

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA  
CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA**

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

**Klever Lenin Hidalgo Samuiza**

klever.hidalgo@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. CATALINA ELIZABETH ARMAS FREIRE, MSC.**

elizabeth.armas@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. CARLOS GALLARDO, PHD.**

carlos.gallardo@epn.edu.ec

**Quito, octubre 2021**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr Hidalgo Samuiza Klever Lenin como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



---

**ING. ELIZABETH ARMAS, MSC.**

DIRECTORA DEL PROYECTO



---

**ING. CARLOS GALLARDO, PHD.**

CODIRECTOR DEL PROYECTO

## DECLARACIÓN

Yo Hidalgo Samuisa Klever Lenin con CI:1723376172 declaro bajo juramento que el trabajo 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.

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-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego 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.



---

**Klever Lenin Hidalgo Samuisa**  
CI:1723376172  
Teléfono: 095103809  
Correo: [klever.hidalgo@epn.edu.ec](mailto:klever.hidalgo@epn.edu.ec)

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi madre, que en los momentos más felices y tristes de mi carrera me brindó un apoyo incondicional, gracias a su trabajo y esfuerzo diario he alcanzado uno de los anhelos más deseados.

Klever Hidalgo

## **AGRADECIMIENTO**

A toda mi familia, que siempre confiaron en mí y me brindaron un apoyo incondicional.

A los profesores de la Escuela Politécnica Nacional que me transmitieron un valioso conocimiento, me enseñaron valores, me dieron consejos para ponerlos en práctica en mi vida profesional.

A mi directora de proyecto la Ing. Elizabeth Armas, por la comprensión hacia mi persona y el tiempo brindado para finalizar mi trabajo de titulación.

Klever Hidalgo

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Fundamentos.....	2
	Generalidades.....	2
	Métodos para determinar la potencia reactiva necesaria.....	3
2	Metodología.....	7
2.1	Descripción de la metodología usada.....	7
3	Resultados y Discusión.....	9
3.1	Requerimientos para la construcción del módulo.....	9
3.2	Elementos para la construcción.....	10
	Motor trifásico de inducción.....	10
	Regulador del factor de potencia R5 DUCATI.....	10
	Freno mecánico.....	11
	Dimensionamiento de los capacitores.....	12
	Dimensionamiento de la resistencia de descarga.....	15
	Dimensionamiento del contactor.....	19
	Dimensionamiento del transformador de corriente.....	22
	Selección de dispositivos de maniobra y señalización.....	24
	Protecciones eléctricas.....	25
	Dimensionamiento de conductores.....	31
	Protecciones del motor.....	32
	Dimensionamiento del conductor del motor.....	37
	Dimensionamiento del conductor del alimentador del módulo.....	37
	Determinación de los colores de aislante de los conductores.....	38
	Dimensiones del Gabinete.....	38
3.3	Construcción.....	39

Construcción de la estructura móvil.....	39
Freno mecánico.....	40
Ensamble de elementos .....	41
Construcción de los bancos de capacitores .....	42
Cableado .....	44
3.4 Pruebas de funcionamiento.....	45
Prueba de conformidad del gabinete.....	45
Prueba de continuidad .....	46
Prueba de medición de la capacitancia del capacitor .....	47
Tiempo de descarga y voltaje residual en el capacitor .....	47
Pruebas de alimentación .....	48
Prueba del funcionamiento eléctrico del motor .....	49
Prueba de corrección del factor de potencia.....	49
3.5 Hoja guía de laboratorio .....	51
3.6 Manual de usuario y Mantenimiento .....	51
4 Conclusiones y Recomendaciones .....	53
4.1 Conclusiones.....	53
4.2 Recomendaciones .....	54
5 Referencias Bibliográficas .....	56
ANEXOS.....	58
Anexo 1: Certificado de Funcionamiento .....	i
Anexo 2: Planos y Esquemas .....	iii
Anexo 3: Hoja guía de práctica .....	ix
Anexo 4: Datos técnicos.....	xiii

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Triángulo de potencias.....	3
<b>Figura 3.1</b> Fuente de alimentación.....	9
<b>Figura 3.2</b> Motor trifásico de inducción. ....	10
<b>Figura 3.3</b> Regulador de potencia reactiva. ....	11
<b>Figura 3.4</b> Freno mecánico.....	12
<b>Figura 3.5</b> Capacitores conectados en delta. ....	14
<b>Figura 3.6</b> Capacitor monofásico. ....	15
<b>Figura 3.7</b> Resistencia de descarga.....	16
<b>Figura 3.8</b> Resistencia de descarga de 1/2 (W).....	19
<b>Figura 3.9</b> Contactores con resistencia de pre carga. ....	20
<b>Figura 3.10</b> Contactor NXC-06.....	21
<b>Figura 3.11</b> Transformador de corriente. ....	24
<b>Figura 3.12</b> Representación de la curvas B,C y D ....	26
<b>Figura 3.13</b> Interruptor termomagnético principal.....	28
<b>Figura 3.14</b> Interruptor termomagnético secundario.....	29
<b>Figura 3.15</b> Fusibles. ....	30
<b>Figura 3.16</b> Repartidor de carga. ....	31
<b>Figura 3.17</b> Esquema de protección de un motor ....	33
<b>Figura 3.18</b> Guardamotor. ....	34
<b>Figura 3.19</b> Contactor trifásico. ....	35
<b>Figura 3.20</b> Relé térmico ....	36
<b>Figura 3.21</b> Bloque de contactores auxiliares.....	37
<b>Figura 3.22</b> Gabinete a) vista real b) medidas reales.....	39
<b>Figura 3.23</b> Estructura móvil construida.....	40
<b>Figura 3.24</b> Freno mecánico construido.....	40
<b>Figura 3.25</b> Motor. ....	41
<b>Figura 3.26</b> Ubicación de los pulsadores y regulador.....	42
<b>Figura 3.27</b> Bancos de capacitores trifásicos armados. ....	42
<b>Figura 3.28</b> Elementos instalados en riel DIN.....	43
<b>Figura 3.29</b> Módulo didáctico con sus componentes internos.....	44
<b>Figura 3.30</b> Módulo didáctico de corrección del factor de potencia. ....	45
<b>Figura 3.31</b> Factor de potencia final.....	50
<b>Figura 3.32</b> Manual de uso.....	51
<b>Figura 3.33</b> Manual de mantenimiento.....	52



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Consumo de potencia en una instalación en el periodo de un mes.....	4
<b>Tabla 3.1</b>	Datos técnicos del motor de inducción.....	10
<b>Tabla 3.2</b>	Datos técnicos del regulador . .....	11
<b>Tabla 3.3</b>	Valores eléctricos del motor. ....	12
<b>Tabla 3.4</b>	Valores comerciales de bancos de capacitores trifásicos . ....	13
<b>Tabla 3.5</b>	Bancos de capacitores. ....	15
<b>Tabla 3.6</b>	Datos técnicos del capacitor.....	15
<b>Tabla 3.7</b>	Tabla de selección del factor k. ....	16
<b>Tabla 3.8</b>	Resistencias comerciales. ....	18
<b>Tabla 3.9</b>	Categoría de contactores . ....	20
<b>Tabla 3.10</b>	Tabla de selección del contactor. ....	21
<b>Tabla 3.11</b>	Datos técnicos del contactor. ....	22
<b>Tabla 3.12</b>	Valores comerciales de transformadores de corriente. ....	23
<b>Tabla 3.13</b>	Datos técnicos de transformador de corriente. ....	24
<b>Tabla 3.14</b>	Dispositivos de maniobra y señalización. ....	25
<b>Tabla 3.15</b>	Curvas de disparo de interruptores termomagnéticos normalizadas. ....	26
<b>Tabla 3.16</b>	Tabla de interruptores termomagnéticos . ....	27
<b>Tabla 3.17</b>	Datos técnicos del interruptor termomagnético principal.....	28
<b>Tabla 3.18</b>	Datos técnicos de interruptor termomagnético secundario. ....	29
<b>Tabla 3.19</b>	Valores comerciales de repartidor de carga. ....	30
<b>Tabla 3.20</b>	Calibres de conductores. ....	32
<b>Tabla 3.21</b>	Datos técnicos del guardamotor.....	34
<b>Tabla 3.22</b>	Datos técnicos de contactor del motor. ....	35
<b>Tabla 3.23</b>	Datos técnicos del relé térmico. ....	36
<b>Tabla 3.24</b>	Código de colores de conductores.....	38
<b>Tabla 3.25</b>	Datos técnicos del gabinete. ....	39
<b>Tabla 3.26</b>	Materiales adquiridos para construcción de la estructura móvil.....	40
<b>Tabla 3.27</b>	Materiales adquiridos para la construcción del freno mecánico.....	41
<b>Tabla 3.28</b>	Materiales instalados en la plancha metálica. ....	43
<b>Tabla 3.29</b>	Lista de condiciones a cumplir. ....	46
<b>Tabla 3.30</b>	Prueba de continuidad en elementos del sistema. ....	46

<b>Tabla 3.31</b>	Prueba de medición de la capacitancia del capacitor.....	47
<b>Tabla 3.32</b>	Tiempo de descarga y voltaje residual en el capacitor.....	48
<b>Tabla 3.33</b>	Prueba de voltaje de línea en los elementos. ....	48
<b>Tabla 3.34</b>	Prueba del funcionamiento eléctrico del motor.....	49
<b>Tabla 3.35</b>	Prueba de corrección del factor de potencia sin carga.....	50
<b>Tabla 3.36</b>	Prueba de corrección del factor de potencia con carga. ....	50
<b>Tabla 5.1</b>	Coeficientes para corregir el factor de potencia. ....	xiv
<b>Tabla 5.2</b>	Tabla de selección de guardamotores . ....	xv
<b>Tabla 5.3</b>	Tabla de selección de relé térmico.....	xvi

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como finalidad la construcción de un módulo didáctico para la corrección del factor de potencia de un motor trifásico de inducción, usando un regulador de potencia reactiva para el control de conexión y desconexión de bancos de capacitores trifásicos. Este módulo permite a los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) complementar sus conocimientos acerca de la corrección del factor de potencia en sistemas industriales trifásicos.

El presente trabajo está constituido de cuatro secciones que se describen a continuación:

En la sección 1 contiene la introducción que describe el objetivo general, los objetivos específicos y fundamentos teóricos para la realización del proyecto.

En la sección 2 se describen la metodología utilizada y las actividades realizadas para cumplir con los objetivos que se plantearon en el presente trabajo.

En la sección 3 se describe un estudio para determinar los requerimientos para la construcción del módulo, su construcción y los resultados de las pruebas durante su funcionamiento. Además, en este capítulo se redacta, el manual de mantenimiento y una hoja guía de laboratorio.

En la sección 4 se exponen las conclusiones y recomendaciones alcanzadas en el proyecto.

Finalmente, en la sección 5 se colocaron las referencias bibliográficas utilizadas para la realización de este trabajo de titulación.

**PALABRAS CLAVE:** Corrección, factor de potencia, módulo.

## **ABSTRACT**

The purpose of this degree project is to build a didactic module for the correction of the power factor of a three-phase induction motor, using a reactive power regulator to control the connection and disconnection of three-phase capacitor banks. This module allows students of the School of Technologists Training (ESFOT) to complement their knowledge about power factor correction in three-phase industrial systems.

This work is made up of four sections that are described below:

In section 1 it contains the introduction that describes the general objective, the specific objectives and theoretical foundations for the realization of the project.

Section 2 describes the methodology used and the activities carried out to meet the objectives set out in this work.

In section 3 a study is described to determine the requirements for the construction of the module, its construction and the results of the tests during its operation. In addition, in this chapter the maintenance manual and a laboratory guide sheet are written.

Section 4 presents the conclusions and recommendations reached in the project.

Finally, in section 5 the bibliographic references used to carry out this degree work were placed.

**KEY WORDS:** Correction, power factor, modulus.

# 1 INTRODUCCIÓN

Un edificio, un centro comercial o una ciudad pueden ser considerados como una enorme carga conectada a un sistema de suministro eléctrico. Tales centros de carga, contienen miles de motores de inducción y otros dispositivos electromagnéticos, que absorben tanto potencia reactiva  $Q$  (para mantener sus campos magnéticos), como activa  $P$  (para realizar trabajo útil) [1].

El elevado consumo de potencia reactiva en la industria, no sólo ocasiona un bajo nivel de voltaje, sino que también puede afectar a otros usuarios que están conectados a la misma red [2]. La potencia reactiva ( $Q$ ) necesaria para mantener los campos magnéticos en cargas inductivas demanda de una mayor corriente en la red, lo que provoca mayores pérdidas en las líneas, con lo cual se pierde rendimiento en una instalación [3].

El factor de potencia de una o más cargas puede afectar significativamente la eficiencia en la operación del sistema. Cuanto más pequeño sea el factor de potencia, mayores serán las pérdidas en las líneas de potencia que las alimenta [4].

El factor de potencia es importante considerarlo en el sector industrial, comercial y residencial; ya que, si éste no es el adecuado, es necesario corregirlo para no recibir penalizaciones por parte de la empresa reguladora. Al mantener el factor de potencia dentro de los valores adecuados, se obtendrá el beneficio económico de reducción del costo por facturación eléctrica [5].

La mejor manera aumentar la potencia disponible en una instalación ha sido combatir el desperdicio y aumentar la eficiencia energética. Se estima que actualmente el 40% del consumo global de energía eléctrica se relaciona con el uso de motores eléctricos. Así mismo, la aplicación de nuevas tecnologías se ha tornado cada vez más frecuente en los diversos sectores de la industria, trayendo profundos cambios en la aplicación y control de motores [6].

Los estudiantes de la ESFOT, como parte de su formación profesional, reciben la materia de Electricidad y dentro del Programa de Estudios de la Asignatura (PEA), estudian el factor de potencia, para reforzar estos conocimientos teóricos y que los estudiantes entiendan la importancia de mantener el factor de potencia en rangos adecuados, este proyecto propone construir un módulo didáctico para corregir el factor de potencia. Con el fin de complementar el Laboratorio de Electricidad de la Carrera de

Tecnología Electromecánica de la ESFOT, como un aporte para los estudiantes, quienes solo lo han analizado por medio de cálculos teóricos; sin llevarlo a la práctica.

En el Anexo 1 se adjunta un certificado de funcionamiento que verifica que este proyecto se encuentra funcionando de forma correcta.

## **1.1 Objetivo general**

Construir un módulo didáctico para la corrección del factor de potencia

## **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar los requerimientos necesarios para corregir el factor de potencia.
- Especificar los elementos para la construcción del módulo.
- Construir el módulo didáctico.
- Realizar pruebas de funcionamiento del módulo implementado.
- Realizar una hoja guía de laboratorio orientado al manejo del módulo construido.
- Realizar el manual de usuario y mantenimiento.

## **1.3 Fundamentos**

### **Generalidades**

Los transformadores, motores asíncronos, soldadoras y balastros absorben potencia reactiva por lo que son considerados cargas reactivas, mientras los dispositivos que generan potencia reactiva como los capacitores, motores síncronos son considerados fuentes reactivas.

El consumo excesivo de potencia reactiva ( $Q$ ) en una instalación, ocasiona un bajo factor de potencia, lo que provoca las siguientes consecuencias:

- Calentamiento de los cables
- Caídas de voltajes
- Sobrecargas de los generadores
- Sobrecargas de los transformadores
- Multas por parte de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

Corregir el bajo factor de potencia consiste en insertar en una instalación la potencia reactiva ( $Q$ ) adecuada, con el fin de que dicho factor sea lo más cercano a la unidad, con lo cual la potencia reactiva ( $Q$ ) se hace muy pequeña en comparación con la potencia activa ( $W$ ).

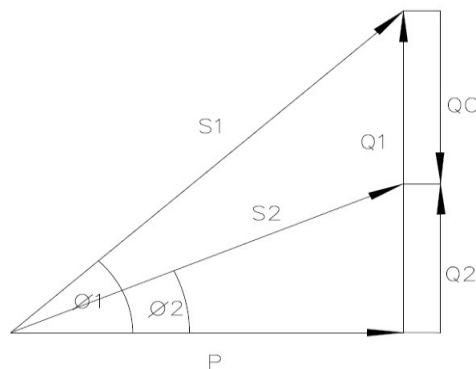
## Compensación automática

En la gran mayoría de las instalaciones la demanda de potencia reactiva no es constante debido a diferentes ciclos de trabajos, cantidad de máquinas y características eléctricas de las mismas. Cuando hay fluctuaciones de energía reactiva en el tiempo es conveniente utilizar una compensación que se adapte a las necesidades de la instalación.

