

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO GENERAL PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

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

Luis Aníbal Escobar López

luis.escobar01@epn.edu.ec

Ángel Josué Vaca Lara

angel.vaca@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO, MSC.

abraham.loja@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, junio 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Escobar López Luis Aníbal y Vaca Lara Ángel Josué como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



ING. Abraham Ismael Loja Romero, MSC.
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. Carlos Orlando Romo Herrera, MSC.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Escobar López Luis Aníbal con CI: 1725119810 y Vaca Lara Ángel Josué con CI: 1723117477 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 144 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.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de 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.



Luis Aníbal Escobar López



Ángel Josué Vaca Lara

AGRADECIMIENTO

Agradezco Dios por todas las bendiciones a lo largo de mis estudios. A mi madre, abuelos y hermanos que me apoyaron en todo momento, por su paciencia y consejos que me ayudaron a no darme por vencido. Les agradezco por la posibilidad de seguir estudiando y culminar mi carrera.

Agradezco a mis amigos y personas cercanas que también fueron un parte importante en mi proceso de formación académica y personal.

Agradezco a los Ingenieros Abraham Loja y Carlos Romo por su tiempo, predisposición y consejos para culminar este proyecto.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional y en especial a los profesores de la ESFOT, por transmitirnos sus conocimientos, por sus palabras de apoyo y por cada uno de los consejos que me ayudaran a lo largo de mi vida profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por brindarme salud, paciencia, dedicación y sabiduría para poder culminar mi carrera profesional, de igual manera agradezco el gran apoyo brindado por mi familia y amigos, las experiencias compartidas día a día con ellos me han sido de mucha ayuda para formarme tanto personal como profesionalmente.

A mi padre Ángel le agradezco por enseñarme que todo se logra con esfuerzo y sacrificio, también por el apoyo y la confianza que me brindo en los momentos más oportunos para mí.

A mi abuelita Olga le doy las gracias de todo corazón por ser un apoyo incondicional en mi formación personal y académica, sin su ayuda no estaría culminando mi carrera profesional, también por su tiempo, amor y comprensión en todo momento.

A mi hermano Kevin le agradezco por su apoyo incondicional en las decisiones que he tomado.

Agradezco al Ing. Abraham Loja por su tiempo y dedicación para poder realizar el proyecto de titulación.

Al Ing. Carlos Romo le doy las gracias por permitirme culminar con éxito el proyecto que se presentará a continuación.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente y reforzar valores como la honestidad, solidaridad y amistad, así mismo agradezco al cuerpo de docentes por la paciencia y dedicación brindada.

Agradezco a mis verdaderos amigos por los buenos y malos momentos compartidos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivo general	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
2	Metodología.....	3
2.1	Descripción de la metodología usada	3
	Dimensionamiento de la carga total del tablero de distribución.....	3
	Diseño del diagrama eléctrico del tablero de distribución.....	4
	Implementación el tablero de distribución.	4
	Pruebas de funcionamiento, seguridad y protecciones	4
3	Resultados y Discusión.....	6
3.1	Dimensionamiento del tablero de distribución.....	7
	Dimensionamiento de elementos de maniobra y protección.	9
	Dimensionamiento de la acometida del tablero de distribución.....	16
3.2	Diseño de diagramas eléctricos y de control del tablero trifásico.	19
	Diagrama unifilar.....	19
	Diagrama de conexión relés de pérdida de fase.	20
	Diagrama de control y fuerza del tablero de distribución.....	20
3.3	Implementar el tablero de distribución del laboratorio de instalaciones eléctricas.....	22
3.4	Pruebas de funcionamiento del tablero.....	34
	Prueba de continuidad en las mesas de trabajo.....	34
	Prueba de continuidad en el circuito de control.....	34
	Prueba de funcionamiento de los pulsadores	35
	Prueba de funcionamiento del paro de emergencia.	37
	Voltajes de entrada y salida del tablero de distribución.....	39
	Caída de voltaje de la acometida principal.....	42
	Caída de voltaje en las mesas de trabajo	43

Caída de voltaje en los tomacorrientes y ventilador	44
Pruebas de funcionamiento de los elementos de indicación	45
Prueba de funcionamiento del sistema de pérdida de fase	46
3.5 Manual de Uso y Mantenimiento.....	48
4 Conclusiones y Recomendaciones	49
4.1 Conclusiones	49
4.2 Recomendaciones	50
5 Referencias Bibliográficas	51
ANEXOS.....	52
Anexo 1: Certificado de Funcionamiento.....	i
Anexo 2: Planos y Esquema	ii
Anexo 3: Presupuesto del proyecto	iv

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Tablero de distribución y control.....	6
Figura 3.2	Interruptor automático principal de alimentación 40 (A).....	9
Figura 3.3	Contactador para las mesas de trabajo 25 (A).	11
Figura 3.4	Contactador principal 40 (A).....	12
Figura 3.5	Curvas de disparo IEC 60898	13
Figura 3.6	Interruptor automático para módulo de trabajo 20 (A).	14
Figura 3.7	Interruptor automático para el ventilador extractor.	16
Figura 3.8	Alimentación del tablero de distribución.	17
Figura 3.9	Cables de cobre tipo THW 600 (V) Conelsa.....	18
Figura 3.10	Diagrama unifilar del tablero de distribución.....	19
Figura 3.11	Relé de pérdida de fase.	20
Figura 3.12	Dimensiones del gabinete.	23
Figura 3.13	Prediseño al interior del gabinete.	24
Figura 3.14	Colocación de canaleta y riel.....	25
Figura 3.15	Instalación de elementos al interior del gabinete.....	26
Figura 3.16	Barras de potencial perforadas.	26
Figura 3.17	Instalación de los elementos de mando e indicación (interno).....	27
Figura 3.18	Instalación de elementos de mando e indicación (externo).	28
Figura 3.19	Cableado interno del gabinete.....	29
Figura 3.20	Etiquetado del circuito de fuerza.	31
Figura 3.21	Etiquetado del circuito de control.....	31
Figura 3.22	Etiquetado de la parte externa.	32
Figura 3.23	Instalación del tablero de distribución.....	33
Figura 3.24	Prueba de funcionamiento de pulsadores.	36
Figura 3.25	Prueba de funcionamiento del paro emergencia.	38
Figura 3.26	Prueba de medición de voltajes de entrada y salida.....	39
Figura 3.27	Prueba de los elementos de indicación.	45
Figura 3.28	Desconexión de las fases de alimentación.....	47
Figura 3.29	Prueba del sistema de pérdida de fase.	47
Figura 3.30	QR del video de manual de usuario y mantenimiento.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Cargas a alimentar por mesas de trabajo.	7
Tabla 3.2 Categoría de contactores.....	10
Tabla 3.3 Consumo de corriente de motores trifásicos.	10
Tabla 3.4 Características de las curvas.	13
Tabla 3.5 Nomenclatura de elementos del circuito principal.	21
Tabla 3.6 Nomenclatura de elementos del circuito de control de las mesas de trabajo.	21
Tabla 3.7 Grados de protección IP.	23
Tabla 3.8 Ejemplo de etiquetas.	30
Tabla 3.9 Prueba de continuidad en las líneas de las mesas de trabajo.....	34
Tabla 3.10 Prueba de continuidad en los circuitos de control.	35
Tabla 3.11 Pulsadores de encendido (On).	36
Tabla 3.12 Pulsadores de apagado (OFF).....	37
Tabla 3.13 Prueba del sistema de emergencia.....	38
Tabla 3.14 Voltajes en la entrada del tablero de distribución.	40
Tabla 3.15 Voltajes en vacío en las mesas de trabajo.	40
Tabla 3.16 Voltajes con carga en las mesas de trabajo.....	41
Tabla 3.17 Voltajes de salida en los módulos de trabajo y ventilador.	41
Tabla 3.18 Caída de tensión en la acometida.....	42
Tabla 3.19 Caídas de tensión en las mesas de trabajo.	43
Tabla 3.20 Caídas de tensión en los módulos y ventilador.	45
Tabla 3.21 Luces piloto.	46
Tabla 3.22 Sistema de pérdida de fase.	47

RESUMEN

En este informe se explica cómo se realizó el diseño y posteriormente la construcción e implementación de un tablero de distribución, este proyecto se encuentra instalado en el aula 33 de la ESFOT, aula a la que se trasladó el Laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

En la primera sección se realiza una introducción en la que se explica el problema y la solución que se brinda con la construcción de este proyecto. Además, se exponen los objetivos planteados para el tema establecido.

En la segunda sección de este informe se encuentra la metodología usada para la construcción de todo este proyecto. En esta sección se expone desde el dimensionamiento de la carga del tablero, hasta las pruebas de funcionamiento como parte final.

En la tercera sección consta de todos los cálculos realizados para el dimensionamiento del tablero, esto implica la selección de los conductores utilizados para la acometida, las protecciones eléctricas y elementos de control, también se presentan los diferentes diagramas del tablero de distribución, asimismo se detalla paso a paso la construcción del tablero y su instalación. Por otra parte, también se incluyen las distintas pruebas de funcionamiento y seguridad.

Además, se incluye un manual de funcionamiento digital que indicará más detalladamente el funcionamiento de cada elemento.

Como parte final de este informe, en la cuarta sección se establecen las conclusiones de este proyecto y las recomendaciones necesarias para el mantenimiento y construcción de proyectos similares.

PALABRAS CLAVE: Tablero, Control, Distribución, Laboratorio, Instalaciones.

ABSTRACT

This report explains how the design and later the construction and implementation of a distribution board were carried out. This project is installed in classroom 33 of the ESFOT, a classroom to which the Electrical Installations Laboratory was transferred.

In the first section an introduction is made explaining the problem and the solution that is provided with the construction of this project. In addition, the objectives set for the established topic are exposed.

In the second section of this report, you will find the methodology used for the construction of this entire project. In this section it is exposed from the sizing of the deck load to the functional tests as a final part.

The third section contains all the calculations made for the sizing of the panel, this implies the selection of the conductors used for the connection, the electrical protections and control elements, the different diagrams of the distribution panel are also presented, also details step by step the construction of the board and its installation. On the other hand, also includes the various operational and safety tests.

In addition, a digital operation manual is included that will indicate the operation of each item in more detail.

As the final part of this report, the fourth section establishes the conclusions of this project and the necessary recommendations for the maintenance and construction of similar projects.

KEYWORDS: Dashboard, Control, Distribution, Laboratory, Facilities.

1 INTRODUCCIÓN

En la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica se dictan asignaturas las cuales incluyen prácticas para aplicar los conocimientos teóricos adquiridos, prácticas que se desarrollan utilizando elementos eléctricos y aplicación de estos en circuitos reales. En consecuencia, es necesario que los alumnos cuenten con un laboratorio que representen un desarrollo profesional, por tal motivo es necesario un continuo fortalecimiento del Laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

Para satisfacer esta necesidad se propuso la implementación de un tablero de distribución que permita energizar las mesas de trabajo del Laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

Este proyecto se encuentra instalado en el aula 33 de la ESFOT, aula a la que se trasladó el Laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

1.1 Objetivo general

Implementar el tablero de distribución para el Laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

1.2 Objetivos específicos

Dimensionar la carga total del tablero de distribución.

