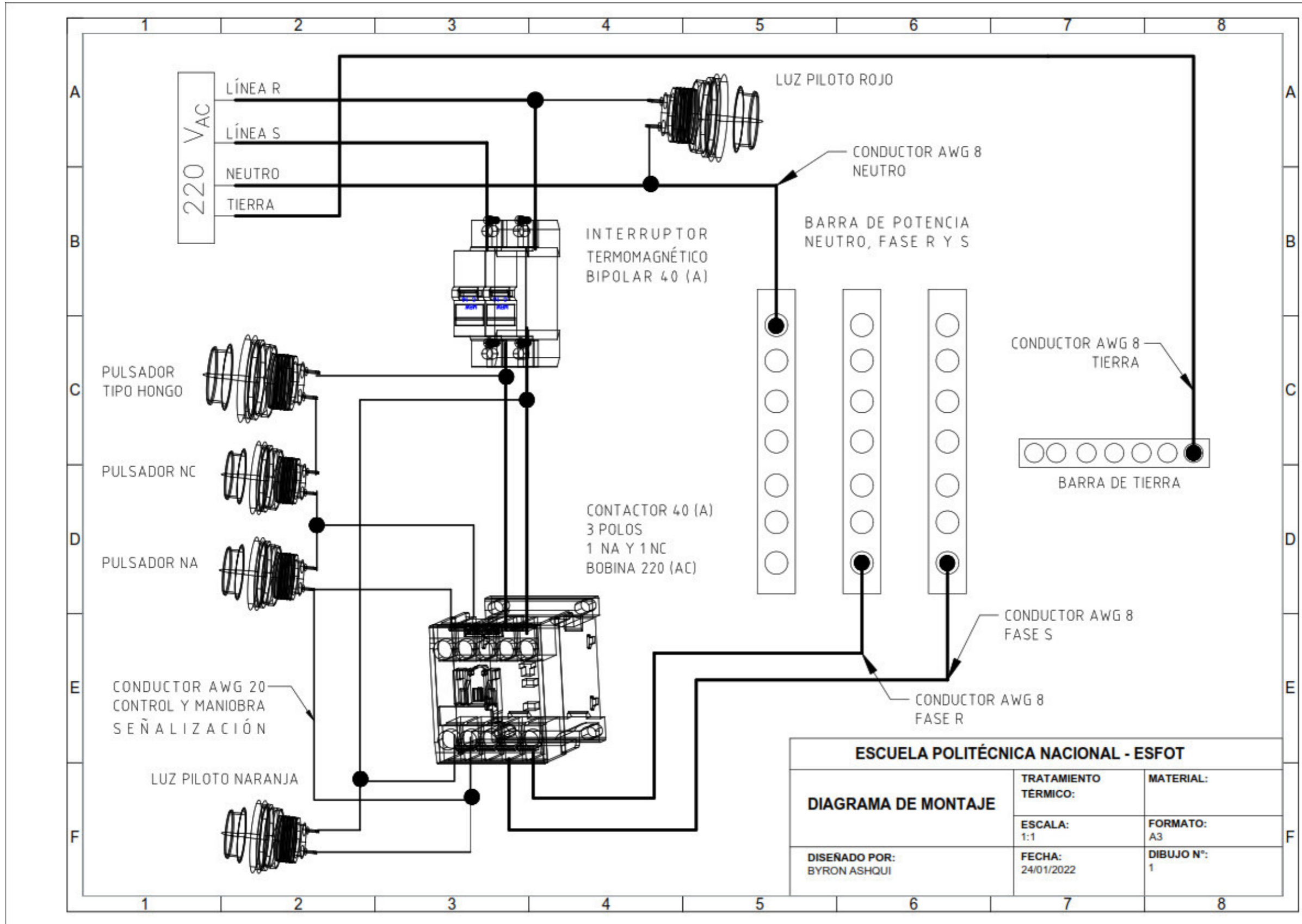
ANEXO III. DIAGRAMA ELÉCTRICO ARQUITECTÓNICO



ANEXO IV. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA



ANEXO V. DIAGRAMA DE MONTAJE POTENCIA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
DIAGRAMA DE MONTAJE	TRATAMIENTO TÉRMICO:	MATERIAL:
	ESCALA: 1:1	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: BYRON ASHQUI	FECHA: 24/01/2022	DIBUJO N°: 1

ANEXO VI. DIAGRAMA DE MONTAJE MÓDULOS DE TRABAJO