### Métodos para determinar la potencia reactiva necesaria

- **Método general**

Este método determina el valor del capacitor a instalarse ( $Q_C$ ), una vez identificado el valor del factor de potencia inicial ( $\cos \varnothing_1$ ) y el valor de factor de potencia final ( $\cos \varnothing_2$ ), valor al que se desea corregir el factor de potencia para una carga inductiva. Mediante el análisis y cálculos trigonométricos (Figura 1.1), se determinan: la potencia activa ( $P$ ), potencias reactivas ( $Q_1$  y  $Q_2$ ) y potencias aparentes ( $S_1$  y  $S_2$ ).



**Figura 1.1** Triángulo de potencias

- **Método basado en tablas**

Este método permite calcular la potencia reactiva del capacitor a instalarse a partir de la potencia activa en (KW) y del factor de potencia ( $\cos \varnothing_1$ ) total en una instalación. Todos estos parámetros eléctricos son obtenidos a través de medidores especiales que por lo general están incorporados en cada instalación. Cuando una instalación no cuenta con medidores incorporados es necesario levantar información de los equipos y realizar un estudio en la demanda de potencia reactiva con medidores especiales.

Se da un ejemplo de una instalación que consume una potencia de 300 (KW), con un factor de potencia inicial ( $\cos \varnothing_1$ ) igual a 0.70 y un factor de potencia final ( $\cos \varnothing_2$ ) igual a 0.96 valor al que se va a corregir.

En el anexo 4 en la Tabla 5.1 se muestra los diferentes factores de potencia de una instalación antes de la compensación (columna izquierda), en la parte superior muestra los diferentes factores de potencia después de la compensación, al interceptar el ( $\cos \theta_1$ ) igual A 0.70 y ( $\cos \theta_2$ ) igual A 0.96 se obtiene un coeficiente necesario para la corrección.

Para calcular la potencia reactiva del capacitor a instalarse se utiliza la Ecuación 1.1 y el coeficiente obtenido con la Tabla 5.1.

$$Q_c = P \times c$$

**Ecuación 1.1** Potencia reactiva del capacitor [7].

Donde:

$Q_c$	:	Potencia reactiva del capacitor	?	(VAr)
$P$	:	Potencia activa	300	(KW)
$c$	:	coeficiente	0.729	

Por lo tanto:

$$Q_c = 218.70 \text{ (KVAR)}$$

- **Método basado en la factura eléctrica**

Este método permite analizar la energía consumida activa total (kWh), reactiva (KVARh) y factor de potencia inicial ( $\cos \theta_1$ ), con la cual se evalúa el total de horas de funcionamiento de la instalación en un mes como se observa en la Tabla 1.1. Estas mediciones se encuentran en la planilla por el servicio eléctrico y alumbrado público que es provista por la empresa distribuidora de energía eléctrica, que instala medidores de energía a sus clientes.

**Tabla 1.1** Consumo de potencia en una instalación en el periodo de un mes.

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unidad
Activa	116173	112443	3730	KWh
Reactiva	78511	74378	4133	KVAr
08h00-18h00 L-V	54474	52977	1497	KWh
18h00-22h00 L-V	10796	10430	366	KWh
22h00-08h00-L,V,S,D,F	50901	49034	1867	KWh
Demanda Máxima	10.1	11	10.1	KW
Demanda Pico	5,96	7	5.96	KW
Factor de potencia	0.66			



Se evalúan las facturas con los más altos costos energéticos de todo el año y se verifica que no se deba a una situación excepcional. Es necesario analizar el total de horas de trabajo en los periodos de tiempo de medición de un mes.

Para calcular el total de horas de trabajo en el periodo de 8 de la mañana a 6 de la tarde de lunes a viernes se utiliza la Ecuación 1.2.

$$T_h = h \times d$$

**Ecuación 1.2** Total de horas de trabajo [7].

Donde:

$T_h$	:	Total, de horas de trabajo	?	
$h$	:	Horas	10	(h)
$d$	:	Días	20	

Por lo tanto:

$$T_h = 200 \text{ (h)}$$

Para calcular el total de horas de trabajo en el periodo de 6 de la tarde a 10 de la noche de lunes a viernes, considerando 20 días se utiliza la Ecuación 1.2.

Por lo tanto:

$$T_h = 80 \text{ (h)}$$

Para calcular el total de horas de trabajo en el periodo de 10 de la noche a 8 de la mañana los 7 días de la semana y feriados, se toma en cuenta que es un periodo nocturno se considera un máximo de 3 horas y 28 días se utiliza la Ecuación 1.2.

Por lo tanto:

$$T_h = 84 \text{ (h)}$$

El total de horas trabajadas es igual a 364 horas, con un factor de potencia inicial ( $\cos \theta_1$ ) igual a 0.66 y un factor de potencia final ( $\cos \theta_2$ ) igual a 0.96 valor al que se va a corregir.

Para calcular la potencia reactiva del capacitor a instalarse se utiliza la Ecuación 1.3 y el coeficiente obtenido con la Tabla 5.1.

$$Q_c = \frac{P}{T_h} \times c$$

**Ecuación 1.3** Potencia reactiva del capacitor con el uso de la factura eléctrica [7].

Donde:

Qc	:	Potencia reactiva del capacitor con el uso de la factura eléctrica	?	(VAr)
P	:	Potencia activa	3730	(KWh)
c	:	coeficiente	0.847	
Th	:	Total, de horas trabajadas	364	(h)

Por lo tanto:

$$Qc = 8.67 \text{ (KVAR)}$$

## **2 Metodología**

### **2.1 Descripción de la metodología usada**

Para la implementación del módulo didáctico que permite corregir el factor de potencia, se realizó una investigación aplicada, bibliográfica y experimental, que permitió a través de etapas ordenadas y definidas utilizar el conocimiento teórico para desarrollar aplicaciones prácticas.

Para el proyecto se tomó en cuenta que el módulo didáctico debe medir el factor de potencia (coseno  $\phi$ ) de la red eléctrica, cuando la carga conectada sea un motor trifásico en vacío y a plena carga, en el caso de que este valor medido sea muy bajo, se debe controlar la conexión y desconexión de condensadores para corregirlo. Para dicho control, se utilizó un regulador de energía reactiva. Todo el sistema funciona a 220 (V) trifásico y se adapta una base construida con ángulos de hierro y llantas giratorias para su fácil movilización.

Se utilizó un tablero que contiene: un regulador de energía reactiva, breakers trifásicos, contactores, protecciones eléctricas, capacitores, dispositivos indicadores y de maniobra, y conductores. Además, el módulo cuenta con un motor trifásico y un mecanismo de freno. Para la distribución de los elementos mencionados se realizó el diagrama de conexiones; así mismo, se realizaron los diagramas interno y externo del tablero; utilizando el software AutoCAD. Además, se tomaron en cuenta las buenas prácticas de diseño de gabinetes o tableros, considerando la disponibilidad, adaptabilidad, desempeño y tolerancia a fallas.

Una vez especificados los elementos necesarios se adquirieron los elementos, luego se instalaron dichos elementos considerando la distribución adecuada; así mismo, se realizaron las respectivas conexiones entre ellos con base en normas técnicas y de acuerdo a los planos diseñados [8].

Se realizaron pruebas de conexionado entre los elementos y equipos del sistema. Se realizaron pruebas de funcionamiento de equipos y elementos, con el fin de identificar posibles errores. Finalmente, se verificó la corrección del factor de potencia con diferentes condiciones de trabajo del motor.

Se elaboró una hoja guía de laboratorio que tiene como objetivo corregir el factor de potencia de un motor trifásico en diferentes condiciones de trabajo.[6]

El factor de potencia se ve fuertemente influenciado por la carga del motor; cuando un motor mueve más carga, mayor será el momento de torsión que deberá realizar el motor, por lo que se utilizó un freno mecánico para simular diferentes condiciones de momento de torsión y velocidad, es decir, carga.

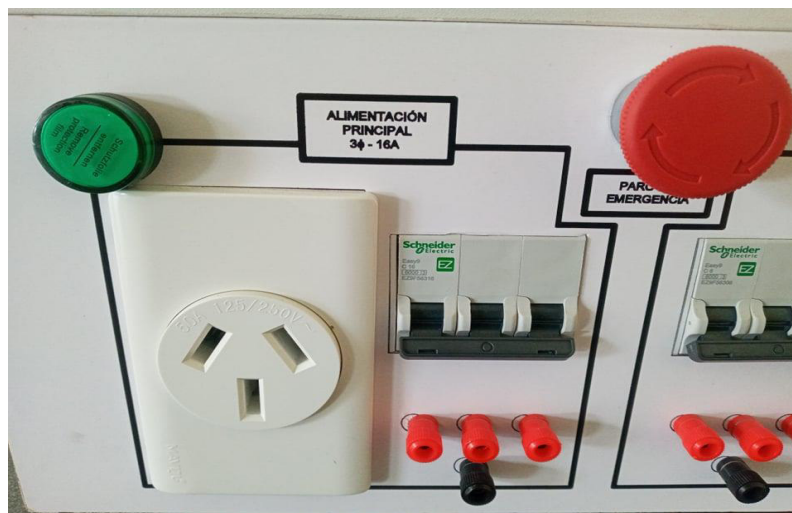
Finalmente, se realizó un manual de usuario del módulo, indicando las principales características y sus elementos. Este documento permite una operación correcta del módulo. Además, se señalan las actividades de mantenimiento a tomar en cuenta.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Requerimientos para la construcción del módulo

Los principales requerimientos del módulo son los siguientes:

1. Un motor trifásico de inducción como carga del sistema, debido a que el motor al ser carga inductiva requiere de potencia reactiva para mantener sus campos magnéticos. Además, estos motores están fuertemente influenciados por las condiciones de carga, al arrancar el motor en vacío la demanda de potencia reactiva es alta, cuando cambia a condiciones de plena carga dicha potencia es distinta. Esta variación en la demanda de potencia reactiva debe ser compensada con un regulador de potencia reactiva
2. Un freno mecánico que permita simular diferentes condiciones de trabajo del motor trifásico.
3. Para la alimentación del módulo es necesario contar con una red trifásica 220 (V<sub>AC</sub>) con sus respectivas protecciones como se observa en la (Figura 3.1).



**Figura 3.1** Fuente de alimentación.

4. Un regulador de potencia reactiva que mida el factor de potencia en una instalación para compararlo con el factor de potencia final, y de acuerdo a dicha comparación conecte y desconecte bancos de capacitores, para compensar en cada momento la potencia reactiva (Q) necesaria, lo que permite que una instalación este compensada al máximo.
5. Una estructura soporte que contenga todos los elementos del sistema.

## 3.2 Elementos para la construcción

### Motor trifásico de inducción

En el laboratorio de Electricidad no es recomendable conectar motores de potencias demasiados grandes ya que pueden generar perturbaciones en la red y disparo de protecciones, por lo cual se escogió un motor trifásico de 1 HP. En la Figura 3.2 se observa el motor trifásico de inducción y en la Tabla 3.1 se encuentran los datos técnicos.



**Figura 3.2** Motor trifásico de inducción.

**Tabla 3.1** Datos técnicos del motor de inducción.

Características del motor de inducción	
Marca	TECO
Voltaje (L-L)	220 (V <sub>AC</sub> )
Corriente nominal	3.4 (A)
Velocidad	1600 r.p.m
Factor de potencia	0.8
Temperatura	40°C
Potencia	1 (HP)
Frecuencia	60 (Hz)
Numero de fases	3
Rendimiento	70%

### Regulador del factor de potencia R5 DUCATI

El regulador de factor de potencia es un dispositivo ideal para ser instalado en sistemas monofásicos y trifásicos. Suministra la demanda de potencia reactiva a la red según sea la necesidad. Permite la parametrización rápida de variables eléctricas como: voltaje,

potencia reactiva, frecuencia, dispone de 5 salidas tipo relé para conectar y desconectar bancos de capacitores de diferentes capacidades para compensar las fluctuaciones de potencia reactiva. En la Figura 3.3 se observa el regulador y en la Tabla 3.2 se encuentran los datos técnicos.



**Figura 3.3** Regulador de potencia reactiva.

Lista de partes del regulador:

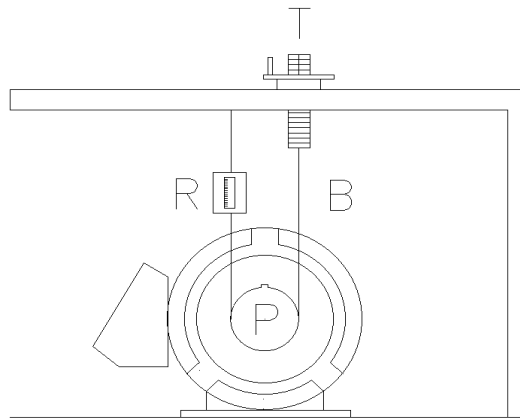
1. Pantalla
2. Panel de navegación y configuración
3. Salidas tipo relé abiertas
4. Entrada de corriente (A)
5. Entradas de alimentación ( $V_{AC}$ )

**Tabla 3.2** Datos técnicos del regulador [9].

Características del regulador R5	
Marca	DUCATY
Voltaje (L-L)	230/400 ( $V_{AC}$ ) $\pm 10\%$
Entrada de corriente	5 (A) rango 0.03-6 (A)
Salidas tipo relé	5
Temperatura de uso	-30 ( $^{\circ}C$ )/+80 ( $^{\circ}C$ )
Dimensiones	92x92x56 (mm)

### Freno mecánico

Este elemento mecánico (Figura 3.4) cuenta con una báscula de resorte (R) que presiona a la polea (P) mediante una banda estacionaria (B). La variación de la tensión de la banda se consigue ajustando el tornillo (T).[1]



**Figura 3.4** Freno mecánico.

### Dimensionamiento de los capacitores

Para aplicar el método general de corrección de factor de potencia descrito en el literal 1.3, es necesario determinar el valor de los capacitores que se conectan y desconectan para reducir la potencia reactiva y en consecuencia aumentar el factor de potencia.

Para que el motor funcione con un factor de potencia final ( $\cos \phi$ ) igual 0.92, valor establecido por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL) para no recibir penalizaciones económicas por un bajo factor de potencia, es necesario conocer las potencias reactivas (Q1), activa (P) y aparente (S1) que desarrolla el motor trifásico durante su funcionamiento.

Debido a que se usó un motor trifásico de inducción rebobinado se desconoce si el proceso de rebobinado fue realizado con óptimos controles de calidad para que no se reduzca la eficiencia y el factor de potencia, por lo tanto, se tomó datos con el regulador de potencia reactiva ya que también es un dispositivo de medición y control cuando el motor arranco en vacío como se observa en la Tabla 3.3. Estos parámetros eléctricos medidos del motor garantizan un correcto dimensionamiento de la potencia reactiva necesaria.

**Tabla 3.3** Valores eléctricos del motor.

Descripción	Arranque en vacío
Potencia activa (W)	192
Potencia reactiva (VAr)	816
Potencia aparente (VA)	840
Corriente (A)	2.16
Factor de potencia	0.23



Ahora que se conoce la potencia activa, el factor de potencia inicial ( $\cos \theta_1$ ) igual a 0.23 y el factor de potencia final ( $\cos \theta_2$ ) igual 0.98, valor final al que se va a corregir. Se determina el valor de la potencia reactiva a instalarse.

Usando la Ecuación 3.1 se obtiene la potencia reactiva total ( $Q_c$ ) del grupo de capacitores.

$$Q_c = P * (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

**Ecuación 3.1** Potencia reactiva a ser instalada [3].

Donde:

$Q_c$	:	Potencia reactiva	?	(VAR)
$\theta_1$	:	Factor de potencia inicial	76.70	(°)
$\theta_2$	:	Factor de potencia final	11.47	(°)
P	:	Potencia activa	192	(W)

Po lo tanto:

$$Q_c = 773.25 \text{ (VAR)}$$

Con los resultados obtenidos se deben adquirir bancos de capacitores trifásicos para la potencia reactiva calculada, pero para la venta y distribución no existen bancos de capacitores trifásicos para baja potencia. Por lo general los bancos de capacitores vienen normalizadas en rangos como se muestra en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Valores comerciales de bancos de capacitores trifásicos [3].

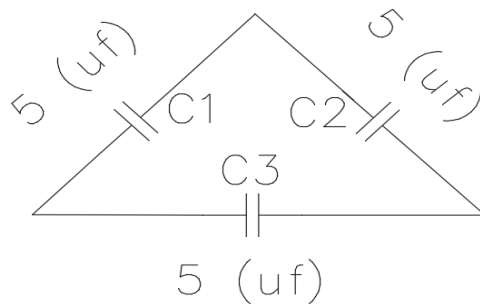
Valor	Unidades
2.5	(KVAR)
3	(KVAR)
5	(KVAR)
6	(KVAR)
7.5	(KVAR)
10	(KVAR)
12	(KVAR)
15	(KVAR)
20	(KVAR)
25	(KVAR)

Debido a que no existen para la venta capacitores de la potencia reactiva calculada, es necesario conocer la potencia reactiva (Q) que se obtiene al conectar capacitores monofásicos en delta. Uno de los aspectos a tomar en cuenta es conocer la capacidad en faradios de cada capacitor monofásico. Para la venta y distribución de capacitores

monofásicos de voltajes alternos están estandarizados desde los 5 microfaradios en adelante.