Diseñar el diagrama eléctrico del tablero de distribución.

Implementar el tablero de distribución del laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

Realizar pruebas de funcionamiento, seguridad y protecciones.

Elaborar un manual de usuario.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

El tablero de distribución cuenta con elementos de protección, mando y monitoreo de variables eléctricas, los cuales fueron seleccionados en base a los siguientes métodos:

Dimensionamiento de la carga total del tablero de distribución.

Para dimensionar un tablero de distribución se analizó la demanda máxima de potencia que puede necesitar el sistema. El dimensionamiento se basó en una suma aritmética de todas las cargas que existen en el laboratorio de Instalaciones Eléctricas.

Para la selección de los diferentes elementos que conforman el tablero de distribución se determinó:

La potencia activa que consume cada mesa de trabajo, la misma que se obtuvo mediante la recolección de datos de placa y cálculo de potencia activa de las cargas que están conectadas al tablero de distribución. Teniendo en cuenta que en el laboratorio se implementaron 6 mesas de trabajo con características similares, se obtuvo la potencia total que consumen todas las mesas de trabajo.

Además, se estableció la potencia consumida por los módulos destinados a prácticas de sistemas neumáticos y electroneumáticos, que son alimentados por tomacorrientes de 110 (V) y 220 (V) provenientes del mismo tablero. Otro aspecto para considerar es la potencia que consume el ventilador extractor; la cual se dimensionó en base a los datos obtenidos en la placa del motor.

Por otra parte, el factor de simultaneidad se consideró en función de la utilización de las cargas como se establece en la Norma para Sistemas de Distribución – Parte A de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). [1]

Cálculo de protecciones

Para seleccionar las diferentes protecciones que tiene el tablero de distribución, se calculó la corriente total que soporta el mismo teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad de 1.15 para todo el sistema, para la protección de todo el tablero se utilizó un interruptor automático de caja moldeada de marca ABB, además, se determinó la corriente que consume cada mesa de trabajo teniendo en cuenta que la corriente de arranque de un motor es de cuatro veces la corriente nominal del motor, con ello se

determinó la capacidad del contactor de cada mesa de trabajo, para el control de las mismas se utilizó contactores de la marca *CHINT*

Diseño del diagrama eléctrico del tablero de distribución.

Para realizar los diagramas eléctricos del tablero se utilizaron los programas AutoCAD y CAdE SIMU.

Primero se realizó el diagrama unifilar del tablero de distribución en AutoCAD, en este diagrama se detalla la sección de los conductores, número de fases y protecciones para los diferentes circuitos, también, se realizó un plano de distribución en donde se puede observar el recorrido de los conductores desde el tablero de distribución hasta los diferentes puntos de trabajo.

Por otra parte, se diseñaron en el programa CAdE SIMU el diagrama de fuerza y control del tablero de distribución, el mismo que contiene los diferentes elementos de mando e indicación.

Implementación el tablero de distribución.

El montaje del tablero de distribución se llevó acabo siguiendo normativas de instalaciones electromecánicas establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Para el montaje del tablero se realizó el trazado del lugar en el que fue instalado y se verificó la correcta posición tanto vertical como horizontal. Se instalaron los elementos de maniobra, indicadores, señalética de seguridad y se realizaron las conexiones internas. Por último, se realizó el etiquetado de los diferentes circuitos, fases, protecciones, entre otros.

Pruebas de funcionamiento, seguridad y protecciones.

Se debe garantizar que todos los conductores estén ajustados mecánicamente a los interruptores, así también como las borneras deberán estar ajustadas correctamente para evitar puntos calientes por falsos contactos.

Se verificó que se hayan realizado las conexiones de cada fase y neutro de acuerdo con lo indicado en el diagrama unifilar, así también como las barras de neutro deberán estar conectadas correctamente a sistema general de tierra.

Una vez energizado el tablero principal se deberá asegurar que la tensión de alimentación al tablero y mesas sean las indicadas de acuerdo con el diagrama unifilar y también que la secuencia de fases de alimentación sea la correcta.

Se realizaron pruebas de cortocircuito que garantice la seguridad de los equipos del laboratorio y las personas según la norma IEC-61439-5 que menciona: “Los ensayos efectuados garantizan el cumplimiento de las restricciones térmicas y electrodinámicas, la firmeza de los juegos de barra y de sus soportes, los dispositivos de seccionamiento y de protección”.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tablero cumple con la función de distribuir energía y alimentar las diferentes mesas de trabajo y tomacorrientes de energía para los módulos de hidráulica, neumática, electroneumática y otros equipos para diferentes prácticas de laboratorio.

El tablero de distribución cuenta con relés de pérdida de fase, los mismos que ayudan a tener un monitoreo continuo de las líneas del sistema trifásico, con sus respectivas luces indicadoras que sirven como ayuda a la identificación de alguna falla dentro del tablero, además, cuenta con un interruptor automático general como protección de todo el sistema y un contactor para el control de este.

También cuenta con circuitos encargados del control de las diferentes mesas de trabajo con elementos de mando e indicadores.

El tablero de distribución finalmente instalado se muestra en la Figura 3.1.

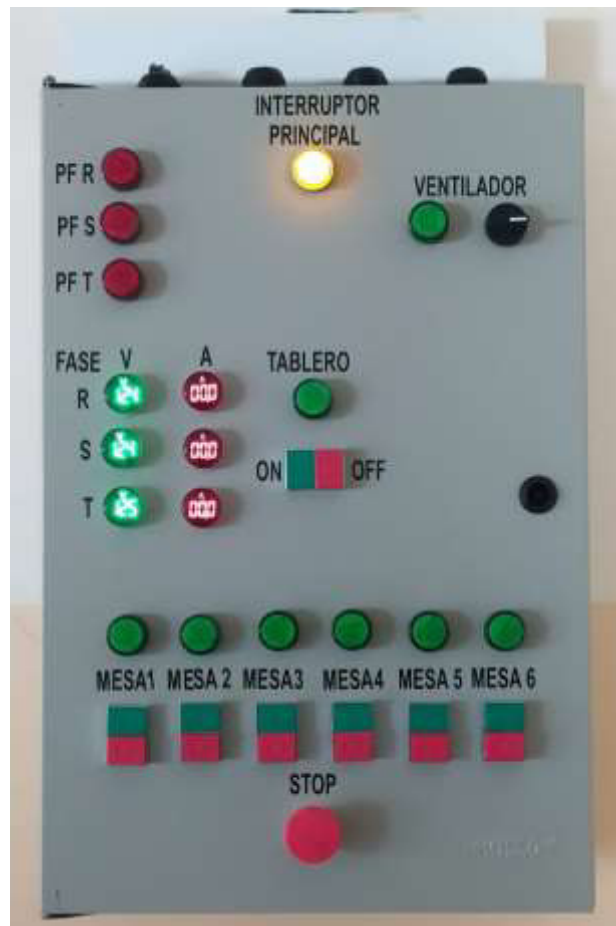


Figura 3.1 Tablero de distribución y control.

3.1 Dimensionamiento del tablero de distribución.

En base a los cálculos realizados por el grupo de trabajo encargado de la construcción de las diferentes mesas, se obtienen las cargas que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Cargas a alimentar por mesas de trabajo.

Descripción	Potencia (W)
Motor 1 (hp)	745.7
Luces Piloto	16
Computador	220
Tomacorrientes	250
PLC	30
Logo	20
Relé	50
Fuente DC	60
Total	1391.7

Considerando que son 6 mesas de trabajo, se obtiene:

$$P_{tm} = P_m * 6$$

Ecuación 3.1 Carga total de las mesas de trabajo.

En donde:

- P_{tm} : Potencia consumida por todas las mesas
- P_m : 1391.7 (W) potencia consumida por cada mesa
- 6 : # de mesas de trabajo

Usando la Ecuación 3.1, se obtiene:

$$P_{tm} = 8\ 350.2 \text{ (W)}$$

Además, se dispone de tres tomacorrientes de energía bifásica para alimentar módulos de hidráulica y/o neumática, con una potencia de 1 (Hp) cada una, también, se tiene una conexión para alimentar un ventilador extractor con una potencia de 1 (Hp), con lo que se obtiene:

$$P_{tmo} = P_{mo} * 4$$

Ecuación 3.2 Carga total de los módulos.

En donde:

- P_{tm} : Potencia consumida por todos los módulos
- P_{mo} : 745.7 (W) potencia consumida por cada modulo
- 4 : # de tomacorrientes bifásicos, incluyendo para el ventilador

Usando la Ecuación **3.2**, se obtiene:

$$P_{tm} = 2\,982.8 \text{ (W)}$$

Por lo tanto, la carga total del tablero y teniendo en cuenta un factor de simultaneidad del 95% es la siguiente:

$$P_t = (P_{tm} + P_{tm}) * 0.95$$

Ecuación 3.3 Carga total del tablero.

En donde:

- P_{tm} : 8 350.2 (W) potencia total de las mesas de trabajo
- P_{mo} : 2 982.8 (W) potencia total de los módulos
- 0.95 : Factor de simultaneidad

Usando la Ecuación **3.3**, se obtiene:

$$P_t = 10\,766.35 \text{ (W)}$$

Para obtener la corriente total del sistema se aplica la ecuación de la potencia activa trifásica.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \emptyset$$

Ecuación 3.4 Potencia activa trifásica [2].

En donde:

- P : 10 766.35 (W) potencia activa
- cos \emptyset : 0.85 factor de potencia
- V : 220 (V) voltaje entre líneas
- I : (A) corriente de línea

Usando la Ecuación **3.4**, se obtiene:

$$I = 33.24 \text{ (A)}$$

Dimensionamiento de elementos de maniobra y protección.

Para el dimensionamiento del interruptor de alimentación se calcula en base a la corriente total, multiplicada por un factor de seguridad de 1.15, por lo tanto:

$$I_{bp} = 1.15 * I$$

Ecuación 3.5 Corriente del interruptor principal.

En donde:

I_{bp} : Corriente para dimensionamiento del interruptor principal

I : 33.24 (A) corriente nominal del sistema

Usando la Ecuación 3.5, se obtiene:

$$I_{bp} = 38.22 \text{ (A)}$$

En base a los cálculos anteriores, se escogió un interruptor automático de 40 (A) como se muestra en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Interruptor automático principal de alimentación 40 (A).

Dimensionamiento del contactor para las mesas de trabajo

Para el dimensionamiento del contactor se tomó en cuenta la potencia máxima que consume cada mesa de trabajo y el tipo de carga que podría ser conectada al mismo.

Teniendo en consideración que se podrían conectar motores, elementos neumáticos, electroválvulas, fuentes de voltaje, entre otros aparatos, se escogió un contactor de categoría AC-3, en base a la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Categoría de contactores [3].