- **Potencia y capacidad total de un capacitor**

Conocida la capacidad mínima de 5 (uf) de cada capacitor, ahora es necesario conocer la potencia reactiva total al conectar tres capacitores monofásicos en configuración delta, como se observa en la Figura 3.5.



**Figura 3.5** Capacitores conectados en delta.

Esta potencia reactiva trifásica total se obtiene con la Ecuación 3.2.

$$Q = 3.C.V^2.2\pi.f$$

**Ecuación 3.2** Potencia reactiva trifásica [10].

Q	:	Potencia reactiva trifásica	?	(VAr)
V	:	Voltaje de línea	220	(V <sub>AC</sub> )
f	:	Frecuencia	60	(Hz)
C	:	Capacidad del condensador	5	(uf)

Por lo tanto:

$$Q = 273.69 \text{ (VAr)}$$

De acuerdo con el valor calculado se requiere formar tres bancos de capacitores trifásicos, cada banco formado por 3 capacitores de 5 (uf) conectados en configuración delta. En el regulador de potencia reactiva es posible conectar/desconectar tres bancos de capacitores trifásicos (según las variaciones en la demanda de potencia reactiva), es decir se tiene un total de 821.08 (VAR).

Por lo tanto, se forma una combinación de 3 bancos de capacitadores como se observa en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Bancos de capacitores.

Banco de capacitores	Potencia reactiva (VAr)
1 banco	273.69
1 banco	273.69
1 banco	273.69
Total	821.08

- **Capacitores monofásicos**

Son los elementos que aportan la potencia reactiva para corregir el factor de potencia del motor trifásico. En la Figura 3.6 se observa el capacitor y en la Tabla 3.6 se encuentran los datos técnicos.



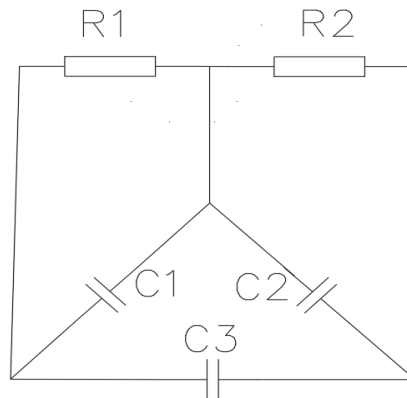
**Figura 3.6** Capacitor monofásico.

**Tabla 3.6** Datos técnicos del capacitor.

Características del Capacitor	
Marca	QR Series
Voltaje (L-L)	230/370 (V <sub>AC</sub> )
Frecuencia	50/60 (Hz)
Sello	soldado
Dimensiones	Ø43X50 (mm)

### **Dimensionamiento de la resistencia de descarga**

Los capacitores almacenan voltaje después que se desconectan, por lo que, si una persona toca sus terminales en una inspección de mantenimiento, éstos se descargan por el cuerpo, lo que representa un riesgo de choque eléctrico. Por lo tanto, los condensadores deben tener conectados permanentemente resistencias de descarga (Figura 3.7).



**Figura 3.7** Resistencia de descarga.

Para obtener el valor de la resistencia se utiliza la Ecuación 3.3 que muestra una ecuación tipo exponencial. La norma IEC EN 60831 establece que la tensión en los bornes de un capacitor no debe exceder 75 ( $V_{AC}$ ) transcurridos 3 minutos.[11]

$$R = \frac{t}{k \cdot C \cdot \ln\left(\frac{VN \cdot \sqrt{2}}{VR}\right)}$$

**Ecuación 3.3** Resistencia de descarga [11].

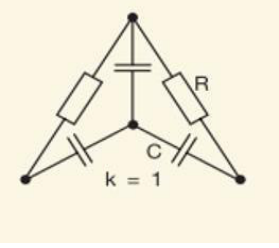
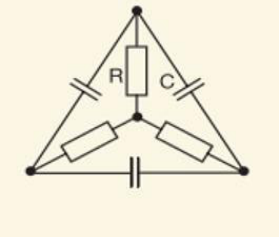
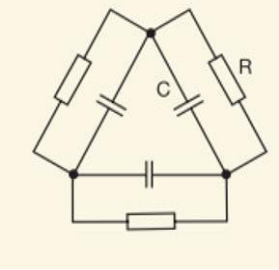
Donde:

R	:	Resistencia de descarga		( $\Omega$ )
t	:	Tiempo de descarga	180	(s)
C	:	Capacidad por fase		(uf)
VN	:	Voltaje del condensador		( $V_{AC}$ )
VR	:	Voltaje residual permisible	75	( $V_{AC}$ )
k	:	Coeficiente para conexión		

El factor k es un coeficiente que depende del tipo de conexión (estrella o triangulo) y el número de resistencias conectados en sus bornes, como se observa en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Tabla de selección del factor k [11].

Tipo de conexión	k
	3

Tipo de conexión	k
	1
	3
	1

Los valores de tiempo de descarga y voltajes residuales antes mencionados son recomendados para ambientes industriales, pero al tratarse de un módulo didáctico se establece el tiempo de descarga de 70 (s).

R	:	Resistencia de descarga	?	( $\Omega$ )
t	:	Tiempo de descarga	70	(s)
C	:	Capacidad por fase	5	( $\mu\text{f}$ )
VN	:	Voltaje del condensador	220	( $V_{AC}$ )
VR	:	Voltaje residual permisible	70	( $V_{AC}$ )
k	:	Coficiente para conexión	3	

Por lo tanto:

$$R = 3.12 \text{ (M}\Omega\text{)}$$

Una vez calculado la resistencia es necesario conocer la potencia activa que tiene que soportar la resistencia sin quemarse para lo cual se utiliza la Ecuación 3.4

$$P = \frac{V^2}{R}$$

**Ecuación 3.4** Potencia activa.

Donde:

P	:	Potencia activa	?	(W)
V	:	Voltaje de línea	220	(V <sub>AC</sub> )
R	:	Resistencia de descarga	3.12	(MΩ)

Por lo tanto:

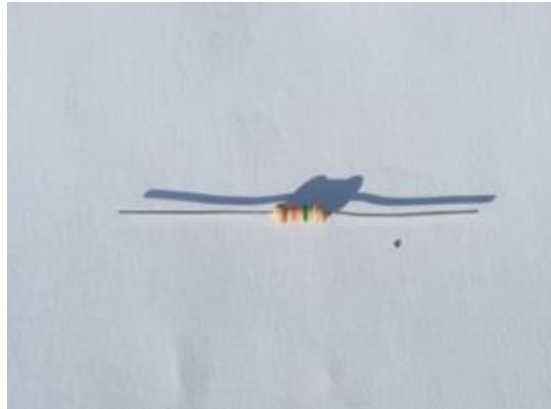
$$P = 0.01(W)$$

La resistencia de descarga (Figura 3.9) está conectada a los capacitores monofásicos con el propósito de disipar la energía almacenada por los capacitores en forma de calor.

De acuerdo con el valor calculado y a la Tabla 3.8 se selecciona una resistencia de 3.3 (MΩ) de 1/2 (W).

**Tabla 3.8** Resistencias comerciales.

X1	X10	X100	X1000 (K)	X 10.000 (10 K)	X 100.000 (100 K)	X 1.000.000 (M)
1 Ω	10 Ω	10 Ω	1 KΩ	10 KΩ	100 KΩ	1 M Ω
1.2 Ω	12 Ω	120 Ω	1K2 Ω	12 KΩ	120 KΩ	1M2 Ω
1.5 Ω	15 Ω	150 Ω	1K5 Ω	15 KΩ	150 KΩ	1M5 Ω
1.8 Ω	18 Ω	180 Ω	1K8 Ω	18 KΩ	180 KΩ	1M8 Ω
2.2 Ω	22 Ω	220 Ω	2K2 Ω	22 KΩ	220 KΩ	2M2 Ω
2.7 Ω	27 Ω	270 Ω	2K7 Ω	27 KΩ	270 KΩ	2M7 Ω
3.3 Ω	33 Ω	330 Ω	3K3 Ω	33 KΩ	330 KΩ	<b>3M3 Ω</b>
3.9 Ω	39 Ω	390 Ω	3K9 Ω	39 KΩ	390 KΩ	3M9 Ω
4.7 Ω	47 Ω	470 Ω	4K7 Ω	47 KΩ	470 KΩ	4M7 Ω
5.1 Ω	51 Ω	510 Ω	5K1 Ω	51 KΩ	510 KΩ	5M1 Ω
5.6 Ω	56 Ω	560 Ω	5K6 Ω	56 KΩ	560 KΩ	5M6 Ω
6.8 Ω	68 Ω	680 Ω	6K8 Ω	68 KΩ	680 KΩ	6M8 Ω
8.2 Ω	82 Ω	820 Ω	8K2 Ω	82 KΩ	820 KΩ	8M2 Ω



**Figura 3.8** Resistencia de descarga de 1/2 (W).

### Dimensionamiento del contactor

Para la selección del contactor se utiliza la Ecuación 3.5 y la potencia reactiva trifásica total de un banco obtenida con la Ecuación 3.2.

$$I_n = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot V_L}$$

**Ecuación 3.5** Corriente nominal [12].

Donde:

$I_n$	:	Corriente nominal	?	(A)
$Q_c$	:	Potencia reactiva	273.69	(VAR)
$V_L$	:	Voltaje de línea	220	(V <sub>AC</sub> )

Por lo tanto:

$$I_n = 0.71 \text{ (A)}$$

La conexión de capacitores produce elevadas corriente pico transitorias que están en el orden de 150 a 200 veces la corriente nominal. Para dimensionar el contactor se utilizó Ecuación 3.6 [13].

$$I_c = 2 \times I_n$$

**Ecuación 3.6** Corriente del contactor.

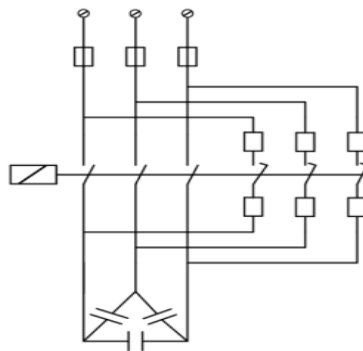
Donde:

$I_c$	:	Corriente del contactor	?	(A)
$I_n$	:	Corriente nominal	0.71	(A)

Por lo tanto:

$$I_c = 1.42 \text{ (A)}$$

Existen dos alternativas para seleccionar contactores para corregir el factor de potencia, la primera es utilizar contactores equipados con un bloque de contactos auxiliares en donde están instalados resistencias de precarga como se muestra en la figura 3.9. El uso de contactores con resistencia de pre carga reduce las corrientes pico transitorias, con lo cual protege a los contactores y capacitores. Por lo general los contactores para la corrección del factor de potencia vienen normalizadas en rangos de 5 (KVAR) en adelante.[7]



**Figura 3.9** Contactores con resistencia de pre carga [13].

Otra alternativa es utilizar contactores estándar de buena calidad que soporten las elevadas corrientes pico transitorias, la selección depende del tipo de categoría y usos como se muestra en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9** Categoría de contactores [14].

Categoría	Usos y características
AC-1	Aparatos de corriente alterna con un factor de potencia igual y superior a 0.9. Calefacción, resistencias, distribución.
AC-2	Para el arranque, frenado en contra corriente y marcha de motores de anillos rozantes. El contactor establece una corriente de arranque 2.5 veces la corriente nominal.
AC-3	El contactor establece una corriente de arranque de 5 a 7 veces la corriente nominal. Motores de jaula o de anillos para escaleras mecánicas ascensores, cintas transportadoras.



Por lo tanto, debido a que no existen para la venta contactores de la potencia reactiva calculada, se escogió contactores en categoría AC-3 ya que soporta corrientes arranque de 5 a 7 veces la corriente de un motor lo que permite que los contactores no sufran daños por las elevadas corrientes pico transitorias.

Con base en el valor de corriente determinado y la Tabla 3.10 se selecciona un contactor de 6 (A). Debido a que se tiene 3 bancos de capacitores de las mismas características, se especifican otros dos contactores.

En la Figura 3.10 se observa el contactor y en la Tabla 3.11 se indican los datos técnicos.

**Tabla 3.10** Tabla de selección del contactor [15].

Potencia del motor (KW)		Corriente máxima	Número de contactos		Modelo
220/230/240	380/400		AC3	NO	
1.5	2.2	6	1	0	NXC-06M10
1.5	2.2	6	0	1	NXC-06M01
1.5	2.2	6	1	1	NXC-06
2.2	4	9	1	0	NXC-09M10
2.2	4	9	0	1	NXC-09M01
2.2	4	9	1	1	NXC-09
3	5.5	12	1	0	NXC-12M10
3	5.5	12	0	1	NXC-12M01
4	7.5	16	1	0	NXC-16M10
4	7.5	16	0	1	NXC-16M01
4	7.5	18	1	1	NXC-18
5.5	11	25	1	1	NXC-22
5.5	11	25	1	1	NXC-25
7.5	15	32	1	1	NXC-32
9	18.5	38	1	1	NXC-38
11	18.5	40	1	1	NXC-40
15	22	50	1	1	NXC-50



**Figura 3.10** Contactor NXC-06.

**Tabla 3.11** Datos técnicos del contactor.

Características del contactor NXC 06	
Marca	CHINT
Voltaje de la bobina	220 (V <sub>AC</sub> )
Frecuencia	60 (Hz)
Contactos principales	3
Contactos auxiliares	1NC/1NA
Categoría de uso	AC3
Corriente de servicio	6 (A)

### Dimensionamiento del transformador de corriente

La selección del transformador de corriente depende de la carga instalada, al tratarse de un motor trifásico de inducción es necesario determinar su corriente nominal. Para esto se utilizó la Ecuación 3.8.

$$P_i = \frac{P_o}{n\%}$$

**Ecuación 3.7** Potencia de entrada [1].

Donde:

$P_i$	:	Potencia de entrada	?	(W)
$P_o$	:	Potencia de salida	746	(W)
$n\%$	:	Eficiencia	70	(%)

Por lo tanto:

$$P_i = 1065.71 \text{ (W)}$$

Ahora que se conoce la potencia activa instalada, el factor de potencia ( $\cos \theta$ ) que esta especificada en la Tabla 3.3 se determinó la potencia aparente (S) con la Ecuación 3.8.

$$S = \frac{P}{fp}$$

**Ecuación 3.8** Potencia aparente [1].

Donde:

S	:	Potencia aparente	?	(VA)
P	:	Potencia de entrada	1065.71	(W)
fp	:	Factor de potencia	0.8	

Por lo tanto:

$$S = 1332.13 \text{ (VA)}$$

Una vez determinada la potencia aparente (S) se utiliza la Ecuación 3.9 para determinar la corriente de la carga instalada del sistema.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot VL}$$

**Ecuación 3.9** Corriente nominal del motor [1].

Donde:

I	:	Corriente	?	(A)
S	:	Potencia aparente	1332.13	(VA)
VL	:	Voltaje de línea	220	(V <sub>AC</sub> )

Por lo tanto:

$$I = 3.49 \text{ (A)}$$

Con base en el valor de corriente calculado y en la Tabla 3.12 se determina un transformador de 60 (A) del lado primario y 5 (A) del lado secundario.

**Tabla 3.12** Valores comerciales de transformadores de corriente.

Amperios (A)	Máximo (V.A)	Máximo Diámetro	Máximo uso de barra cobre
30/5	2.5 VA	33 mm	33 mm
60/5	2.5 VA	33 mm	33 mm
100/5	2.5 VA	33 mm	33 mm
150/5	5 VA	43 mm	33 mm
200/5	5 VA	43 mm	43 mm
250/5	5 VA	43 mm	43 mm
300/5	5 VA	43 mm	43 mm
400/5	5 VA	43 mm	43 mm
500/5	10 VA	63 mm	63 mm
600/5	10 VA	63 mm	63 mm
800/5	10 VA	103 mm	63 mm
1000/5	15 VA	103 mm	83 mm
1500/5	15 VA	103 mm	83 mm
2000/5	15 VA	103 mm	103 mm

El transformador de corriente (Figura 3.11) elegido contiene: un agujero por donde se atraviesa una fase de la red (lado primario) y dos terminales (lado secundario) en donde se conectan las entradas de medición del regulador.

La Tabla 3.13 muestra los datos técnicos del transformador de corriente



**Figura 3.11** Transformador de corriente.


**Tabla 3.13** Datos técnicos de transformador de corriente.

Características del transformador de corriente	
Corriente primaria	60 (A)
Corriente secundaria	5 (A)
Capacidad	2.5 (VA)
Voltaje	600 (V <sub>AC</sub> )

### Selección de dispositivos de maniobra y señalización

La Tabla 3.14 describe los dispositivos seleccionados que permiten el encendido y apagado del circuito del motor de forma manual.

**Tabla 3.14** Dispositivos de maniobra y señalización [16].

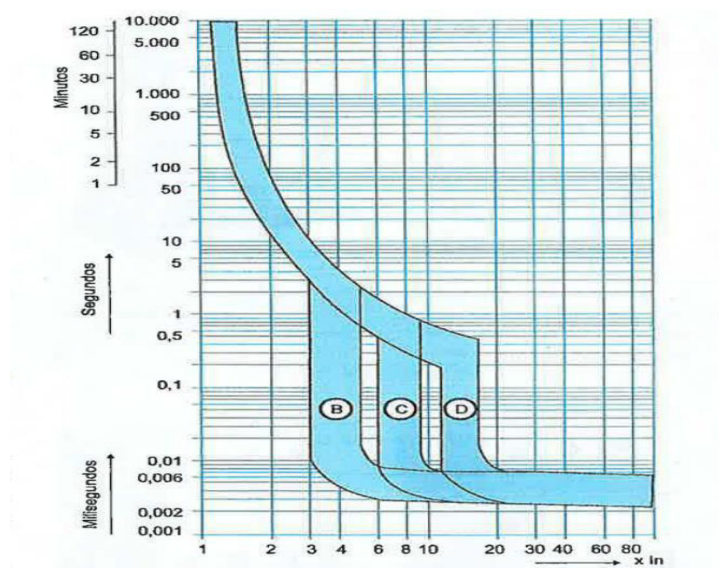
Dispositivo	Descripción	Características técnicas	
 <p>Pulsador rasante luminoso verde</p>	<p>Enciende el circuito de control del motor, tiene incorporado un led que indica que el motor está activado.</p>	<p>Marca</p> <p>Chint</p>	
 <p>Pulsador rasante luminoso rojo</p>	<p>Apaga el circuito de control del motor, tiene incorporado un led que indica que el motor esta desactivado.</p>	<p>Marca</p> <p>Chint</p>	
 <p>Pulsador zeta</p>	<p>Desactiva todo el circuito eléctrico de control del motor.</p>	<p>Marca</p> <p>Chint</p>	
<td data-bbox="592 1305 943 1361"></td> <td data-bbox="943 1305 1214 1361"> <p>Tensión máxima</p> <p>230 (V<sub>AC</sub>)</p> </td> <td data-bbox="1214 1305 1353 1361"></td>		<p>Tensión máxima</p> <p>230 (V<sub>AC</sub>)</p>	
<td data-bbox="592 1361 943 1417"></td> <td data-bbox="943 1361 1214 1417"> <p>Diámetro</p> <p>22 (mm)</p> </td> <td data-bbox="1214 1361 1353 1417"></td>		<p>Diámetro</p> <p>22 (mm)</p>	
<td data-bbox="592 1417 943 1473"></td> <td data-bbox="943 1417 1214 1473"> <p>Contactos</p> <p>1NC/NA</p> </td> <td data-bbox="1214 1417 1353 1473"></td>		<p>Contactos</p> <p>1NC/NA</p>	
<td data-bbox="592 1473 943 1585"></td> <td data-bbox="943 1473 1214 1585"> <p>Grado de protección</p> <p>IP40</p> </td> <td data-bbox="1214 1473 1353 1585"></td>		<p>Grado de protección</p> <p>IP40</p>	

### Protecciones eléctricas

Las curvas de disparo de los interruptores termomagnéticos están normalizadas y clasificadas como se observa Tabla 3.15. La selección de las curvas (Figura 3.12) correctas garantiza que al arranque de una carga la corriente nominal y corrientes transitorias no disparen el interruptor termomagnético.

**Tabla 3.15** Curvas de disparo de interruptores termomagnéticos normalizadas [7].

Curva	Disparo	Usos
B	3×In 5×In	Circuitos resistivos
C	5×In 10×In	Cargas mixtas Motores normales en categoría (AC3) Ambito residencial
D	10×In 14×In	Motores Transformadores Capacitores



**Figura 3.12** Representación de la curvas B,C y D [14].

Por lo tanto, se selecciona una protección tipo de curva D para proteger los capacitores.

- **Dimensionamiento del interruptor principal**

Para dimensionar el interruptor principal se requiere conocer la potencia reactiva total de los 3 bancos de capacitores, que es igual a 821.08 ya que cada banco de capacitores tiene una potencia igual a 273.69.

Para conocer la corriente de los tres bancos se utiliza la Ecuación 3.5.

Donde:

In	:	Corriente nominal	?	(A)
Qc	:	Potencia reactiva	821.07	(VAR)
VL	:	Voltaje de línea	220	(V <sub>AC</sub> )

Por lo tanto:

$$I_n = 2.15 \text{ (A)}$$

Se multiplica la corriente nominal por un factor de 1.36 por sobretensiones en la red, de acuerdo a [12].

$$I_{pc} = 1.36 \times I_n$$

**Ecuación 3.10** Corriente de protección del capacitor.

Donde:

$I_{pc}$  : Corriente de protección del capacitor ? (A)  
 $I_n$  : Corriente nominal 2.15 (A)

Por lo tanto:

$$I_{pc} = 2.92 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y a los valores comerciales de la Tabla 3.16 se escoge un interruptor de 3(A). Este interruptor termomagnético (Figura 3.13) protege a los conductores contra cortocircuitos. En la Tabla 3.17 se muestran los datos técnicos del interruptor termomagnético principal.

**Tabla 3.16** Tabla de interruptores termomagnéticos [16].

Polos	Corriente (A)	Curva	Poder de corte (kA)
3P	1	1D10	10
3P	2	2D10	10
3P	3	3D10	10
3P	4	4D10	10
3P	6	6D10	10
3P	10	10D10	10
3P	16	16D10	10
3P	20	20D10	10
3P	25	25D10	10
3P	32	32D10	10
3P	40	40D10	10
3P	63	63D10	10



**Figura 3.13** Interruptor termomagnético principal.

**Tabla 3.17** Datos técnicos del interruptor termomagnético principal.

Características del interruptor termomagnético 6D10	
Marca	CHINT
Número de polos	3
Corriente	3 (A)
Poder de corte	10 (kA)
Tipo de curva	D

- **Dimensionamiento del interruptor secundario**

Para dimensionar el interruptor secundario de los bancos de capacitores se utilizó la Ecuación 3.5 y la potencia reactiva de un banco de capacitores que corresponde a 273.69 (VAr).

Donde:

$I_n$	:	Corriente nominal	?	(A)
$Q_c$	:	Potencia reactiva	273.69	(VAr)
$V_L$	:	Voltaje de línea	220	(V <sub>AC</sub> )

Por lo tanto:

$$I_n = 0.71 \text{ (A)}$$

Se utilizó la Ecuación 3.10 para calcular la corriente por sobretensiones en la red.

Donde:

$I_c$	:	Corriente de protección del capacitor ?	(A)
$I_n$	:	Corriente nominal	0.71 (A)



Por lo tanto:

$$I_c = 0.96 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y a la Tabla 3.16 se selecciona un interruptor de 1 (A). Este interruptor termomagnético (Figura 3.14) protege a cada banco de capacitores contra cortocircuitos y sobretensiones. Debido a que se tiene otros dos bancos de capacitores idénticos, se especifican otros dos interruptores con las mismas características.

En La Tabla 3.18 se muestran los datos técnicos del interruptor termomagnético.



**Figura 3.14** Interruptor termomagnético secundario.

**Tabla 3.18** Datos técnicos de interruptor termomagnético secundario.

Características del interruptor termomagnético 1C10	
Marca	CHINT
Numero de polos	3
Corriente	1 (A)
Poder de corte	10 (kA)
Tipo de curva	D

- **Fusibles**

Para la protección del regulador R5 de DUCATI se usaron fusibles rápidos de 1 (A) (Figura 3.15), valor establecido por [9]. Estos fusibles están contenidos en portafusibles para riel DIN.



**Figura 3.15** Fusibles.

- **Repartidor de carga**

El repartidor de carga (Figura 3.16) permite la conexión de los circuitos de control, de fuerza y la alimentación principal. Este dispositivo está constituido de 4 barras, una para cada fase de la red (R, S, T) y la conexión a tierra.

Con base en el valor de corriente del interruptor principal determinado con la Ecuación 3.10 y la Tabla 3.19 se selecciona un repartidor de carga 4 polos/125 (A).

**Tabla 3.19** Valores comerciales de repartidor de carga.

Características	Entradas	Salidas
1 polo/80 (A)	1X16 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	4X16 mm <sup>2</sup> (10 AWG) 2X16 mm <sup>2</sup> (6 AWG)
1 polo/125 (A)	1X35 mm <sup>2</sup> (2 AWG) 1X16 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	6X16 mm <sup>2</sup> (6 AWG)
1 polo/160 (A)	1X70 mm <sup>2</sup> (2/0 AWG) 1X16 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	
2 polo/125 (A)	15X6.5 mm <sup>2</sup> (10 AWG)	
<b>4 polo/125 (A)</b>	<b>15X6.5 mm<sup>2</sup>(10 AWG)</b>	
4 polo/160 (A)	1X20 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	2X62 mm <sup>2</sup> (2/0 AWG) 2X50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG) 7X40 mm <sup>2</sup> (1 AWG)
4 polo/250 (A)	1XMB	10XM6
4 polo/250 (A)	1XMB	1XMB



**Figura 3.16** Repartidor de carga.

### **Dimensionamiento de conductores**

Para seleccionar los conductores hay que notar que se tiene dos secciones en el sistema, la primera que alimenta el interruptor principal y la segunda que alimenta a los interruptores secundarios, que a su vez alimentan los 3 bancos de capacitores. En el Anexo 2, lámina 4 se observa la disposición de todo el sistema.

Para dimensionar el calibre de los conductores del interruptor principal se utilizó la corriente nominal total de los bancos de capacitores igual a 2.15 (A) y la Ecuación 3.11, se considera un factor de 50% de acuerdo a [12].

$$I_{ac} = 1.50 \times I_n$$

### **Ecuación 3.11** Corriente del conductor.

Donde:

$I_{ac}$	:	Corriente del conductor	?	(A)
$I_n$	:	Corriente nominal	2.15	(A)

Por lo tanto:

$$I_{ac} = 3.22 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y a la Tabla 3.20, se especifica un cable calibre 14 AWG. Se sobredimensionó el conductor considerando en aumentar a cinco el número de bancos de capacitores, así como conectar bancos de diferentes potencias reactivas.

**Tabla 3.20** Calibres de conductores [17].

Calibre (AWG)	Sección transversal ( $mm^2$ )	Corriente Admisible (A)
18	0.821	14
16	1.31	18
14	2.08	20
12	3.31	25
10	5.25	30

Para dimensionar el calibre de los conductores del interruptor secundario se utilizó la corriente nominal de uno de los bancos de capacitores igual a 0.71 (A) y la Ecuación 3.11, se considera factor de 50% de acuerdo a [12].

Donde:

I<sub>ac</sub> : Corriente del conductor ? (A)  
I<sub>n</sub> : Corriente nominal 0.71 (A)

Por lo tanto:

$$I_{ac} = 1 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y la Tabla 3.20 se especifica un cable calibre 16 AWG. Se sobredimensionó el conductor considerando conectar bancos de diferentes potencias reactivas.

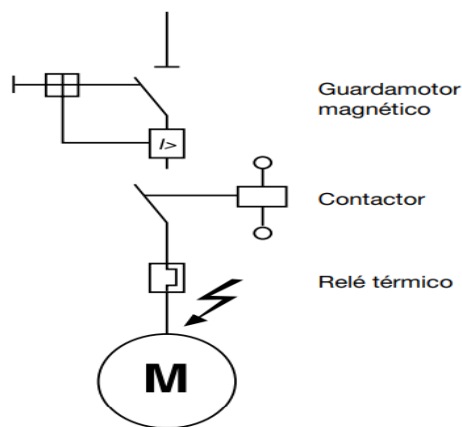
Se escoge un conductor de calibre de 18 AWG de acuerdo a [9], para los circuitos de control.

### **Protecciones del motor**

Para la protección del motor se usó una combinación guardamotor, contactor y relé térmico (Figura 3.17).[7]

Esta asociación de elementos permite cumplir cuatro funciones detalladas a continuación:

- Seccionamiento
- Protección contra cortocircuitos
- Protección contra sobrecarga
- Conmutación



**Figura 3.17** Esquema de protección de un motor [7].

- **Dimensionamiento del Guardamotor**

Para proteger al motor se utilizó la Ecuación 3.12 y la corriente nominal del motor igual a 3.49 (A), tomando en cuenta una sobrecarga continua máxima de 15% valor establecido en los motores eléctricos de la marca TECO.

$$I_g = 1.15 \times I_n$$

**Ecuación 3.12** Corriente del guardamotor.

Donde:

$I_g$	:	Corriente del guardamotor	?	(A)
$I_n$	:	Corriente nominal	3.49	(A)

Por lo tanto:

$$I_g = 4.01 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y la Tabla 5.2, que está en el Anexo 4, se especifica un guardamotor de 2.5-4 (A).

Este dispositivo (Figura 3.18) permite el paso de las corrientes de arranque del motor y lo protege contra cortocircuitos y sobrecargas.

En la Tabla 3.21 se muestran los datos técnicos del guardamotor



**Figura 3.18** Guardamotor.

**Tabla 3.21** Datos técnicos del guardamotor.

Características del guardamotor	
Rango de ajuste térmico	2.5-4 (A)
Frecuencia	60 (Hz)
Potencia	0.75 (KW)
Capacidad interruptiva	100 (kA)

- **Dimensionamiento del contactor**

Para dimensionar el contactor se utilizó la Ecuación 3.13 y la corriente nominal del motor correspondiente a 3.49 (A) tomando en cuenta una sobrecarga máxima del 50% de acuerdo a. [18]

$$I_{cm} = 1.50 \times I_n$$

**Ecuación 3.13** Corriente del contactor del motor.

Donde:

$I_{cm}$  : Corriente del contactor del motor ? (A)  
 $I_n$  : Corriente nominal 3.49 (A)

Por lo tanto:

$$I_{cm} = 5.23 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y la Tabla 3.10, se especifica un contactor de 6 (A) que se muestra en la Figura 3.19.

Se escogió contactores en categoría AC-3 ya que soporta corrientes arranque de 5 a 7 veces la corriente de un motor como se especifica en la Tabla 3.9.

En la Tabla 3.22 se muestran los datos técnicos del contactor.



**Figura 3.19** Contactor trifásico.

**Tabla 3.22** Datos técnicos de contactor del motor.

Características del contactor NXC 06	
Marca	CHINT
Voltaje de la bobina	220 (V <sub>AC</sub> )
Frecuencia	60 (Hz)
Contactos principales	3
Contactos auxiliares	1 NC/1 NA
Categoría de uso	AC3
Corriente de servicio	6 (A)

- **Relé térmico**

El freno mecánico que actúa sobre el motor ocasiona que la corriente que absorbe el motor aumente, lo que ocasiona que los aislantes disminuyen su vida útil debido al incremento de temperatura en los conductores. Para prevenir estos daños se utilizó un relé térmico (Figura 3.20).

Usando la Ecuación 3.14 y la corriente nominal del motor tomando en cuenta una sobrecarga máxima de 15% valor establecido en los motores eléctricos de la marca TECO.

$$I_r = 1.15 \times I_n$$

**Ecuación 3.14** Corriente de relé térmico.

Donde:

Ir : Corriente de relé ? (A)  
In : Corriente nominal 3.49 (A)

Por lo tanto:

$$I_r = 4.01 \text{ (A)}$$



**Figura 3.20** Relé térmico

**Tabla 3.23** Datos técnicos del relé térmico.

Características del relé térmico	
Función	Reset
Rearme	Manual/automático
Función	Stop
Corriente	2.5-4 (A)
Contactores auxiliares	1NC/1NA

De acuerdo con el valor calculado y la Tabla 5.3, que está en el Anexo 4, se especifica un relé térmico de 2.5-4 (A).

- **Bloque de contactores auxiliares**

El bloque de contactos auxiliares (Figura 3.21) permitió implementar un circuito para el accionamiento de las luces indicadoras de arranque y parada del motor.