Categoría	Descripción
AC-1	Cargas no inductivas o ligeramente inductivas, por ejemplo resistencias eléctricas de calefacción.
AC-2	Motores de anillos rozantes. Se emplea en motores de gran potencia, como puede ser motores de los puentes grúa.
AC-3	Motores de jaula de ardilla, aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.
AC-4	Motores de jaula de ardilla con funcionamiento a impulso.

La capacidad del contactor se escogió en base a la corriente de arranque del motor, que es aproximadamente cuatro veces la corriente nominal, considerando que el motor es de 1 (Hp) y con una corriente de 3.2 (A) en base a la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Consumo de corriente de motores trifásicos [4].

Potencia en		Corriente trifásica (A)		
CV	KW	110 (V)	220 (V)	cos ϕ
1/2	0.37	3.3	1.7	0.8
1	0.74	6.3	3.2	0.8
1.5	1.11	9.2	4.6	0.8
2	1.4	12	6	0.8

Por lo tanto, se obtiene una corriente de arranque de 12.8 (A).

Además, considerando la corriente que consume las otras cargas es de 6 (A) y aplicando un coeficiente de seguridad de 1.15 se obtuvo:

$$I_{km} = (12.8 + 6) * 1.15 = 21.62 \text{ (A)}$$

Luego, se seleccionó un contactor de 25 (A) el mismo que se visualiza en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Contactor para las mesas de trabajo 25 (A).

Dimensionamiento de contactor principal

El contactor principal es determinado en base a la potencia máxima que va a soportar el tablero, mediante la Ecuación 3.1 y Ecuación 3.2 se obtiene lo siguiente:

$$P_{max} = P_{tm} + P_{tmo}$$

Ecuación 3.6 Potencia máxima.

En donde:

- P_{max} : Potencia máxima consumida por el tablero
- P_{tm} : 8 350.2 (W) potencia total de las mesas de trabajo
- P_{tmo} : 2 982.8 (W) potencia total de los módulos

Usando la Ecuación 3.6, se obtiene:

$$P_{max} = 11\ 333\ (W)$$

En base al valor calculado usando la Ecuación 3.6, se obtiene la corriente del contactor principal:

$$I_{cp} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} * V * \cos \phi}$$

Ecuación 3.7 Corriente contactor principal.

En donde:

P_{max} : 11 333 (W) potencia máxima consumida por el tablero

$\cos \phi$: 0.85 factor de potencia

V : 220 (V) voltaje

I_{cp} : (A) corriente del contactor principal

Usando la Ecuación 3.7, se obtiene:

$$I_{cp} = 34.99 \text{ (A)}$$

Además, considerando un coeficiente de seguridad de 1.15 se obtuvo:

$$I_{cp} = 34.99 * 1.15 = 40.23 \text{ (A)}$$

Por lo tanto, se escogió un contactor de 40 (A) el mismo que se visualiza en la Figura 3.4.



Figura 3.4 Contactor principal 40 (A).

Selección de curva de los interruptores automáticos

Una característica importante de los interruptores automáticos es la curva de disparo, la misma que se rige a la norma IEC-60898.

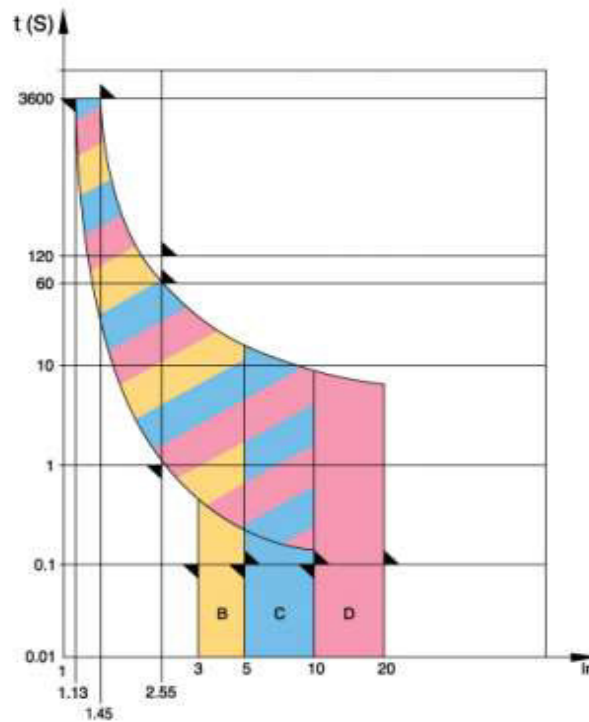


Figura 3.5 Curvas de disparo IEC 60898 [5]

En la Figura 3.5 se pueden observar los 3 tipos de curvas de disparo B, C y D. Además, en la Tabla 3.4 se visualizan las características de cada una y sus diferentes aplicaciones. Por lo tanto, teniendo en consideración que los interruptores automáticos son utilizados para tomacorrientes y encendido de un motor de baja potencia, se escogió la curva de disparo tipo C.

Tabla 3.4 Características de las curvas [5].

Ámbito de aplicación	Icn (A)	Intensidad Prueba	Aplicaciones
Residencial	B	3 x In 5 x In	Calefacción Eléctrica Calentador de agua Estufas
Residencial	C	5 x In 10 x In	Alumbrado Tomacorrientes Motores pequeños
Industrial	D	10 x In 20 x In	Control y protección de circuitos con intensidades de conexión, motores de gran potencia

Dimensionamiento del Interruptor automático para tomacorrientes bifásicos

En este punto, se dimensiona teniendo en cuenta que cada módulo utiliza una carga de 1 (hp), es decir:

$$P = V * I$$

Ecuación 3.8 Potencia de cada módulo.

En donde:

- P : 745.7 (W) potencia activa
- V : 220 (V) voltaje
- I : (A) corriente

Usando la Ecuación 3.8, se obtiene:

$$I = 3.38 \text{ (A)}$$

Además, considerando un coeficiente de seguridad de 1.15 y que son 3 tomacorrientes bifásicos se obtuvo:

$$I_{mo} = 3.38 * 1.15 * 3 = 11.66 \text{ (A)}$$

- I_{mo} : Corriente del interruptor automático.
- I : corriente nominal
- f_s : 1.15 factor de seguridad

Por lo tanto, por valores comerciales se escogió un interruptor automático de 20 (A) para los módulos de trabajo, el mismo que se observa en la Figura 3.6.



Figura 3.6 Interruptor automático para módulo de trabajo 20 (A).

Dimensionamiento del interruptor automático para ventilador

En base a otro grupo encargado de la ventilación del laboratorio, se determinó que el ventilador extractor utiliza una potencia de 1 (hp) por lo tanto:

$$P = V * I$$

Ecuación 3.9 Potencia del ventilador.

En donde:

- P : 745.7 (W) potencia activa
- V : 220 (V) voltaje
- I : (A) corriente

Usando la Ecuación 3.9, se obtiene:

$$I = 3.38 \text{ (A)}$$

Además, considerando que para el arranque del motor se tiene 4 veces la corriente nominal se obtuvo:

$$I_{ex} = 3.38 * 4 = 13.5 \text{ (A)}$$

- I_a : Corriente de arranque.
- I : Corriente nominal
- 4 : Factor de seguridad

Por lo tanto, por valores comerciales se utilizó un interruptor automático de 20 (A), el mismo que se observa en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Interruptor automático para el ventilador extractor.

Dimensionamiento de la acometida del tablero de distribución.

Para determinar la sección o calibre de los sub-alimentadores del tablero de distribución y los alimentadores secundarios de las mesas de trabajo, se debe tomar en cuenta una caída de tensión que no exceda el 3% en ambos casos, como establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), cap. 15 Instalaciones electromecánicas [6] .

Además, se debe considerar que los sub-alimentadores y alimentadores secundarios deben soportar el 125% de la corriente de la protección del circuito como mínimo.

Cálculo de la sección de los sub-alimentadores del tablero de distribución

En la Figura 3.8 se observa la alimentación del tablero de distribución. La alimentación parte del tablero principal auxiliar (TPA) ubicado en el laboratorio de Tecnología Industrial hasta el tablero de distribución (TD) ubicado en el nuevo laboratorio de Instalaciones Eléctricas, teniendo un recorrido de 15 (m) como se muestra en la línea de color azul.

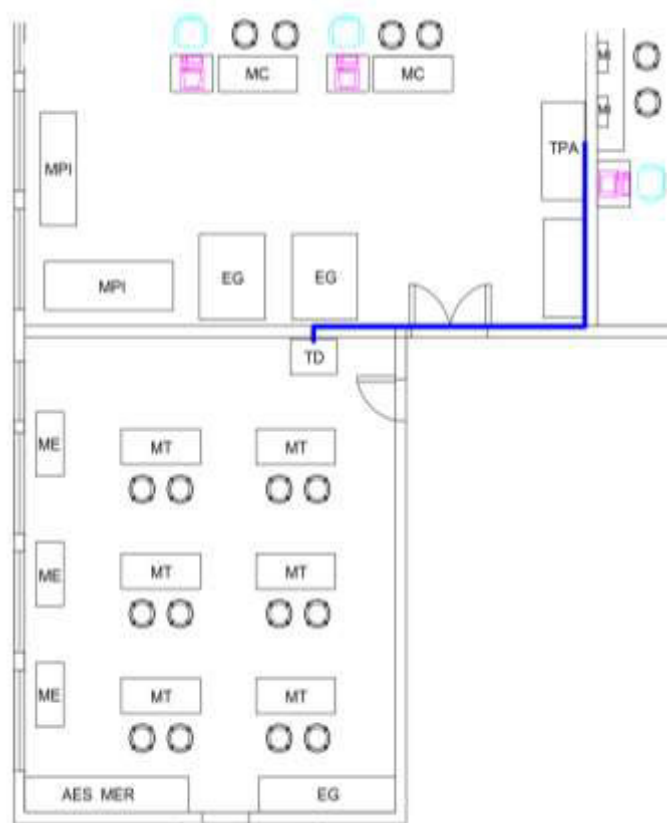


Figura 3.8 Alimentación del tablero de distribución.

Para determinar la sección del conductor se aplica la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\sqrt{3} * \#c * \rho * L * I * \cos \phi}{u}$$

Ecuación 3.10 Sección del conductor sub-alimentadores [7].

En donde:

- S : Sección del conductor (mm²)
- cos ϕ : 0.85 factor de potencia
- ρ : Resistividad del conductor 0.01786 (Ω mm²/m)
- I : Corriente del sistema 38.22 (A)
- L : Longitud de la línea 15 (m)
- u : Caída de tensión máxima admisible (V)
- #c : Número de conductores 3

$$u = 3\% * 220 \text{ V} = 6.6 \text{ V}$$

Usando la Ecuación 3.10 , se obtiene:

$$S = 6.852 \text{ (mm}^2\text{)}$$

En base a lo calculado y a la tabla de los calibres de conductores de la marca Conelsa que se muestra en la Figura 3.9, en la que se tiene que el conductor 8 AWG de 7 hilos tiene una sección de 8.37 (mm²) y una capacidad de corriente de 70 (A) al aire libre y 50 (A) con tubería conduit, se establece que los sub-alimentadores del tablero de distribución serán de un calibre 8 AWG.