**Figura 3.21** Bloque de contactores auxiliares.

### **Dimensionamiento del conductor del motor**

Para dimensionar el calibre del conductor del motor se utilizó la Ecuación 3.15 y la corriente nominal del motor de 3.49 (A) tomando en cuenta una sobrecarga máxima de 25% de acuerdo a [14].

$$I_a = 1.25 \times I_n$$

**Ecuación 3.15** Corriente del conductor del motor.

Donde:

$I_a$	:	Corriente del conductor del motor	?	(A)
$I_n$	:	Corriente nominal	3.49	(A)

Por lo tanto:

$$I_a = 4.36 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y la Tabla 3.20, se especifica el conductor calibre 16 (AWG).

### **Dimensionamiento del conductor del alimentador del módulo**

Debido a que la corriente de arranque de un motor es superior a la corriente de plena carga, los alimentadores deben protegerse contra sobrecargas para soportar la corriente de arranque durante un periodo corto.[14]

Para dimensionar el calibre del conductor del alimentador del módulo se utilizó la Ecuación 3.16 , la corriente del motor igual 3.49 (A) y la corriente total de los 3 bancos de capacitores que corresponden a 2.15 (A).

$$I_a = 1.25 \times I_{pc}(\text{motor mayor}) + \sum I_{pc}(\text{otras cargas})$$

**Ecuación 3.16** Corriente del conductor del alimentador del módulo.[14]

Donde:

$I_a$	:	Corriente del conductor del alimentador	?	(A)
$I_{pc}$	:	Corriente a plena carga	3.49	(A)
$\sum I_{pc}$	:	Sumatoria de corriente de capacitores	2.15	(A)

Por lo tanto:

$$I_a = 6.51 \text{ (A)}$$

De acuerdo con el valor calculado y la Tabla 3.20 , se especifica el conductor calibre 12 (AWG). Se sobredimensiono el conductor considerando en conectar un motor trifásico de más potencia, aumentar a cinco el número de bancos de capacitores, así como conectar bancos de diferentes potencias reactivas.

**Determinación de los colores de aislante de los conductores**

Para instalar conductores de alimentadores, subalimentadores, circuitos con derivaciones en un sistema trifásicos es necesario que estos conductores cumplan el código de colores como se muestra en la Tabla 3.24. Para los circuitos de control de los gabinetes se usa cualquier color con excepción el color blanco ya que este es distintivo del neutro y el color verde/ verde con franjas amarillas es distintivo de tierra.

Por lo tanto, se seleccionó los colores azules, negro, rojo para cada fase (R, S, T), amarillo para los circuitos de control y verde para la conexión a tierra del gabinete.

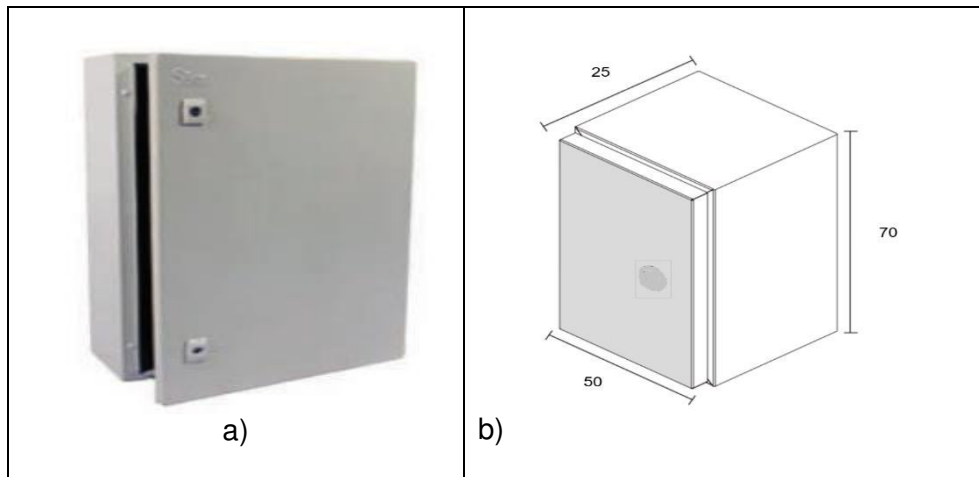
**Tabla 3.24** Código de colores de conductores. [17].

Conductor	Color
Fase R	azul
Fase S	negro
Fase T	rojo
Neutro	blanco
Tierra	Verde, verde con franjas amarillas

**Dimensiones del Gabinete**

Una vez especificados los equipos y los elementos de protección y de maniobra, se especifica un gabinete de un alto nivel de seguridad y confiabilidad para seguridad de las personas e instalaciones de acuerdo a [8]. Las medidas del gabinete son de 70 (cm)

de largo x 50 (cm) de ancho x 25 (cm) de profundidad, como se observa en la Figura 3.22. Además, se consideró un 25 % de espacio libre para futuras ampliaciones en su capacidad de acuerdo a [8].



**Figura 3.22** Gabinete a) vista real b) medidas reales.

En la Tabla 3.25 se muestran los datos técnicos del gabinete.

**Tabla 3.25** Datos técnicos del gabinete.

Características del gabinete	
Marca	SBX
Índice de protección	IP65
Empaque	Espuma de poliuretano
Cerradura	Llave

### 3.3 Construcción

#### Construcción de la estructura móvil.

Se consideraron las dimensiones del gabinete para el diseño de la estructura móvil, y se determinaron las siguientes medidas: 0.50 (m) por 0.50 (m) para la base, y 0.85 (m) de alto. La estructura del módulo se observa en el Anexo 2, lámina 2 y en la Figura 3.23 se observa la estructura móvil construida. La altura total de la estructura facilita la visualización de la pantalla del regulador y permite comodidad para realizar las configuraciones.



**Figura 3.23** Estructura móvil construida.

Con base en los planos realizados se adquirieron los elementos necesarios para la construcción, los cuales se detallan en la Tabla 3.26.

**Tabla 3.26** Materiales adquiridos para construcción de la estructura móvil.

Descripción	Cantidad
Ángulo de acero 20x20x1.5 (mm)	8 (m)
Tubo cuadrado 25x25x1.5 (mm)	0.65 (m)
Ruedas	2
Ruedas giratorias	2
Plancha de madera 50x50x0.20(cm)	2

### Freno mecánico

Para la construcción del freno mecánico (Figura 3.25) que actúa sobre el motor trifásico (Figura 3.25), se adaptó una banda plana estacionaria (B) a una polea (P); asimismo se integró un resorte de bascula (R) y un tornillo de tensión (T) para variar la tensión de la banda.

Los planos que permitieron la construcción del freno mecánico se encuentran en el Anexo 2, lámina 1.



**Figura 3.24** Freno mecánico construido.



**Figura 3.25** Motor.

Los elementos utilizados para la construcción se muestran en la Tabla 3.27.

**Tabla 3.27** Materiales adquiridos para la construcción del freno mecánico.

Descripción	Cantidad
Tubo cuadrado 50x50x1.5 (mm)	0.65 (m)
Banda plana estacionaria	0.40 (m)
Polea Ø60x18 (mm)	1
Tornillo de tensión	1
Báscula de resorte	1
Platina 20x20x1.5 (mm)	0.70 (m)
Pernos de acero Ø10x60 (mm)	2
Pernos de acero Ø10x30 (mm)	2

### Ensamble de elementos

En la Figura 3.26 se observa el resultado, la ubicación de los pulsadores de encendido y apagado del motor y la ubicación final del regulador R5 de DUCATI. En el Anexo 2, lámina 2 se muestran los planos correspondientes.



**Figura 3.26** Ubicación de los pulsadores y regulador.

### **Construcción de los bancos de capacitores**

Para la construcción de los bancos de capacitores trifásicos se utilizaron los planos eléctricos que se encuentran en el Anexo 2, lámina 3. Se soldaron resistencias de  $3.12 \text{ (M } \Omega)$  en los terminales de dos de los capacitores de acuerdo con el diseño de la Figura 3.7. Se conectaron 3 capacitores monofásicos en configuración delta (Figura 3.27), para lo que se utilizó cable flexible número 16 AWG y terminales.



**Figura 3.27** Bancos de capacitores trifásicos armados.

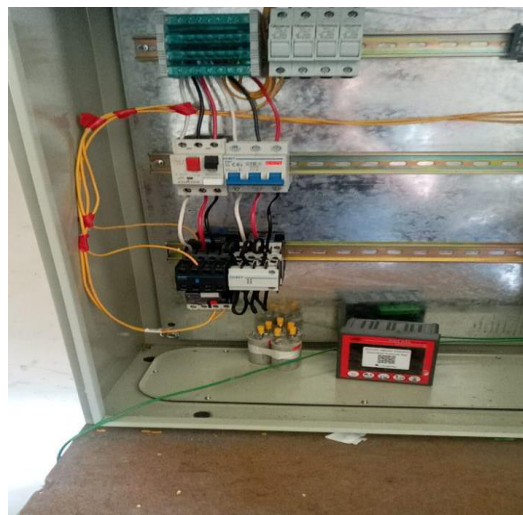
## Instalación de elementos

La instalación de los elementos se realizaron de acuerdo al plano eléctrico que se encuentran en el Anexo 2, lámina 5. El gabinete está provisto de una plancha metálica en donde se instalaron todos los componentes. Fue necesario instalar un riel DIN de 35 (mm) a la plancha, lo cual se lo realizó con tornillos auto perforantes. Finalizado este proceso se insertaron el repartidor de carga, portafusiles, interruptores termomagnéticos, guardamotor, contactores y trasformador de corriente como se observa en la (Figura 3.28).

Los elementos instalados en la plancha metálica se indican en la Tabla 3.28.

**Tabla 3.28** Materiales instalados en la plancha metálica.

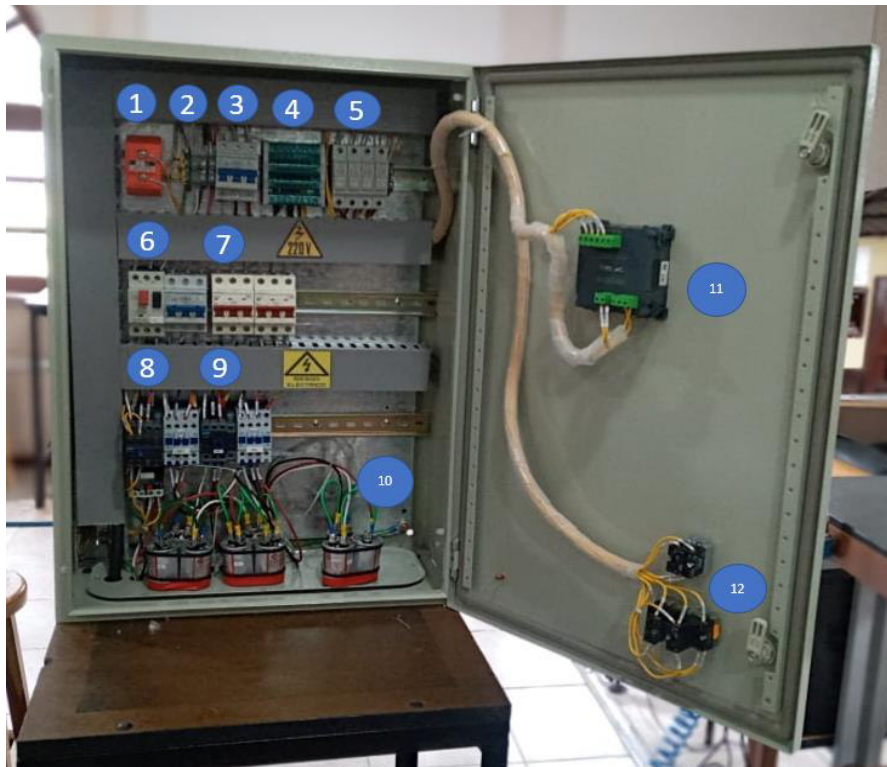
Descripción	Cantidad
Repartidos de carga 4P/125 (A)	1
Transformador de corriente 60/5 (A)	1
Contactador CHINT 6 (A)	4
Interruptor termomagnético 1 (A)	3
Interruptor termomagnético 3 (A)	1
Gabinete 70x50x25 (cm)	1
Guarda motor 2.5-4 (A)	1
Relé térmico 2.5-4 (A)	
Porta fusible para riel DIN	4
Fusibles rápidos 1 (A)	2
Fusibles rápidos 4 (A)	2
Contactores auxiliares (NA)	1
Contactores auxiliares (NC)	1
Riel DIN 35 (mm)	1.50 (m)
Pernos auto perforantes	12



**Figura 3.28** Elementos instalados en riel DIN.

## Cableado

El cableado se realizó de acuerdo con el Anexo 2, lámina 3 y lámina 4. Para el cableado del circuito de fuerza se utilizó cable flexible número 16 AWG, se seleccionaron los colores azules, negro, rojo para cada fase (R, S, T), se etiquetaron los conductores para la fácil identificación. Para el cableado del circuito de control (motor y regulador) se utilizó cable amarillo número 18 (AWG). En la Figura 3.29 se muestra el resultado final y se describen los elementos.



**Figura 3.29** Módulo didáctico con sus componentes internos.

1. Transformador de corriente
2. Borneras para el conductor del alimentador principal
3. Interruptor termomagnético principal
4. Repartidor de carga
5. Portafusibles
6. Guardamotor
7. Interruptores termomagnéticos secundarios
8. Contactor del motor
9. Contactores de los bancos de capacitores
10. Bancos de capacitores trifásicos
11. Regulador de potencia reactiva



## 12. Pulsadores de arranque y paro del motor

Finalmente, en la Figura 3.30 se muestra el módulo de corrección del factor de potencia con todos sus elementos.



**Figura 3.30** Módulo didáctico de corrección del factor de potencia.

1. Gabinete
2. Regulador de potencia reactiva
3. Pulsadores de arranque y paro
4. Freno mecánico
5. Planos eléctricos
6. Estructura móvil
7. Motor trifásico de inducción

## 3.4 Pruebas de funcionamiento

### Prueba de conformidad del gabinete

Esta prueba trata de una lista de condiciones a cumplir para garantizar la calidad de construcción del gabinete, identificar anomalías y acciones correctivas que se deben

realizar, permite además elaborar una lista de materiales que faltan para que el gabinete sea reglamentario, esta prueba es una visión global de todo el gabinete.[19]

La Tabla 3.29 muestra la lista de condiciones a cumplir.

**Tabla 3.29** Lista de condiciones a cumplir.

Elemento	Conforme	Observación
Presentación /aspecto	✓	
Placas características	✓	
Identificación de conductores	✓	
Identificación de componentes	✓	
Sección de juegos de barras	✓	
Sección de conductores	✓	
Circuito a tierra	✓	
Sección de conductores	✓	
Planos eléctricos	✓	

Como se visualiza en la Tabla 3.29 todos los elementos que conforman el gabinete de los circuitos de control y de fuerza cumplen con todos los requisitos establecidos por la “Guía para el diseño y la fabricación de armarios de compensación de baja tensión de Schneider Electric”

### Prueba de continuidad

Esta prueba se desarrolló con la ayuda de un multímetro utilizando la función de continuidad, se revisó cada una de las conexiones del circuito de control y de fuerza del motor poniendo énfasis en la correcta instalación de los pulsadores de arranque y paro del motor. Así mismo se realizó la prueba de continuidad en el circuito de control y fuerza del sistema de corrección del factor de potencia. La Tabla 3.30 muestra los resultados obtenidos de esta prueba.

**Tabla 3.30** Prueba de continuidad en elementos del sistema.

Elemento	Conforme	Observación
Pulsador verde	✓	
Pulsador rojo	✓	
Luz piloto verde	✓	
Luz piloto roja	✓	
Contactador del motor	✓	
Paro de emergencia	✓	
Bloque de contactos auxiliares	✓	
Salidas del regulador	✓	
Entradas del regulador	✓	
Contactores del sistema de corrección del factor de potencia	✓	

Elemento	Conforme	Observación
Protección de los bancos de capacitores	✓	
Protección del regulador	✓	
Protección del motor	✓	

Como se visualiza en la Tabla 3.30 la prueba de continuidad cumplió en todos los elementos de arranque, paro del motor y sistema de corrección del factor de potencia lo que garantiza que la instalación fue implementada de forma correcta.

### Prueba de medición de la capacitancia del capacitor

Esta prueba consiste en medir con un capacitómetro la capacitancia de un capacitor monofásico antes de ser conectados a la red, para verificar que se encuentran en el rango de  $\pm 5\%$  de su capacidad valor establecido en su placa de identificación.

Esta prueba garantiza que los capacitores no representan un peligro de explosión por la perforación de dieléctrico interno por la disminución de su capacidad, al ser conectados a la red.[3]

**Tabla 3.31** Prueba de medición de la capacitancia del capacitor.

Escalones	Capacidad (uf)	Valor medido (uf)	Tolerancia 5 %
Banco 1			
Capacitor 1	5	5.04	4
Capacitor 2	5	4.93	-3.7
Capacitor 3	5	5.10	2.8
Banco 2			
Capacitor 1	5	4.97	-4.6
Capacitor 2	5	4.92	-3.5
Capacitor 3	5	4.99	-4.99
Banco 3			
Capacitor 1	5	5.02	4.3
Capacitor 2	5	4.97	-4.6
Capacitor 3	5	4.92	-3.5

Como se visualiza en la Tabla 3.31 la tolerancia es inferior al 5 % tanto para los valores que son inferiores al ideal, como para valores superiores por lo que se verifica que todos los capacitores monofásicos están en buen estado.

### Tiempo de descarga y voltaje residual en el capacitor

Esta prueba garantiza que los condensadores no queden cargados con un voltaje residual después de la desconexión de la red, con el fin de evitar un choque eléctrico y

la avería del regulador. En la Tabla 3.32 se observan los tiempos transcurridos de los diferentes bancos de capacitores.

**Tabla 3.32** Tiempo de descarga y voltaje residual en el capacitor.

Escalones	Voltaje residual (mV)	Tiempo final de descarga (s)
Banco 1		
Capacitor 1	7.2	70
Capacitor 2	7.1	70
Capacitor 3	7.2	70
Banco 2		
Capacitor 1	6.9	70
Capacitor 2	7	70
Capacitor 3	7.3	70
Banco 3		
Capacitor 1	7.3	70
Capacitor 2	7.1	70
Capacitor 3	7.2	70

Como se visualiza en la Tabla 3.32 los capacitores se descargan muy rápido a valores muy bajos de ( $V_{AC}$ ) por lo que se verifica que estos capacitores no representan un riesgo de descarga eléctrica para las personas; además, no representa un potencial riesgo de avería para el regulador.

### Pruebas de alimentación

Para la prueba se conectaron las 3 fases del conductor del alimentador principal del módulo a la red, mediante un multímetro se verifico que los voltajes de línea lleguen a las borneras principales de donde son derivados los circuitos de control y de fuerza del motor y sistema de corrección de factor de potencia.

Además, se verificó que los voltajes de línea alimenten a todas las protecciones: termomagnéticas, guardamotor y portafusibles del módulo. La Tabla 3.33 muestra los voltajes de línea de los elementos medidos.

**Tabla 3.33** Prueba de voltaje de línea en los elementos.

Descripción	RS	ST	RT	Observación
Bornera principales	215.7	217.9	218.4	
Repartidor de carga	216.1	218.1	218.4	
Guarda motor	216.1	218.3	218.7	
Interruptor principal de los bancos	216	218.2	218.2	
Interruptor primer escalón	215.9	218	218.5	
Interruptor segundo escalón	216	218.1	218.2	
Interruptor tercer escalón	216.2	218	218.6	

Como se visualiza en la Tabla 3.33 las caídas de voltaje permitidas no superan el 5% en cada elemento y se verificó que el ( $V_{AC}$ ) llega a cada elemento, por lo que es posible realizar las pruebas de funcionamiento eléctrico.

### Prueba del funcionamiento eléctrico del motor

Esta prueba se realizó para verificar el correcto arranque del motor trifásico, accionando el pulsador verde de marcha. Para comprobar el funcionamiento del paro del motor, se accionó el pulsador rojo. Además, se activó el pulsador tipo hongo de emergencia el cual desconecta todo el circuito de control. La Tabla 3.34 muestra todos los resultados obtenidos.

**Tabla 3.34** Prueba del funcionamiento eléctrico del motor.

Elemento	Conforme	Observación
Pulsador verde	✓	
Pulsador rojo	✓	
Luz piloto verde	✓	
Luz piloto roja	✓	
Contactador		Contactador hace ruido
Paro de emergencia	✓	
Motor	✓	

Como se visualiza en la Tabla 3.34 los pulsadores accionan y paran el motor, por lo que se verificó el correcto funcionamiento eléctrico. Con excepción del contactador que hacía mucho ruido, debido a un falso contacto de un cable en la bobina. Para solucionarlo se cambió el cable por otro nuevo. Una vez realizado se verificó que el contactador no generaba ningún ruido.

### Prueba de corrección del factor de potencia

- **Corrección del factor de potencia sin carga en el motor.**

En esta prueba se visualiza el proceso de corrección del factor de potencia del motor trifásico cuando arranca en vacío. Para simular que el motor arranca en vacío no se aplicó tensión en la banda plana estacionaria del freno mecánico, se tomaron valores de la potencia activa aportada por cada banco de capacitores, además del factor de potencia inicial y final cuando el regulador insertó cada uno de los bancos. La Tabla 3.35 muestra todos los resultados obtenidos:

**Tabla 3.35** Prueba de corrección del factor de potencia sin carga.

Descripción	Arranque en vacío	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3
Potencia activa (W)	192	168	156	132
Potencia reactiva (VAR)	816	564	336	216
Potencia aparente (VA)	840	588	372	252
Corriente (A)	2.16	1.56	0.96	0.72
Factor de potencia	0.23	0.30	0.48	0,98

Como se visualiza en la Tabla 3.35 se logró corregir el factor de potencia del motor trifásico cuando arranca en vacío, además se observó la disminución de los valores de las potencias y las corrientes por lo que se concluye que el sistema de corrección se adapta a las necesidades de potencia reactiva.

En la Figura 3.31 se observa el factor de potencia final, el número de bancos de capacitores trifásicos y el tipo de carga.



**Figura 3.31** Factor de potencia final.

- **Corrección del factor de potencia con carga en el motor.**

Mediante un freno mecánico se simuló carga aplicando tensión a la banda plana estacionaria hasta que el factor de potencia del motor aumento hasta un valor de 0.30 se tomó los mismos valores antes mencionados los cuales se muestran en la Tabla 3.36.

**Tabla 3.36** Prueba de corrección del factor de potencia con carga.

Descripción	Arranque con carga	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3
Potencia activa (W)	216	204	180	156
Potencia reactiva (VAR)	804	564	336	204
Potencia aparente (VA)	828	600	396	264
Corriente (A)	2.28	1.56	1.08	0.72
Factor de potencia	0.30	0.37	0.54	0.98

Como se visualiza en la (Tabla 3.36) se logró corregir el factor de potencia del motor trifásico cuando arrancó con carga, además se puede observar el incremento de las potencias, corriente y factor de potencia debido a la variación del momento de torsión del motor. Se verificó la disminución de los valores de las potencias y las corrientes al corregir el factor de potencia a 0,98 por lo que se concluye que los dimensionamientos de los bancos de capacitores fueron realizados de forma correcta.

### **3.5 Hoja guía de laboratorio**

Se realizó una hoja guía de practica con la finalidad de usar el regulador de potencia reactiva para corregir el factor de potencia de un motor trifásico.

Las actividades para desarrollar y la información de la práctica se observan en el Anexo 3.

### **3.6 Manual de usuario y Mantenimiento**

#### **Manual de uso**

Para el uso adecuado del módulo didáctico se realizó un video que describe todos los componentes internos y externos, explica la forma de configurar el regulador, poner en marcha el sistema de corrección del factor de potencia con el motor con carga y ausencia de carga. El video de uso se observa mediante el código QR de la Figura 3.32



**Figura 3.32** Manual de uso.

### **Manual de mantenimiento**

Por último, se realizó un video que presenta toda la información necesaria para efectuar el mantenimiento del módulo y describe todas las actividades generales a realizar para que el módulo sea conservado en buen estado. El video de mantenimiento se observa mediante el código QR de la Figura 3.33.



**Figura 3.33** Manual de mantenimiento.



## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Construir el módulo didáctico con un motor trifásico de inducción incorporado con un freno mecánico permite aplicar diferentes momentos de torsión y observar el cambio de los parámetros eléctricos del motor, lo cuales pueden ser analizados con el regulador de potencia reactiva que está incorporado en el gabinete.
- Incorporar todos los elementos del sistema de corrección del factor de potencia, a un gabinete, garantiza una instalación con un alto nivel de seguridad, además, facilita el uso del módulo ya que solo es necesario conectar el conductor del alimentador del módulo a la red.
- La construcción del módulo con una estructura móvil facilita el traslado por el laboratorio, aprovecha el espacio disponible y es la adecuada cuando se necesite buscar un espacio disponible.
- La conexión de 3 capacitores monofásicos de 5 (uf) en delta forma una potencia reactiva de 273,69 (VAR), lo que permite formar una potencia reactiva de 821.07 (VAR) al combinar dos bancos con las mismas características, con lo cual se iguala el consumo del motor al arrancar en vacío con una potencia desarrollada de 816 (VAR) con un factor de potencia inicial de 0.23, así se corrige el factor de potencia a un valor final de 0.98.
- La incorporación de resistencias de descarga de 3.12 (M $\Omega$ ) permiten a los bancos de capacitores después de desconexión de la red, descargar voltajes residuales inferiores a 1 (V<sub>AC</sub>) en un tiempo de 70 (s), por lo que no representa un riesgo de choque eléctrico hacia las personas encargadas de realizar el mantenimiento del módulo. Además, el voltaje residual es inferior al 1% lo que permite que las corrientes transitorias de conexión no aumenten garantizando que los capacitores y contactores no sufran daños.
- La construcción de bancos de capacitores trifásicos con valores de 5 (uf) y el uso de un motor trifásico de 1 HP permitieron evidenciar que el regulador de potencia reactiva realiza una compensación adecuada a pesar de que las potencias de los bancos de capacitores y corrientes son bajas las cuales corresponden a cada banco de 273.69 (VAR) y la corriente de línea de 0.7 (A).
- Al arrancar el motor en vacío se tiene un factor de potencia inicial 0.23 y una corriente 2.16 (A); al corregir el factor de potencia a 0.98 la corriente del motor se reduce a 0.72 (A) por lo que se evidencia que hay un ahorro en la facturación

mensual de la energía eléctrica, por disminución de la corriente, reducción considerable de la potencia reactiva y también porque la empresa eléctrica no penaliza económicamente a las instalaciones que tienen un factor de potencia superior a 0.92.

- La corrección del factor de potencia con un regulador de potencia reactiva a un valor final de 0.98 cuando se aplica carga con el freno mecánico, el factor de potencia sube a más de la unidad por lo que es necesario tomar en consideración las condiciones de trabajo del motor para el diseño de bancos de capacitores, así se garantiza que una instalación no este sobre compensada.
- El costo total del módulo fue de \$600 siendo el regulador de potencia reactiva, el más costoso debido a sus prestaciones y su fácil configuración, los elementos que resultaron económicos fue utilizar capacitores monofásicos para formar bancos de capacitores trifásicos y utilizar breakers termomagnéticos de marcas que no son reconocidas en el mercado.
- El módulo didáctico permite a los estudiantes adquirir conocimientos acerca de la corrección del factor de potencia de un motor trifásico, usando un regulador de potencia reactiva a través de una práctica de laboratorio que está relacionado con un proceso real en la industria.

## **4.2 Recomendaciones**

- Para realizar la práctica se debe comprobar que los conductores del alimentador del módulo estén conectados en un orden específico el conductor azul a la fase en (R), el conductor negro a la fase (S) y el conductor rojo a la fase (T), con el fin de no afectar las entradas de medición del regulador.
- Al utilizar el freno mecánico no exceder la tensión de la banda, a un valor 2 (N/m) valor que puede ser observado en la báscula de resorte, debido a que la fricción de la polea con la banda ocasiona el aumento de la temperatura y un ruido demasiado fuerte.
- Para aprovechar todas las salidas tipo relé que dispone el regulador, se debe implementar y dimensionar otro motor trifásico ya sea de la misma potencia o diferente potencia para hacer pruebas con diferentes ciclos de trabajo, con el fin de aumentar las demandas de potencias.
- Utilizar el regulador de potencia reactiva para corregir el factor de potencia de los motores trifásicos que están en uso, cuando se realicen prácticas en los laboratorios de electricidad y control de la ESFOT para no ocasionar que el factor

de potencia baje a valores que no son permitidos por la empresa de distribución eléctrica.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. WILDI, *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. 2007.
- [2] O. G. J. Luis, “Cómo Reducir la Factura de Energía Eléctrica Corrigiendo el Factor de Potencia,” *Univ. Rafael Landívar*, no. 01, pp. 1–7, 2013.
- [3] J. F. Mora, *Circuitos eléctricos*. Madrid, 2012.
- [4] S. J. Chapman, “Máquinas Eléctricas, Tercera Edición.” p. 775, 1976.
- [5] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Pliego tarifario para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,” *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19*, vol. 19, p. 35, 2019.
- [6] B. R. Zamora Catagua and J. I. Calderon León, “Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para corregir el Factor de Potencia ,” *Univ. Católica Santiago Guayaquil*, p. 127, 2013.
- [7] S. Electric and S. O. Line, “Manual y Catálogo del Electricista,” *Control*, pp. 0–3, 1982.
- [8] Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana del Ecuador, “Norma Ecuatoriana De Construcción Nec Capítulo 15 Instalaciones Electromecánicas,” p. 173, 2013.
- [9] C. Generales, “Instrucciones de Montaje y uso de Reguladores R5,” pp. 1–70, [Online]. Available: <https://www.ducatienergia.com/media/products/180221-1628-mu-mid-r5-c-esp.pdf>.
- [10] R. Energía, “Condensadores,” pp. 1–211, 2019, [Online]. Available: [http://rtrenergia.es/wp-content/uploads/2018/12/RTR\\_TARIFA\\_2019.pdf](http://rtrenergia.es/wp-content/uploads/2018/12/RTR_TARIFA_2019.pdf).
- [11] ABB group, “Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8 Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas,” vol. Cuaderno N, p. 56, 2001.
- [12] Schneider Electric, *Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010*. 2010.
- [13] I. Capacitors, “Selección de contactores,” pp. 1–5, [Online]. Available: [https://lifasa.com/pdf/SELECCION\\_CONTACTORES.pdf](https://lifasa.com/pdf/SELECCION_CONTACTORES.pdf).
- [14] R. F. Julián, C. F. Luis, and S. H. R. Bezos, “Automatismos industriales

- Instalaciones Eléctricas y Automáticas,” pp. 1–427, 2014.
- [15] Chint, “NXC AC contactor,” pp. 1–16, [Online]. Available: [https://www.chint.cz/uploads/engintr\\_pdf/NXC\\_EN.pdf](https://www.chint.cz/uploads/engintr_pdf/NXC_EN.pdf).
- [16] C. ELECTRIC, “Catálogo General,” pp. 1–188, 2019, [Online]. Available: <https://www.abcgrup.com/catalogos/Chint.pdf>.
- [17] Sandoya Unamumo Adrian David, C. M. Leonel, R. O. Gustavo, and A. Z. J. Lorena, “Norma Ecuatoriana de la Construcción Instalaciones Eléctricas,” pp. 1–25, 2018.
- [18] C. A. Caticuago Farinango and S. M. Perugachi Urresti, “Construcción De Un Módulo Didáctico Para Aplicaciones De Control Industrial Con Un Relé Programable,” 2019.
- [19] Schneider Electric, “Guía para el diseño y la fabricación de armarios de compensación de baja tensión,” 2009.
- [20] EBASEE, “Control electric,” pp. 1–43, [Online]. Available: <http://sircr.com/wp-content/uploads/2021/04/EBASEE.pdf>.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO**



# ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 04 de octubre del 2021

## CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Catalina Elizabeth Armas Freire, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como directora de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento del módulo didáctico para la corrección del factor de potencia para la ESFOT – EPN, el cual fue implementado por el estudiante Klever Hidalgo.