Calibre AWG & Kcmil	Nro. Hilos	Área mm ²	Diámetro Conductor mm	Espesor Aislamiento mm	Diámetro Exterior mm	Resistencia (Derivado D.C. a 20°C) Ω/Km	Peso Total Aprox. Kg/Km	Capac. Conducto. Ala Libre A	Capac. Conducto. Conduit A	Tipo
14	1	2.08	1.63	0.76	3.15	8.29	27.10	30	20	THW
12	1	3.31	2.05	0.76	3.57	5.21	39.30	35	25	THW
10	1	5.26	2.59	0.76	4.11	3.28	58.70	50	35	THW
8	1	8.37	3.26	1.14	5.54	2.06	97.50	70	50	THW
6	1	13.30	4.12	1.52	7.16	1.30	158.10	95	65	THW
4	1	21.15	5.19	1.52	8.23	0.815	240.00	125	85	THW
14	7	2.08	1.79	0.76	3.31	8.45	29.00	30	20	THW
12	7	3.31	2.25	0.76	3.77	5.31	42.00	35	25	THW
10	7	5.26	2.85	0.76	4.37	3.34	62.00	50	35	THW
8	7	8.37	3.69	1.14	5.97	2.10	104.40	70	50	THW
6	7	13.30	4.65	1.52	7.69	1.32	169.50	95	65	THW
4	7	21.15	5.88	1.52	8.92	0.831	250.20	125	85	THW
2	7	33.63	7.41	1.52	10.45	0.523	377.50	170	115	THW
1/0	19	53.48	9.45	2.03	13.51	0.329	598.50	230	150	THW
2/0	19	67.43	10.63	2.03	14.69	0.261	739.00	265	175	THW
3/0	19	85.03	11.95	2.03	16.01	0.207	918.00	310	200	THW

Figura 3.9 Cables de cobre tipo THW 600 (V) Conelsa [8].

Teniendo en cuenta que son 5 conductores los que se necesitan para la alimentación del tablero, y cada uno es de 15 (m), se obtiene un total de 75 (m) de Cable 8 AWG.

3.2 Diseño de diagramas eléctricos y de control del tablero trifásico.

Para el diseño de diagrama eléctrico unifilar se utilizó AutoCAD y para el diseño de los diagramas de control y fuerza se realizaron en CAdE Simu.

Diagrama unifilar

El diagrama unifilar del tablero de distribución se visualiza en la Figura 3.10, en el mismo se puede observar la alimentación del tablero, con el calibre del conductor y la longitud de este, también, se puede interpretar las diferentes protecciones y contactores encargados del control de las mesas de trabajo, en el que también se puede observar el calibre del conductor y la longitud de los conductores hasta las diferentes mesas. Además, se visualiza la protección tanto para los tomacorrientes bifásicos, como para el ventilador.

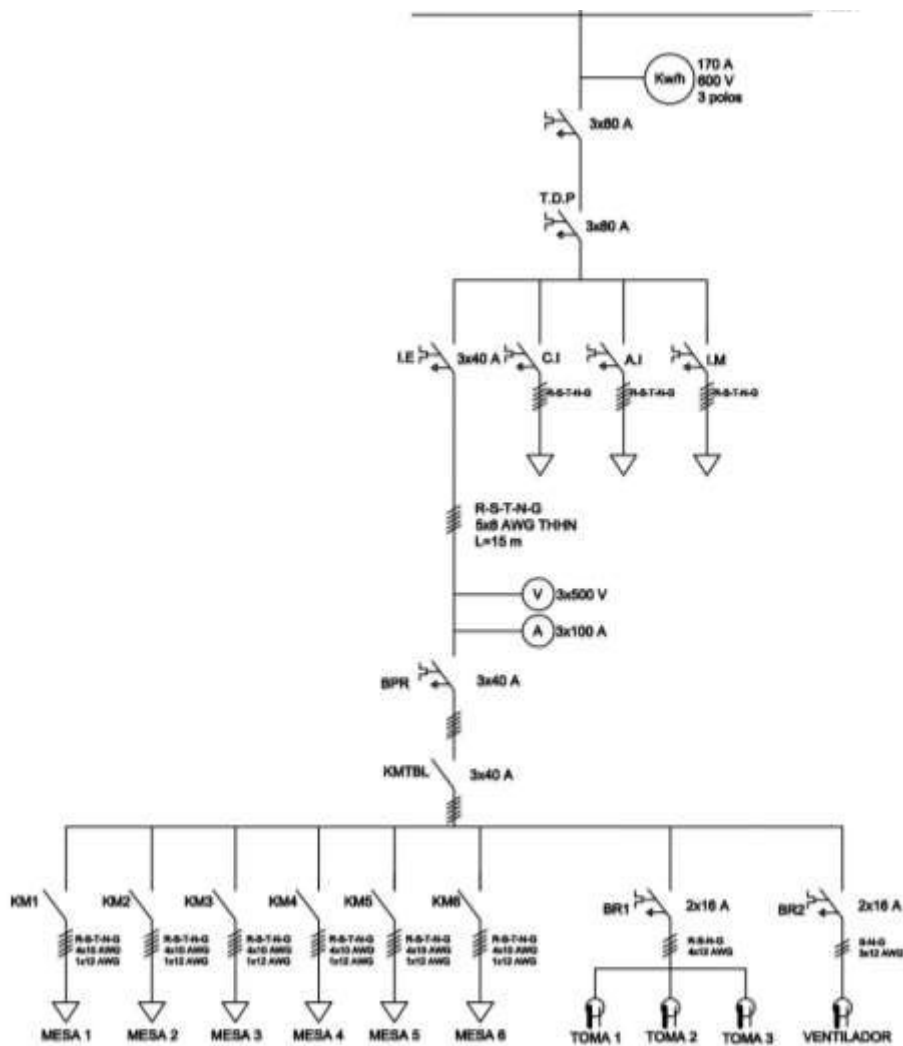


Figura 3.10 Diagrama unifilar del tablero de distribución.

Diagrama de conexión relés de pérdida de fase.

Los relés de pérdida de fase tienen la función de detectar cuando en una fase del sistema ocurre una falla, cuando esto sucede los contactos “normalmente abierto” (NO) y “normalmente cerrado” (NC) cambian de posición. Con el contacto NO se condiciona el enclavamiento del contactor principal, por otra parte, con el contacto NC se enciende una luz indicadora de color rojo, la misma que representa que ha ocurrido una falla en la fase del relé correspondiente a sus contactos. El relé de pérdida de fase se visualiza en la Figura 3.11.



Figura 3.11 Relé de pérdida de fase.

Las bobinas de los relés correspondientes a las fases R, S y T, son: PF.R, PF.S y PF.T, respectivamente. El diagrama de conexión de los relés se visualiza en el Anexo 2.2.

Diagrama de control y fuerza del tablero de distribución.

En la sección de anexos se visualiza el diagrama de control y fuerza correspondiente al tablero de distribución, el mismo que fue diseñado en CADe Simu.

El circuito de mando de las mesas de trabajo consta de seis contactores, seis luces indicadoras y seis pulsadores de marcha y paro. En el anexo 2 se observa el circuito de control de cada mesa, además, en la Tabla 3.6 se detalla la nomenclatura usada en los elementos que componen el circuito.

A continuación, en la Tabla 3.5 se detalla la nomenclatura correspondiente a la protección principal del tablero, protección para los tomacorrientes tanto de los módulos como del ventilador, luces indicadoras y circuito de control principal.

Tabla 3.5 Nomenclatura de elementos del circuito principal.

Elemento	Descripción	Nomenclatura
Interruptor automático	Principal	BPR
	Módulos	BR1
	Ventilador	BR2
Contactor	Principal	KMTBL
Luz indicadora	Interruptor Auto. ON	BRON
	Contactor Principal ON	TON
	Pérdida de Fase R	PFR
	Pérdida de Fase S	PFS
	Pérdida de Fase T	PFT
Relé de pérdida de fase	Fase R	PF.R
	Fase S	PF.S
	Fase T	PF.T
Pulsadores	Paro de emergencia	PEMG
	OFF tablero	OFFTBL
	ON tablero	ONTBL

Tabla 3.6 Nomenclatura de elementos del circuito de control de las mesas de trabajo.

# Mesa	Contactor	Pulsador ON	Pulsador OFF	Luz
Mesa 1	KM1	ONM1	OFFM1	HM1
Mesa 2	KM2	ONM2	OFFM2	HM2
Mesa 3	KM3	ONM3	OFFM3	HM3
Mesa 4	KM4	ONM4	OFFM4	HM4
Mesa 5	KM5	ONM5	OFFM5	HM5
Mesa 6	KM6	ONM6	OFFM6	HM6

3.3 Implementar el tablero de distribución del laboratorio de instalaciones eléctricas.

La instalación y construcción del tablero de distribución se realizó teniendo en consideración la normativa de construcción de estos.

Selección del Gabinete

El gabinete fue seleccionado en base a la distribución interna y externa de los elementos que forman parte del tablero de distribución; para esto fue necesario adquirir los elementos de maniobra, control e indicación y realizar una distribución adecuada para obtener las medidas del gabinete, además, se consideró que el gabinete no está expuesto a condiciones climáticas, sin embargo, está expuesto a otras partículas y sólidos.

Por lo antes mencionado se estableció un gabinete de 60 x 40 x 20 (cm) que representan largo, ancho y profundidad respectivamente, el mismo que se visualiza en la Figura 3.12, además, como establece la norma IEC 60529 que aplica a contenedores de productos eléctricos, es necesario tener en consideración el grado de protección IP (*International Protection*).

De acuerdo con la

Grado de protección contra sólidos		Grado de protección contra líquidos	
IP	Descripción	IP	Descripción
0	No protegido	0	No protegido
1	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 50 (mm)	1	Protegidos contra goteos que descienden verticalmente
2	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 12.5 (mm)	2	Protegidos contra goteos que descienden verticalmente cuando la cubierta esta inclinada hasta 15°
3	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 2.5 (mm)	3	Protegido contra agua pulverizada
4	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 1 (mm)	4	Protegido contra salpicaduras de agua
5	Protegido contra suciedad	5	Protegido contra chorros de agua a presión
6	Hermético contra suciedad.	6	Protegido contra chorros de agua a presión y alta potencia

Tabla 3.7 se estableció que se necesita una protección contra sólidos de grado 3 y contra líquidos de grados 0, debido a que el gabinete se encuentra en un cuarto cubierto y no tiene riegos de filtración de agua o penetración de líquidos.