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

---

**DIRECTORA**

Ing. Catalina Elizabeth Armas Freire

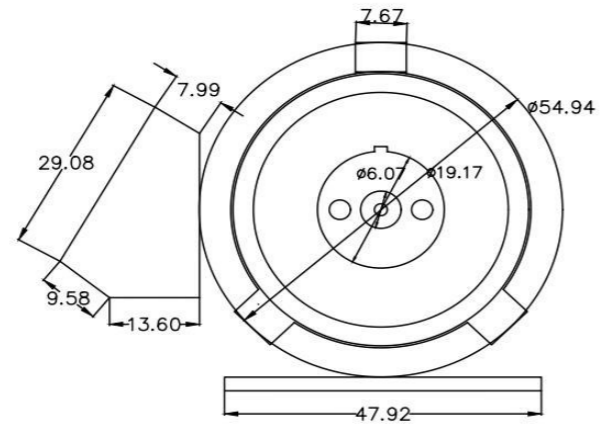
---

Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 28. EXT: 2729  
email: pablo.proano@epn.edu.ec

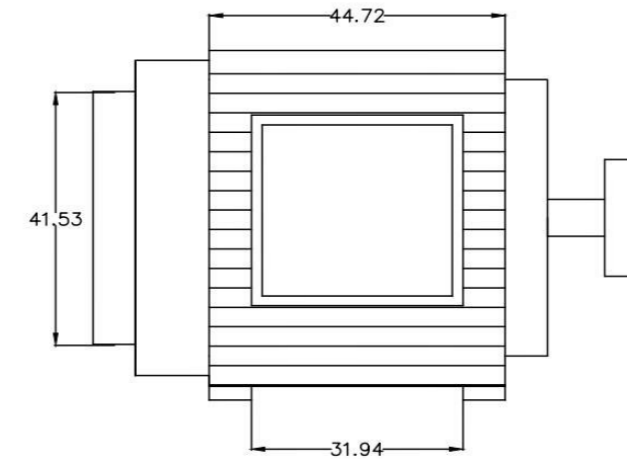
Quito-Ecuador



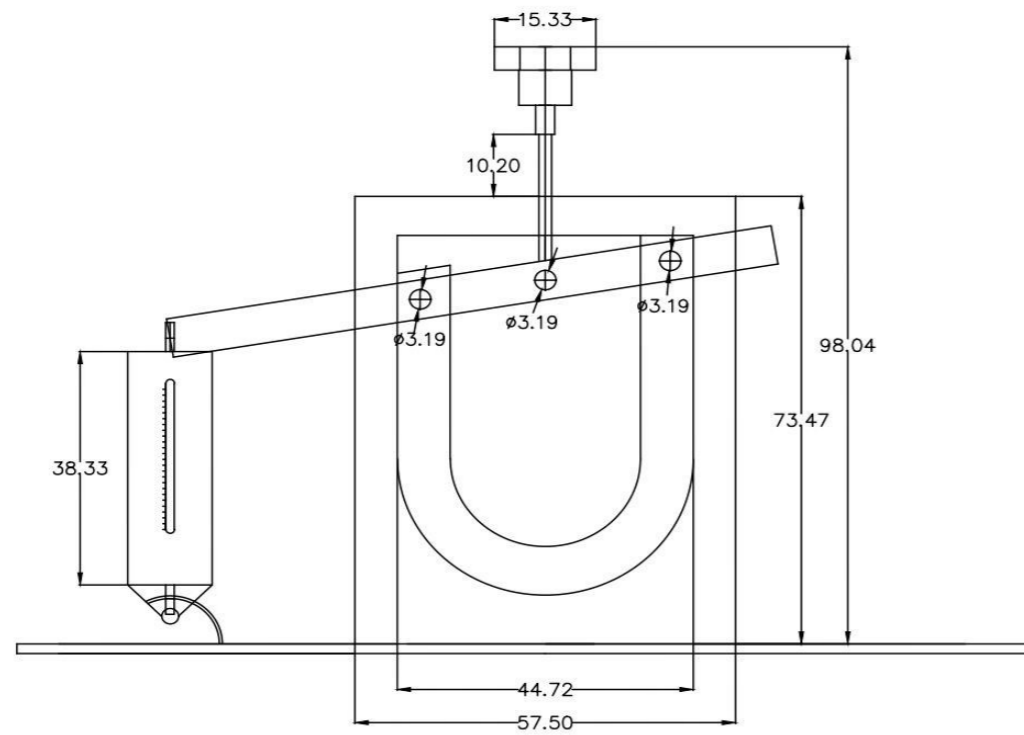
## **ANEXO 2: PLANOS Y ESQUEMAS**



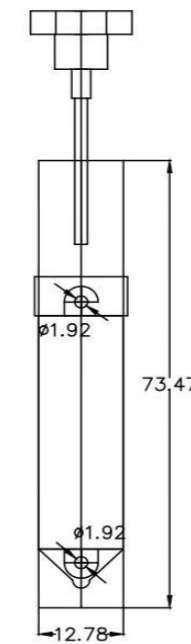
Vista frontal motor



Vista lateral izquierda motor

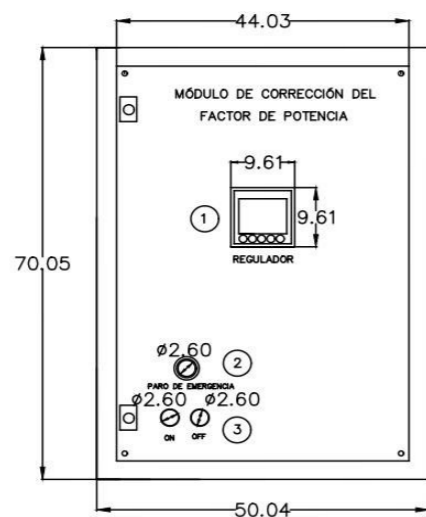


Vista frontal freno mecánico

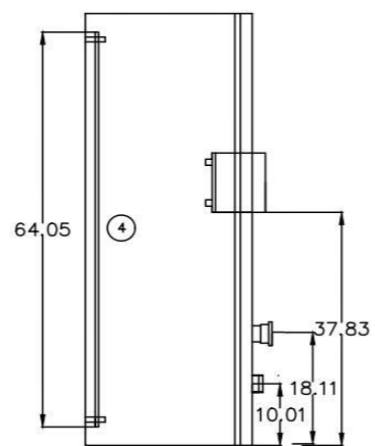


Vista lateral izquierda freno mecánico

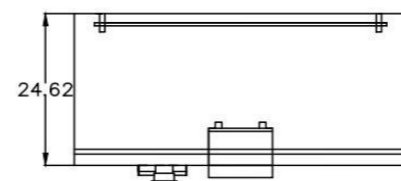
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-ESFOT		
Dimensiones motor y freno mecánico	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Metal
	ESCALA: 1:10	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Klever Lenin Hidalgo Samuiza	FECHA: 24/09/2021	LÁMINA: 1



VISTA FRONTAL

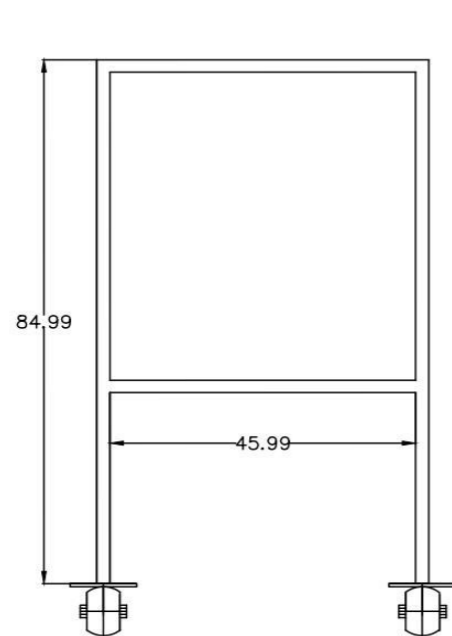


VISTA LATERAL IZQUIERDA

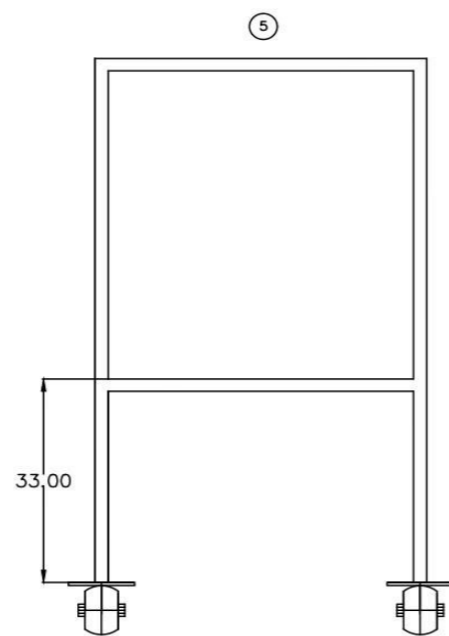


VISTA SUPERIOR

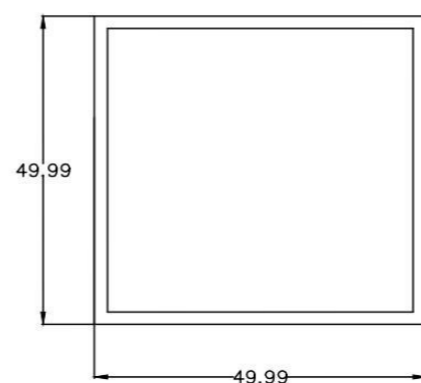
Item	Descripción
1	Regulador de potencia reactiva
2	Pulsador tipo hongo
3	Pulsador de arranque y paro
4	Plancha metálica
5	Estructura móvil



VISTA FRONTAL



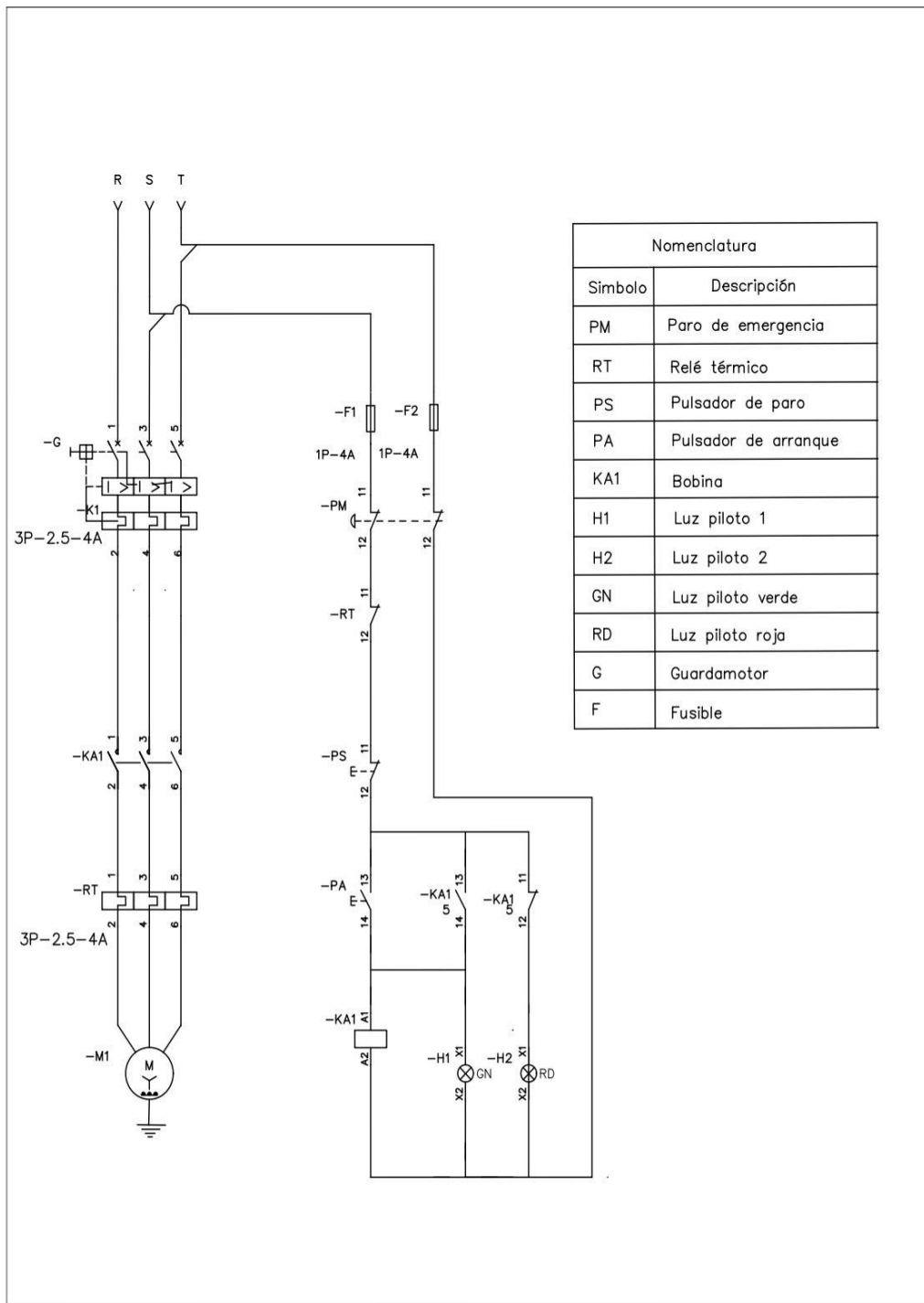
VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA SUPERIOR

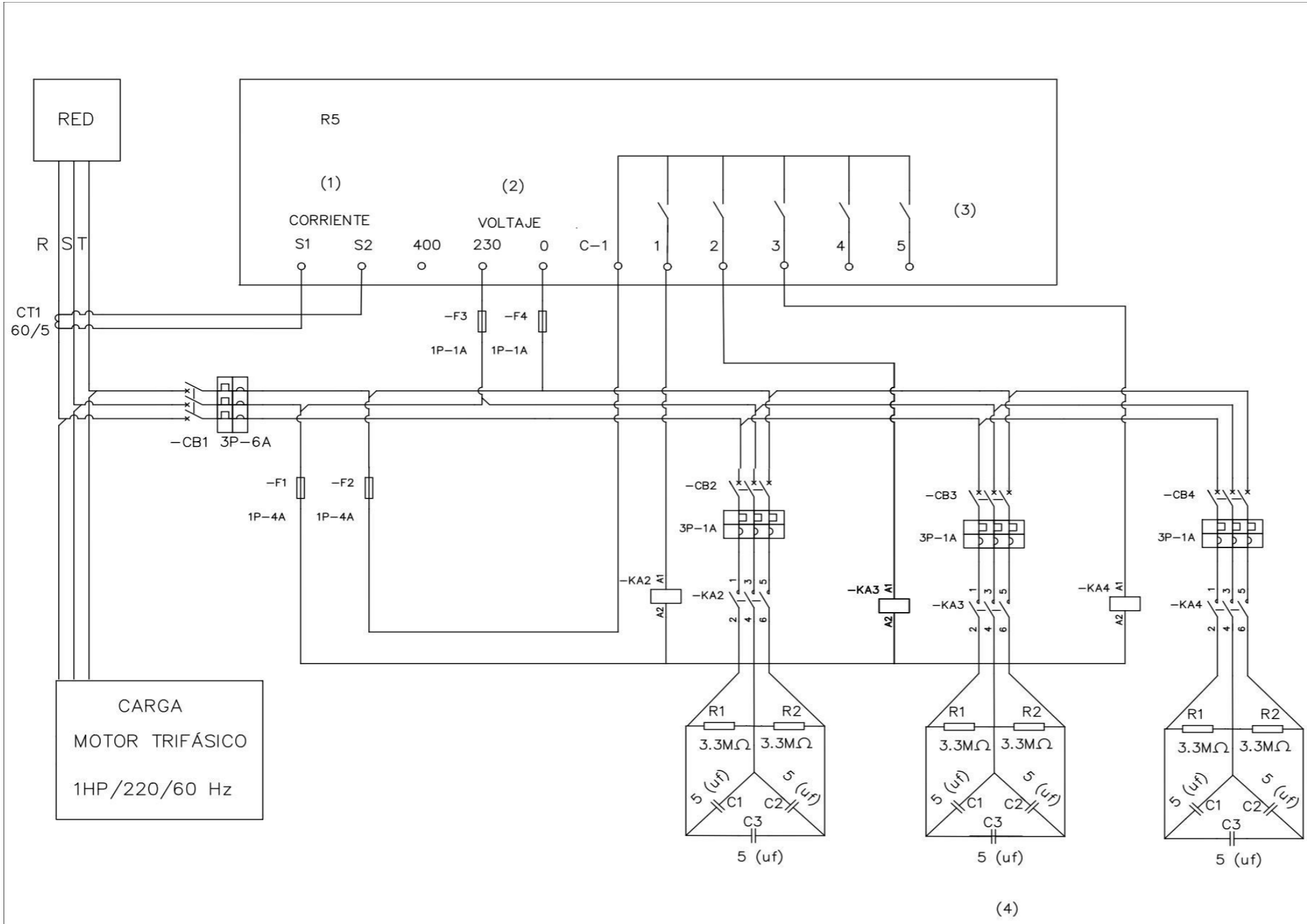
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-ESFOT

Gabinte-Vista general	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Metal
Exstructura móvil-Vista general	ESCALA: 1:10	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Klever Lenin Hidalgo Samuiza	FECHA: 24/09/2021	LÁMINA: 2



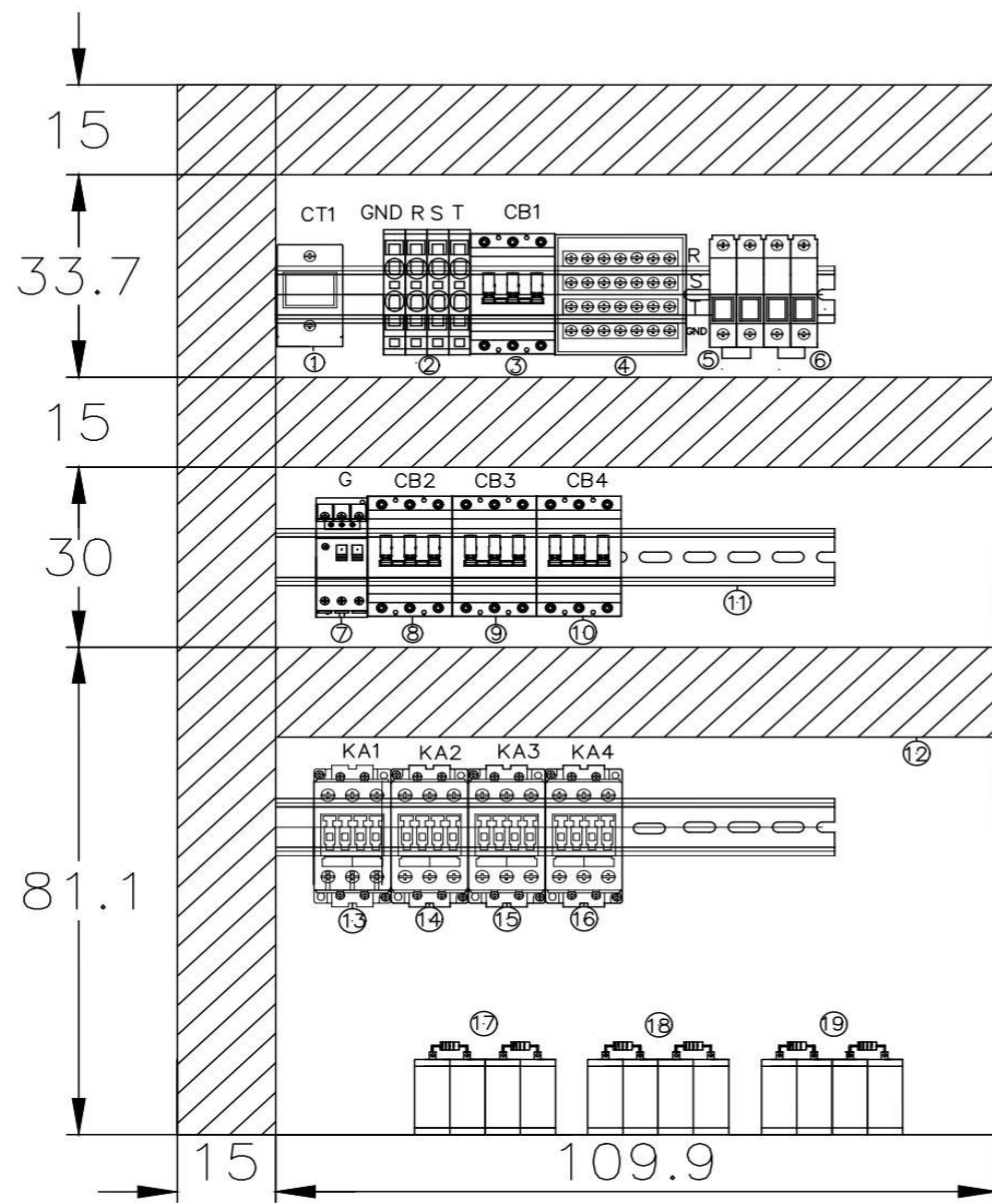
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-ESFOT

Circuito de control y fuerza Motor	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Eléctrico
	ESCALA: N/A	FORMATO: A4
DISEÑADO POR: Klever Lenin Hidalgo Samuiza	FECHA: 24/09/2021	LÁMINA: 3



Nomenclatura	
Símbolo	Descripción
CT1	Transformador de corriente
CB	Breaker termomagnético trifásico
R	Resistencia
KA	Bobina
F	Fusible
C	Capacitor
C-1	Entrada de voltaje tipo relé
(1)	Entrada de corriente
(2)	Entrada de voltaje
(3)	Salida tipo relé
(4)	Banco de capacitores

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-ESFOT		
Diagrama de control corrección del Factor de Potencia	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Eléctrico
	ESCALA: N/A	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Klever Lenin Hidalgo Samuiza	FECHA: 24/09/2021	LÁMINA: 4



Lista de materiales

Simbolo	Item	Descripción
CT1	1	Transformador de corriente 60/5(A)
	2	Borneras cable 12 AWG
CB1	3	Breaker para riel DIN 3 polos/220VAC/6A
	4	Repartidor de carga 100A
	5	Portabusibles para riel DIN/Fusible instalado 1A
G	6	Portabusibles para riel DIN/Fusible instalado 4A
	7	Guardamotor para riel DIN/3 polos/220VAC/2.5-4A
CB2	8	Breaker para riel DIN 3 polos/220VAC/1A
CB3	9	Breaker para riel DIN 3 polos/220VAC/1A
CB4	10	Breaker para riel DIN 3 polos/220VAC/1A
	11	Riel DIN metálico 35mm
12	12	Canaleta ranura 60x50cm
	KA1	13
KA2	14	Contactador 3 polos/220VAC/AC3/2NC/2NA/6A
KA3	15	Contactador 3 polos/220VAC/AC3/2NC/2NA/6A
KA4	16	Contactador 3 polos/220VAC/AC3/2NC/2NA/6A
	17	3 capacitores conectados en delta 5uf/2 resistencias 3.2MΩ
18	18	3 capacitores conectados en delta 5uf/2 resistencias 3.2MΩ
	19	3 capacitores conectados en delta 5uf/2 resistencias 3.2MΩ

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-ESFOT

Diseño de Gabinete	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Eléctrico
	ESCALA: 1:4	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: Klever Lenin Hidalgo Samuiza	FECHA: 24/09/2021	LÁMINA: 5

## **ANEXO 3: HOJA GUÍA DE PRÁCTICA**

## HOJA GUÍA –PRACTICA

**TEMA:** Corrección del factor de potencia de un motor trifásico

### 1. Objetivos

- Determinar el valor de los capacitores para corregir el factor de potencia.
- Simular un proceso de corrección del factor de potencia trifásico industrial.
- Introducir al estudiante en la configuración del regulador R5 de DUCATI.
- Registrar y analizar los valores eléctricos.

### 2. Marco teórico

Un regulador de potencia reactiva es un dispositivo de control que detecta las variaciones en la demanda de potencia reactiva. Se adapta a las fluctuaciones de potencia reactiva conectando y desconectando bancos de capacitores trifásicos.

Ventajas de instalar un regulador de potencia reactiva:

- Disminución de los valores económicos eléctricos a pagar por consumo
- Disminución de las caídas de voltaje en la instalación
- Liberación de potencia en la instalación
- 

### 3. Trabajo preparatorio

Calcular el valor de la potencia reactiva para compensar un motor trifásico para que trabaje con un factor de potencia de 0.98 con los siguientes datos:

- Motor trifásico de (1HP)
- Frecuencia:60 (Hz)
- Rendimiento :70 %
- Voltaje de alimentación línea a línea:220 ( $V_{AC}$ )
- Factor de potencia :0.80

Calcular el valor del capacitor para corregir el factor de potencia.

Consultar como formar bancos de capacitores trifásicos.

Consultar la forma de configurar un regulador R5 de DUCATI.

### 4. Equipos y materiales



Guantes eléctricos

Motor trifásico

Freno mecánico

Regulador

## 5. Procedimiento

### PARTE I

- El instructor dará a conocer el método de corrección de factor de potencia usando un regulador de potencia reactiva.
- El instructor dará a conocer todos los elementos del sistema.
- Verificar que las protecciones del motor, sistema de corrección de factor de potencia y de los circuitos de control estén activados.
- Conectar el alimentador principal a una fuente trifásica 220 ( $V_{AC}$ ).
- Desactivar los interruptores termomagnéticos de los bancos de capacitores.
- Pulsar el botón verde para accionar el motor
- Tomar datos de potencia y corriente del motor.
- Pulsar botón rojo para desactivar el motor.
- Activar los interruptores termomagnéticos de los bancos de capacitores.
- Pulsar el botón verde para accionar el motor.
- Observar el proceso de inserción de capacitores.
- Tomar datos de potencia y corriente del motor.

Descripción	Arranque en vacío	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3
Potencia activa (W)				
Potencia reactiva (VAR)				
Potencia aparente (VA)				
Corriente (A)				
Factor de potencia				

### PARTE II

- Repetir el mismo procedimiento antes mencionado.
- Aplicar tensión a la banda con el freno mecánico, verificar la fuerza máxima aplicada a bascula de resorte sea igual a 2 libras.
- Observar el proceso de inserción de capacitores.
- Tomar datos de potencia y corriente del motor.

Descripción	Arranque con carga	Escalón 1	Escalón 2	Escalón 3
Potencia activa (W)				
Potencia reactiva (VAR)				
Potencia aparente (VA)				
Corriente (A)				
Factor de potencia				

## 6. Informe

- Realizar diagramas lineales de las potencias y corrientes antes y después de la corrección del factor de potencia.
- Explicar cómo el regulador detecta el factor de potencia.
- Describir el proceso de corrección del factor de potencia.

## Referencias

- [1] J. F. Mora, *Circuitos eléctricos*. Madrid, 2012.
- [2] C. Generales, “Instrucciones de Montaje y uso de Reguladores R5,” pp. 1–70, [Online]. Available: <https://www.ducatienergia.com/media/products/180221-1628-mu-mid-r5-c-esp.pdf>.
- [3] R. Energía, “Condensadores,” pp. 1–211, 2019, [Online]. Available: [http://rtrenergia.es/wp-content/uploads/2018/12/RTR\\_TARIFA\\_2019.pdf](http://rtrenergia.es/wp-content/uploads/2018/12/RTR_TARIFA_2019.pdf).
- [4] ABB group, “Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8 Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas,” vol. Cuaderno N, p. 56, 2001.
- [5] Schneider Electric, *Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010*. 2010.

## **ANEXO 4: DATOS TÉCNICOS**

**Tabla 5.1** Coeficientes para corregir el factor de potencia [12].

Antes de la compensación		Especificación de kVAR de una batería de condensadores que se van a instalar por kW de carga para mejorar $\cos \phi$ (el factor de potencia) o $\tan \phi$ con un valor determinado													
		$\tan \phi$	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
$\tan \phi$	$\cos \phi$	$\cos \phi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,661	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

**Tabla 5.2** Tabla de selección de guardamotores [20].

Type	Standard power ratings of 3-phase motors 50/60Hz in category AC-3						Rated Current InA	Setting Range A	The Disjointing Current Commuting Value in Instant Field ) InA
	230/240V kW	400V kW	415V kW	440V kW	500V kW	690V kW			
EGV2-M01	—	—	—	—	—	—	0.16	0.1-0.16	1.5
EGV2-M02	—	—	—	—	—	—	0.25	0.16-0.25	2.4
EGV2-M03	—	—	—	—	—	—	0.4	0.25-0.40	5
EGV2-M04	—	—	—	—	—	0.37	0.63	0.40-0.63	8
EGV2-M05	—	—	—	0.37	0.37	0.55	1	0.63-1	13
EGV2-M06	—	0.37	—	0.55	0.75	1.1	1.6	1-1.6	22.5
EGV2-M07	0.37	0.75	0.75	1.1	1.1	1.5	2.5	1.6-2.5	33.5
EGV2-M08	0.75	1.5	1.5	1.5	2.2	3	4	2.5-4	51
EGV2-M10	1.1	2.2	2.2	3	3.7	4	6.3	4-6.3	78
EGV2-M14	2.2	4	4	4	5.5	7.5	10	6-10	138
EGV2-M16	3	5.5	5.5	7.5	7.5	9	14	9-14	170
EGV2-M18	4	7.5	7.5	7.5	10	11	16	10-16	223
EGV2-M20	4	7.5	9	9	9	11	18	13-18	223
EGV2-M21	5.5	11	11	11	11	15	23	17-23	327
EGV2-M22	5.5	11	11	11	15	18.5	25	20-25	327
EGV2-M32	7.5	15	15	15	18.5	23	32	24-32	416
EGV2-RS01	—	—	—	—	—	—	0.16	0.1-0.16	1.5
EGV2-RS02	—	—	—	—	—	—	0.25	0.16-0.25	2.4
EGV2-RS03	—	—	—	—	—	—	0.4	0.25-0.40	5
EGV2-RS04	—	—	—	—	—	0.37	0.63	0.40-0.63	8
EGV2-RS05	—	—	—	0.37	0.37	0.55	1	0.63-1	13
EGV2-RS06	—	0.37	—	0.55	0.75	1.1	1.6	1-1.6	22.5
EGV2-RS07	0.37	0.75	0.75	1.1	1.1	1.5	2.5	1.6-2.5	33.5
EGV2-RS08	0.75	1.5	1.5	1.5	2.2	3	4	2.5-4	51
EGV2-RS10	1.1	2.2	2.2	3	3.7	4	6.3	4-6.3	78
EGV2-RS14	2.2	4	4	4	5.5	7.5	10	6-10	138
EGV2-RS16	3	5.5	5.5	7.5	7.5	9	14	9-14	170
EGV2-RS18	4	7.5	9	9	9	11	16	10-16	223
EGV2-RS20	4	7.5	9	9	9	11	18	13-18	223
EGV2-RS21	5.5	11	11	11	11	15	23	17-23	327
EGV2-RS22	5.5	11	11	11	15	18.5	25	20-25	327
EGV2-RS32	7.5	15	15	15	18.5	23	32	24-32	416
EGV2-LS03	—	—	—	—	—	—	0.4	0.25-0.40	5
EGV2-LS04	—	—	—	—	—	0.37	0.63	0.40-0.63	8
EGV2-LS05	—	—	—	0.37	0.37	0.55	1	0.63-1	13
EGV2-LS06	—	0.37	—	0.55	0.75	1.1	1.6	1-1.6	22.5
EGV2-LS07	0.37	0.75	0.75	1.1	1.1	1.5	2.5	1.6-2.5	33.5
EGV2-LS08	0.75	1.5	1.5	1.5	2.2	3	4	2.5-4	51
EGV2-LS10	1.1	2.2	2.2	3	3.7	4	6.3	4-6.3	78
EGV2-LS14	2.2	4	4	4	5.5	7.5	10	6-10	138
EGV2-LS16	3	5.5	5.5	7.5	7.5	9	14	9-14	170
EGV2-LS18	4	7.5	9	9	9	11	16	10-16	223
EGV2-LS20	4	7.5	9	9	9	11	18	13-18	223
EGV2-LS21	5.5	11	11	11	11	15	23	17-23	327
EGV2-LS22	5.5	11	11	11	15	18.5	25	20-25	327

**Tabla 5.3** Tabla de selección de relé térmico [20].

Rated working current A	Setting range A	Matched fuse type		Matched AC contactor	Type code
		aM A	gG A		
25	0.1~0.16	0.25	2	EBS1C-09	1TR 25/0.16
	0.16~0.25	0.25	2	EBS1C-09	1TR 25/0.25
	0.25~0.4	1	2	EBS1C-09	1TR 25/0.40
	0.4~0.63	1	2	EBS1C-09	1TR 25/0.63
	0.63~1	2	4	EBS1C-09	1TR 25/1
	1~1.6	2	4	EBS1C-09	1TR 25/1.6
	1.25~2	4	6	EBS1C-09	1TR 25/2
	1.6~2.5	4	6	EBS1C-09	1TR 25/2.5
	2.5~4	6	10	EBS1C-09	1TR 25/4
	4~6	8	16	EBS1C-09	1TR 25/6
	5.5~8	12	20	EBS1C-09	1TR 25/8
	7~10	12	20	EBS1C-12	1TR 25/10
	9~13	16	25	EBS1C-12	1TR 25/13
	12~18	20	35	EBS1C-18	1TR 25/18
	17~25	25	50	EBS1C-25	1TR 25/25
36	23~32	40	63	EBS1C-32	1TR 36/32
	28~36	40	80	EBS1C-32	1TR 36/36
93	23~32	40	63	EBS1C-40	1TR 93/32
	30~40	40	100	EBS1C-40	1TR 93/40
	37~50	63	100	EBS1C-50	1TR 93/50
	48~65	63	100	EBS1C-65	1TR 93/65
	55~70	80	125	EBS1C-80	1TR 93/70
	63~80	80	125	EBS1C-80	1TR 93/80
	80~93	100	160	EBS1C-95	1TR 93/93