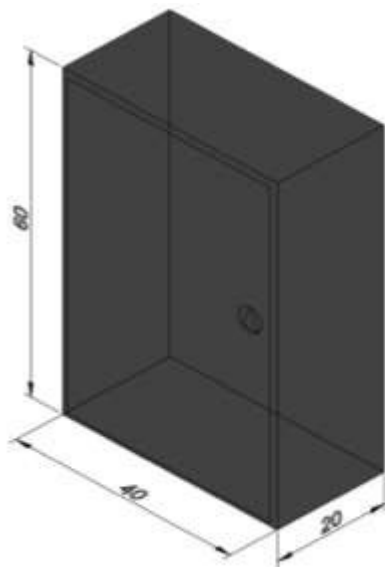


Figura 3.12 Dimensiones del gabinete.

Tabla 3.7 Grados de protección IP [3].

Grado de protección contra sólidos		Grado de protección contra líquidos	
IP	Descripción	IP	Descripción
0	No protegido	0	No protegido
1	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 50 (mm)	1	Protegidos contra goteos que descienden verticalmente
2	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 12.5 (mm)	2	Protegidos contra goteos que descienden verticalmente cuando la cubierta esta inclinada hasta 15°
3	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 2.5 (mm)	3	Protegido contra agua pulverizada
4	Protegido contra objetos solidos de diámetro ≥ 1 (mm)	4	Protegido contra salpicaduras de agua
5	Protegido contra suciedad	5	Protegido contra chorros de agua a presión
6	Hermético contra suciedad.	6	Protegido contra chorros de agua a presión y alta potencia

Instalación al interior del gabinete

Previo a colocar las canales y el riel Din, se realizó un prediseño de la ubicación de los elementos al interior del tablero y así determinar la posición de cada elemento al interior del mismo, para esto se tuvo en consideración la facilidad de alimentación, cableado y una presentación estéticamente correcta como se muestra en la Figura 3.13.



Figura 3.13 Prediseño al interior del gabinete.

Una vez que se determinó la posición de los elementos se procedió a colocar las canaletas y el riel. En la Figura 3.14 se visualiza la colocación tanto de las canaletas como del riel. El gabinete cuenta con una placa desmontable al interior de este, esta placa fue retirada para señalar y posteriormente realizar las perforaciones y así evitar daños al gabinete.

Las perforaciones fueron realizadas con una broca para acero de diámetro 1/8 de pulgada.

Tanto las canaletas como el riel Din fueron asegurados por medio de tornillos de cabeza avellanada de acero y de largo de 1 pulgada.



Figura 3.14 Colocación de canaleta y riel.

Una vez colocada la canaleta y el riel, se procedió a instalar el Interruptor automático de caja moldeada de 40 (A), así también, se instaló el contactor principal encargado de energizar las barras de cobre.

En la Figura 3.15 se observa cómo se encuentran distribuidos los diferentes elementos de mando, protección y barras de potencial al interior del gabinete. Además, se consideró que la alimentación llega por la parte superior del gabinete y es por ellos que el interruptor automático principal se encuentra en la parte superior, así mismo, los relés de pérdida de fase que fueron colocados junto al interruptor principal para mayor facilidad en cuanto al cableado de estos.

Por otra parte, el contactor principal se encuentra a la derecha del interruptor de caja moldeada, debido a que este se encarga de energizar las barras de potencial y a partir de ahí a los diferentes contactores para cada mesa de trabajo.



Figura 3.15 Instalación de elementos al interior del gabinete.

Para la colocación de las barras de potencia en los aisladores se realizó perforaciones con la broca para acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada, así mismo, para alojar los diferentes terminales se realizó las perforaciones con la misma broca; ya que, el perno utilizado para asegurar los terminales es el M6.

En la Figura 3.16 se puede observar los diferentes orificios realizados en las barras de potencial.



Figura 3.16 Barras de potencial perforadas.

Instalación de elementos de mando e indicación

Los elementos de mando e indicación fueron distribuidos previamente hasta encontrar una posición estética y funcionalmente correcta en la tapa del gabinete, para la instalación de estos se tomó medidas y se señaló la ubicación de los distintos elementos.

Una vez señalada la ubicación se procedió a realizar las perforaciones en la tapa del gabinete con la broca de 1/4", para tener una guía y después realizar otra perforación con un sacabocados de diámetro de 1" ya que este diámetro es estándar para todos los elementos eléctricos que se utilizaron en la tapa del gabinete.

En la Figura 3.17 se puede observar la ubicación e instalación de los elementos en la parte interna de la tapa.

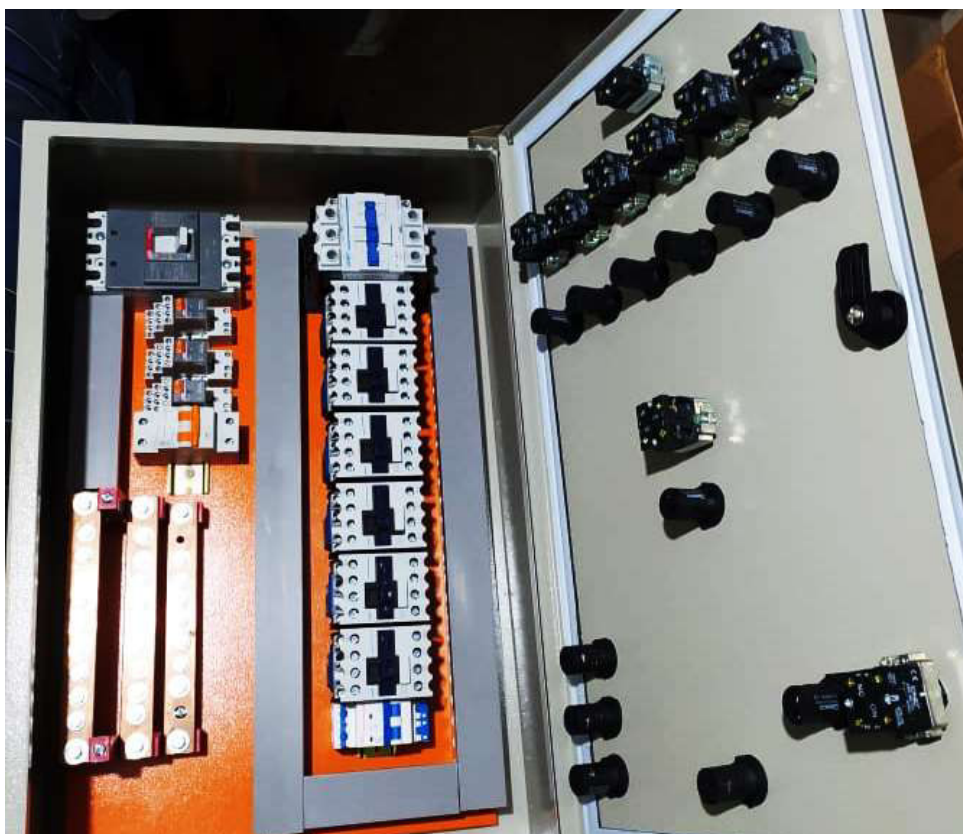


Figura 3.17 Instalación de los elementos de mando e indicación (interno).

A continuación, se puede observar en la Figura 3.18 la ubicación e instalación de los elementos en la parte externa.



Figura 3.18 Instalación de elementos de mando e indicación (externo).

Conexiones y cableado eléctrico

Posterior a la instalación de los distintos elementos tanto en la parte interna y externa del gabinete se realizó la conexión eléctrica en base al diagrama de fuerza y control expuesto en el anexo 2.

En el cableado interno se utilizó el cable #8 AWG para las conexiones que corresponden al diagrama de fuerza y para realizar las conexiones del diagrama de control se utilizó el cable #12 AWG, en dónde el cable de color rojo y azul representa la fase y el neutro respectivamente.

También se utilizaron amarras plásticas de 25 (cm) para asegurar los cables y lograr una presentación estéticamente correcta.

En la Figura 3.19 se observa las conexiones de fuerza y control realizadas en la parte interna del gabinete.

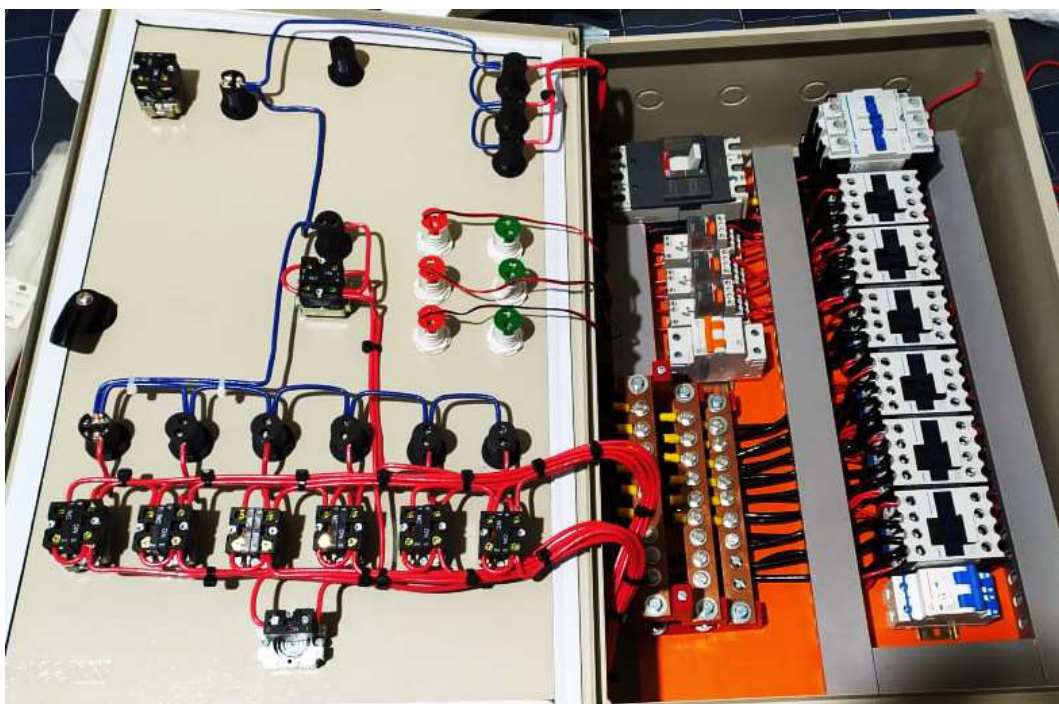


Figura 3.19 Cableado interno del gabinete.

Etiquetado de conexiones

Para facilitar la identificación de los diferentes elementos se utilizaron etiquetas en la parte interna y externa del gabinete. En la parte interna se utilizaron etiquetas de color amarillo, azul y rojo para representar las diferentes fases R, S, T respectivamente como se observa en las Figura 3.20 y Figura 3.21, también se utilizó para cada extremo del cable una nomenclatura que describe el tipo de dispositivo, partes y rama a la que está conectado, esto se puede ejemplificar en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Ejemplo de etiquetas.

Elemento	Descripción	Partes	Rama	Ejemplo de nomenclatura
Interruptor automático	Principal	Terminales	-	BPR-R, BPR-S, BPR-T
	Módulos	Terminales	-	BR1-R, BR1-S
	Ventilador	Terminales	-	BR2-S, BR2-T
Contactador	Principal	Bobina	-	KMTBL-A1, KMTBL-A2
		Contactos Princ	-	KMTBL-R, KMTBL-S, KMTBL-T
		Contactos Secu	-	KMTBL-13, KMTBL-14
	Mesa	Bobina	3	KM3-A1, KM3-A2
		Contactos Princ	3	KM3-R, KM3-S, KM3-T
		Contactos Secu	3	KM3-13, KM3-14
Luz indicadora Naranja	Interruptor Principal	Terminales	-	LNBR-X1, LNBR-X2
Luz indicadora Rojo	Pérdida de Fase	Terminales	-	LRPF-RX1, LRPF-RX2, LRPF-SX1, LRPF-SX2, LRPF-TX1, LRPF-TX2,
Luz indicadora Verde	Contactador Principal	Terminales	-	LVTBL-X1, LVTBL-X2
	Mesa	Terminales	5	LVKM5-X1, LVKM5- X2
	Ventilador	Terminales	-	LVBR2-X1, LVBR2-X2
Relé de pérdida de fase	Fase R	Bobina	R	PFR-A1, PFR-A2
		Contacto NO	R	PFR-11, PFR-12
		Contacto NC	R	PFR-13, PFR-14
Pulsador	Paro de emergencia	Terminales	-	PEMG-X1, PEMG-X2
Pulsador OFF	Tablero	Terminales	-	OFFTBL-X1, OFFTBL-X2
	Mesa	Terminales	2	OFFM2-11, OFFM2-12
Pulsador ON	Tablero	Terminales	-	ONTBL-X1, ONTBL-X2
	Mesa	Terminales	6	ONM6-13, ONM6-14

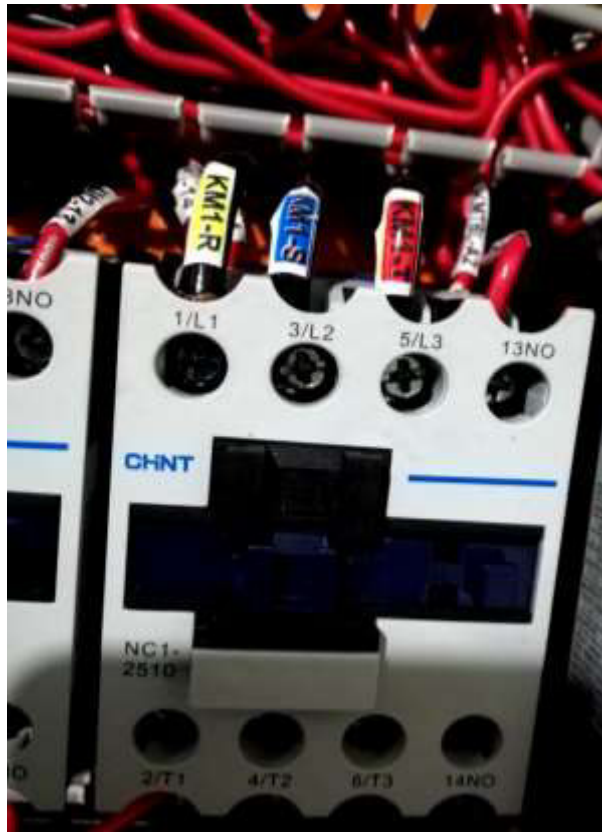


Figura 3.20 Etiquetado del circuito de fuerza.



Figura 3.21 Etiquetado del circuito de control.

Por otra parte, al exterior del gabinete se utilizaron etiquetas que señalan los elementos de maniobra, indicación y medición.

Los elementos de medición constan de tres voltímetros y tres amperímetros para medir el estado de cada fase, así también cuenta con luces piloto para indicar el accionamiento de cada elemento.

El interruptor principal se representa mediante una luz piloto de color naranja, que indica que el tablero se encuentra energizado correctamente.

En los elementos de maniobra y control se tiene un contactor principal que energiza las barras de potencial que permiten la distribución de energía a las diferentes cargas, además, se tienen seis contactores secundarios junto con una luz piloto que indica el accionamiento de cada mesa de trabajo y un selector que permite encender y apagar el ventilador, esto se puede observar en la Figura 3.22.



Figura 3.22 Etiquetado de la parte externa.

Instalación del tablero de distribución

Para la instalación del tablero primero se realizó el trazado del lugar verificando que se encuentre en una posición segura y de fácil acceso.

Posterior al trazado se realizaron cuatro orificios en la parte interna del gabinete que sirven para la sujeción del tablero hacia la pared, para realizar los orificios en el gabinete se utilizó una broca para acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada y para los orificios en la pared se utilizó una broca para concreto del mismo diámetro.

El gabinete metálico se instaló verificando su correcta posición tanto vertical como horizontal. Se fijó el gabinete a la pared por medio de pernos tirafondos M10 con sus respectivos tacos Fischer #10.

El tablero fue instalado a una altura de 1.30 (m) como se visualiza en la Figura 3.23.

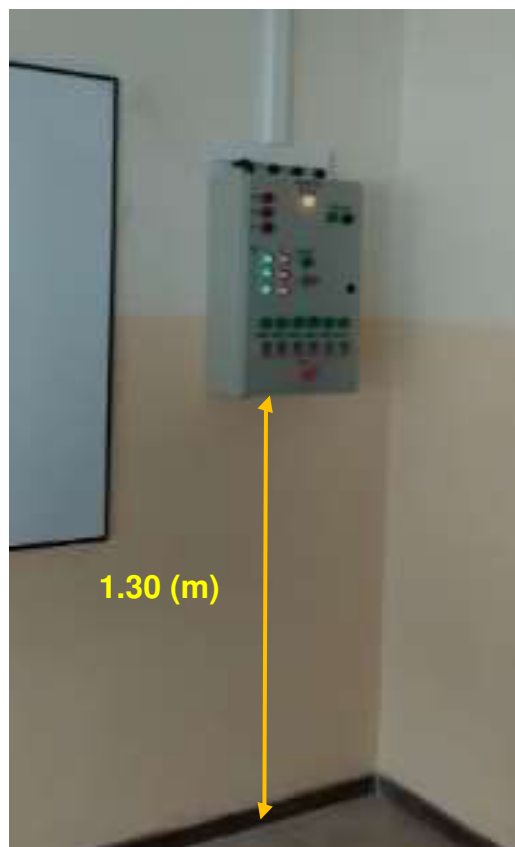


Figura 3.23 Instalación del tablero de distribución.

3.4 Pruebas de funcionamiento del tablero.

Para verificar la correcta construcción del tablero se realizaron diferentes pruebas tanto eléctricas como mecánicas, las mismas que se presentan a continuación.

Prueba de continuidad en las mesas de trabajo

La siguiente prueba se realizó con el fin de verificar el correcto estado de los cables encargados de alimentar a las mesas de trabajo, esta prueba se realizó en las líneas L1, L2, L3, Neutro y Tierra.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó un multímetro en la función de continuidad y un cable suelto que conecta un extremo a la línea de prueba en la mesa de trabajo y el otro extremo del cable a la punta negativa del multímetro, la punta positiva del multímetro se conecta a la salida de la línea de prueba del contactor correspondiente a la mesa de trabajo. Los resultados de la prueba realizada se visualizan en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Prueba de continuidad en las líneas de las mesas de trabajo.

Prueba de continuidad en las líneas de las mesas de trabajo						
	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4	Mesa 5	Mesa 6
L1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
L2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
L3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Neutro	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tierra	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Una vez verificada la continuidad se procedió a señalar las fases de los diferentes cables mediante el código de colores utilizado para cada línea.

Prueba de continuidad en el circuito de control

Esta prueba tiene como objetivo verificar el correcto funcionamiento del sistema de encendido, apagado y paro de emergencia de las mesas de trabajo.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó un multímetro en la función de continuidad y se procedió a verificar las conexiones de los elementos de maniobra hacía los contactos

normalmente abiertos, normalmente cerrados y bobinas de los distintos contactores. Los resultados de la prueba realizada se visualizan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Prueba de continuidad en los circuitos de control.

Pruebas de continuidad en los circuitos de control						
	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4	Mesa 5	Mesa 6
Sistema de encendido	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sistema de apagado	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sistema de seguridad	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Mediante la prueba de continuidad se verificó que cada elemento de control este correctamente conectado y cumplan con su objetivo hacia las mesas de trabajo.

En base a los resultados mostrados en la tabla se verificó el correcto funcionamiento de los circuitos de control de las mesas de trabajo.

Prueba de funcionamiento de los pulsadores

La siguiente prueba se realizó para comprobar que los pulsadores que activan cada mesa funcionen adecuadamente, por tal motivo se verificó su funcionalidad tanto eléctrica como mecánica.

Para verificar la parte eléctrica se presionó el pulsador de encendido de cada mesa de trabajo y se comprobó que el contactor se enclave. Además, se verificó con el multímetro que cada mesa este energizada.

Por otro lado, en la parte mecánica se verificó que los pulsadores retornen adecuadamente después de ser presionados comprobando que el resorte trabaje correctamente. Como se observa en la Figura 3.24.

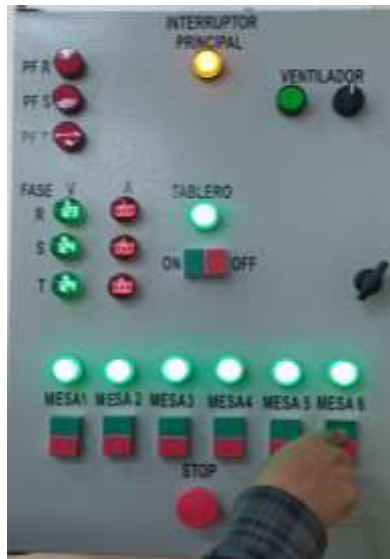


Figura 3.24 Prueba de funcionamiento de pulsadores.

Los resultados de esta prueba se pueden observar en la Tabla 3.11 y en la Tabla 3.12.

Tabla 3.11 Pulsadores de encendido (On).

Pruebas de funcionamiento de los pulsadores ON				
	Parte eléctrica		Parte mecánica	
	Energiza	No energiza	Retorna	No retorna
Mesa 1	✓		✓	
Mesa 2	✓		✓	
Mesa 3	✓		✓	
Mesa 4	✓		✓	
Mesa 5	✓		✓	
Mesa 6	✓		✓	

En la prueba eléctrica de los pulsadores de apagado se verificó que desenclaven los contactores y a su vez desconecten correctamente las mesas de trabajo.

Tabla 3.12 Pulsadores de apagado (OFF).

Pruebas de funcionamiento de los pulsadores OFF				
	Parte eléctrica		Parte mecánica	
	Desconecta	No desconecta	Retorna	No retorna
Mesa 1	✓		✓	
Mesa 2	✓		✓	
Mesa 3	✓		✓	
Mesa 4	✓		✓	
Mesa 5	✓		✓	
Mesa 6	✓		✓	

En base a los resultados obtenidos se comprobó que los pulsadores de encendido y apagado están funcionando en óptimas condiciones, por lo tanto, se asegura que el sistema de control está funcionando correctamente.

Prueba de funcionamiento del paro de emergencia.

Esta prueba permite desconectar todo el tablero y las diferentes mesas de trabajo, cuando se presente algún problema interno o externo que impida el correcto funcionamiento del sistema.

Para realizar esta prueba fue necesario energizar todo el tablero y posteriormente se procedió a presionar el botón paro de emergencia tipo hongo que se encuentra en la parte inferior del tablero, con ello se verificó que se desconecte todo el sistema y además que no haya un retorno automático del pulsador tipo hongo.

En la Figura 3.25 se puede observar el funcionamiento del paro de emergencia.



Figura 3.25 Prueba de funcionamiento del paro emergencia.

En la Tabla 3.13 se muestran los resultados obtenidos de esta prueba.

Tabla 3.13 Prueba del sistema de emergencia.

Pruebas de funcionamiento del paro de emergencia				
	Parte eléctrica		Parte mecánica	
	Desconecta	No desconecta	Retorna	No retorna
General	✓			✓
Mesa 1	✓			✓
Mesa 2	✓			✓
Mesa 3	✓			✓
Mesa 4	✓			✓
Mesa 5	✓			✓
Mesa 6	✓			✓

En base a los resultados obtenidos en esta prueba se puede verificar que el sistema de paro de emergencia actuará correctamente cuando se presente algún percance y el sistema necesite ser desconectado.

Voltajes de entrada y salida del tablero de distribución

En la siguiente prueba se midieron los voltajes de entrada y salida del tablero de distribución, los voltajes fueron medidos en las mesas de trabajo, tomacorrientes de los módulos y ventilador.

En la Figura 3.26 se puede observar que se midieron voltajes línea-línea como línea-neutro.

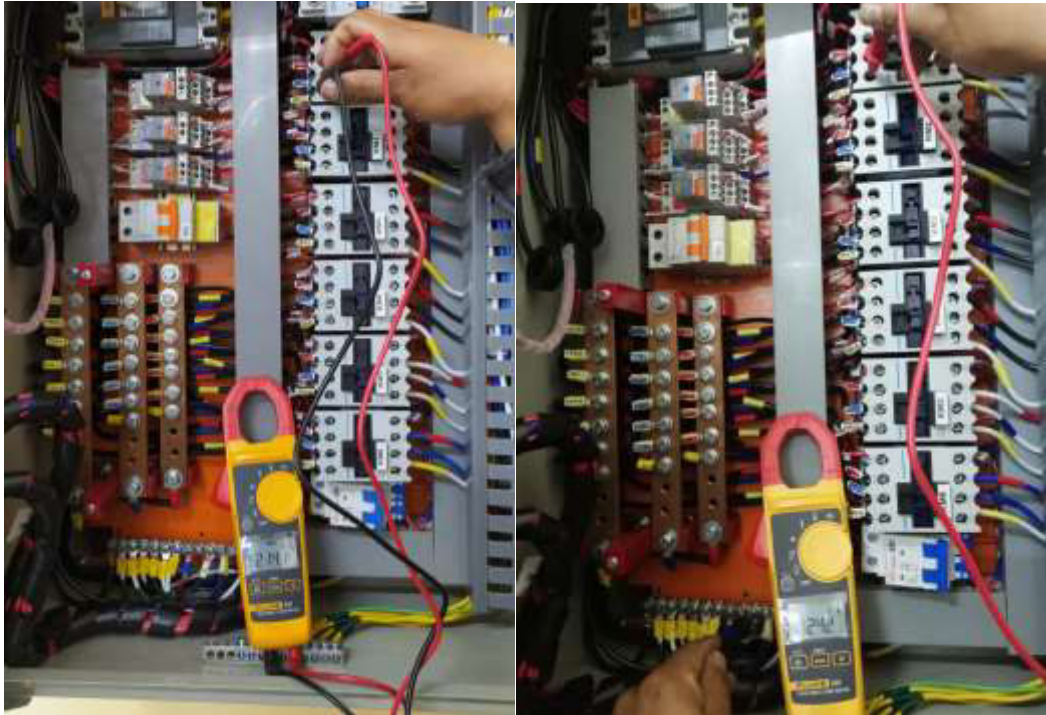


Figura 3.26 Prueba de medición de voltajes de entrada y salida.

Voltaje de entrada

Esta prueba se realizó en vacío y con carga, para realizar esta prueba se utilizó un multímetro en la función de medidor de voltaje AC, y se tomaron las mediciones en la entrada del interruptor principal.

La carga utilizada para realizar estas mediciones fue un motor eléctrico trifásico de 1(Hp).

En la Tabla 3.14 se visualiza los voltajes medidos a la entrada del tablero de distribución.

Tabla 3.14 Voltajes en la entrada del tablero de distribución.

Voltaje de entrada al tablero (V)		
Líneas	En vacío	Con carga
L1 – N	124.5	123.1
L2 – N	124.6	123
L3 – N	125.0	123.6
L1 – L2	214.6	212.8
L1 – L3	216.9	215.1
L2 – L3	216.6	214.8

En base a los resultados obtenidos en la entrada se logró verificar una diferencia de voltajes cuando está en vacío y con carga.

Voltaje de salida en las mesas de trabajo

Las mediciones de voltaje se realizaron en vacío y con carga, para realizar esta prueba se utilizó un multímetro en la función de medidor de voltaje AC, y se tomaron las mediciones en los contactores encargados de energizar cada mesa de trabajo.

En la Tabla 3.15 se visualizan los voltajes medidos en las mesas de trabajo sin ninguna carga conectada, es decir en vacío.

Tabla 3.15 Voltajes en vacío en las mesas de trabajo.

Líneas	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4	Mesa 5	Mesa 6
L1 – N	124.1	124.3	124.2	124.2	124.2	124.1
L2 – N	124.1	124.2	124.4	124.5	124.5	124.5
L3 – N	124.5	124.5	124.7	124.6	124.8	124.6

En la Tabla 3.16 se visualizan los voltajes medidos en las mesas de trabajo con carga.

La carga utilizada para realizar estas mediciones fue un motor eléctrico trifásico de 1(Hp).

Tabla 3.16 Voltajes con carga en las mesas de trabajo.

Líneas	Mesa 1	Mesa 2	Mesa 3	Mesa 4	Mesa 5	Mesa 6
L1 – N	123.3	124.1	123.8	123.7	123.7	123.5
L2 – N	123.3	123.9	123.7	124.1	124	123.8
L3 – N	123.5	124.2	124.2	124.3	124.3	124.1

En base a los resultados obtenidos de las mediciones realizadas se puede verificar que hay una leve disminución de voltaje en las líneas, debido a la potencia que consumen las cargas conectadas.

Se pudo comprobar que cada fase eléctrica, tanto línea a neutro como línea a línea cumple con la capacidad necesaria para abastecer a las diferentes cargas conectadas a las mesas de trabajo.

Voltajes de salida en tomacorriente de módulos de trabajo y ventilador

Para realizar las mediciones en vacío y con carga se utilizó un multímetro en la función de medidor de voltaje AC, y se tomaron las mediciones en los interruptores automáticos encargados de energizar tanto los tomacorrientes de los módulos de trabajo como del ventilador.

Para realizar las mediciones con carga en el interruptor de los tomacorrientes se conectó un taladro de 350 (W). Por otra parte, para tomar las mediciones en el interruptor del ventilador se puso en marcha el sistema de ventilación.

En la Tabla 3.17 se visualizan los voltajes medidos en los interruptores automáticos de cada carga.

Tabla 3.17 Voltajes de salida en los módulos de trabajo y ventilador.

Voltaje de salida módulos de trabajo y ventilador (V)				
Líneas	Módulos de trabajo BR1		Ventilador BR2	
	En vacío	Con carga (taladro)	En vacío	Con carga (motor)
L1 – N	124.4	123.8	123.9	123.1
L2 – N	124.6	124.2	-	-
L1 – L2	216.1	215.8	-	-

Como se observa en la Tabla 3.17 los voltajes tienen una leve variación cuando están trabajando a plena carga, sin embargo, no es mucha la diferencia como se visualiza en las tablas anteriores.

Caída de voltaje de la acometida principal

En esta prueba se comprobó que la caída de voltaje sea menor al 3% como dictamina la NEC [6]. Esto se realizó en la acometida encargada de energizar al tablero de distribución mediante la Ecuación 3.11.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó un multímetro en la función de medidor de voltaje AC, posteriormente se tomaron medidas de voltaje línea-neutro en el tablero principal ubicado en el laboratorio de Tecnología Industrial y por último en el tablero de distribución. Siendo estos lugares el inicio y fin de la acometida respectivamente.

$$\Delta V = \frac{V1 - V2}{V1} * 100\%$$

Ecuación 3.11 Caída de tensión.

En donde:

- ΔV : Caída de tensión (%)
- $V1$: Voltaje en el tablero principal
- $V2$: Voltaje en el tablero de distribución

A continuación, se realiza un ejemplo de cálculo, el mismo que se repite para todas las mediciones tanto de la acometida principal, mesas de trabajo, tomacorrientes para los módulos de trabajo y ventilador.

Usando la Ecuación 3.11, se obtiene:

$$\Delta V \text{ real} = \frac{124.6 - 124.5}{124.5} * 100\%$$

$$\Delta V \text{ real} = 0.080 \%$$

En la Tabla 3.18 se puede observar el cálculo de la caída de tensión para todas las líneas.

Tabla 3.18 Caída de tensión en la acometida.

Líneas	V1 (V)	V2 (V)	ΔV (%)	Cumplimiento
L1 – N	124.6	124.5	0.08	✓
L2 – N	124.4	124.3	0.08	✓
L3 – N	123.6	123.6	0	✓

Como resultado de la prueba realizada se comprobó que la caída de tensión no supera el 3%, por lo que se puede afirmar que el calibre del conductor utilizado para la acometida es el correcto.

Cabe recalcar que esta prueba se realizó con un porcentaje de carga, para saber la caída de tensión real en el sistema se deberá realizar esta prueba a plena carga.

Caída de voltaje en las mesas de trabajo

La siguiente prueba se realizó para medir la caída de tensión que tiene desde los contactores hasta las mesas de trabajo y verificar que se encuentren dentro del rango máximo admisible.

Para realizar esta prueba se conectó un motor de (1Hp), luego se prosiguió a medir dos valores de voltaje de cada línea tanto a la salida de los contactores como a la entrada de las mesas de trabajo, cada valor fue registrado y a continuación se realizó el cálculo utilizando la Ecuación 3.11

A continuación, se muestra un ejemplo para obtener el valor de la caída de voltaje correspondiente a cada línea de las diferentes mesas de trabajo, el proceso se repite para las demás líneas, y los resultados fueron ubicados en la Tabla 3.19

Usando la Ecuación 3.11 se obtiene

$$\Delta V \text{ real} = \frac{124.1 - 123.9}{123.9} * 100\%$$

$$\Delta V \text{ real} = 0.16 \%$$

Tabla 3.19 Caídas de tensión en las mesas de trabajo.

	Líneas	V1 (V)	V2 (V)	ΔV (%)	Cumplimiento
MESA 1	L1 – N	124.1	123.9	0.16	✓
	L2 – N	124.1	124	0.08	✓
	L3 – N	124.5	124.4	0.08	✓

	Líneas	V1 (V)	V2 (V)	ΔV (%)	Cumplimiento
MESA 2	L1 – N	124.3	124	0.24	✓
	L2 – N	124.2	124	0.16	✓
	L3 – N	124.5	124.4	0.08	✓
MESA 3	L1 – N	124.2	124	0.16	✓
	L2 – N	124.4	124.4	0.00	✓
	L3 – N	124.7	124.4	0.24	✓
MESA 4	L1 – N	124.2	124.1	0.08	✓
	L2 – N	124.5	124.5	0.00	✓
	L3 – N	124.6	124.6	0.00	✓
MESA 5	L1 – N	124.2	124.1	0.08	✓
	L2 – N	124.5	124.5	0.00	✓
	L3 – N	124.8	124.5	0.24	✓
MESA 6	L1 – N	124.1	123.8	0.24	✓
	L2 – N	124.5	124.5	0.00	✓
	L3 – N	124.6	124.5	0.08	✓

En consecuencia, de los resultados obtenidos se puede aseverar que el calibre del conductor utilizado para energizar las mesas de trabajo es el adecuado, ya que la caída de tensión no supera el 3% como valor máximo establecido por la norma.

Cabe recalcar que esta prueba se realizó con un porcentaje de carga, para saber la caída de tensión real en el sistema se deberá realizar esta prueba a plena carga.

Caída de voltaje en los tomacorrientes y ventilador

Se realizó esta prueba para comprobar la caída de tensión en las líneas de alimentación de los módulos de trabajo y ventilador, con el fin de establecer que el sistema está en óptimas condiciones.

Para esta prueba se tomaron los voltajes línea a línea y línea a neutro para el interruptor automático BR1, así mismo para el interruptor BR2 se tomó el voltaje de línea a neutro, el primer valor se realizó en las salidas de los interruptores automáticos y el segundo valor en los tomacorrientes.

Tabla 3.20 Caídas de tensión en los módulos y ventilador.

	Líneas	V1 (V)	V2 (V)	ΔV (%)	Cumplimiento
BR 1	L1 – N	124.4	124	0.32	✓
	L2 – N	124.6	124.3	0.24	✓
	L1 – L2	216.1	215.7	0.18	✓
BR 2	L1 – N	123.9	123.1	0.64	✓

Por consiguiente, se afirma que el diseño realizado para los tomacorrientes y ventilador es el correcto, ya que la caída de tensión no supera el límite máximo establecido de 3%.

Pruebas de funcionamiento de los elementos de indicación

El objetivo de esta prueba es visualizar el correcto funcionamiento de los elementos indicadores; se tiene luces piloto que muestran cuando el tablero principal esté encendido, cuando están energizadas las mesas de trabajo y también que el sistema de ventilación puede operar.

En la Figura 3.27 se puede visualizar el correcto funcionamiento de los elementos de indicación.

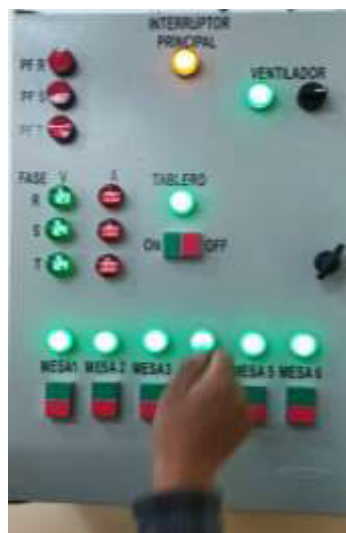


Figura 3.27 Prueba de los elementos de indicación.

Para realizar la siguiente prueba fue necesario encender todo el sistema y verificar que al momento de accionar cada pulsador la luz indicadora se encienda, así mismo cuando se presione el pulsador de apagado se desconecte correctamente.

Tabla 3.21 Luces piloto.

Elemento	Verde		Naranja	
	Enciende	No enciende	Enciende	No enciende
Característica				
Mesa 1	✓		-	-
Mesa 2	✓		-	-
Mesa 3	✓		-	-
Mesa 4	✓		-	-
Mesa 5	✓		-	-
Mesa 6	✓		-	-
Ventilador	✓		-	-
Interruptor Principal	-	-	✓	

En la Tabla 3.21 se puede observar el resultado de la prueba y afirmar que los dispositivos de indicación están correctamente conectados y cumplen con la función de encendido y apagado.

Prueba de funcionamiento del sistema de pérdida de fase

Esta prueba permite asegurar que el sistema tiene correctamente funcionando las tres fases que alimentan al tablero de distribución.

Para realizar esta prueba se desconectaron las tres fases que energiza el tablero de distribución, una a la vez como se observa en la Figura 3.28 lo cual al momento de desconectar instantáneamente se enciende la luz piloto roja que indica que existen problemas en la fase desconectada como se visualiza en la Figura 3.29.



Figura 3.28 Desconexión de las fases de alimentación.



Figura 3.29 Prueba del sistema de pérdida de fase.

Como se puede observar en la Tabla 3.22 el sistema de pérdida de fase funciona en óptimas condiciones, ya que al momento de la desconexión de cualquiera de las fases el sistema suspende el paso de energía al tablero de distribución.

Tabla 3.22 Sistema de pérdida de fase.

Sistema de pérdida de fase			
Fase pérdida	Luces piloto		
	Fase R	Fase S	Fase T
Fase R	✓		
Fase S		✓	
Fase T			✓

3.5 Manual de Uso y Mantenimiento

Se realizó un manual de usuario digital para guiar y facilitar el trabajo de los docentes y estudiantes cuando realicen prácticas o algún tipo de mantenimiento que involucre al tablero de distribución. Se detalla con claridad la descripción y funcionamiento de cada elemento que se encuentre en el interior y exterior del tablero de distribución.

En la Figura 3.30 se visualiza el código QR que permite redireccionar al video explicativo.



Figura 3.30 QR del video de manual de usuario y mantenimiento.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó el tablero de distribución correctamente en el laboratorio de Instalaciones Eléctricas cumpliendo con las normas eléctricas IEC y siguiendo los requisitos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- El pulsador de emergencia tipo hongo al ser accionado funciona adecuadamente, cortando el paso de energía a las diferentes mesas de trabajo, sin embargo, los elementos de medición no se apagan debido a que se encuentran conectados a las líneas de entrada del tablero.
- Las pruebas de funcionamiento a los elementos de maniobra tanto en la parte eléctrica como mecánica indican que se encuentran funcionando correctamente ya sea para uso intermitente o indefinido.
- Los valores medidos de voltaje a las salidas de los contactores y a la entrada de las mesas de trabajo muestran una caída de voltaje que se considera adecuada para este tipo de instalaciones residenciales y domésticas, es importante mencionar que estos valores fueron medidos con un porcentaje de carga, para tener un valor real es necesario conectar el sistema a plena carga.
- Es importante considerar el tipo de contactor que se va a utilizar debido a que estos están diseñados para diferentes aplicaciones y cargas a controlar, en base al dimensionamiento de las cargas del tablero de distribución se seleccionaron contactores de tipo AC-3.
- Luego de realizar las pruebas al circuito de seguridad, que incluye a los relés de pérdida de fase se pudo verificar que el sistema se encuentra en perfecto estado y brinda la seguridad que el tablero reciba las tres fases con el voltaje adecuado, caso contrario no se podrá energizar el tablero.
- Se aplicó un coeficiente de sobredimensionamiento el mismo que permitirá realizar posibles expansiones, asimismo, se aplicó este criterio en el dimensionamiento del interruptor automático encargado de energizar los tomacorrientes para los módulos de neumática, el mismo que permite colocar nuevos tomacorrientes de energía en un futuro.

4.2 Recomendaciones

- Verificar que el voltaje del sistema sea el correcto antes de energizar el tablero, además, tener en consideración la capacidad del interruptor automático principal que es de 40(A) para futuras ampliaciones de cargas en el tablero.
- Se recomienda revisar el manual de uso y mantenimiento antes de realizar cualquier actividad interna como externa en el tablero de distribución.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo del tablero de distribución cada 5 meses, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
- Es necesario verificar que el neutro esté conectado correctamente a los diferentes elementos de control e indicación de acuerdo con el diagrama, ya que, de no ser así las luces de indicación operarán incorrectamente.
- Es importante tener en cuenta que cada cable que une los elementos de control tenga una etiqueta, esto permitirá al usuario de mejor manera visualizar la conexión del sistema y realizar labores de mantenimiento.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Empresa Eléctrica Quito, “NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN - PARTE A – GUÍA PARA DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.,” in *Guia para diseño de redes de distribución*, 2015.
- [2] C. K. A. Matthew N. O. Sadiku, *Fundamentos de circuitos eléctricos*, 5ta. Edición. 2013.
- [3] L. M. CERDÁ FILIU, *Electricidad y automatismos eléctricos - CERDÁ FILIU, LUIS MIGUEL*, 1st ed. Madris: Ediciones Paraninfo, S.A.
- [4] F. Raskop and L. Ibáñez, “Backmatter,” in *Bobinado Máquinas Eléctricas*, 2020.
- [5] G. E. R. Line, “Interruptores Termomagnéticos Interruptores Diferenciales,” Buenos Aires, p. 8.
- [6] “NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC CAPÍTULO 15 INSTALACIONES ELECTROMECAÓNICAS,” 2013.
- [7] P. Alcalde San Miguel, *Electrónica (Ciclo formativo GM) - ALCALDE SAN MIGUEL, PABLO - Google Libros*, 5ta ed. Madrid, 2011.
- [8] Conelsa, “Conelsa.” <https://www.conelsa.com.ec/uploads/product/alambres-y-cables-de-cobre-tipo-thw-600-v-75.pdf> (accessed Jan. 05, 2021).
- [9] P. Proaño, L. Capito, A. Rosales, and O. Camacho, “A dynamical sliding mode control approach for long deadtime systems,” *2017 4th Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2017*, vol. 2017-Janua, no. June, pp. 108–113, 2017, doi: 10.1109/CoDIT.2017.8102575.